

SITO DI INTERESSE NAZIONALE AREA EX SI.TO.CO COMUNE DI ORBETELLO (GR)

(Parte Privata)

PROPRIETA' LAGUNA AZZURRA s.r.l.

via Nomentana n° 305 - Roma



INTERVENTO DI RISANAMENTO AMBIENTALE DELL'AREA EX SI.TO.CO DI ORBETELLO SCALO

ATTIVITA' DI BONIFICA - ADB

ZONA	GEN	ELABORATO	REL	SERIE	LAV	
GENERALE	GEN	RELAZIONI	REL	LAVORI	LAV	
DESCRIZIONE: BONIFICA DELL'ACQUICLUDO SUPERFICIALE MEDIANTE MARGINAMENTO FISICO E PROGETTO PRELIMINARE DI BONIFICA DELLA FALDA PROFONDA MEDIANTE BARRIERA IDRAULICA DINAMICA Relazione Tecnica						
REDATTO DA: martino associati srl Dott. Ing. Francesco MARTINO Via Paglialunga, 3 58100 - Grosseto tel 0564.411024 fax 0564.418962 studio@martinoassociati.net		Consulenza Geologica: Dott. Geol. Carlo Meoni Via Macchiavelli, 42 56038 - Ponsacco (Pi) tel 0587.730312 fax 0587.733933 c.meoni@studiointergeo.it		SCALA --	TAVOLA ADB.GEN.REL.LAV.004.01	
		NOME	DATA	FIRMA		
ELABORATO		Martino	06/2009			
APPROVATO						
Rev. N°	Note				DATA	
1	Rimodulazione soluzioni progettuali				09/2009	

COORDINAMENTO PROGETTAZIONE:



Società Cooperativa Muratori Sterratori Ed Affini

UFFICIO PROGETTI: 51010 Massa e Cozzile (PT) loc. Traversagna Via U. Foscolo, 7 Tel. 0572/9161 Telefax 0572/771791

INTRODUZIONE

Il presente documento e gli elaborati in esso richiamati rappresentano la “rimodulazione“ del “**PROGETTO DEFINITIVO DI BONIFICA DELL’ACQUICLUDO SUPERFICIALE MEDIANTE MARGINAMENTO FISICO E DELLA FALDA PROFONDA MEDIANTE BARRIERA IDRAULICA DINAMICA**” acquisito dal MATTM al prot. 16757/QdV/Di del 5 agosto 2009 oggetto all’ordine del giorno della Segreteria Tecnica della Direzione Qualità della Vita del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, con audizione dei rappresentanti di Laguna Azzurra in data 1 settembre 2009 ed in merito al quale la stessa Segreteria ha espresso valutazioni e considerazioni di merito.

Proprio in ragione di tali considerazioni e valutazioni di merito, tecnicamente condivise dai progettisti di Laguna Azzurra, la stessa Società ha previsto una revisione progettuale che recepisce quanto espresso dalla Segreteria Tecnica, con particolare attenzione alla interazione che potranno avere gli interventi proposti con il sistema della circolazione delle acque lagunari.

A tal fine sono stati riesaminati tutti gli elaborati progettuali già consegnati al MATTM alla luce dei seguenti nuovi input progettuali:

1. attuazione degli interventi sulla falda superficiale (acquicludo) e sulla falda profonda in tempi diversi operando nell’immediato con la progettazione definitiva e realizzazione degli interventi sulla falda superficiale e la progettazione preliminare per gli interventi sulla falda profonda con l’attivazione degli approfondimenti necessari all’acquisizione degli elementi conoscitivi, anche a scala territoriale, della caratterizzazione geologica, idrogeologica e geochimica nonché della definizione dei valori di fondo naturale della falda profonda stessa;
2. la realizzazione del marginamento fisico con l’esecuzione di una palancoatura metallica con giunti a tenuta per tutta l’estensione del “fronte lato laguna” che va dall’inizio del Canale Navigabile fino allo Stagnino, in alternativa alla soluzione progettuale della prevista trincea drenante, e ciò al fine di minimizzare o annullare l’eventuale possibile influenza che l’opera di marginamento avrebbe potuto avere con la laguna nell’ipotesi realizzativa della trincea drenante.

Considerato quanto sopra esposto, nel seguito viene sviluppato pertanto una revisione del progetto già trasmesso ed esaminato dalla Segreteria Tecnica presentando il “**PROGETTO DEFINITIVO DI BONIFICA DELL’ACQUICLUDO SUPERFICIALE MEDIANTE MARGINAMENTO FISICO E PROGETTO PRELIMINARE DI BONIFICA DELLA FALDA PROFONDA MEDIANTE BARRIERA IDRAULICA DINAMICA**”.

E’ opportuno specificare che mentre per l’intervento sulla falda superficiale (acquicludo) vengono definiti gli interventi la soluzione proposta per la falda

profonda rappresenta una proposta di intervento, oggetto di verifica ed approfondimento come sopra esposto.

In merito agli approfondimenti sugli elementi conoscitivi della caratterizzazione geologica, idrogeologica e geochemica nonché della definizione dei valori di fondo naturale della falda, si precisa che sono in corso contatti ed attività con l'ARPAT di Grosseto e la struttura tecnica di Sogesid, con le quali viene condiviso il quadro di seguito illustrato, in relazione ai temi in studio e nello specifico:

Fondo naturale

Per quanto attiene le caratteristiche geochemiche delle acque sotterranee profonde (falda profonda multistrato presente al di sotto delle argille limose più superficiali), la presenza di **As**, **Fe** e **Mn**, rinvenuti in modeste quantità, è stata attribuita, in prima istanza, al *fondo naturale* della zona.

Su richiesta del MATTM la definizione dei valori del fondo naturale dovrà essere effettuata da ARPAT sulla base del *Protocollo per la definizione dei valori di fondo per le sostanze inorganiche nelle acque sotterranee* (ISPRA – Aprile 2009); in tal senso Laguna Azzurra ed ARPAT hanno già in corso una serie di verifiche (ricerche di archivio e sopralluoghi in campo), finalizzati all'individuazione di un adeguato numero di punti di campionamento in aree non antropizzate.

In particolare sono in corso ricerche di archivio e sopralluoghi in campo finalizzati alla ricerca di punti di campionamento idonei per lo studio delle concentrazioni di fondo in quanto significativi sia per quanto attiene la loro profondità sia per l'appartenenza alla stessa situazione geologica/idrogeologica riscontrata nell'area ex-SI.TO.CO..

Qualora sul territorio non siano disponibili punti di campionamento in numero sufficiente a soddisfare i criteri di rappresentatività di cui al *Protocollo per la definizione dei valori di fondo per le sostanze inorganiche nelle acque sotterranee* (ISPRA – Aprile 2009), sarà valutata l'opportunità di procedere ad una integrazione dei presidi di monitoraggio mediante realizzazione di nuovi piezometri.

Modello geologico, idrogeologico e geochemico

Per quanto attiene gli approfondimenti necessari per la caratterizzazione geologica, idrogeologica e geochemica delle aree lagunari prospicienti l'area ex-SI.TO.CO., che si rendono necessari per la valutazione degli effetti indotti dalla progettata barriera idraulica dinamica della falda profonda sulla circolazione delle acque lagunari, Laguna Azzurra srl è in attesa di conoscere i risultati dell'indagine geologica, idrogeologica e geochemica in corso di ultimazione da parte di Sogesid per conto della Parte Pubblica.

Appena i dati suddetti saranno resi disponibili, qualora non siano ritenuti sufficienti a soddisfare i criteri di rappresentatività per la caratterizzazione geologica, idrogeologica e geochemica delle aree lagunari prospicienti l'area ex-SI.TO.CO., sarà valutata l'opportunità di procedere ad una integrazione degli stessi mediante realizzazione, in tempi brevi, di una nuova campagna di indagine.

Successivamente saranno eseguiti approfondimenti circa le possibili interazioni con il sistema di circolazione delle acque lagunari mediante:

- implementazione, in stretto contatto e coordinamento con la Parte Pubblica, della caratterizzazione geologica, idrogeologica e geochimica dell'area lagunare a Ovest della Cittadella, per un'estensione in laguna pari ad almeno 250 m, con particolare riferimento all'individuazione di strati di separazione tra gli acquiferi riconosciuti;
- implementazione di un modello di simulazione delle linee di flusso e delle zone di cattura delle acque profonde a seguito degli emungimenti operati dalla barriera idraulica dinamica.

Sulla base degli accertamenti inerenti le caratteristiche del fondo naturale e i potenziali effetti sulle acque lagunari derivanti dall'emungimento della falda profonda, sarà predisposto uno specifico studio di valutazione complessiva degli effetti degli interventi andando pertanto a sviluppare e/o modificare quanto previsto nella progettazione preliminare dell'intervento previsto con evidente adeguamento del relativo Progetto di Bonifica della falda in corrispondenza dell'area ex-SI.TO.CO.

Alla luce di quanto sopra esposto devono essere esaminati e valutati tutti gli elaborati costituenti lo sviluppo progettuale conseguente.

ATTIVITA' DI BONIFICA

**PROGETTO DEFINITIVO DI BONIFICA DELL'ACQUICLUDO
SUPERFICIALE MEDIANTE MARGINAMENTO FISICO E PROGETTO
PRELIMINARE DI BONIFICA DELLA FALDA PROFONDA MEDIANTE
BARRIERA IDRAULICA DINAMICA**

RELAZIONE TECNICA

INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. STORIA PREGRESSA DEL SIN.....	3
3. MATERIALI PRODOTTI.....	4
3.1. DESCRIZIONE DEI RIFIUTI	4
3.1.1. CENERI DI PIRITE.....	5
3.1.2. DEPOSITI SILICEI	6
4. SUDDIVISIONE SCHEMATICA DELLE AREE.....	7
5. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA VASTA.....	9
5.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	9
5.2. STRATIGRAFIA E CENNI DI GEOLOGIA STRUTTURALE	11
5.3. IDROGEOLOGIA E IDROGRAFIA	12
6. GEOLOGIA E STRATIGRAFIA LOCALE.....	14
6.1. INDAGINE INTEGRATIVA FEBBRAIO 2009	14
6.2. DESCRIZIONE DELLE SEZIONI LITOLOGICHE.....	15
7. IDROGEOLOGIA LOCALE	20
7.1. PERMEABILITA' DEI TERRENI INDAGATI – INDAGINI PREGRESSE	20
7.2. ESECUZIONE DELLA NUOVA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO AMBIENTALE – MARZO 2009	21
7.2.1. VERIFICA DEL MODELLO LITO-STRATIGRAFICO DELL'AREA	22
7.3. POSIZIONAMENTO DEL FILTRO NEI NUOVI PIEZOMETRI PROFONDI	22
7.4. PUNTI DI CAMPIONAMENTO DELLE ACQUE SOTTERRANEE.....	24
7.5. REALIZZAZIONE DI PROVE DI STRATO	24
7.6. CARATTERISTICHE PIEZOMETRICHE	25
7.6.1. ACQUIFERO SUPERFICIALE.....	25
7.6.2. FALDA PROFONDA.....	27
7.7. CARATTERISTICHE IDRODINAMICHE DEGLI ACQUIFERI INDAGATI	28
7.8. ANALISI CHIMICHE.....	31
7.9. STATO DI CONTAMINAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE SUPERFICIALI.....	35
7.9.1. ZONA CITTADELLA	35
7.9.2. ZONA BACINI.....	36
7.9.3. ZONA NORD.....	36
7.10. STATO DI CONTAMINAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE PROFONDE	36
7.10.1. ZONA CITTADELLA	36
7.10.2. ZONA BACINI	37
7.11. CARATTERIZZAZIONE GEOCHIMICA/ISOTOPICA	37

7.11.1.	<i>Analisi dei dati</i>	40
7.11.2.	<i>Valutazioni sulla presenza degli elementi rilevati</i>	42
7.12.	MODELLO IDROGEOLOGICO.....	46
7.13.	VALIDAZIONE DEI DATI E VALUTAZIONE DEL FONDO NATURALE	47
8.	PROGETTO DI BONIFICA	50
8.1.	PROGETTO DEFINITIVO DI BONIFICA DELL'ACQUICLUDO SUPERFICIALE	51
8.1.1.	<i>DIMENSIONAMENTO/POSIZIONAMENTO DEL SISTEMA TERGALE DI CAPTAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE SUPERFICIALI</i>	51
8.1.1.1.	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	51
8.1.1.2.	EFFETTI INDOTTI DAL SISTEMA TERGALE DI CAPTAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE SUPERFICIALI	52
8.1.1.3.	DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI IDRAULICI PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI TRATTAMENTO	53
8.1.1.3.1.	Portate derivanti dall'acquifero superficiale	53
8.1.1.3.2.	Apporti idrici esterni	54
8.1.1.3.3.	Volumi complessivi di acque da trattare.....	56
8.1.2.	<i>DIMENSIONAMENTO E VERIFICA STRUTTURALE DELLE PALANCOLE</i>	57
8.1.2.1.	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	57
8.1.2.1.1.	Generalità.....	57
8.1.2.1.2.	Contesto di applicazione.....	57
8.1.2.1.3.	Scelta della soluzione progettuale.....	57
8.1.2.1.4.	Modalità di posa in opera.....	58
8.1.2.2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	59
8.1.2.3.	MODELLO GEOTECNICO DELL'INTERVENTO.....	60
8.1.2.4.	ANALISI DELL'INTERAZIONE PALANCOLA/TERRENO	68
8.1.2.4.1.	Descrizione del codice di calcolo utilizzato.....	68
8.1.2.4.2.	Individuazione delle sezioni di analisi.....	69
8.1.2.4.3.	Definizione dei parametri di calcolo	70
8.1.2.4.4.	Analisi della sezione A-A	72
8.1.2.4.5.	Analisi della sezione B-B.....	78
8.1.2.5.	VERIFICHE STRUTTURALI.....	85
8.1.2.5.1.	Generalità.....	85
8.1.2.5.2.	Criterio di resistenza adottato	85
8.1.2.5.3.	Sintesi delle verifiche strutturali	86
8.2.	PROGETTO PRELIMINARE DI BONIFICA DELLA FALDA PROFONDA.....	88
8.2.1.	<i>DESCRIZIONE PRELIMINARE DELL'INTERVENTO</i>	88
8.2.2.	<i>DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE DELLA BARRIERA IDRAULICA DINAMICA</i>	88
8.2.3.	<i>EFFETTI INDOTTI DALLE OPERE DI MARGINAMENTO DINAMICO</i>	90
8.2.4.	<i>VOLUMI CAPTATI</i>	91
8.2.5.	<i>EFFETTI INDOTTI SULLA CIRCOLAZIONE DELLE ACQUE LAGUNARI</i>	95
8.2.6.	<i>VERIFICA DELL'EFFICACIA DELL'INTERVENTO</i>	96
8.2.6.1.	Fase 1 – Revisione dei dati.....	96
8.2.6.2.	Fase 2 – Monitoraggio dell'efficienza e dell'efficacia della barriera idraulica	96
8.2.6.3.	Fase 3 – Sintesi sui risultati raggiunti: proseguimento o cessazione dell'intervento.....	97
8.3.	IMPIANTO DI TRATTAMENTO ACQUE CAPTATE	97
8.3.1.	<i>Premessa</i>	97
8.3.2.	<i>Qualità delle acque da trattare</i>	97
8.3.3.	<i>STATO DI CONTAMINAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE SUPERFICIALI</i>	98
8.3.3.1.	Ambito Cittadella-Acquifero superficiale	98
8.3.3.2.	Ambito Cittadella -Acquifero profondo	98
8.3.3.3.	Ambito Bacini-Acquifero superficiale	99
8.3.3.4.	Ambito Bacini -Acquifero profondo	99
8.3.3.5.	Ambito Zona Nord	99
8.3.4.	<i>IMPIANTO DI TRATTAMENTO DEPURATIVO DELLE ACQUE EMUNTE</i>	99
8.3.5.	<i>ATTIVITÀ DI INSTALLAZIONE DEL CANTIERE</i>	103
8.3.5.1.	Fornitura di energia elettrica al cantiere	103
8.3.5.2.	Accorgimenti generali in merito alla realizzazione degli impianti elettrici	103
8.3.5.3.	Normative per le tubazioni	104
8.3.5.3.1.	Normativa di riferimento per tubazioni in acciaio	104
8.3.5.4.	Normativa di riferimento per tubazioni in HDPE	105
8.3.6.	<i>Normativa generale di riferimento</i>	106
8.3.7.	<i>Requisiti dell'impianto</i>	106

8.3.8.	<i>Principio di funzionamento dell'impianto</i>	107
8.3.8.1.	Sistema di sollevamento	107
8.3.8.2.	Pretrattamento iniziale	107
8.3.8.3.	Sistema di disoleazione (TPI) per la rimozione degli idrocarburi miscelabili e per la separazione dei solidi.	108
8.3.8.4.	Accumulo iniziale acque da trattare	109
8.3.8.5.	Fase di ossidazione.....	111
8.3.8.6.	Fase di correzione del pH.....	112
8.3.8.7.	Fase di coagulazione	112
8.3.8.8.	Fase di flocculazione.....	112
8.3.8.9.	Sezione di decantazione	113
8.3.8.10.	Accumulo intermedio e rilancio alla filtrazione	114
8.3.8.11.	Sezione di filtrazione a pressione su filtri ad antracite	115
8.3.8.12.	Sezione di filtrazione a pressione su filtri catalitici.....	115
8.3.8.13.	Sezione di filtrazione a pressione su carbone attivo.....	116
8.3.8.14.	Accumulo finale acqua trattata	116
8.3.8.15.	Accumulo acqua di controlavaggio filtri	117
8.3.8.16.	Ispositore dei fanghi di depurazione	117
8.3.8.17.	Disidratazione meccanica fango.....	118
8.3.8.18.	Trattamento vapori organici.....	119
8.3.9.	<i>Sistemi di controllo della funzionalità dell'impianto</i>	122
8.3.10.	<i>Impatto delle opere sull'ambiente</i>	123
8.3.10.1.	Interferenze opera-ambiente nella fase di costruzione.....	124
8.3.11.	<i>Interferenze opera-ambiente in fase di esercizio</i>	125
8.3.11.1.	Produzione ed impatto da odori	125
8.3.11.2.	Produzione ed impatto da rumore	125
8.3.11.3.	Impatto sull'ambiente idrico	126
8.3.11.4.	Percezione visiva.....	126
8.3.11.5.	Salute pubblica.....	126
8.3.12.	<i>Reimmissione in laguna delle acque depurate</i>	127
8.3.13.	CONTROLLI E MONITORAGGI	127
8.3.13.1.	Piano di monitoraggio dell'intervento.....	127
8.3.13.2.	Piano di monitoraggio delle acque sotterranee.....	129
8.3.13.3.	Piano di gestione delle acque emunte dai pozzi	130
8.3.14.	<i>Gestione dell'impianto</i>	130
8.3.15.	<i>Considerazioni conclusive</i>	132
8.3.16.	RIPRISTINO FINALE DELL'AREA	133
9.	PROGRAMMA DI ATTUAZIONE DEGLI INTERVENTI	134
10.	BIBLIOGRAFIA	136
10.1.	DOCUMENTAZIONE PREGRESSA E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	136
10.2.	ELABORATI PRESENTATI DA LAGUNA AZZURRA A SEGUITO DELLE RECENTI CAMPAGNE DI APPROFONDIMENTO CONOSCITIVO	138

TAVOLE

ADB.GEN.EG.LAV.010.01	Individuazione Aree di Competenza Pubblico -. Privato su foto aerea
ADB.GEN.EG.LAV.011.01	Planimetria dello stato di fatto e rilievo Topografico
ACA.GEN.EG.IAM.005.00	Ubicazione piezometri di controllo e monitoraggio - Traccia sezioni Litologiche
ADB.GEN.EG.LAV.012.01	Sezioni litologiche area oggetto intervento
ADB.BAC.EG.LAV.013.01	Planimetria di progetto Sezione Particolari
ADB.GEN.EG.LAV.014.01	Profilo longitudinale di infissione - trincea drenante-barriera idraulica
ADB.GEN.EG.LAV.015.01	Lay out impianto trattamento acque
ADB.GEN.EG.LAV.016.01	Prospetti
ADB.GEN.EG.LAV.017.01	Schema a blocchi
ADB.GEN.EG.LAV.018.01	P&I Impianto di trattamento

ALLEGATI

Tabulati di calcolo : Sezione A-A

Tabulati di calcolo : Sezione B-B

1. PREMESSA

Nella presente Relazione viene esposto, come richiesto dal MATTM, il progetto “barrieramento” degli acquiferi sotterranei, superficiale e profondo, finalizzato all’interruzione della migrazione dei contaminanti verso la laguna.

La progettazione prevede un intervento di bonifica dell’acquicludo superficiale mediante marginamento fisico (**paratia impermeabile di palancole**) con sistema tergale di captazione delle acque e della falda profonda mediante barriera idraulica dinamica (**pozzi di emungimento profondi**) in grado di arrestare integralmente la propagazione dei contaminanti verso la laguna.

L’intervento si completa con la progettazione e la conseguente realizzazione di un impianto di trattamento delle acque captate e la loro successiva re-immissione in laguna.

Inizialmente vengono esposti i risultati degli aggiornamenti delle indagini eseguite nel Sito di Interesse Nazionale (SIN) ex-SI.TO.CO., nel comune di Orbetello (GR), ed in un suo conveniente intorno, su richiesta di Laguna Azzurra srl, mediante:

- analisi dei dati di base inerenti l’area di intervento;
- analisi delle pregresse indagini geotecniche, in sito e di laboratorio;
- rilievo topografico di dettaglio;
- realizzazione di nuova campagna geognostica mediante esecuzione di:
 - ☞ prove penetrometriche CPTU (Cone Penetration Test con piezocono)
 - ☞ prospezioni geoelettriche per ricostruire i valori di resistività elettrica e polarizzazione indotta del sottosuolo
 - ☞ logs in fori di sondaggio con sonde natural gamma e conducibilità
- sistematizzazione dei raccolti;

che hanno consentito la ricostruzione del modello stratigrafico del sottosuolo fino alla profondità di circa 100 m dal p.d.c..

I risultati delle indagini pregresse e di nuove indagini integrative che sono state eseguite hanno inoltre consentito la stima quantitativa dei materiali da asportare nelle aree a terra ed in laguna sia nell'area ex- SI.TO.CO., sia nelle aree limitrofe di competenza sia privata sia pubblica.

Sulla base dei risultati acquisiti nel corso della suddetta ricostruzione del modello stratigrafico del sottosuolo, è stato quindi ritenuto opportuno nonché necessario integrare ulteriormente i dati disponibili sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi presenti nel sottosuolo e sulle caratteristiche idrogeologiche dell'area, con particolare riferimento:

- alle condizioni piezometriche, per definire con maggiore precisione l'andamento delle principali direzioni di deflusso delle acque superficiali e profonde, tenendo conto delle eventuali variazioni stagionali;
- alle caratteristiche idrodinamiche del livello di sabbie che è stato rilevato, al di sotto dei limi argillosi più superficiale, fino alla massima profondità di indagine dei sondaggi pari a circa 30 m dal p.d.c., mediante nuovi sondaggi ed idonee prove in sito (prove di strato);

al fine di consentire di programmare l'intervento di bonifica in maniera adeguata.

In tale ottica sono stati realizzati nuovi sondaggi che sono stati attrezzati a piezometri al fine di determinare le condizioni per procedere ad un approfondimento conoscitivo delle acque nel SIN ex-SI.TO.CO., sia per gli aspetti piezometrici, sia per gli aspetti idrodinamici sia infine per quelli ambientali, come revisione complessiva del sistema di monitoraggio e dello stato di contaminazione delle acque sotterranee, superficiali e profonde.

Premesso quanto sopra, facendo seguito a quanto emerso in sede di Conferenza di Servizi Istruttoria del 22 luglio 2009 sia in termini di osservazioni/prescrizioni che in termini di aspetti emersi nei vari interventi dei rappresentanti degli Enti nonché in relazione ai contraddittori tecnici di chiarimento con la presente vengono consegnati gli elaborati tecnico-progettuali relativamente al "*Progetto Definitivo di Bonifica dell'acquicludo superficiale mediante marginamento fisico e della falda profonda mediante barriera idraulica dinamica*".

Si precisa che, qualora sia fatto riferimento ad elaborati/documenti indicati come **doc.XX**, si tratta di relazioni integrative, comprensive dei relativi allegati, che sono state già inviate al MATTM e il cui elenco è riportato in calce alla presente Relazione (Paragrafo 10), con indicazione del Protocollo assegnato sia da Laguna Azzurra srl sia dal MATTM.

2. STORIA PREGRESSA DEL SIN

Nel 1906 la Società Prodotti Chimici Colla e Concimi inizia l'attività di produzione di colla e concimi di ossa nello stabilimento appena costruito.

Nel 1908 la Società Sbarchi Imbarchi e Trasporti costruisce il canale navigabile sulla Laguna di Ponente, per il collegamento dello stabilimento, e l'adiacente stazione ferroviaria, con il mare, in località Santa Liberata. Il naviglio, profondo circa 6 metri e piastrellato, corre nel primo tratto lungo l'abitato di Orbetello.

Nel 1919 la Società viene assorbita dalla Società Montecatini, in seguito Montedison.

Nel 1930 anche l'attività di trasporto su acqua passa alla Montecatini, con l'unità Servizio Marittimo.

Fino al 1958 il trasporto delle merci avveniva prevalentemente lungo il canale navigabile e quindi, tramite naviglio, via mare.

Nel 1958 termina il servizio sul naviglio, ed il trasporto sia di materie prime che dei prodotti finiti passa su gomma e ferrovia con la realizzazione di un binario interno allo stabilimento.

Nel 1975 la proprietà passa alla Società Si.To.Co. (Società Interconsorziale TOscana COncimi) della Federazione Italiana dei Consorzi Agrari.

Nel periodo compreso tra il 1985 e 1988 lo stabilimento passa alla Società Fertigest, sempre della Federconsorzi, per poi tornare, alla scadenza contrattuale, alla SI.TO.CO..

Nel 1990 la Società viene posta in liquidazione e, nell'anno successivo, lo stabilimento cessa completamente tutta la produzione.

Attualmente il proprietario del sito è la Società Laguna Azzurra srl che si è aggiudicata l'asta giudiziaria in seguito alla procedura di fallimento.

3. MATERIALI PRODOTTI

I materiali prodotti nei vari periodi di attività sono stati:

- colla e superfosfato d'ossa (1906 - 1919)
- superfosfato polvere (1906 - 1991)
- superfosfato granulare e concimi complessi (1954 - 1991)
- solfato di alluminio (1964 - 1971)
- criolite e fluoruro di alluminio (1954 - 1966)
- acido solforico da pirite con il sistema delle camere a piombo (? - 1982).

e sono schematizzati nella seguente **Tabella 3.1**.

Tabella 3.1 – Materiali prodotti e periodi di riferimento (estratta da Geosphaera Studio Associato, 2002)

Scarti di produzione	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Colla (1906-1919)	[REDACTED]										
Superfosfato d'ossa (1906-1919)	[REDACTED]										
Acido solforico (?-1982)		?	[REDACTED]								
Superfosfato minerale (1945-1991)	[REDACTED]										
Superfosfato granulare (1954-1991)	[REDACTED]										
Criolite e Fluoruro di Alluminio (1954-1969)	[REDACTED]										
Solfato di Alluminio (1964-1971)	[REDACTED]										
Allume potassico $KAl_2(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (1965-1971)	[REDACTED]										

Tabella 2.1.1 - Cronogramma delle attività produttive. Nella colonna a sinistra sono riportati i principali materiali di scarto lavorati nello stabilimento ex Sitoco, l'anno di produzione. Il punto interrogativo indica che la data di inizio produzione di acido solforico è incerta.

I principali scarti della lavorazione rinvenuti sul sito sono costituiti da:

- ceneri di pirite, accumulate nei terreni circostanti e nell'area lagunare contigua all'impianto e utilizzate per la realizzazione di argini fino all'altezza di circa 2 metri;
- scarti della lavorazione delle fosforiti (silice amorfa).

3.1. DESCRIZIONE DEI RIFIUTI

Per la descrizione preliminare dei rifiuti sono state utilizzate le analisi pregresse (vedi **doc.03**).

3.1.1. CENERI DI PIRITE

Classificate con codice *CER 010308 – polveri e residui affini diversi da quelli di cui alla voce 010307*, costituiscono la parte principale degli **argini** dei Bacini 1 e 2.

Tabella 3.2 - Analisi CHIMICHE

	min (%)	max (%)	
Residuo secco	73,3	81,0	
Elemento		min (mg/Kg s.s.)	max (mg/Kg s.s.)
Antimonio	Sb	16,3	20
Arsenico	As	237	265
Cadmio	Cd	10,8	17
Cobalto	Co	100	104
Cromo VI	CrVI		<1
Cromo totale	CrTot	5,3	10,2
Mercurio	Hg	1,3	1,6
Nichel	Ni	61	89
Piombo	Pb	1.880	2.220
Rame	Cu	1.810	3.360
Selenio	Se	<1	1,3
Idrocarburi	C>12		<5

3.1.2. DEPOSITI SILICEI

Il deposito degli scarti silicei, classificato con codice *CER 101003 – scorie di fusione*, costituisce la parte interna del Bacino1, con **SPESSORE** normalmente inferiore a **2 m**.

Tabella 3.3 - ANALISI CHIMICHE

	min (%)	max (%)	
Silice amorfa	34,7	47,8	
Residuo secco	38	40,1	
Elemento		min (mg/Kg s.s.)	max (mg/Kg s.s.)
Antimonio	Sb		<1
Arsenico	As		<1
Cadmio	Cd		<1
Cobalto	Co		<1
Cromo VI	CrVI		<1
Cromo totale	CrTot		<1
Mercurio	Hg		<1
Nichel	Ni	7,7	10,3
Piombo	Pb		<1
Rame	Cu	<1	5,5
Selenio	Se		<1
Idrocarburi	C>12		<5

4. SUDDIVISIONE SCHEMATICA DELLE AREE

La parte a terra del S.I.N. di Orbetello comprende l'area industriale denominata ex-SI.TO.CO., con un'estensione di circa 8,5 ha, bacini e cassa di colmata prospicienti l'area lagunare, con estensione totale di circa 13 ha., e l'area posta a Nord-Ovest degli stabilimenti, comprendente la zona della pineta, per un area totale dell'intero S.I.N. di Orbetello - ex-SI.TO.CO. pari a circa 64 ha (vedi Figura 4.1 – Corografia).

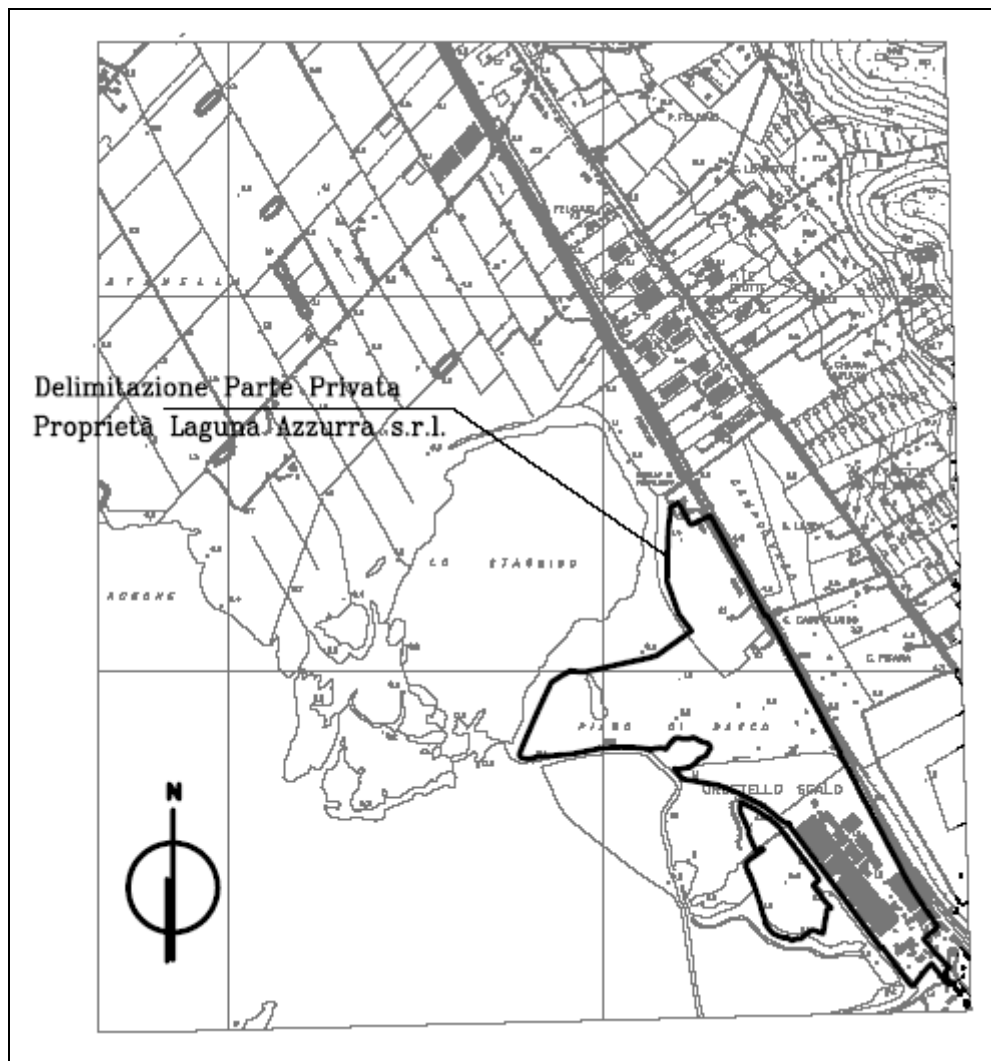


Figura 4.1 - Corografia

Per quanto attiene le successive descrizioni, l'area ex-SI.TO.CO. e le aree adiacenti, di proprietà Pubblica e Privata, nelle quali è stata sviluppata la presente indagine sono state suddivise nelle seguenti zone (vedi Figura 4.2: Planimetria aree investigate):

- Area **Bacino 1**
- Area **Bacino 2**
- Area **Rilevato Scarti Misti (RSM)** = area collocata a Est del Bacino 2
- Area **Cittadella**
- Area **Nord** = area immediatamente a Nord dell'Area Cittadella, delimitata a Nord dalla parte terminale del Fosso di Guardia
- **Fascia Ripariale** = area sul bordo settentrionale del Pian dell'Asca (cassa di colmata), oltre il canale;

mentre per quanto riguarda le aree demaniali/non censite di Proprietà PUBBLICA (vedi Figura 4.2: Planimetria aree investigate), nelle quali è stata sviluppata la presente indagine sono state suddivise nelle seguenti zone:

- Area **Pian d'Asca Sud**
- Area **B1/B2**
- Area **Canale Navigabile**
- Area **Vecchia Darsena**

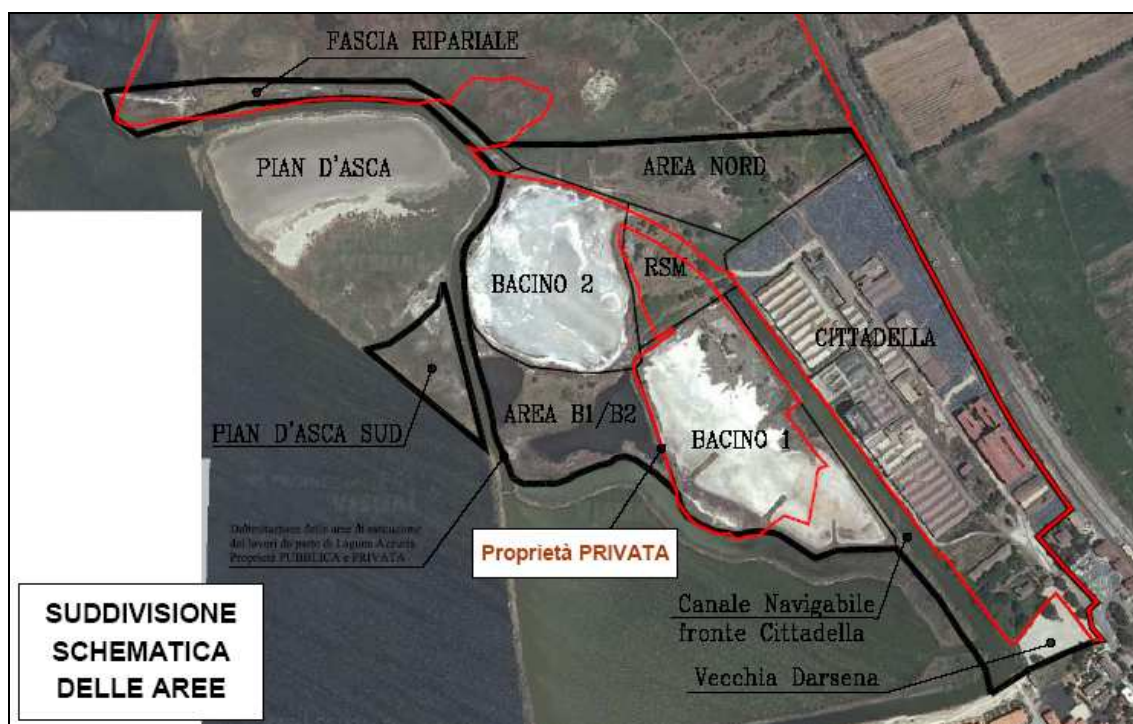


Figura 4.2 – Suddivisione schematica delle aree

5. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA VASTA

5.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La Laguna di Orbetello, posta all'estremità meridionale della Toscana, è costituita da due bacini comunicanti denominati di Ponente e di Levante, ha un'estensione complessiva di 2.525 ettari ed una profondità media di circa 1 m.

In rapporto alle dinamiche mareali, la Laguna di Orbetello deve ritenersi un complesso di stagni costieri; difatti la laguna è pressoché chiusa verso il mare ed il ricambio idrico è garantito dai canali di collegamento con il mare di Fibbia e Nassa, mentre il riciclo e la circolazione delle acque più che alle maree è dovuto allo spirare del vento.

Gli apporti dolcificanti sono relativi ai soli fossi scolmatori delle acque piovane, e al fiume Albegna, la cui foce è in prossimità di quella lagunare. D'altra parte, la portata del fiume è normalmente modesta (circa 1 m³/s in periodo estivo). Apporti dolci provenienti da polle sommerse erano stati individuati in passato soprattutto nella Laguna di Levante, all'estremo meridionale, in prossimità di Monte Argentario, e all'estremo orientale, in prossimità di Ansedonia.

La salinità varia in un range compreso tra 2,5 e 4,5 ‰. L'evaporazione è stata stimata nel corso del periodo estivo pari a circa 4 mm/giorno

Dal punto di vista morfobatimetrico l'area della Laguna di Orbetello è costituita in prevalenza da bassi fondali (il battente d'acqua supera di poco il metro, soprattutto lungo i canali scavati in laguna e la parte centrale, raggiungendo i due metri solo lungo il canale di collegamento con il mare) a debolissima pendenza (<1%), che si approfondiscono gradualmente verso Ovest (parte centrale della laguna) e bruscamente verso Sud (dove un canale artificiale, profondo pochi metri e lungo circa 2 km, la separa dal canale di scarico del depuratore e dalla terra ferma); ad Est le aree umide a terra sono interrotte dalla presenza dello stabilimento industriale ex-SI.TO.CO..

Dal punto di vista geologico-sedimentario l'area presenta una successione tipica di ambiente lagunare intercalata, in funzione delle periodiche variazioni del livello marino, a sedimenti continentali fluviali ed eolici. Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di sedimenti limo-argillosi ed argillosi ricchi in resti organogeni e torba (ambiente lacustre-palustre), di sabbie eoliche giallastre medio fini (ambiente dunale) e sabbie debolmente limose con clasti (ambiente fluviale) intercalate tra loro in un complesso rapporto stratigrafico. L'alternanza di terreni a diversa granulometria (sabbie medio fini con clasti, sabbie debolmente limose, limi sabbioso-argillosi, argille limose, argille) disposti in modo eteropico tra loro, sia in senso laterale che verticale, comporta la formazione di uno o più orizzonti acquiferi isolati od in comunicazione tra loro. L'estrema eterogeneità di questi strati sedimentari (presenza di argilla intercalata a livelli limo-sabbiosi o sabbia debolmente limosa) li rende comunque sede di una circolazione più o meno attiva ma genericamente bassa, la cui produttività è legata, oltre che all'entità degli apporti idrici, alla granulometria, spessore ed estensione areale di ogni singolo strato.

Questo ambiente, nel corso degli ultimi trenta anni, ha manifestato un considerevole incremento della eutrofizzazione, le cui cause sono state attribuite alle attività produttive (itticoltura e agricoltura) e alla immissione dei reflui civili depurati e non.

L'incremento dell'eutrofizzazione ha, nel tempo, determinato cambiamenti dell'assetto vegetazionale, sia qualitativi che quantitativi. Le fioriture (blooms) delle macroalghe sono cominciate a partire nella metà degli anni '60 e sono state periodicamente affiancate anche da sviluppi microalgali. Le frequenti crisi distrofiche e le severe condizioni ambientali che ne sono conseguite hanno inciso in maniera importante sulla qualità e quantità del prodotto pescato annualmente nella laguna di Orbetello, a partire dagli anni '80.

In seguito alla grave e prolungata crisi distrofica degli anni 1992-1993 il bacino lagunare è stato commissariato. Gli interventi sono consistiti nella raccolta delle alghe, nella riduzione degli apporti antropici, attraverso il loro confinamento in aree marginali e arginate, nella realizzazione di canalizzazioni sommerse e nell'incremento del ricambio forzato dai canali mare-laguna.

Nella Laguna di Orbetello, ad oggi, sono presenti n. 5 impianti di acquicoltura: due (*Ittima e Il Vigneto*) sversano i propri reflui nella Laguna di Levante mentre, nella Laguna di Ponente, sversano *La Rosa* in località Fibbia e la società *Orbetello Pesca Lagunare* in località Nassa e Frecciolosa. L'ultimo impianto, la *Cosa*, sversa invece i propri reflui fuori laguna in località La Tagliata. Le vasche di produzione per la maggior parte sono alimentate con acqua di falda (*Cosa, Ittima e Il Vigneto*), ma anche di laguna o di mare: tutte vengono ossigenate con ossigeno liquido per migliorare l'ambiente di allevamento. Sono prodotte esclusivamente specie eurialine, cioè adattate a forte variazioni di salinità con una netta preponderanza di *spigole e orate* rispetto alle *ombrine, i saraghi, le anguille ed i rombi*.

La Laguna di Orbetello, insieme a tutte le aree umide circostanti, riveste una grande importanza dal punto di vista naturalistico e conservazionistico. La laguna è stata infatti definita zona pSIC e ZPS (cod. IT51A0026; D.M. 25 marzo 2005, all. 3) e classificata come zona umida di interesse nazionale (cod. IT008) ai sensi della Convenzione di Ramsar del 1977. Inoltre, una propaggine della Laguna di Ponente e il tombolo sabbioso della Giannella rientrano nella Riserva Naturale Statale di Popolamento Animale della Laguna di Orbetello, gestita dal WWF Italia. Tale riserva rappresenta un importante luogo di sosta, svernamento e riproduzione di numerose specie dell'avifauna, la quale rappresenta la componente più importante del sito.

Nella parte orientale della Laguna di Ponente è presente il sito di bonifica di interesse nazionale di Orbetello, area ex-SI.TO.CO..

La morfologia dell'area oggetto di studio è caratterizzata da una zona pianeggiante con altezze massime del p.d.c. che arrivano a circa 3 metri s.l.m..

Nello stabilimento ex-SI.TO.CO. si producevano, fino al 1991, fertilizzanti granulari e scarti di lavorazione, quali acido nitrico ed acido solforico. Il processo produttivo di quest'ultimo prevedeva l'impiego di pirite, dal cui arrostitimento si producevano come prodotti di scarto ceneri di pirite ricche di impurità come metalli pesanti (arsenico, piombo e cadmio).

La perimetrazione di questo sito di bonifica comprende l'area a terra, dove sono presenti gli impianti e i depositi dismessi, e l'area lagunare ad esso prospiciente.

Gli argini del Bacino 1 sono costituiti prevalentemente da ceneri di pirite ed hanno uno spessore variabile da circa 0.50 m lato Canale Navigabile, a circa 1.5÷2.0 m sul resto del perimetro. All'interno del bacino si rileva presenza di silice con uno spessore variabile tra 1.5 e 2.0 m.

La parte dell'argine occidentale del Bacino 1, che separa i rifiuti industriali dalla laguna, è collassato (probabilmente per una tracimazione delle acque piovane che d'inverno saturano il bacino), creando un lobo di scorie allargate a ventaglio dentro l'area della laguna prospiciente gli stabilimenti.

Gli argini del Bacino 2 sono costituiti prevalentemente da materiali di riporto costituiti da ceneri di pirite e scarti misti con uno spessore massimo di 2 m circa.

Oltre all'utilizzo delle ceneri di pirite per la costruzione degli argini dei Bacini 1 e 2, le stesse ceneri, insieme ad altri prodotti di scarto, sono state utilizzate per la costruzione di strade di collegamento tra i bacini, fino all'area dello Stagnino.

5.2. STRATIGRAFIA E CENNI DI GEOLOGIA STRUTTURALE

L'area di studio è situata nell'estremità meridionale della Toscana. La morfologia è prevalentemente collinare, caratterizzata da rilievi più o meno arrotondati a seconda dei litotipi affioranti. Ad Est della Laguna di Orbetello, i sedimenti sabbiosi formano una fascia pianeggiante raccordata con il tratto meridionale della pianura dell'Albegna. Più a Sud, presso Ansedonia, litologie carbonatiche arrivano direttamente al mare dando luogo a coste alte e rocciose.

L'idrografia è praticamente assente nella zona ove affiorano i litotipi calcarei (i.e. Calcare Cavernoso), a causa dell'alta permeabilità secondaria, testimoniata dalla presenza di numerose forme carsiche (doline, inghiottitoi).

La successione delle formazioni presenti nell'area documenta la complessa storia geologica legata al sollevamento della catena appenninica e alla successiva fase distensiva. Le formazioni più antiche affioranti appartengono a quattro unità tettoniche distinte (ligure, sub-ligure, toscana non metamorfica, toscana metamorfica), sulle quali poggiano, in discordanza, i depositi neogenici continentali e marini.

Il Calcare Cavernoso (Trias sup.), costituito da una breccia ad elementi calcarei e dolomitici, è generato da processi di dissoluzione e riprecipitazione delle acque meteoriche. Al suo interno presenta notevoli variazioni di spessore con valori massimi nel settore centro-meridionale che arrivano fino a 400÷600 metri, che tendono in seguito a diminuire fino a circa 100 metri nelle zone periferiche e addirittura ad annullarsi nel settore orientale.

Al di sotto di tale formazione si trova il complesso basale rappresentato da rocce metamorfiche di origine sedimentaria (Complesso del Verrucano). La formazione

presenta una potenza di diverse centinaia di metri e costituisce l'ossatura dei Monti dell'Uccellina a Nord, e del promontorio dell'Argentario a Sud.

I terreni di copertura Neogenici occupano la parte pianeggiante dell'area vasta e testimoniano i diversi ambienti sedimentari che si sono instaurati in successione geologica.

Partendo dai termini più antichi della copertura terrigena troviamo:

- Sedimenti marini (Pliocene): costituiti prevalentemente da argille limose grigiastre sfumanti verso l'alto a livelli ciottolosi e sabbiosi. Tale formazione è presente ad una profondità intorno ai 150 metri sotto il livello del mare e costituisce il basamento della serie terrigena posta direttamente al di sopra del Calcare Cavernoso;
- Depositi alluvionali terrazzati (Pleistocene): costituiti da ciottoli eterometrici ed eterogenici. Lo spessore medio di queste coltri si aggira intorno ai 20 metri. La permeabilità (mediamente buona) varia in funzione della eterogeneità dei sedimenti;
- Sabbie pleistoceniche: fini, sciolte o debolmente cementate;
- Alluvioni recenti: costituite prevalentemente da sabbie intercalate a limo e ghiaie. Lungo il corso finale dell'Albegna, fino alla foce, le deboli pendenze dell'alveo hanno favorito la decantazione dei materiali fini trasportati in sospensione. Si ritrovano in tal modo vaste superfici con spessori localmente superiori a 10 metri di depositi alluvionali da argillosi a argilloso-limoso-sabbiosi.

5.3. IDROGEOLOGIA E IDROGRAFIA

Il Calcare Cavernoso, che affiora a scala regionale, presenta un'elevata permeabilità secondaria (principalmente per fessurazione e carsismo) che fa di questa formazione un buon acquifero, caratterizzato dall'alta produttività dei pozzi presenti nell'area. Il regime di flusso delle acque sotterranee è governato dalla grandezza e dalla distribuzione del reticolo delle fessure e fratture. Il substrato di questo acquifero è costituito da rocce filladiche triassiche ("Verrucano") a bassa permeabilità, affioranti nell'Argentario e a Nord di Capalbio.

Il complesso idrogeologico del Calcare Cavernoso è, al tetto, in diretto contatto con il complesso dei depositi terrigeni plio-quadernari che costituiscono un acquifero multistrato.

Tali sedimenti, che colmano la depressione tettonica della fascia costiera (da Talamone al promontorio di Ansedonia), sono il prodotto di diversi ambienti deposizionali. La loro estrema eteropia di facies ha portato alla formazione di questo acquifero multistrato con zone più o meno estese caratterizzate da confinamento.

Le direzioni di flusso a livello regionale dell'acquifero multistrato mostrano, in generale, un andamento della falda che dalle zone pedemontane va in direzione della laguna, ovvero del mare, ricettori ultimi del corpo idrico principale.

L'idrografia è caratterizzata dalla presenza di un fosso di guardia che borda il sito

industriale ex-SI.TO.CO. lungo il settore Nord-Est per poi arrivare, attraverso un brusco cambio di direzione, alla laguna, lungo il lato Nord-Ovest dell'ex area industriale. Il canale di guardia riceve le acque che provengono da monte, in particolare dal settore sud-orientale, dove diversi canali di raccolta delle acque bianche sono collettati al fosso di guardia.

6. GEOLOGIA E STRATIGRAFIA LOCALE

6.1. INDAGINE INTEGRATIVA FEBBRAIO 2009

L'assetto stratigrafico del sito è stato ricostruito attraverso l'interpretazione delle indagini geognostiche in sito e di laboratorio effettuate durante le campagne di caratterizzazione pregresse e della nuova campagna di indagine commissionata da Laguna Azzurra srl nel mese di Febbraio 2009 (vedi **doc.01**); in particolare sono stati esaminati i dati di:

- n. 141 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, aventi profondità comprese tra 6 e 30 m dal p.d.c., nel corso dei quali sono stati prelevati n. 21 campioni indisturbati di terreno che sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio geotecnico per la determinazione dei seguenti parametri caratteristici (Earth srl, 2005.b):
 - ☞ peso di volume
 - ☞ contenuto naturale d'acqua
 - ☞ porosità e indice dei vuoti
 - ☞ analisi granulometrica mediante setacciatura e sedimentazione
 - ☞ limite liquido e limite plastico
 - ☞ permeabilità
 - ☞ prove di taglio diretto
 - ☞ prove di taglio ad espansione laterale libera
- n. 18 prove penetrometriche CPTU (Cone Penetration Test con piezocono), delle quali n. 6 nel corso delle indagini pregresse (Earth srl, 2005.b) e n. 12 nel corso della nuova campagna di indagine commissionata da Laguna Azzurra srl nel mese di Febbraio 2009, che sono state nuovamente elaborate da questo Studio Professionale mediante software specifico finalizzato alla valutazione delle caratteristiche granulometriche dei terreni attraversati
- nel corso delle prove penetrometriche CPTU, in corrispondenza dei livelli coesivi sono state eseguite n. 20 prove di dissipazione, delle quali n. 4 nel corso delle indagini pregresse (Earth srl, 2005.b) e n. 16 nel corso della nuova campagna di indagine commissionata da Laguna Azzurra srl nel mese di Febbraio 2009, utilizzando il piezocono (punta elettrica dotata di sensore piezometrico) per la misura delle sovrappressioni interstiziali durante l'infissione e la valutazione, tramite la velocità di dissipazione delle stesse, dei parametri di compressibilità e permeabilità dei terreni;
- n. 31 prospezioni geoelettriche realizzate mediante stendimenti multi elettrodi lungo sezioni continue, delle quali n. 2 nel corso delle indagini pregresse (SO.IN.G. srl, 2006) e n. 12 nel corso della nuova campagna di indagine commissionata da Laguna Azzurra srl nel mese di Febbraio 2009, per ricostruire i valori dei parametri di resistività elettrica e polarizzazione indotta del sottosuolo fino alla profondità di circa 50 m dal p.d.c.

- n. 12 logs in corrispondenza dei fori di sondaggio dei piezometri esistenti per la misura della radioattività naturale emessa dai vari strati di suolo in funzione della loro composizione mineralogica e la loro risposta elettrica di conducibilità al fine di ricavarne una ricostruzione lito-stratigrafica di dettaglio con discriminazione dei livelli coesivi (impermeabili) da quelli non coesivi (granulari)

Preliminarmente all'indagine di campagna, e nel corso della stessa, è stato eseguito, dallo Studio Tecnico Geom. Alessandrini, un rilevamento topografico di dettaglio dell'intera area, rimontata su base CTR calibrata e georeferenziata, sia in formato raster che in formato vettoriale numerico.

Su tale base sono stati rilevati:

- i punti Fiduciali, da utilizzare per la rototraslazione in coordinate Cassini-Soldner, per l'inquadramento dei rilievi sulle basi catastali;
- i punti IGM, da utilizzare per la rototraslazione in coordinate Gauss-Boaga, per l'inquadramento dei rilievi sulle basi della Carta Tecnica Regionale;
- i punti di dettaglio relativi a vari spigoli dei fabbricati esistenti nella proprietà, al fine di poter verificare la loro corretta posizione, sia in relazione alle mappe catastali che alle C.T.R.;
- vari punti di dettaglio dell'andamento del terreno di proprietà, per creare un modello matematico da utilizzare per piante e sezioni, sia di studio che di progetto;
- punti di interesse presenti nel terreno, quali pozzi, sondaggi, piezometri, bacini, e quant'altro si è ritenuto necessario a dare informazioni utili;

ed in particolare tutti i punti delle indagini pregresse e della nuova campagna di indagine commissionata da Laguna Azzurra srl nel mese di Febbraio 2009.

Quindi tutti i rilievi eseguiti recentemente o di cui si avevano a disposizione dei file GPS grezzi, sono stato ricalibrati con il sito locale creato; per i rilievi di cui si disponeva di file di diverso tipo (meridiana, leonardo, etc), sono stati individuati punti di coincidenza tra i vecchi ed i nuovi rilievi, ed eseguita una calibrazione forzata su tali punti; laddove si aveva a disposizione solo l'informazione cartacea, si è cercato di uniformare le quote, con il metodo del raffronto dei punti limitrofi, con mediazione grafica, e ricorretti manualmente i punti, sia planimetricamente che altimetricamente.

Tutto il lavoro eseguito è stato poi riportato e sovrapposto nel file, su base CTR numerica, utilizzato per l'elaborazione d.

6.2. DESCRIZIONE DELLE SEZIONI LITOLOGICHE

Complessivamente sono state ricostruite n. 7 sezioni litologiche, ed in particolare (vedi **doc.01 – doc.02 – doc.04**):

- n. 4 sezioni litologiche orientate circa NW-SE (L1-L2-L3-L4)
- n. 3 sezioni litologiche orientate circa SW-NE (T1-T2-T3)

In particolare (vedi **doc.01 e Tavola ADB.GEN.EG.LAV.012.01**):

- a) la sezione litologica L1 è stata posizionata in modo da definire le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi posti *a monte* (in senso idrogeologico) di tutta l'area di potenziale intervento
- b) la sezione litologica L2 è stata posizionata in corrispondenza del previsto marginamento *di valle* della falda in modo da definire nel dettaglio le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi presenti nel sottosuolo dell'area di intervento, ed è stata prolungata verso Ovest per approfondire la conoscenza del substrato della Fascia Ripariale
- c) la sezione litologica L3 è stata posizionata in modo da definire nel dettaglio le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi presenti nel sottosuolo dell'area occupata dal Rilevato Scarti Misti e dall'argine *lato laguna* del Bacino 1
- d) la sezione litologica L4 è stata posizionata in modo da definire nel dettaglio le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi presenti nel sottosuolo dall'argine *lato laguna* del Bacino 2
- e) le sezioni litologiche T1-T2-T3 sono state posizionate in modo da definire nel dettaglio le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi presenti nel sottosuolo dell'Area Cittadella

In particolare, le Sezioni Litologiche presentate sono state fornite evidenziando con idonea scala cromatica, analoga a quella utilizzata per la restituzione dei dati dell'indagine Geoelettrica (vedi **doc.01** - Allegato 1), i diversi litotipi presenti nel sottosuolo dell'area indagata.

Nel dettaglio, i litotipi caratterizzati da granulometrie fini (argille limose) sono stati evidenziati con colorazione di piccola lunghezza d'onda (azzurro) mentre i litotipi caratterizzati da granulometrie via via più grossolane (limi argillosi – limi sabbiosi – sabbie limose) sono stati evidenziati con colorazioni di lunghezza d'onda crescente (verde-giallo-arancio), fino ai litotipi francamente sabbiosi che sono stati evidenziati in rosso.

L'esame delle sezioni evidenzia, procedendo dall'alto verso il basso, i seguenti orizzonti stratigrafici (per facilitare la comprensione di quanto illustrato viene mostrata in Figura 6.1 la Sezione Litologica T2, trasversale all'area Cittadella).

Litotipo 1 (non evidenziato nelle sezioni)

Coltre superficiale costituita da terreni di riporto, ceneri di pirite, etcc..., avente spessore variabile tra 2 e 3 m dal p.d.c., non evidenziata nelle sezioni.

SEZIONE LITOLOGICA SCHEMATICA T2

Scala orizz. 1:2.000

Scala vert. 1:200

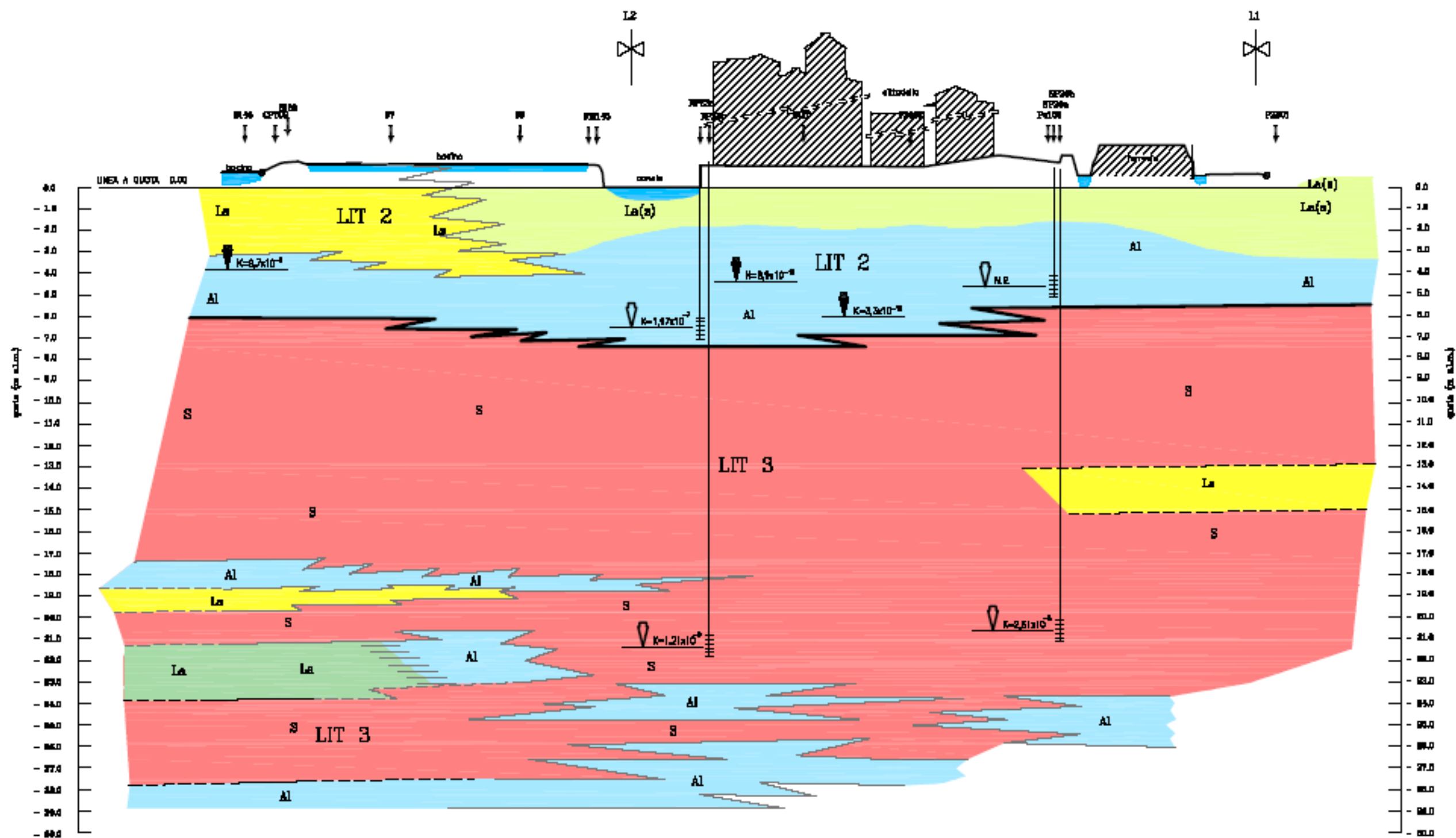


Figura 6.1

Litotipo 2

Livello avente la base ad una profondità media di 8 m dal p.d.c., normalmente costituito nella sua parte superiore da limi argillosi (localmente sabbiosi) che passano ad argille limose alla base dello strato.

Il Litotipo 2 mostra buona continuità stratigrafica laterale; le maggiori profondità dei depositi argilloso-limosi vengono raggiunte nell'angolo S-E dell'area indagata, in corrispondenza della Sezione T3, dove le argille limose raggiungono la profondità di circa 10÷11 m dal p.d.c.. La continuità laterale del deposito, evidenziata anche nelle Sezioni T2 e T1 (trasversali alla linea di costa), fa ritenere che si tratti di depositi argillosi retro-dunali.

All'interno del Litotipo 2 sono presenti lenti di sabbie, rare nella zona più continentale (Sezione L1) ma che divengono sempre più consistenti, fino a prevalenti, nel tratto più occidentale della Sezione L2 (Fascia Ripariale) che si protende nella laguna.

Litotipo 3

Al di sotto del livello limo-argilloso più superficiale è stato rinvenuto un livello di sabbie (localmente limose, in alcune zone cementate) che sono state rilevate fino alla massima profondità di indagine dei sondaggi (30 m dal p.d.c.).

All'interno del Litotipo 3 sono presenti:

- rare lenti di limi sabbiosi, nella fascia tra 13-16 m dal p.d.c.;
- lenti di argille limose e limi argillosi poste a profondità maggiori, normalmente variabili tra i 18 e i 26 m dal p.d.c, ma rinvenute anche alla profondità di 30 m dal p.d.c..

Le lenti rinvenute non mostrano carattere di continuità laterale e, come evidenziato dall'indagine geoelettrica, il Litotipo 3 mantiene, in tutte le sezioni di indagine, la continuità orizzontale e verticale delle proprie caratteristiche granulometriche e si presenta costituito da materiali resistivi (sabbie, sabbie limose, etcc...) fino alla massima profondità di indagine (circa 50 m dal p.d.c.); in particolare, all'interno del Litotipo 3 non è stata rilevata la presenza di alcun livello lateralmente continuo avente buona conduttività (argille limose e/o limi argillosi).

Litotipi 4 e 5 (non evidenziati nelle sezioni)

I litotipi suddetti, di ambiente marino, giacciono con continuità sopra i sottostanti Depositi quaternari (Litotipo 4), costituiti dai ciottoli eterometrici ed eterogenici dei Depositi alluvionali terrazzati (Pleistocene) e dalle Sabbie pleistoceniche fini, sciolte o debolmente cementate (vedi Figura 6.2).

Sotto di essi è stata rilevata, nel corso di precedenti indagini, la formazione triassica del Calcare Cavernoso (Litotipo 5), costituita da alternanze di calcari dolomitici e gessi, di aspetto vacuolare e brecciato.

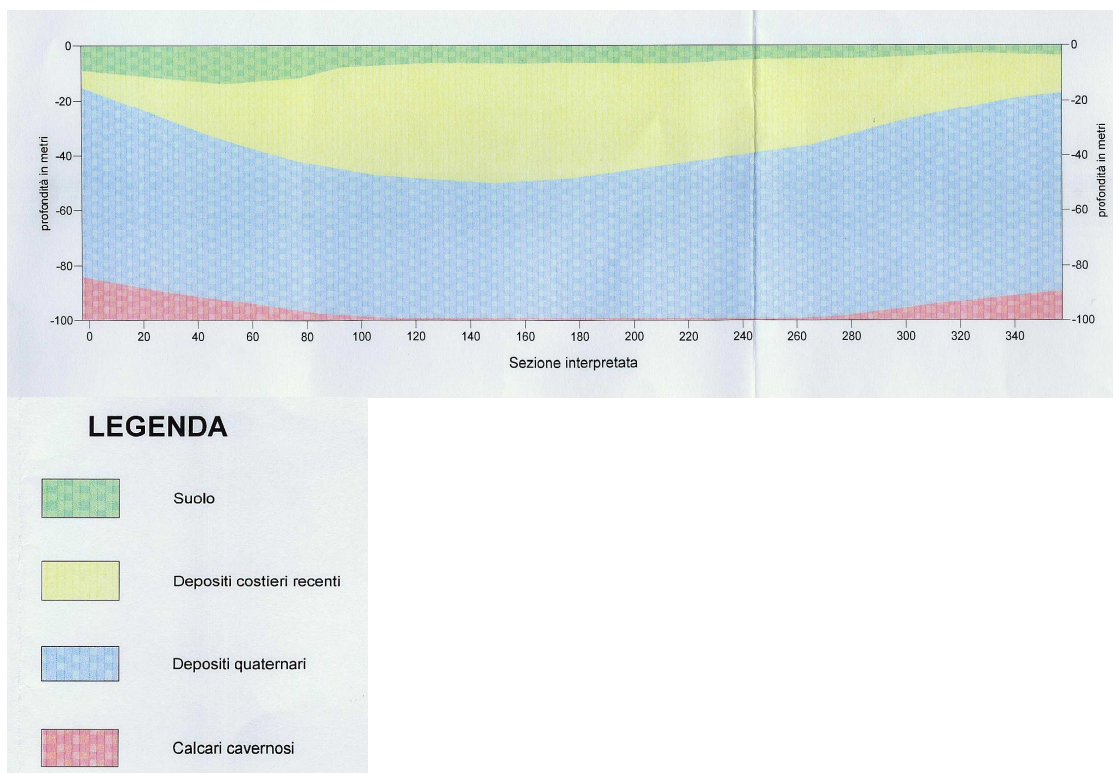


Figura 6.2 – Indagine sismica a rifrazione eseguita nell’area a SW di Podere Campolungo (estratta da IdroGeo Service srl, 2005).

Il tetto della formazione calcarea è stato rilevato, nel corso di precedenti indagini, alla profondità di circa 100 m nell’area a SW di Podere Campolungo, come risulta dalla sezione schematica riportata in Figura 6.2.

In relazione a quanto sopra e alle osservazioni del MATTM, si precisa che i risultati delle indagini di Laguna Azzurra e quelli Sogesid, tra i quali sono intercorse una serie di riunioni di confronto, risultano tra loro congruenti ed in particolare risulta che lo strato impermeabile, a circa 25 m di profondità sotto Pian dell’Asca e l’area ex-Sitoco, ipotizzato precedentemente sulla base delle campagne di indagine pregresse, non ha caratteristiche di continuità laterale ed addirittura, nella parte Nord-Occidentale delle aree indagate (Pian dell’Asca), al di sotto del primo strato argilloso (Litotipo 2) sono stati rilevati solamente litotipi sabbioso-limosi fino alla massima profondità di indagine (circa 30 m dal p.d.c.).

7. IDROGEOLOGIA LOCALE

La ricostruzione del Modello Stratigrafico dell'area eseguita sulla base dei risultati dell'indagine integrativa in sito eseguita nel mese di Febbraio 2009 ha permesso di verificare:

- la presenza di una successione tipica di ambiente lagunare intercalata, in funzione delle variazioni del livello marino e dell'apporto terrigeno, a materiali continentali fluviali ed eolici;
- che, al di sotto della coltre superficiale costituita da terreni di riporto, ceneri di pirite, etc... (Litotipo 1), avente spessore variabile tra 2 e 3 m dal p.d.c., è presente un orizzonte stratigrafico, avente la base ad una profondità media di 8 m dal p.d.c., normalmente costituito nella sua parte superiore da limi argillosi (localmente sabbiosi) che passano ad argille limose alla base dello strato (Litotipo 2);
- che, al di sotto del Litotipo 2, sono presenti sabbie, localmente limose, in alcune zone cementate (Litotipo 3), che sono state rilevate fino alla massima profondità di indagine dei sondaggi (30 m dal p.d.c.). All'interno del Litotipo 3 sono presenti:
 - ☞ rare lenti di limi sabbiosi, nella fascia tra 13-16 m dal p.d.c.;
 - ☞ lenti di argille limose e limi argillosi poste a profondità maggiori, normalmente variabili tra i 18 e i 26 m dal p.d.c, ma rinvenute anche alla profondità di 30 m dal p.d.c..
- che le lenti rinvenute all'interno del Litotipo 3, non mostrano carattere di continuità laterale;
- che i suddetti litotipi, di ambiente marino, giacciono con continuità sopra i sottostanti depositi quaternari (Litotipo 4), costituiti dai ciottoli eterometrici ed eterogenici dei Depositi alluvionali terrazzati (Pleistocene) e dalle Sabbie pleistoceniche fini, sciolte o debolmente cementate; ancora sotto di essi è stata rilevata, nel corso di precedenti indagini, la formazione triassica del Calcarea Cavernoso (Litotipo 5), costituita da alternanze di calcari dolomitici e gessi, di aspetto vacuolare e brecciato. Il tetto della formazione calcarea è stato rilevato, nel corso di precedenti indagini, alla profondità di circa 100 m nell'area a SW di Podere Campolungo.

7.1. PERMEABILITA' DEI TERRENI INDAGATI – INDAGINI PREGRESSE

Nel corso delle varie campagne di indagini geognostiche sono state eseguite determinazioni sperimentali della permeabilità, sia mediante prove di laboratorio (prove con permeometro a carico variabile) sia in sito (prove di dissipazione con piezocono).

In conclusione, l'esame combinato delle stratigrafie ricavate dai sondaggi geognostici e dalle prove eseguite con piezocono e dilatometro, unitamente alle determinazioni di permeabilità sopra esposte indica, al disotto di uno spessore variabile di materiali di riporto (Litotipo 1), un ambiente caratterizzato in estrema sintesi da un livello superficiale (Litotipo 2) sostanzialmente argilloso-limoso e/o limoso-argilloso, con base posta ad una profondità compresa fra un minimo di circa m -5 m s.l.m. nella porzione

Nord-Ovest dell'area indagata (Area Impianti), e ad un massimo di circa -10 m s.l.m. nella porzione Sud-Est dell'area indagata.

Localmente questo livello contiene modesti orizzonti irregolari di materiale granulare (generalmente al massimo decimetrici) che possono presentare una certa permeabilità, ma i dati disponibili indicano un loro confinamento all'interno dei livelli argillosi, con conseguente ostacolo alla circolazione idrica.

L'indagine geognostica di dettaglio ha quindi consentito di verificare un valore di permeabilità medio dei litotipi (argille limose e/o limi argillosi) presenti al di sotto dei materiali di riporto pari a circa $2 \cdot 10^{-9}$ m/sec.

7.2. ESECUZIONE DELLA NUOVA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO AMBIENTALE – MARZO 2009

Per procedere ad un *approfondimento conoscitivo dello stato di contaminazione della falda sotterranea*, ciò anche come revisione complessiva del sistema di monitoraggio delle acque sotterranee, sia per gli aspetti piezometrici sia per quelli ambientali, è stato realizzato un duplice allineamento di piezometri di controllo dei quali (vedi **doc.04** e Figura 7.1):

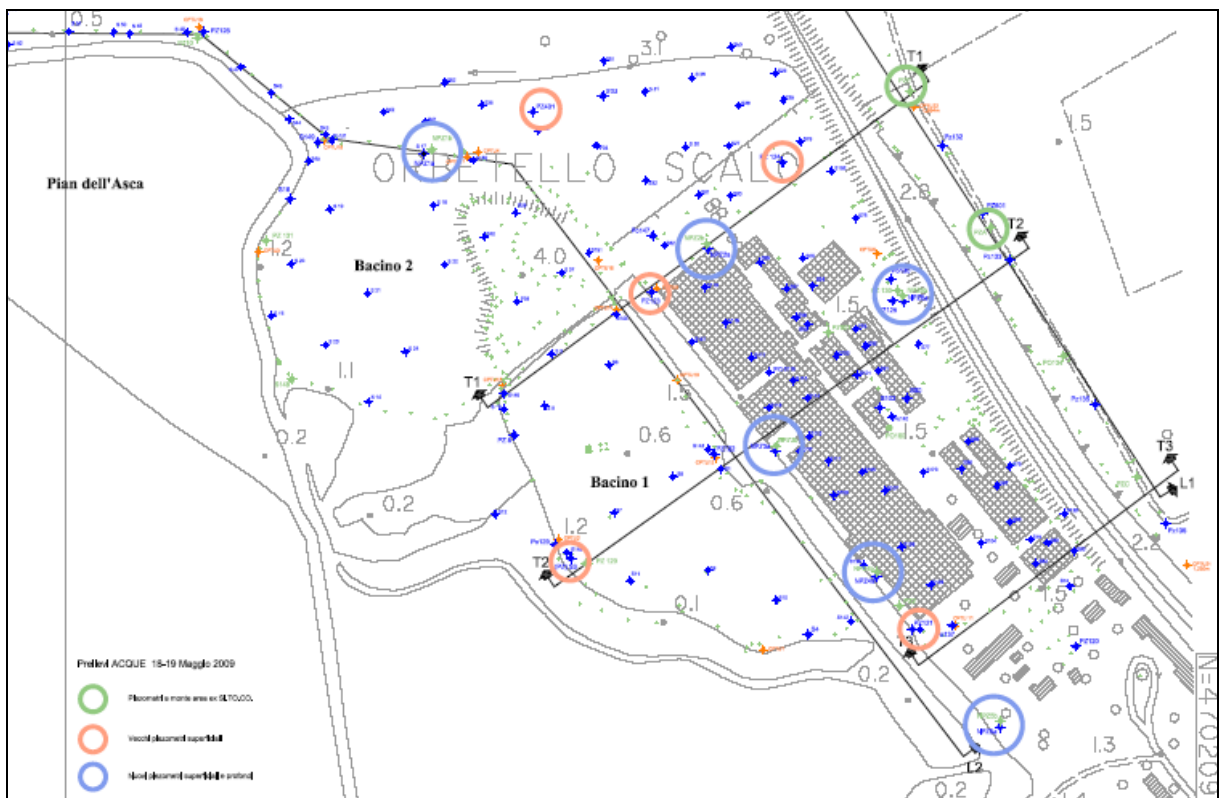


Figura 7.1 – Posizione dei piezometri della nuova campagna di monitoraggio del Marzo 2009

- i 6 più superficiali (nPZ 1a-2a-3a-4a-5a-6a) destinati al controllo della falda contenuta nei litotipi argillosi più superficiali;

- i 6 più profondi (nPZ 1b-2b-3b-4b-5b-6b) destinati al controllo della falda nei sottostanti litotipi sabbiosi.

Per garantire la tenuta e non avere eventuali drenaggi dai livelli superiori, le tubazioni dei piezometri sono state realizzate con tubazioni giuntate mediante filettature.

7.2.1. VERIFICA DEL MODELLO LITO-STRATIGRAFICO DELL'AREA

Come richiesto dal MATTM, alcuni dei sondaggi da eseguire per la realizzazione dei piezometri profondi sono stati spinti ad una profondità maggiore di quella originariamente prevista; in particolare i sondaggi per la realizzazione dei piezometri nPZ2.b e nPZ3.b sono spinti rispettivamente ad una profondità di 30 e di 33 m dal p.d.c. (vedi **doc.04**).

I risultati della nuova campagna di indagine hanno permesso di confermare il modello lito-stratigrafico già presentato e di verificare:

- la presenza, al di sotto della coltre superficiale di origine antropica costituita da **materiali di riporto, ceneri di pirite, etc...** (**Litotipo 1 – non evidenziato nelle sezioni**), avente spessore variabile, di una successione tipica di ambiente lagunare intercalata, in funzione delle variazioni del livello marino e dell'apporto terrigeno, a materiali continentali fluviali ed eolici;
- che il primo orizzonte stratigrafico della successione di ambiente lagunare presente al di sotto della coltre superficiale di origine antropica ha la sua base ad una profondità media di 8 m dal p.d.c. ed è normalmente costituito nella sua parte superiore da **limi argillosi (localmente sabbiosi) che passano ad argille limose alla base dello strato (Litotipo 2)**. Localmente questo livello contiene modesti orizzonti irregolari di materiali granulari che possono presentare una certa permeabilità, ma i dati disponibili indicano un loro confinamento all'interno dei livelli argillosi, con conseguente ostacolo alla circolazione idrica;
- che al di sotto del Litotipo 2 sono presenti **sabbie, localmente limose, in alcune zone cementate (Litotipo 3)**, che sono state rilevate fino alla massima profondità di indagine dei sondaggi (33 m dal p.d.c.) e al cui interno sono presenti **rare lenti di limi sabbiosi e lenti di argille limose e limi argillosi che non mostrano carattere di continuità laterale**.

7.3. POSIZIONAMENTO DEL FILTRO NEI NUOVI PIEZOMETRI PROFONDI

Tenuto conto, come richiesto dal MATTM, della notevole profondità alla quale sono stati spinti alcuni dei sondaggi profondi, e tenuto conto che la funzione principale dei nuovi piezometri profondi sarà quella di evidenziare o meno la contaminazione dell'acquifero "multistrato" contenuto nel Litotipo 3 (sabbie, localmente limose, in alcune zone cementate, con rare lenti di limi sabbiosi e lenti di argille limose e limi

argillosi), come discusso con ARPAT i filtri di intercettazione delle acque profonde non sono stati posti alla base dei sondaggi, ma bensì al di sopra della fascia in corrispondenza della quale è stata rinvenuta la maggiore presenza delle suddette lenti limo-argillose in modo da avere il minimo ostacolo e/o disturbo nella possibilità di evidenziare l'eventuale contaminazione dell'acquifero "multistrato" (vedi **doc.04**).

NPZ	Profondità Filtro (m)	Possibilità di campionamento	Note
1A	3.50-4.50	Statico	Il piezometro dopo lo spurgo non ha ripreso il livello iniziale di 1.46 m da p. c. dopo 48 ore mostrando un livello di 2.86 m dal p. c.
1B	17.00-18.00	Dinamico	Il piezometro è stato sottoposto a prova di pompaggio e il livello si stabilizza almeno fino alla portata di 13.32 l min ⁻¹ (0.22 l s ⁻¹); con questa portata (e ovviamente con portata inferiore) si può pompare continuamente. Il pozzo recupera l'87.60 % del livello raggiunto col pompaggio (16.20 m) in 10 min
2A	4.50-5.50	Statico	Il piezometro dopo lo spurgo non ha ripreso il livello iniziale di 2.45 m da p. c. dopo 48 ore mostrando un livello di 4.73 m dal p. c.
2B	19.50-20.50	Dinamico	Il piezometro è stato sottoposto a prova di pompaggio, ma seppur con una portata molto bassa pari a 3.01 l min ⁻¹ (0.06 l s ⁻¹) il livello non si stabilizza; è stato comunque possibile pomparci per almeno 60 min per un totale di 216.60 l con un livello dinamico di 10.87 m. Il pozzo recupera il 65.20 % del livello raggiunto col pompaggio (10.87 m) in 30 min e l'86% in 60 min
3A	7.00-8.00	Statico	Il piezometro aveva un livello prima dello spurgo di 0.58 m da p. c., dopo lo spurgo e trascorse 48 ore mostrava un livello di 2.12 m dal p. c. mostrando di non aver recuperato il livello
3B	22.00-23.00	Dinamico	Il piezometro è stato sottoposto a prova di pompaggio e il livello si stabilizza almeno fino alla portata di 5.66 l min ⁻¹ (0.09 l s ⁻¹); con questa portata (e ovviamente con portata inferiore) si può pompare continuamente. Con portata di 10 l min ⁻¹ il livello non si stabilizza, ma dopo 40 min il livello dinamico era a soli 4.80 m dal p. c.. Il pozzo recupera il 67.82 % del livello raggiunto col pompaggio (4.80 m) in 5 min
4A	8.00-9.00	Statico	Il piezometro riesce a ristabilire il livello statico, ma molto lentamente. Partendo da un livello dinamico di 8.30 m recupera il 19.88 % in 30 min e il 63.98 % in 1 h 15'. La portata stimata è di 0.36 l min ⁻¹ per il massimo abbassamento.
4B	20.00-21.00	Dinamico	Il piezometro è stato sottoposto a prova di pompaggio e il livello mostra una sufficiente stabilizzazione per una portata di 68.00 l min ⁻¹ (1.13 l s ⁻¹); con questa portata (e ovviamente con portata inferiore) si può pompare continuamente. Il pozzo recupera il 91.60 % del livello raggiunto col pompaggio (10.56 m) in 20 min
5A	8.00-9.00	Statico	Il piezometro prima dello spurgo aveva un livello iniziale di 1.19 m da p. c.; dopo 48 ore aveva un livello di 5.92 m dal p. c. mostrando di non aver recuperato il livello
5B	22.50-23.50	Dinamico	Il piezometro è stato sottoposto a prova di pompaggio e il livello mostra una stabilizzazione per una portata di 25.00 l min ⁻¹ (0.42 l s ⁻¹); con questa portata (e ovviamente con portata inferiore) si può pompare continuamente. Il pozzo recupera il 93.00 % del livello raggiunto col pompaggio (7.50 m) in 15 min
6A	5.00-6.00	Statico	Il piezometro prima dello spurgo aveva un livello iniziale di 0.84 m da p. c.; dopo 48 ore aveva un livello di 5.36 m dal p. c. mostrando di non aver recuperato il livello
6B	21.00-22.00	Dinamico	Il piezometro è stato sottoposto a prova di pompaggio e il livello mostra una stabilizzazione per una portata di 10.32 l min ⁻¹ (0.17 l s ⁻¹); con questa portata (e ovviamente con portata inferiore) si può pompare continuamente. Il pozzo recupera l'87.00 % del livello raggiunto col pompaggio (6.43 m) in 20 min

Tabella 7.1 : Posizione dei filtri nei nuovi piezometri e note preliminari circa le ottimali modalità di campionamento

7.4. PUNTI DI CAMPIONAMENTO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Nel dettaglio, sono stati eseguiti campionamenti di acque profonde nei seguenti punti di monitoraggio (vedi **doc.04**):

- nei vecchi piezometri superficiali PZ401 – **PZE** (ex FN1) – PZ124 – PZ123 – **PZA** (in luogo di PZ601) – PZ3 – PZ121;
- nei nuovi piezometri superficiali nPZ 1a-2a-3a-4a-5a-6a;
- nei nuovi piezometri profondi nPZ 1b-2b-3b-4b-5b-6b.

L'acqua dei piezometri siglati con la lettera **b** (profondi di nuova costruzione) è stata prelevata mediante campionamento dinamico utilizzando una pompa sommersa. La pompa è stata pulita dopo ogni campionamento con detergente ALCONOX e avvinata con acqua da campionare.

L'acqua dei piezometri siglati con la lettera **a** (superficiali di nuova costruzione) è stata prelevata mediante campionamento statico a causa della scarsità degli acquiferi, utilizzando bailer monouso in PVC.

In accordo con i tecnici ARPAT è stato prelevato un ulteriore campione dal pozzo per uso antincendio ubicato circa al centro della Cittadella, siglato **PO160**, in funzione della futura validazione del fondo naturale.

Su tale campione oltre ai parametri già concordati è stato deciso di analizzare anche i parametri sotto indicati:

Bicarbonati, Sodio, Potassio, Silice, Selenio, Calcio, Magnesio, Solfati, Cloruri, Nitrati.

In totale, la campagna di monitoraggio delle acque ha interessato **20 punti di campionamento**.

7.5. REALIZZAZIONE DI PROVE DI STRATO

La realizzazione dei nuovi piezometri profondi ha costituito occasione di controllo delle caratteristiche idrodinamiche del Litotipo 3, livello di sabbie che è stato rilevato al di sotto del livello limo-argilloso più superficiale; nel corso della perforazione dei piezometri profondi sono quindi state realizzate idonee prove in sito (prove di strato) per la caratterizzazione idrodinamica del Litotipo 3.

Come richiesto da ARPAT, la valutazione delle caratteristiche idrodinamiche dei terreni presenti nel sottosuolo è stata eseguita anche nei nuovi piezometri superficiali (nPZ1a÷6a) per valutarne la produttività al fine della corretta impostazione della futura modalità di campionamento (statica o dinamica a bassa portata).

7.6. CARATTERISTICHE PIEZOMETRICHE

Nel corso dell'indagine integrativa ambientale è proseguita la campagna di monitoraggio piezometrico finalizzata a definire con maggiore precisione l'andamento delle principali direzioni di deflusso delle acque superficiali e profonde nelle varie fasi stagionali.

I modelli dell'andamento dell'acquifero superficiale e della falda profonda dell'area ex-SI.TO.CO. sono stati elaborati con software SURFER utilizzando il metodo KRIGING di interpolazione.

7.6.1. ACQUIFERO SUPERFICIALE

L'andamento delle isopieze della falda superficiale nella zona indagata, rilevata in data 18-05-2009, successivamente alle operazioni di spurgo dei nuovi piezometri NPZ eseguite in data 15-05-2009, ha mostrato una serie evidente di anomalie in corrispondenza dei piezometri NPZ.2.a – NPZ.5.a – NPZ.6.a (vedi **doc.04**).

Tale situazione è stata messa in correlazione con la mancanza di una vera e propria “falda superficiale”; i livelli piezometrici normalmente rilevati sono infatti da mettere in connessione con le condizioni di saturazione dei litotipi più superficiali e con il ristagno delle acque meteoriche di infiltrazione al contatto tra i limi argillosi più superficiali e le sottostanti argille limose, caratterizzate da bassi valori di conducibilità idraulica.

Si evidenzia quindi, nell'area in oggetto, la mancanza di una vera e propria “falda superficiale” in quanto si rileva l'incapacità delle acque di muoversi liberamente a causa dei valori estremamente bassi dei limi argillosi più superficiali e delle sottostanti argille limose, caratterizzate da bassi valori di conducibilità idraulica.

Per tale motivo, per avere informazioni più attendibili sulle caratteristiche piezometriche del primo acquifero, i dati rilevati in data 18-05-2009 sono stati depurati sia dei nuovi piezometri superficiali sia di 2 vecchi piezometri (PZ90 e S67) sui quali non vi è certezza circa l'acquifero effettivamente intercettato, ottenendo l'andamento delle isopieze riportato in Figura 7.2.

L'esame di Figura 7.2 evidenzia la presenza di un acquifero superficiale non confinato (acquicludo), con gradiente idraulico pari a circa 5,7/1000 e direzione da Nord-Est verso Sud-Ovest.

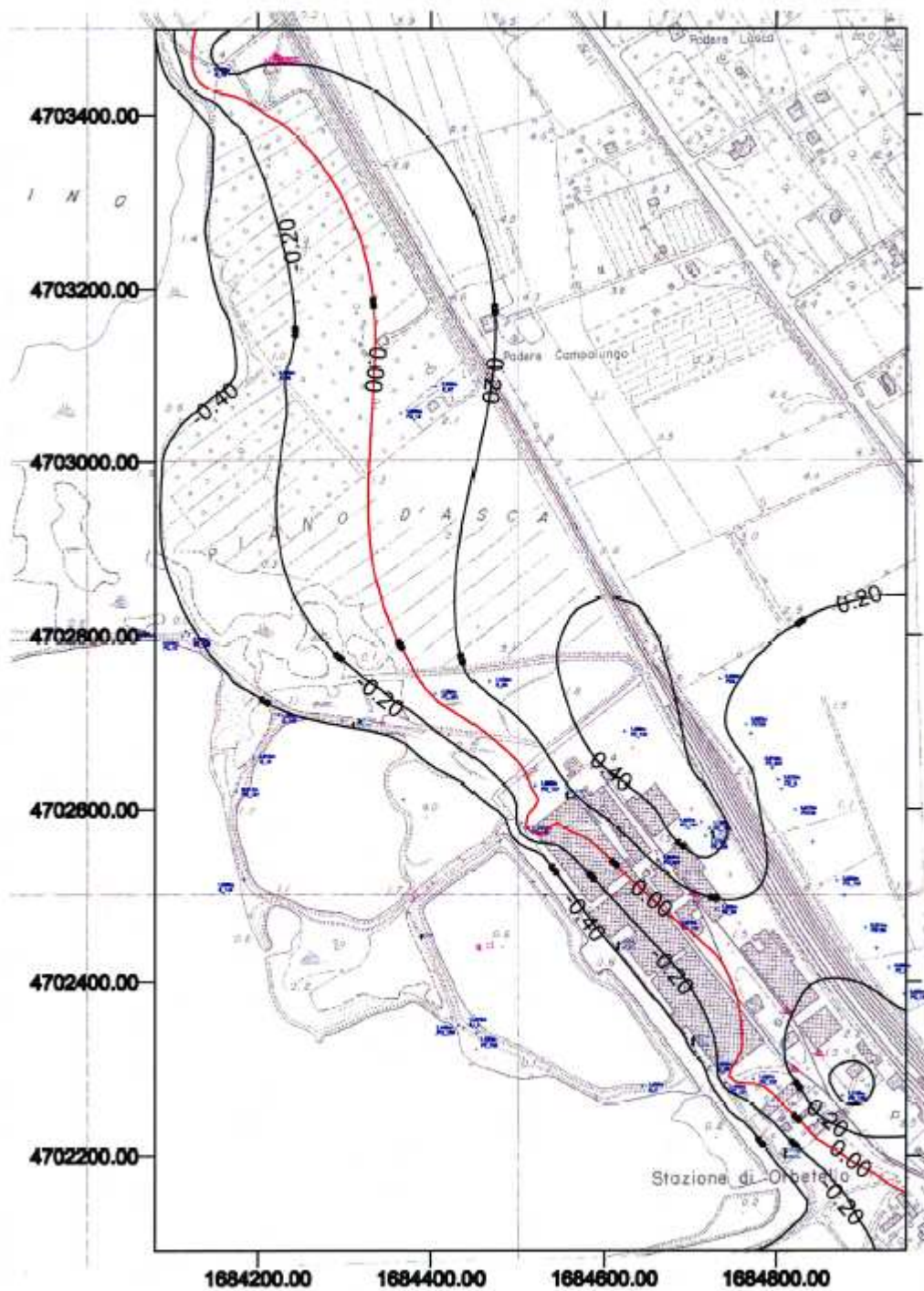


Figura 7.2 – Isopieze del PRIMO ACQUIFERO – 18 maggio 2009. Depurate dei nuovi piezometri superficiali e di 2 vecchi piezometri (PZ90 e S67) sui quali non si hanno dati certi circa l'acquifero intercettato.

7.6.2. FALDA PROFONDA

Per quanto attiene invece la falda presente del Litotipo 3, costituito prevalentemente da litotipi sabbiosi fino alla massima profondità di indagine (circa 50 m dal p.d.c.) e che, dal punto di vista idrogeologico costituisce, insieme ai litotipi 4 e 5 (depositi quaternari costituiti da ciottoli eterometrici ed eterogenici, depositi alluvionali terrazzati, sabbie fini, sciolte o debolmente cementate, formazione triassica del Calcere Cavernoso costituita da alternanze di calcari dolomitici e gessi) un acquifero “multistrato”, tipico di successioni marine quali quella rilevata, nelle quali terreni a diversa granulometria si dispongono in modo eteropico tra loro formando uno solo o più orizzonti acquiferi, talora isolati ma più spesso in comunicazione tra loro, i relativi rilievi piezometri sono stati riportati in Figura 7.3 (vedi **doc.04**).

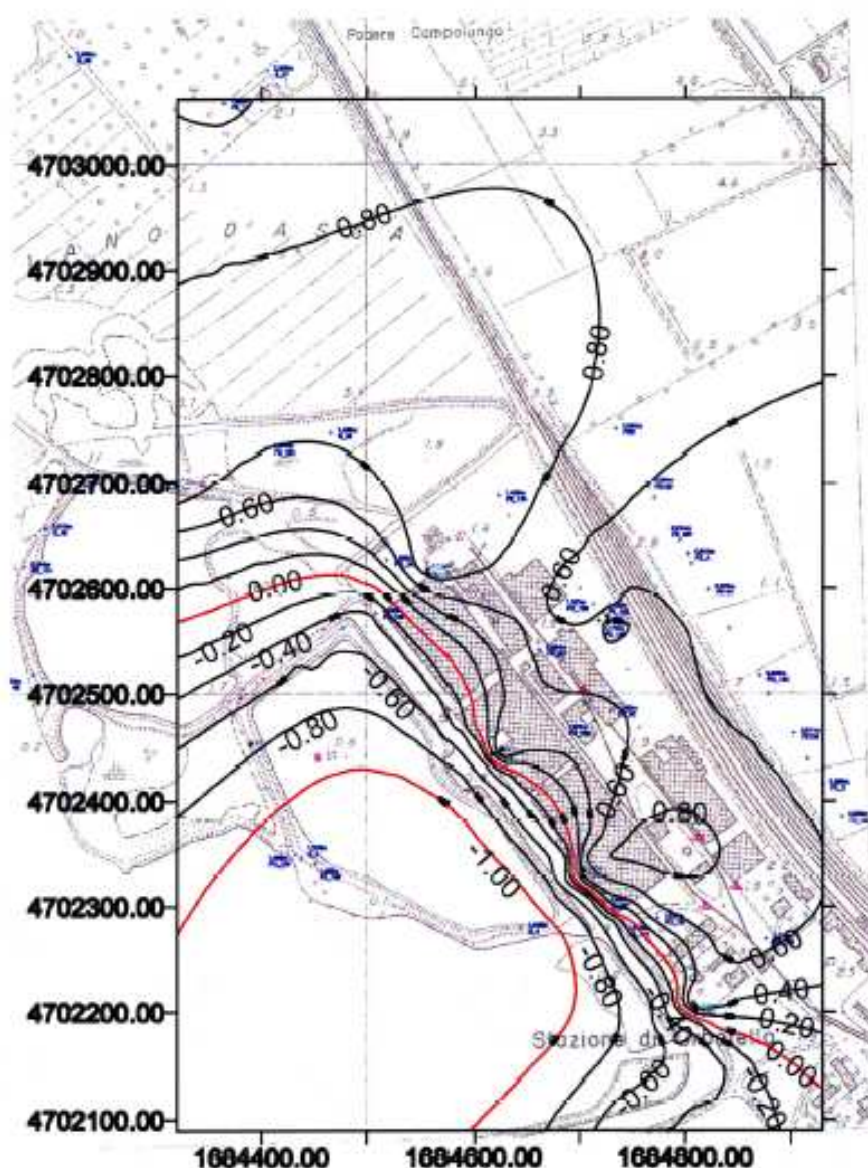


Figura 7.3 – Isopieze della falda PROFONDA – 18 maggio 2009.

Come si può notare dai rilievi piezometrici e dall'esame di Figura 7.3 siamo in presenza di un acquifero confinato, limitato superiormente dalla formazione superficiale di bassa permeabilità costituita dalle argille limose alla base del Litotipo 2, nel quale il livello piezometrico in condizioni statiche si attesta ben al di sopra della base della formazione confinante.

L'esame di Figura 7.3 evidenzia un gradiente idraulico pari a circa 6/1000 e, anche in questo caso, direzione da Nord-Est verso Sud-Ovest.
Per ulteriori dettagli sulle caratteristiche idrodinamiche della falda profonda si rimanda ai successivi paragrafi.

7.7. CARATTERISTICHE IDRODINAMICHE DEGLI ACQUIFERI INDAGATI

Dopo la realizzazione i piezometri, sia quelli superficiali che quelli profondi, sono stati sottoposti a spurgo per valutare la possibilità di effettuare delle prove di pompaggio per poter determinare i parametri idrodinamici delle falde captate (vedi **doc.04**).

Dopo le operazioni di spurgo si è provveduto all'esecuzione delle prove di pompaggio che sono state effettuate su tutti i piezometri profondi NPZ B e sul piezometro superficiale NPZ 4A; per le condizioni in loco si è optato per l'esecuzione di prove a gradini di portata, ma in due casi, NPZ 2B e NPZ 4A, a causa delle basse o bassissime portate che era possibile emungere si è ricorso a prove di risalita.

I piezometri profondi sono stati attrezzati con una pompa sommersa provvisoria con una portata di 80 l min⁻¹, posta a circa 1.00 m al di sopra dei filtri e con linea di eduazione in polietilene munita di saracinesca; la portata è stata misurata tramite contenitore graduato.

La prova di pompaggio effettuata sui piezometri è stata una prova a gradini di portata (tranne che per NPZ 2B e NPZ 4A), in cui si misura l'abbassamento del livello dinamico alla sua stabilizzazione per portate crescenti.

In questo modo è possibile ricavare i parametri B e C della curva caratteristica del pozzo da utilizzare poi nella determinazione della trasmissività mediante correlazione con la portata specifica.

Infatti, considerando la relazione tra la portata Q e l'abbassamento del livello piezometrico s al generico raggio r fornita da *Thiem* si ottiene:

$$s = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r}$$

con T trasmissività dell'acquifero e R raggio di influenza; riscrivendo l'equazione per il raggio del pozzo r_w e della portata specifica intesa come:

$$q_{sp} = \frac{Q}{s_w}$$

si ottiene la relazione fra trasmissività e portata specifica (A. Di Molfetta, 1992):

$$T = \frac{\ln R / r_w}{2\pi} q_{sp}$$

Sostituendo i valori più frequenti dei parametri Raggio di influenza, tenuto conto che l'operatore logaritmo attenua anche l'influenza del raggio del pozzo e si fa riferimento ad un raggio medio di 0.20 m, si ottiene la più semplice:

$$T = \Omega q_{sp}$$

Dove il coefficiente Ω è variabile secondo i diversi Autori.

Nel calcolo della portata specifica, per ottenere valori significativi, sarà necessario fare riferimento all'abbassamento reale, ossia quello misurato depurato dall'influenza delle perdite turbolente, dovute all'attrezzatura del pozzo e delle perdite dovute alla parziale penetrazione e alle condizioni di permeabilità nell'intorno del pozzo.

$$s_w = s_m - B'Q - CQ^n$$

Dal momento che è difficile separare dalle perdite di carico dovute al flusso nell'acquifero (B) le perdite dovute alla parziale penetrazione e alle condizioni di permeabilità nell'intorno del pozzo (B') (Custodio et al.; 2005) operando con portate molto basse si possono ritenere trascurabili le perdite sopra riportate (Di Molfetta; 1992); in queste prove tuttavia si è ritenuto di dover comunque considerare il termine CQ^n in quanto non si riteneva trascurabile la turbolenza generata da un tratto di filtro di un solo metro a fronte dello spessore della falda anche per piccole portate.

Pertanto si è scelto di utilizzare nei calcoli della portata specifica il valore del primo gradino in modo da minimizzare lo scarto fra il valore misurato e quello teorico (Di Molfetta; 1992):

$$s_w = s_m - CQ^n$$

Dove s_w è l'abbassamento reale, s_m è l'abbassamento misurato, CQ^n sono le perdite di carico dove n vale 2 per la soluzione di Jacob.

Successivamente si è calcolata la portata specifica alla minima portata:

$$Q_{sp} = \frac{Q}{s_w}$$

Da cui si è ricavata la trasmissività:

$$T = \Omega q_{sp}$$

Nel corso di ciascuna prova sono stati registrati alcuni parametri chimico fisici dell'acqua emunta; i parametri misurati sono stati la temperatura, il pH e la conducibilità elettrica e per la misura si è impiegata una strumentazione da campo, nello specifico un conducimetro *Hanna Instruments HI 9033* e un phmetro *Hanna Instruments HI 9025* con sonda di temperatura.

Le misure effettuate avevano lo scopo di mostrare eventuali variazioni dei parametri durante il pompaggio, man mano che si allargava il cono di captazione per mettere in evidenza possibili stratificazioni, piuttosto che di misurare valori assoluti.

Si riportano di seguito i parametri desunti dalle prove di emungimento eseguite sui piezometri (vedi **doc.04**):

<i>Piezometro</i>	$T (m^2 s^{-1})$	$K (m s^{-1})$
1A		
1B	6.04×10^{-5}	5.92×10^{-5}
2A		
2B	5.00×10^{-6}	3.45×10^{-7}
3A		
3B	1.85×10^{-4}	1.21×10^{-5}
4A	1.77×10^{-6}	1.97×10^{-7}
4B	1.72×10^{-4}	1.56×10^{-5}
5A		
5B	9.20×10^{-5}	6.17×10^{-6}
6A		
6B	3.97×10^{-5}	2.61×10^{-6}

Tabella 7.2 - Tabella riassuntiva dei parametri idrodinamici:

Considerando i dati acquisiti e i dati dei livelli piezometrici rilevati si deduce quanto segue:

- a) non appare sussistere un collegamento idraulico fra i piezometri superficiali e i piezometri profondi; qualche dubbio potrebbe persistere per il piezometro superficiale NPZ4A, l'unico che ha mostrato una risalita totale, in quanto potrebbe trattarsi di una falda a drenaggio ritardato, ma il fatto che non ci sia stata variazione di livello durante il pompaggio del piezometro NPZ4B e in quest'ultimo durante il pompaggio nel piezometro NPZ4A e in aggiunta che i livelli statici mostrino una differenza di quota nonostante la stretta vicinanza, porta ad escludere l'eventualità del collegamento. Si ritiene piuttosto che il piezometro NPZ4A abbia intercettato qualche digitazione sabbioso-limosa dotata di una certa circolazione idrica;
- b) i piezometri profondi mostrano valori dei parametri idrodinamici congruenti con le litologie riscontrate durante i sondaggi e in accordo con il modello di un acquifero stratificato con livelli anche separati localmente, ma in comunicazione idraulica distale, come sembrano anche confermare le piccole variazioni di

conducibilità in alcune prove messe in relazione con l'ampliarsi del cono di depressione. La separazione può essere data da alternanze di lenti e livelli di materiale coesivo che si comportano da acquicludi, ma anche da variazioni di permeabilità all'interno dello stesso litotipo per diverse percentuali di materiale sottile tanto che con le naturali velocità di falda si può arrivare a differenziazioni chimiche per diverso tempo di permanenza a contatto con l'acquifero;

- c) i piezometri profondi mostrano valori più elevati dei parametri idrodinamici nei siti più a valle (NPZ3B, NPZ4B, NPZ5B) con il piezometro profondo NPZ2B che mostra valori molto bassi confrontabili addirittura con quelli del piezometro superficiale NPZ4A e all'altro estremo il piezometro NPZ4B che ha mostrato una produttività molto elevata, indice di parametri alti, nonostante il completamento con un solo metro di filtro come tutti gli altri piezometri.

I risultati ottenuti mostrano che il substrato più superficiale limo-argilloso è caratterizzato da una marcata anisotropia del comportamento e valori variabili ma comunque inferiori a 10^{-7} m/s in funzione della aliquota argillosa disponibile.

Le argille, invece, oltre che da una consistenza piuttosto elevata, risultano caratterizzate da valori della permeabilità compresi tra 10^{-8} e 10^{-10} m/s.

Il livello delle sabbie, infine, appare caratterizzato da valori di permeabilità variabili tra 10^{-5} e 10^{-6} m/s.

7.8. ANALISI CHIMICHE

Come convenuto con ARPAT – Dipartimento Provinciale di Grosseto, in data 24-04-2009, le analisi chimiche sono state eseguite, nel corso della campagna di prelievi, per ogni punto di campionamento, sia sul campione tal quale sia sul campione filtrato direttamente in campo con membrana a $0,45 \mu\text{m}$ (vedi **doc.04**).

I campioni prelevati sono stati stabilizzati immediatamente in campo con acido nitrico e sono stati ricercati in laboratorio i seguenti analiti:

- **Al – As – Cd – Crtot – Fe – Mn – Hg – Ni – Pb – Cu – Zn**

Inoltre, anche ai fini della successiva valutazione dei valori del *fondo naturale*, è stata discussa l'opportunità di definire in maniera più approfondita il modello idrogeologico dell'area in esame per quanto riguarda gli aspetti geochimici della falda multistrato contenuta all'interno del Litotipo 3, livello di sabbie che è stato rilevato al di sotto del livello limo-argilloso più superficiale; in tal senso, al fine di poter fornire indicazioni sull'appartenenza o meno allo stesso acquifero, sui prelievi eseguiti sui piezometri profondi sono stati determinati anche i seguenti ioni maggiori:

- **cloruri, solfati, nitrati, calcio, magnesio**

In accordo con i tecnici ARPAT è stato prelevato un campione anche dal pozzo per uso antincendio ubicato circa al centro della Cittadella, siglato **PO160**, in funzione della futura validazione del fondo naturale.

Su tale campione oltre ai parametri già concordati è stato deciso di analizzare anche i parametri sotto indicati:

- **Bicarbonati, Sodio, Potassio, Silice, Selenio, Calcio, Magnesio, Solfati, Cloruri, Nitrati.**

In totale, la campagna di monitoraggio delle acque ha interessato **20 punti di campionamento**.

In Tabella 7.3 sono riportati i tabulati riassuntivi delle analisi eseguite organizzate secondo la seguente metodologia:

- nel report **GENERALE** sono sintetizzate tutte le analisi eseguite, sia in campo sia in laboratorio;
- come già specificato le nuove analisi sono state eseguite, in questo primo campionamento, sia sul campione tal quale sia sul campione filtrato, ma nel corso di eventuali successive campagne di monitoraggio le analisi verranno eseguite solo su campioni filtrati; per tale motivo è stato anche impostato un report **CAMPIONI FILTRATI** nel quale sono riportate solo le analisi di laboratorio eseguite sui campioni filtrati, che costituiranno la futura base di riferimento e di correlazione delle analisi successive;
- le analisi sono state suddivise tra dati chimico-fisici, metalli, ioni maggiori, altri elementi;
- di ogni parametro rilevato viene fornita l'unità di misura e il limite di rilevabilità in laboratorio (Detection Limit = DL)
- di ogni analita, ove presente, viene fornito il limite di cui al *D.Lgs. 152/2006 – Parte IV – Allegato 5 – Tabella 2 – Concentrazione soglia di contaminazione nelle acque sotterranee*;
- sono stati tabulati separatamente i dati:
 - del pozzo profondo
 - dei piezometri collocati a monte, in senso idrogeologico, dell'area ex-SI.TO.CO.
 - dei vecchi piezometri superficiali
 - dei nuovi piezometri superficiali
 - dei nuovi piezometri profondievidenziando i punti di controllo e monitoraggio con colorazione analoga sui tabulati e sulla Tavola ACA.GEN.EG.IAM.005.00 (vedi **doc.04**)
- sono stati evidenziati gli analiti per i quali, nel corso delle pregresse campagne di monitoraggio, era stato registrato il superamento dei valori di cui alla suddetta Tabella 2.
- sono stati infine evidenziati con apposita colorazione i casi in cui si ha superamento del limite di cui al *D.Lgs. 152/2006 – Parte IV – Allegato 5 – Tabella 2 – Concentrazione soglia di contaminazione nelle acque sotterranee*; in particolare:
 - ☞ i modesti superamenti delle CSC (fino a 2 volte il limite di Tab. 2) sono stati evidenziati in GIALLO

- ☞ i superamenti delle CSC fino a 10 volte il limite di Tab. 2 sono stati evidenziati in ARANCIO
- ☞ i superamenti delle CSC oltre a 10 volte il limite di Tab. 2 sono stati evidenziati in ROSSO

I risultati ottenuti sui campioni FILTRATI dei NUOVI piezometri, gli unici sui quali si hanno certezze sul livello effettivamente campionato, hanno consentito di rilevare:

- che nei nuovi piezometri realizzati, sia in quelli superficiali sia in quelli profondi, **non** è stato rilevato il superamento dei valori di cui alla suddetta Tabella 2 per **Al – Cd - CrTot – Hg – Pb – Cu – Zn**;
- che nei nuovi piezometri profondi, **non** è stato rilevato il superamento dei valori di cui alla suddetta Tabella 2 per il parametro **Ni**;
- che la presenza di **Fe** e **Mn** è attribuibile, in prima istanza, al *fondo naturale* della zona;
- che la presenza di **As** nei piezometri profondi sembra attribuibile, in prima istanza, al *fondo naturale* della zona.

Zona	Cod. Id. Analisi	Piezometro	prof. filtro da p.a.c. da m		dati chimico-fisici				metalli												ioni maggiori								Se	Si	
			D. Lgs. 152/2006 - Parte IV - Allegato 5 - Tabella 2		T (°C)	pH	Conduttività µS/cm a 25°C	SST mg/l	Al µg/l	As µg/l	Cd µg/l	CrTot µg/l	Pb µg/l	Mn µg/l	Hg µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Cu µg/l	Zn µg/l	Cl- mg/l	HCO3- mg/l	SO4- mg/l	NO3- mg/l	Ca++ mg/l	Mg++ mg/l	Na+ mg/l	K+ mg/l	Se mg/l	Si mg/l		
			Detection Limit - DL	Detection Limit - DL	-	-	-	-	2,5	1	0,1	2,5	10	5	0,1	0,5	1	2,5	50	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01	0,1		
pazzo profondo	CHI	09-1189	PO 160 tq	20,00	76,00	22,1	6,8	8.180	<5	4	<1	<0,1	<2,5	158	29	40	<0,5	<1	<2,5	<50	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,01	-	
		09-1190	PO 160 f	20,00	76,00	-	-	-	-	4	<1	<0,1	<2,5	161	28	44	<0,5	<1	<2,5	<50	2.503	262	319	23	499	189	950	21	<0,01	10,3	
piezometri a MONTE		09-1175	PZA tq	2,00	13,35	15,4	7,4	1.071	12	121	<1	<0,1	<2,5	200	238	<0,1	19	4,9	<2,5	<50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		09-1176	PZA f	2,00	13,35	-	-	-	-	9	<1	<0,1	<2,5	79	110	<0,1	0,81	<1	<2,5	<50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		09-1177	PZE tq	2,00	14,20	18,6	7,5	965	77	5.333	27	<0,1	25	4.277	233	11	20	123	25	313	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		09-1178	PZE f	2,00	14,20	-	-	-	-	17	11	<0,1	<2,5	94	77	0,38	5,9	1,4	2,9	<50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
vecchi piezometri SUPERFICIALI	BAC	09-1179	PZ3 tq	2,00	6,40	16,9	6	6.950	401	18.667	101	25	17	578.166	28.133	6,9	208	49	157	285.656	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		09-1180	PZ3 f	2,00	6,40	-	-	-	-	12.338	25	19	<2,5	547.250	27.850	<0,1	186	<1	15	247.550	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	CHI	09-1181	PZ 123 tq	2,00	6,60	19,4	7,4	10.630	<5	106	<1	0,72	<2,5	197	447	<0,1	14	<1	4,2	<50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		09-1182	PZ 123 f	2,00	6,60	-	-	-	-	12	<1	0,62	<2,5	187	412	<0,1	3,1	<1	4	<50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	CHI	09-1183	PZ 123 tq	2,00	6,90	18,1	7,1	8.380	7	24	1,8	0,17	<2,5	229	663	<0,1	1,3	<1	3,5	82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		09-1184	PZ 123 f	2,00	6,90	-	-	-	-	14	<1	0,16	<2,5	207	651	0,41	1,3	<1	2,9	74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	CHI	09-1185	PZ 124 tq	2,00	6,00	21,6	6,4	17.900	39	33	<1	1,2	<2,5	17.775	44.150	<0,1	75	<1	31	1.553	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		09-1186	PZ 124 f	2,00	6,00	-	-	-	-	30	<1	0,97	<2,5	805	43.250	<0,1	69	<1	21	1.545	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	NOR	09-1187	PZ 401 tq	2,00	6,00	17,7	6,8	20.500	10	12	<1	1,1	<2,5	316	162	8,0	55	136	63	177	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		09-1188	PZ 401 f	2,00	6,00	-	-	-	-	11	<1	1,1	<2,5	304	155	7,3	18	45	59	171	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
nuovi piezometri SUPERFICIALI	BAC	09-1153	NPZ 1a tq	3,50	4,50	16,7	6,6	17.440	551	970	75	2,7	77	30.610	14.760	13	283	540	160	387	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		09-1154	NPZ 1a f	3,50	4,50	-	-	-	-	72	16	1,3	<2,5	240	13.875	0,29	136	2,1	16	92	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	CHI	09-1155	NPZ 2a tq	4,50	5,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		09-1155	NPZ 2a f	4,50	5,50	-	7,3	8.520	-	40	3,1	0,52	<2,5	110	1.610	-	15	2,1	3,9	<50	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	CHI	09-1156	NPZ 3a tq	7,00	8,00	17,6	7,2	5.680	<5	39	<1	<0,1	<2,5	95	804	0,60	26	3,4	<2,5	<50	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		09-1157	NPZ 3a f	7,00	8,00	-	-	-	-	5	<1	<0,1	<2,5	63	803	0,40	23	2,1	<2,5	<50	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	CHI	09-1158	NPZ 4a tq	8,00	9,00	18,2	7,3	6.060	10	105	1,1	<0,1	<2,5	138	142	0,70	14	2,7	<2,5	<50	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		09-1159	NPZ 4a f	8,00	9,00	-	-	-	-	15	<1	<0,1	<2,5	71	124	0,21	11	2,2	<2,5	<50	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	CHI	09-1160	NPZ 5a tq	8,00	9,00	18,5	7,3	2.690	187	14.667	2	0,67	25	10.696	560	13	53	75	61	287	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		09-1161	NPZ 5a f	8,00	9,00	-	-	-	-	20	<1	<0,1	<2,5	86	243	0,39	5,2	<1	<2,5	<50	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
CHI	09-1162	NPZ 6a tq	5,00	6,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	09-1162	NPZ 6a f	5,00	6,00	-	7	16.570	-	27	15	4,2	<2,5	182	5.400	-	90	2,1	7	88	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
nuovi piezometri PROFONDI	BAC	09-1163	NPZ 1b tq	17,00	18,00	19,7	7,4	1.269	<5	42	12	<0,1	<2,5	352	199	0,29	1,5	<1	<2,5	<50	-	-	-	-	-	-	-	-			
		09-1164	NPZ 1b f	17,00	18,00	-	-	-	-	12	12	<0,1	<2,5	310	192	<0,1	1,7	<1	<2,5	<50	166	-	54	<0,1	126	30	-	-	-		
	CHI	09-1165	NPZ 2b tq	19,50	20,50	18,3	7,5	1.414	5,3	195	17	<0,1	<2,5	242	229	0,48	2,2	<1	<2,5	<50	-	-	-	-	-	-	-	-			
		09-1166	NPZ 2b f	19,50	20,50	-	-	-	-	13	17	<0,1	<2,5	102	224	<0,1	1,8	<1	<2,5	<50	230	-	66	0,25	124	30	-	-	-		
	CHI	09-1167	NPZ 3b tq	22,00	23,00	19,0	7,4	1.092	<5	79	8	<0,1	<2,5	114	139	<0,1	4,4	<1	<2,5	<50	-	-	-	-	-	-	-	-			
		09-1168	NPZ 3b f	22,00	23,00	-	-	-	-	16	7,7	<0,1	<2,5	63	138	<0,1	4,3	<1	<2,5	<50	143	-	45	1,1	112	27	-	-			
	CHI	09-1169	NPZ 4b tq	20,00	21,00	19,7	7,4	1.199	9	123	12	<0,1	<2,5	116	36	<0,1	1,8	<1	<2,5	<50	-	-	-	-	-	-	-	-			
		09-1170	NPZ 4b f	20,00	21,00	-	-	-	-	10	11	<0,1	<2,5	72	33	<0,1	1,6	<1	<2,5	<50	160	-	71	21	124	29	-	-			
	CHI	09-1171	NPZ 5b tq	22,50	23,50	19,4	7,4	1.030	<5	61	15	<0,1	<2,5	114	38	<0,1	3,0	1,3	<2,5	<50	-	-	-	-	-	-	-	-			
		09-1172	NPZ 5b f	22,50	23,50	-	-	-	-	10	14	<0,1	<2,5	73	58	<0,1	2,3	<1	<2,5	<50	118	-	62	2,5	108	26	-	-			
CHI	09-1173	NPZ 6b tq	21,00	22,00	19,5	7,5	1.082	<5	33	15	<0,1	<2,5	364	126	<0,1	<0,5	<1	<2,5	<50	-	-	-	-	-	-	-	-				
	09-1174	NPZ 6b f	21,00	22,00	-	-	-	-	14	14	<0,1	<2,5	320	121	<0,1	<0,5	<1	<2,5	<50	131	-	45	<0,1	114	27	-	-				

Legenda

- PZA f Piezometri a monte area ex-SITOCO
- PZ3 f Vecchi piezometri superficiali
- NPZ 1b f Nuovi piezometri superficiali e profondi

- XXX tq campione tal quale
- XXX f campione filtrato
- parametro non analizzato
- <1 parametro non rilevato (< DL)

Analisi con concentrazioni superiori al limite di Tab. 2 nelle analisi pregresse

Valori superiori al limite di Tab. 2

- 12 non oltre 2 volte
- 36 tra 2 e 10 volte
- 54 oltre 10 volte

Tabella 7.3 - Tabulato riassuntivo delle analisi eseguite

7.9. STATO DI CONTAMINAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE SUPERFICIALI

Le acque sotterranee superficiali costituiscono un acquifero superficiale non confinato, con gradiente idraulico pari a circa 5,7/1000 e direzione da Nord-Est verso Sud-Ovest.

L'esame combinato delle stratigrafie, ricavate dai sondaggi geognostici e dalle prove eseguite in sito ed in laboratorio, evidenzia che tale acquifero risulta costituito da acque di ristagno nel livello superficiale del Litotipo 2, costituito da limi argillosi, che risultano impediti nel loro moto di migrazione verso il basso dalla presenza, alla base del Litotipo 2, di argille limose praticamente impermeabili.

Non appare sussistere un collegamento idraulico fra l'acquifero superficiale e la falda profonda multistrato rilevata nel sottostante Litotipo 3.

Per quanto attiene lo stato di contaminazione delle acque dell'acquifero superficiale si può osservare quanto segue (vedi **doc.04**).

7.9.1. ZONA CITTADELLA

Nelle acque sotterranee superficiali della Zona Cittadella **non** è stato rilevato il superamento dei valori di cui alla Tabella 2 per **Al - Cd - CrTot - Hg - Pb - Cu - Zn** e, almeno nei nuovi piezometri, non viene rilevato neppure il superamento dei valori di cui alla Tabella 2 per il parametro **Fe** che si riscontra, con modesti superamenti della Tabella 2, solo nei vecchi piezometri PZ123 e PZ124.

Rispetto alle analisi pregresse si rileva un modesto superamento delle CSC del parametro **Ni** nei piezometri superficiali PZ124 - NPZ3a ⁽¹⁾, ma comunque tale analita viene rilevato nei nuovi piezometri profondi con valori inferiori a quelli di cui alla Tabella 2.

La presenza di **Fe** e **Mn** è attribuibile, in prima istanza, al *fondo naturale* della zona, salvo che per il **Mn** nel vecchio piezometro PZ124 dove raggiunge valori elevati.

Non è stata rilevata la presenza di **As** nei nuovi piezometri superficiali, salvo che nel NPZ6a nel quale i tempi di ricarica estremamente lunghi non hanno consentito un adeguato spurgo e relativo campionamento; si osserva comunque che tale analita è stato rilevato con concentrazioni analoghe a quelle del pozzo profondo PZE, ubicato a monte, in senso idrogeologico, del pozzetto NPZ6a.

¹ Non viene fatto riferimento al piezometro superficiale NPZ6a, nel quale i tempi di ricarica estremamente lunghi non hanno consentito un adeguato spurgo e relativo campionamento.

7.9.2. ZONA BACINI

Nelle acque sotterranee superficiali della Zona Bacini **non** è stato rilevato il superamento dei valori di cui alla Tabella 2 per **CrTot – Hg – Cu**.

Nelle acque sotterranee superficiali della Zona Bacini è stato rilevato il superamento dei valori di cui alla Tabella 2:

- in maniera modesta per **As – Cd - Ni**;
- con valori elevati per **Al – Fe - Mn – Zn**.

7.9.3. ZONA NORD

Nelle acque sotterranee superficiali della Zona Nord è stato rilevato il superamento dei valori di cui alla Tabella 2, solo in maniera modesta, per **Fe - Mn – Pb**.

Da segnalare inoltre la presenza di **Hg** nel PZ401, seppure in concentrazioni non rilevanti.

7.10. STATO DI CONTAMINAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE PROFONDE

Le acque sotterranee profonde costituiscono un acquifero multistrato confinato, limitato superiormente dalla formazione superficiale di bassa permeabilità costituita dalle argille limose alla base del Litotipo 2, nel quale il livello piezometrico in condizioni statiche si attesta bel al di sopra della base della formazione confinante, con un gradiente idraulico pari a circa 6/1000 e direzione da Nord-Est verso Sud-Ovest.

Non appare sussistere un collegamento idraulico fra la falda profonda multistrato rilevata nel Litotipo 3 e l'acquifero superficiale.

Per quanto attiene lo stato di contaminazione delle acque dell'acquifero profondo si può osservare quanto segue (vedi **doc.04**).

7.10.1. ZONA CITTADELLA

Nelle acque sotterranee profonde della Zona Cittadella **non** è stato rilevato il superamento dei valori di cui alla Tabella 2 per **Al – Cd - CrTot – Hg – Ni - Pb – Cu – Zn**.

La presenza di **Fe** e **Mn**, rinvenuti in modeste quantità, è attribuibile, in prima istanza, al *fondo naturale* della zona.

Per quanto attiene invece la presenza di **As** nei piezometri profondi, anch'essa sembra dovuta a processi naturali che caratterizzano il corpo idrico sotterraneo; si evidenzia in tal senso:

- la già citata segnalazione di permessi di ricerca mineraria per minerali contenenti As a monte di Orbetello;
- la presenza di As nel pozzo profondo PZE, ubicato a monte, in senso idrogeologico, dell'area ex-SI.TO.CO., in concentrazioni analoghe a quelle dei piezometri a valle.

7.10.2. ZONA BACINI

Nelle acque sotterranee profonde della Zona Bacini **non** è stato rilevato il superamento dei valori di cui alla Tabella 2 per **Al - Cd - CrTot - Hg - Ni - Pb - Cu - Zn**.

Nelle acque sotterranee profonde della Zona Bacini è stato rilevato il superamento dei valori di cui alla Tabella 2:

- in maniera modesta per **As - Fe**;
- con valori elevati solo per **Mn** e solo in corrispondenza della Fascia Ripariale

Per quanto attiene la presenza di **As** e **Fe** nei piezometri profondi, essa sembra dovuta a processi naturali che caratterizzano il corpo idrico sotterraneo; si evidenzia in tal senso:

- la già citata segnalazione di permessi di ricerca mineraria per minerali contenenti As a monte di Orbetello;
- la presenza di As nel pozzo profondo PZE, ubicato a monte, in senso idrogeologico, dell'area ex-SI.TO.CO., in concentrazioni analoghe a quelle dei piezometri a valle.

7.11. CARATTERIZZAZIONE GEOCHIMICA/ISOTOPICA

La società Laguna Azzurra, facendo seguito alla richiesta di approfondimenti richiesti in sede di presentazione dei risultati della campagna di approfondimento dello stato di conoscenza delle acque presenti nell'aria ex-Sitoco, nella più ampia problematica del risanamento ambientale e bonifica dell'area stessa, ha commissionato una consulenza scientifica sulla caratterizzazione geochimica ed isotopica delle acque intercettate dai nuovi piezometri recentemente realizzati dalla società stessa.

In tale prospettiva, a seguito della riunione svoltasi il giorno 7 luglio 2009 presso lo IGG-CNR di Pisa, in cui sono stati visionati i dati pregressi relativi alle acque campionate nei piezometri del sito ex-Sitoco di Orbetello Scalo, è stato deciso di eseguire la caratterizzazione geochimica ed isotopica delle acque intercettate dai nuovi piezometri recentemente realizzati dalla società stessa mediante l'analisi di:

- potenziale redox, direttamente all'atto del prelievo (oltre agli altri parametri intrinsecamente instabili: T, pH, EC, HCO₃)
- rapporti isotopici ¹⁸O/¹⁶O e D/¹H dell'acqua
- costituenti disciolti principali (Ca, Mg, Na, K, HCO₃, SO₄, Cl e NO₃)

La società Laguna Azzurra srl ha pertanto conferito alla Società MASSA Spin-off srl incarico per eseguire il campionamento di 13 piezometri ubicati nel sito dell'ex-Sitoco di Orbetello nel mese di luglio 2009. Sui campioni di acqua prelevati, come convenuto,

sono state eseguite le analisi chimiche dei maggiori (presso i laboratori LABOSTUDIO srl) e i rapporti isotopici $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ e $\text{D}/^1\text{H}$ dell'acqua (IGG-CNR Pisa) (vedi **doc.07**).

I dati chimici ed isotopici oggetto della presente elaborazione sono riportati in Tabella 7.4.

Campione	Data	T _{H2O} °C	pH	Eh mV	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	HCO ₃ mg/L	NO ₃ mg/L	δ ¹⁸ O ‰ vs. V-SMOW	δD ‰ vs. V-SMOW
NPZ 1a	10/07/2009	21.5	6.34	106.3	4780	62	1135	602	7489	3596	732	0.75	-4.62	-25.3
NPZ 2a	10/07/2009	21.3	7.08		834	25	612	154	2032	692	274	4.6	-5.62	-32.2
NPZ 3a	10/07/2009	20.1	7.18	111.8	921	81	227	61	1698	106	311	0.24	-5.54	-31.6
NPZ 4a	10/07/2009	20.7	7.37	130.4	1168	17	131	53	1571	187	604	29	-5.69	-33.9
NPZ5a	10/07/2009	18	7.8	141.1	281	31	121	33	345	196	397	19	-6.23	-38.2
NPZ6a	10/07/2009	26.2	6.53		2378	36	1910	561	6934	1508	275	1.1	-4.91	-26.2
NPZ 1b	10/07/2009	19.1	7.17	-199.6	84	13	114	25	166	56	380	0	-6.23	-36.9
NPZ 2b	10/07/2009	21.4	7.44	42	100	11	103	23	153	58	378	0	-5.98	-35.8
NPZ 3b	10/07/2009	20	7.43	106.8	76	12	105	22	133	44	354	1.6	-6.05	-37.7
NPZ 4b	10/07/2009	20.4	7.29	119.5	85	12	121	25	172	72	342	18	-6.03	-36.8
NPZ 5b	10/07/2009	18.5	7.23	9.4	75	11	101	22	120	53	336	2.1	-6.13	-38.8
NPZ 6b	10/07/2009	25	7.39	-207.4	79	12	103	23	124	43	372	0	-6.01	-34.9
S3	10/07/2009	20.1	6.04	-32.7	2003	135	775	401	2501	3580	485	0	-5.07	-28.9

Tab. 7.4 - Dati chimici ed isotopici relativi alle acque campionate il 10 luglio 2009.

7.11.1. Analisi dei dati

Il diagramma triangolare $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl}$ di figura 7.4, mostra che il bicarbonato è l'anione prevalente nelle acque dei piezometri profondi (NPZ#b), che raggiungono l'acquifero sabbioso, mentre le acque dei piezometri superficiali (NPZ#a), perforati nello strato argilloso superficiale, sono caratterizzate da: (i) predominanza di cloruro, come generalmente osservato per le formazioni argillose di questo tipo; e (ii) in alcuni casi arricchimenti in solfato, a causa di dissoluzione ossidativa di pirite. Quest'ultimo processo è ben evidente nel piezometro S3, perforato all'interno di materiali di riporto dell'argine del bacino 1 contenenti fra l'altro solfuri metallici. L'unica eccezione è rappresentata dal piezometro NPZ5a che ha caratteristiche chimiche abbastanza simili a quelle delle acque incontrate nei piezometri più profondi. Ciò è dovuto al fatto che, verificando i dati di campo delle perforazioni eseguite per la realizzazione dei piezometri ed analizzando la relativa colonna stratigrafica, questo piezometro ha raggiunto, nella sua parte terminale posta a 9,0 m da pdc, livelli sabbioso-siltosi appartenenti alla porzione sommitale dell'acquifero sabbioso, da cui provengono, in larga misura, le acque intercettate da questo piezometro.

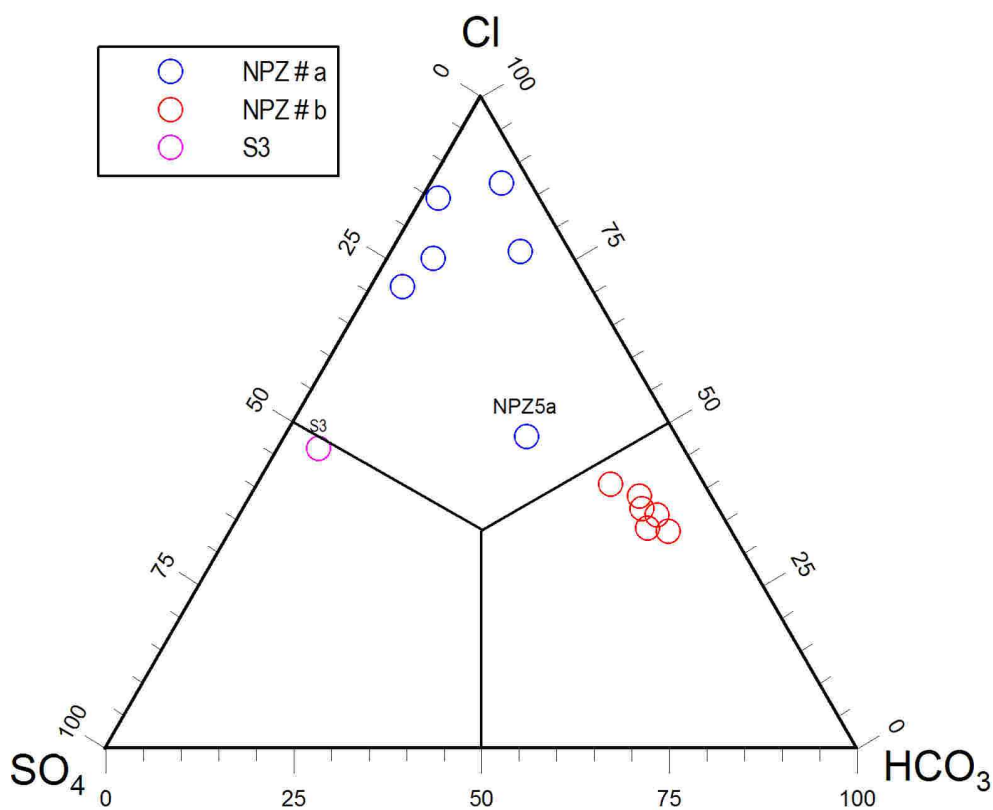


Fig.7.4. Diagramma triangolare $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl}$

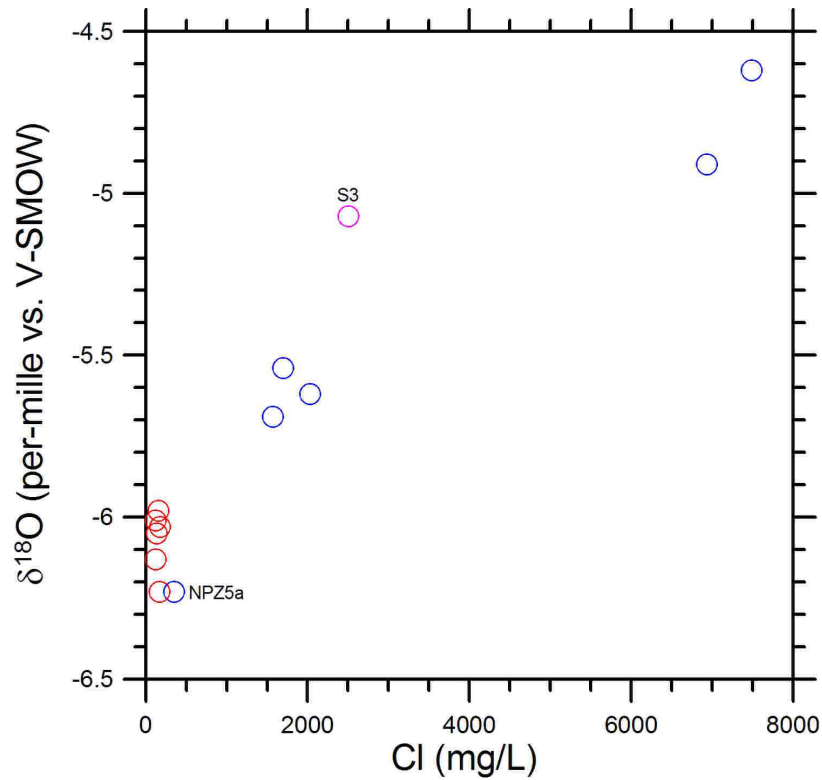


Fig. 7.5. Diagramma di correlazione $\delta^{18}\text{O}$ -Cl.

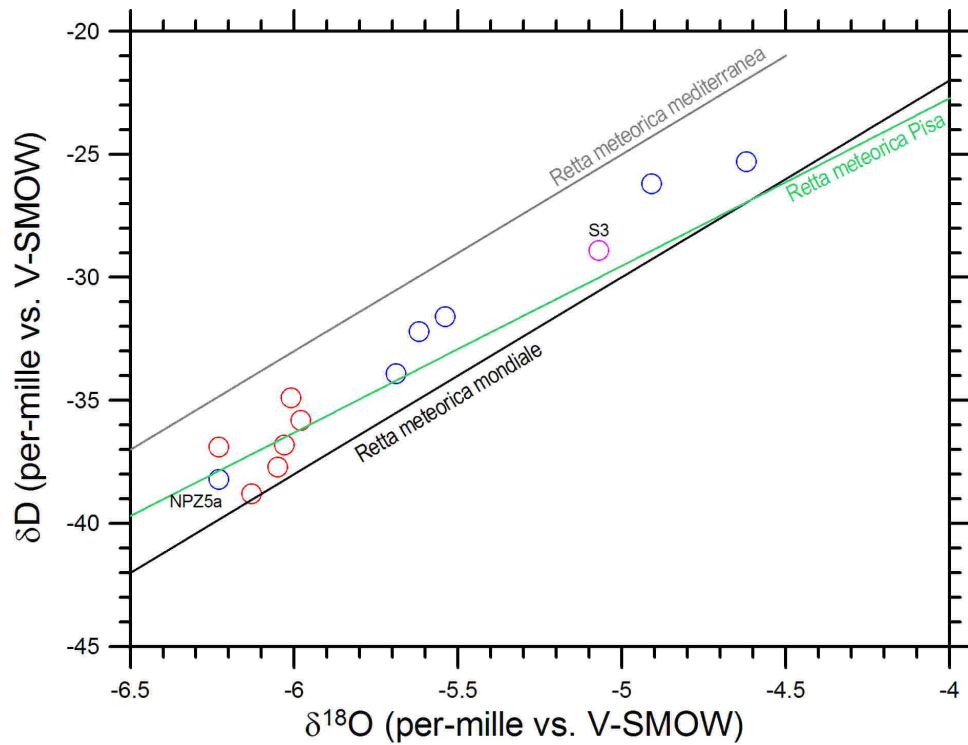


Fig. 7.6. Diagramma di correlazione δD - $\delta^{18}\text{O}$

I diagrammi di correlazione $\delta^{18}\text{O}$ -Cl (figura 7.5) e δD - $\delta^{18}\text{O}$ (figura 7.6) confermano che vi è una netta differenza, non solo per quanto riguarda il chimismo, ma anche per ciò

che concerne i rapporti isotopici, fra i piezometri più profondi, caratterizzati da bassi contenuti di Cl e valori di δD e $\delta^{18}O$ bassi ed omogenei (ivi compreso il piezometro NPZ5a) e i piezometri più superficiali (fra i quali è incluso anche il piezometro S3), che presentano invece concentrazioni di Cl e valori di δD e $\delta^{18}O$ variabili, talora anche decisamente elevati. Questi arricchimenti in cloruro, D e ^{18}O sono riconducibili a miscela fra acque meteoriche che si infiltrano nei piezometri ed acque di strato delle formazioni argillose, chimicamente ed isotopicamente abbastanza simili all'acqua di mare.

Pertanto si può affermare con certezza che:

- (i) le acque contenute nel corpo argilloso più superficiale, con caratteristiche di acquicludo, sono chimicamente ed isotopicamente differenti da quelle circolanti entro l'acquifero sabbioso più profondo;
- (ii) non vi è alcuna evidenza di contaminazione dell'acquifero sabbioso; ciò implica che esso è protetto dal sovrastante livello argilloso, con caratteristiche di acquicludo, che impedisce l'infiltrazione sia delle acque meteoriche sia di quelle di laguna.

7.11.2. Valutazioni sulla presenza degli elementi rilevati

In merito alla presenza nelle acque profonde di alcuni metalli (es. Mn, Fe, As ecc..) in concentrazioni anche molto superiori ai valori tabellari riportati nel D.L. 152/2006, avendo escluso la possibilità che esse possano provenire dagli orizzonti sovrastanti, per spiegarne la provenienza si possono eseguire le seguenti considerazioni.

Per poter interpretare l'origine del Mn disciolto nelle acque del sito ex-Sitoco, è utile esaminare il diagramma di correlazione Mn-SO₄ (figura 4), nel quale si osserva che i piezometri più superficiali NPZ1a, NPZ6a e NPZ2a sono caratterizzati da alti valori di entrambi i parametri considerati, mentre tutte le altre acque hanno bassi contenuti sia di Mn che di solfato. Gli alti valori dei piezometri NPZ1a, NPZ6a e NPZ2a sono imputabili a dissoluzione ossidativa di pirite, processo che determina il rilascio alla soluzione non solo dei costituenti maggiori della pirite stessa, ma anche degli elementi in traccia, fra cui appunto il Mn.

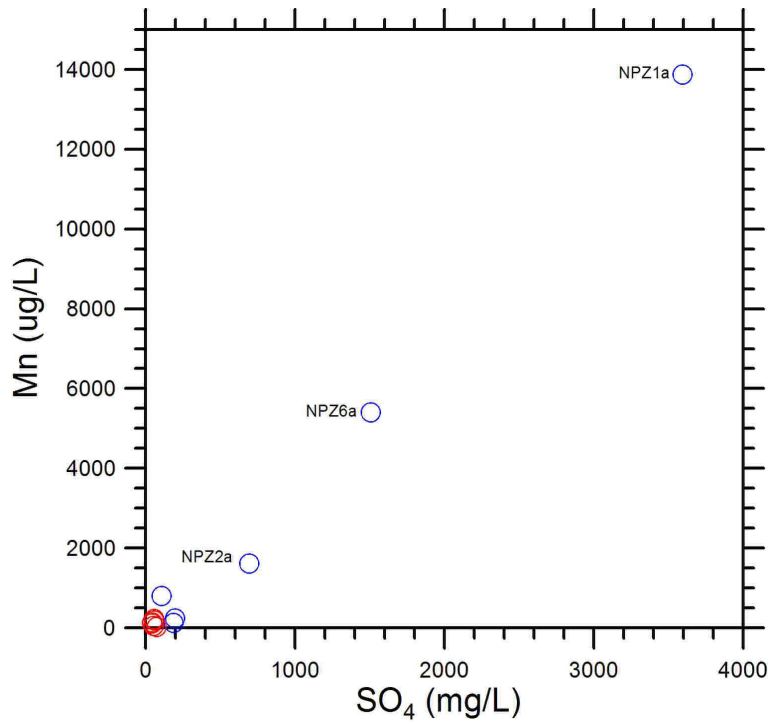


Fig. 7.7. Diagramma di correlazione δD - $\delta^{18}O$

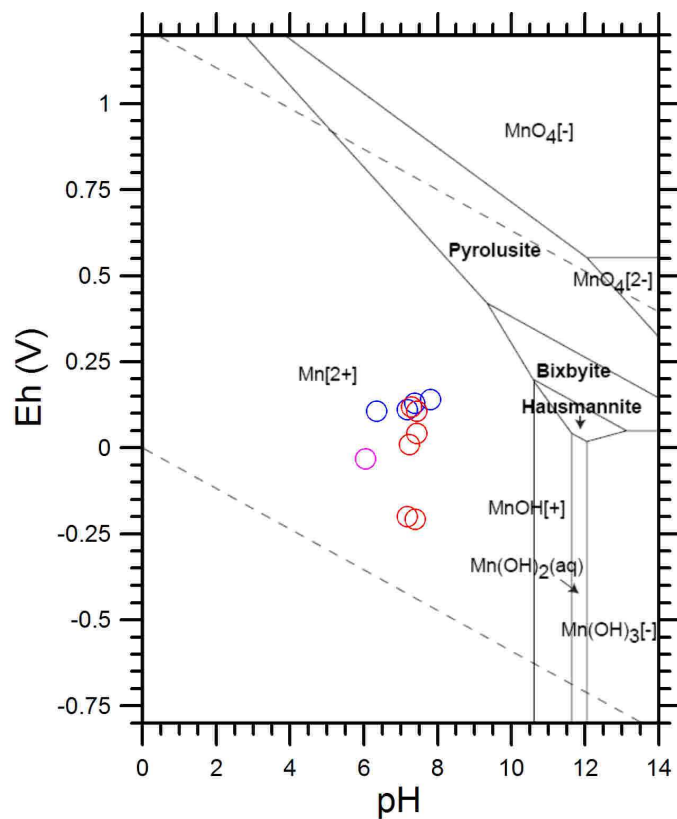


Fig. 7.8. Diagramma Eh-pH per il sistema Mn-O-H

Poiché non viene raggiunta la condizione di saturazione rispetto a fasi solide secondarie, il Mn rilasciato dal processo anzidetto rimane nella soluzione acquosa. Ciò è in accordo con quanto si osserva nel diagramma Eh-pH per il sistema Mn-O-H (figura 7.8), nel quale tutti i campioni si localizzano nel campo di prevalenza dello ione Mn^{2+} . Il fatto che le acque dell'acquifero sabbioso abbiano concentrazioni di Mn disciolto decisamente minori di quelle dei piezometri più superficiali anzidetti indica la assenza sia di contaminazione (a conferma delle precedenti deduzioni), sia di fonti di Mn; in altri termini, i minerali delle sabbie, nelle condizioni di P_{CO_2} , pH, T, forza ionica, ecc. ivi presenti, rilasciano quantità di Mn relativamente modeste (rispetto alla dissoluzione ossidativa della pirite) e le concentrazioni nella soluzione acquosa (30-250 $\mu g/L$) possono essere considerate il fondo naturale di questo corpo idrico.

Il discorso è un po' più complicato nel caso del ferro, in quanto, nel diagramma Eh-pH (figura 7.9), alcuni dei campioni in esame si distribuiscono in prossimità del limite fra il campo di prevalenza dello ione ferroso ed il campo di stabilità dell'ematite, e più in generale degli ossi-idrossidi di ferro trivalente.

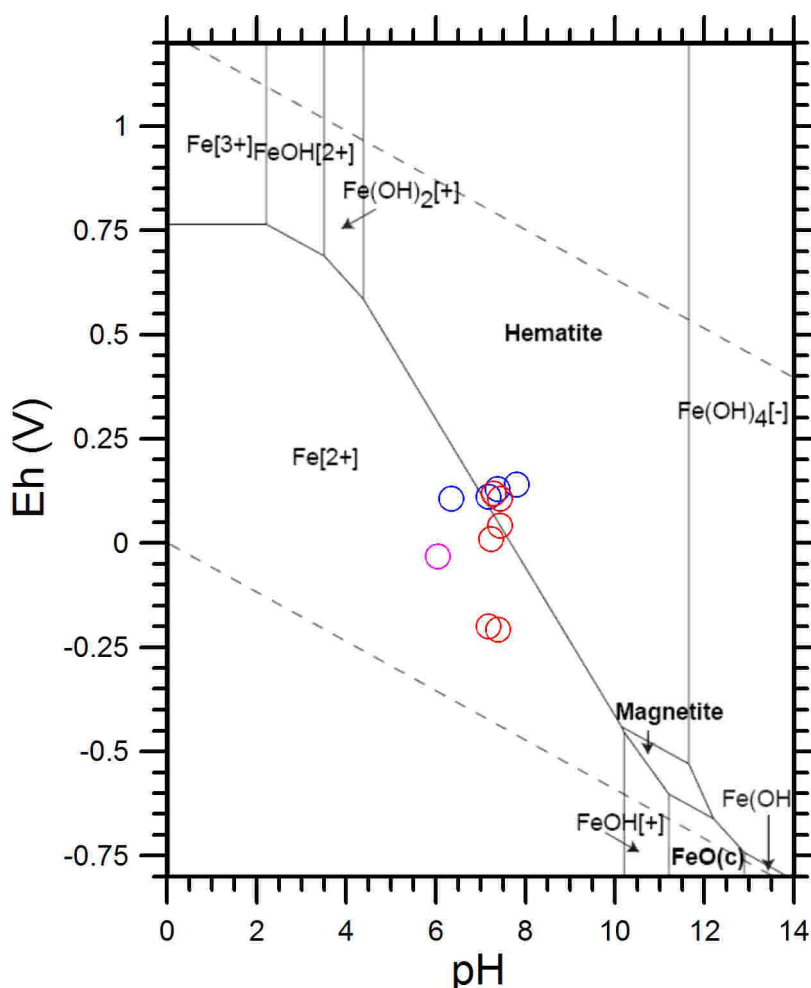


Fig. 7.9. Diagramma Eh-pH per il sistema Fe-O-H.

La saturazione rispetto a queste fasi solide, che si stabilisce in condizioni relativamente ossidanti, determina basse concentrazioni di Fe disciolto, tanto minori quanto maggiore è la cristallinità del minerale. Invece, nelle acque caratterizzate da condizioni

decisamente riducenti (campioni NPZ1b e NPZ6b, che hanno valori di Eh di -200 e -207 mV; figura 7.10), la concentrazione del Fe disciolto non è limitata dall'equilibrio rispetto agli ossi-idrossidi di ferro trivalente e può raggiungere valori relativamente elevati (310 – 320 µg/L nel caso dei campioni in oggetto), che possono essere ritenuti rappresentativi dei valori massimi del fondo naturale.

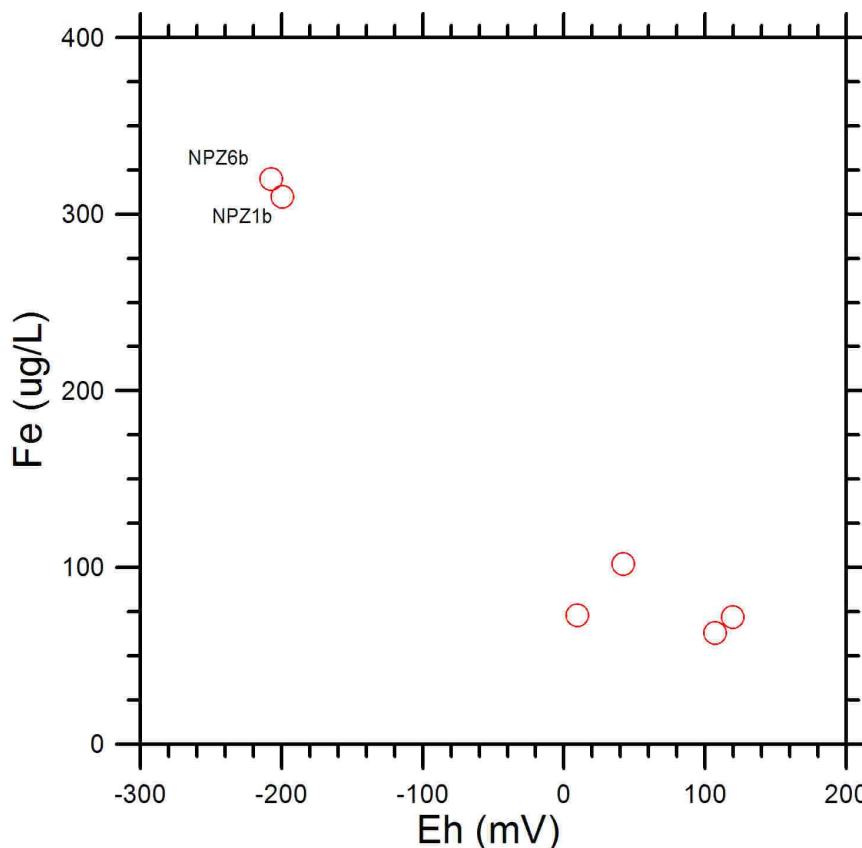


Fig. 7.10. Diagramma di correlazione Fe-Eh.

Definire il valore del fondo naturale dello As disciolto è ancora più complicato a causa della influenza di differenti fenomeni:

- (i) speciazione redox, con prevalenza di As trivalente nelle acque caratterizzate da condizioni più riducenti e di As pentavalente in quelle ossidanti (figura 7.11);
- (ii) complessazione con i costituenti cationici presenti in soluzione acquosa, soprattutto con i costituenti principali (Marini e Accornero, 2007);
- (iii) adsorbimento elettrostatico su fasi solide, fra cui gli ossi-idrossidi di ferro trivalente.

L'ultimo fenomeno avviene in condizioni ossidanti o relativamente ossidanti e determina una drastica riduzione delle concentrazioni di As disciolto. E' probabile che questo processo abbia luogo nelle acque dello strato argilloso che, in effetti, sono talora caratterizzate da basse concentrazioni di As. Peraltro, le concentrazioni misurate nell'acquifero sabbioso sono nell'intervallo dei contenuti di As totale disciolto nelle acque sotterranee, che varia da < 0.5 a 5000 µg/L (Smedley e Kinniburgh, 2002).

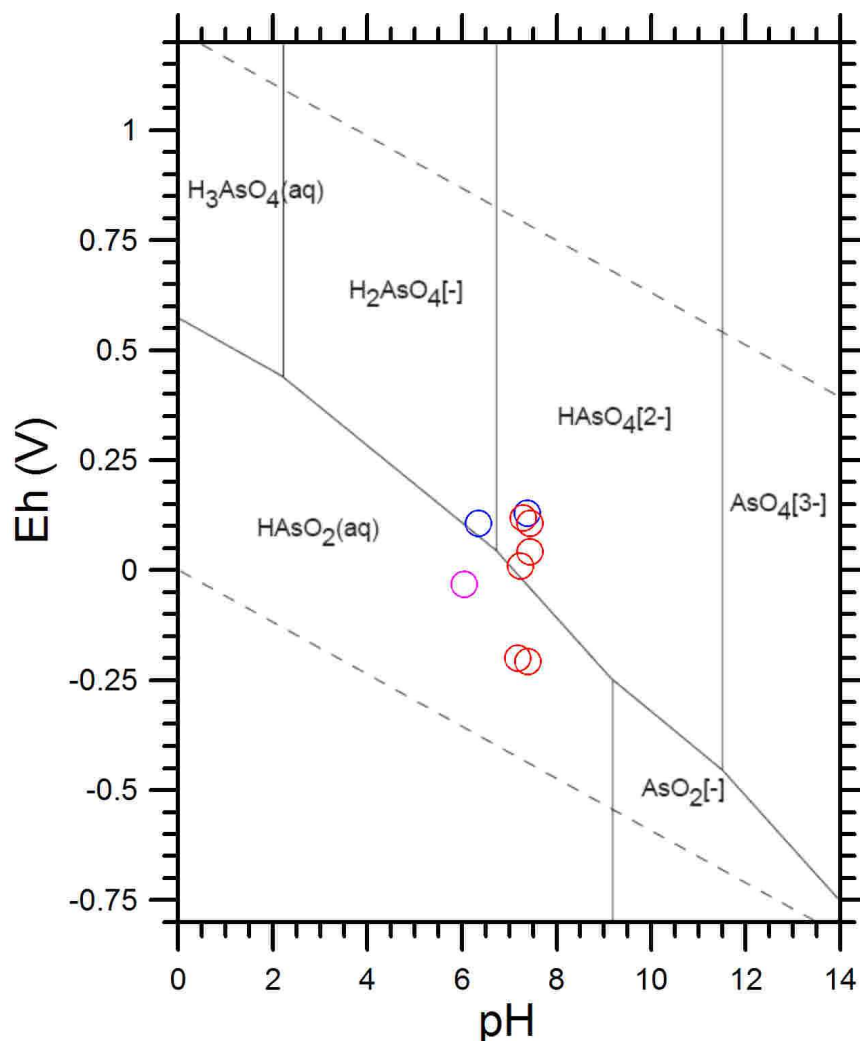


Fig. 7.11. Diagramma Eh-pH per il sistema As-O-H.

7.12. MODELLO IDROGEOLOGICO

Premesso quanto sopra si può affermare che (vedi **doc.04** – **doc.07**):

(i) le acque contenute nel corpo argilloso più superficiale, con caratteristiche di acquicludo, sono chimicamente ed isotopicamente differenti da quelle circolanti entro l'acquifero sabbioso più profondo;

(ii) non vi è alcuna evidenza di contaminazione dell'acquifero sabbioso; ciò implica che esso è protetto dal sovrastante livello argilloso, con caratteristiche di acquicludo, che impedisce l'infiltrazione sia delle acque meteoriche sia di quelle di laguna.

(iii) in merito alla presenza nelle acque profonde di alcuni metalli (es. As, Fe, Mn ecc...), anche in concentrazione molto più elevate dei valori tabellari riportati nel D.L.

152/2006, avendo escluso la possibilità che esse possano provenire dagli orizzonti sovrastanti, le analisi eseguite hanno evidenziato che le concentrazioni osservate rientrano negli intervalli di variazione generalmente osservati nelle acque sotterranee compatibili con il fondo naturale di questo corpo idrico.

7.13. VALIDAZIONE DEI DATI E VALUTAZIONE DEL FONDO NATURALE

In riferimento a quanto sopra, si rileva che i dati relativi ai campionamenti effettuati e riportati nei precedenti paragrafi sono stati sostanzialmente confermati da ARPAT nel corso della Conferenza di Servizi Istruttoria del 22-07-2009 e sono stati formalmente validati con relazione del Dipartimento Provinciale di Grosseto (prot. 64335 del 13-08-2009).

In Tabella 7.4 è riportato il tabulati riassuntivo delle analisi eseguite da ARPAT organizzate secondo la seguente metodologia:

- sono riportate solo le analisi eseguite su campioni filtrati, che costituiranno la futura base di riferimento e di correlazione delle analisi successive;
- di ogni analita, ove presente, viene fornito il limite di cui al *D.Lgs. 152/2006 – Parte IV – Allegato 5 – Tabella 2 – Concentrazione soglia di contaminazione nelle acque sotterranee*;
- sono stati tabulati separatamente i dati:
 - del pozzo profondo
 - dei piezometri collocati a monte, in senso idrogeologico, dell'area ex-SI.TO.CO.
 - dei vecchi piezometri superficiali
 - dei nuovi piezometri superficiali
 - dei nuovi piezometri profondievidenziando i punti di controllo e monitoraggio con colorazione analoga sui tabulati e sulla Tavola ACA.GEN.EG.IAM.005.00 (vedi **doc.04**)
- sono stati evidenziati gli analiti per i quali, nel corso delle pregresse campagne di monitoraggio, era stato registrato il superamento dei valori di cui alla suddetta Tabella 2.
- sono stati infine evidenziati con apposita colorazione i casi in cui si ha superamento del limite di cui al *D.Lgs. 152/2006 – Parte IV – Allegato 5 – Tabella 2 – Concentrazione soglia di contaminazione nelle acque sotterranee*; in particolare:
 - ☞ i modesti superamenti delle CSC (fino a 2 volte il limite di Tab. 2) sono stati evidenziati in GIALLO
 - ☞ i superamenti delle CSC fino a 10 volte il limite di Tab. 2 sono stati evidenziati in ARANCIO
 - ☞ i superamenti delle CSC oltre a 10 volte il limite di Tab. 2 sono stati evidenziati in ROSSO

					metalli											
					Al	As	Cd	CrTot	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	Cu	Zn	
					µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	
					2,5	1	0,1	2,5	10	5	0,1	0,5	1	2,5	50	
					Detection Limit - DL											
					D. Lgs. 152/2006 - Parte IV - Allegato 5 - Tabella 2											
		Zona	Piezometro	prof. filtro da p.d.c. da m a m												
pozzo profondo	CIT	PO 160 f	20,00	76,00	3	<1	<0,5	<1	11	3,7	32,7	<1	<4	1,6	9,8	
piezometri a MONTE		PZA f	2,00	13,35	16	14	<0,5	<1	5,9	114	<0,1	<1	<4	<1	18	
		PZE f	2,00	14,20	26	8,6	<0,5	<1	7,1	75	<0,1	2,2	<4	2,5	22	
vecchi piezometri SUPERFICIALI	BAC	PZ3 f	2,00	6,40	34.204	76	274	16	331.640	27.964	<0,1	1101	88	7,3	105.112	
	CIT	PZ 121 f	2,00	6,60	17	<1	<0,5	1,2	41	552	<0,1	2,2	7,6	<1	17	
	CIT	PZ 123 f	2,00	6,90	25	<1	0,53	<1	5	892	0,31	3,3	<4	<1	47	
	CIT	PZ 124 f	2,00	6,00	89	<1	2,2	17	752	46.010	<0,1	66	5,8	2,5	1835	
	NOR	PZ 401 f	2,00	6,00	54	8,3	0,78	<1	28	132	6,4	2,6	<4	<1	201	
nuovi piezometri SUPERFICIALI	BAC	NPZ 1a f	3,50	4,50	67	<1	3,5	6,7	188	16.920	<0,1	223	8,8	4,5	98	
	CIT	NPZ 2a f	4,50	5,50	26	<1	1,2	1,2	18	2.241	-	16	4,5	<1	20	
	CIT	NPZ 3a f	7,00	8,00	17	<1	<0,5	<1	2	1.071	0,3	38	4,5	20	11	
	CIT	NPZ 4a f	8,00	9,00	38	<1	<0,5	1,6	2	134	<0,1	17	<4	<1	24	
	CIT	NPZ 5a f	8,00	9,00	36	<1	<0,5	<1	21	298	<0,1	6,2	<4	<1	26	
	CIT	NPZ 6a f	5,00	6,00	39	<1	7	2,2	3	6.735	0,1	138	5,3	1,8	78	
nuovi piezometri PROFONDI	BAC	NPZ 1b f	17,00	18,00	21	7,6	<0,5	<1	276	216	<0,1	3,6	<4	<1	4,2	
	CIT	NPZ 2b f	19,50	20,50	13	11	<0,5	<1	53	246	<0,1	3	<4	<1	9	
	CIT	NPZ 3b f	22,00	23,00	14	5,5	<0,5	<1	9	150	<0,1	6	<4	<1	6,9	
	CIT	NPZ 4b f	20,00	21,00	25	7,8	<0,5	1	5	28	<0,1	3,8	5,1	1	5,4	
	CIT	NPZ 5b f	22,50	23,50	14	11	<0,5	<1	8	55	<0,1	4,1	<4	<1	28	
	CIT	NPZ 6b f	21,00	22,00	6	9,5	<0,5	<1	273	123	<0,1	1,7	<4	<1	6,1	

Legenda

PZA f	Piezometri a monte area ex-SITOCO
PZ3 f	Vecchi piezometri superficiali
NPZ 1b f	Nuovi piezometri superficiali e profondi

Valori superiori al limite di Tab. 2

12	non oltre 2 volte
36	tra 2 e 10 volte
54	oltre 10 volte

Tabella 7.4 - Tabulato riassuntivo delle analisi eseguite da ARPAT

I risultati ottenuti sui campioni FILTRATI dei NUOVI piezometri, gli unici sui quali si hanno certezze sul livello effettivamente campionato, hanno consentito di rilevare:

- che nei nuovi piezometri realizzati, sia in quelli superficiali sia in quelli profondi, **non** è stato rilevato il superamento dei valori di cui alla suddetta Tabella 2 per **Al - Cd - CrTot - Hg - Pb - Cu - Zn**;
- che, contrariamente a quanto rilevato da Laguna Azzurra srl, nei nuovi piezometri superficiali **non** è stato rilevato il superamento del valore di cui alla suddetta Tabella 2 per **As**;
- che nei nuovi piezometri profondi, **non** è stato rilevato il superamento dei valori di cui alla suddetta Tabella 2 per il parametro **Ni**;

- che solo 2 campioni profondi evidenziano un modestissimo superamento del valore di cui alla suddetta Tabella 2 per **As**;

Per quanto attiene le caratteristiche geochimiche delle acque sotterranee profonde (falda profonda multistrato presente al di sotto delle argille limose più superficiali), la presenza di **As**, **Fe** e **Mn**, rinvenuti in modeste quantità, è stata attribuita da Laguna Azzurra srl, in prima istanza, al *fondo naturale* della zona.

Su richiesta del MATTM la definizione dei valori del fondo naturale dovrà essere effettuata da ARPAT sulla base del *Protocollo per la definizione dei valori di fondo per le sostanze inorganiche nelle acque sotterranee* (ISPRA – Aprile 2009); in tal senso Laguna Azzurra e ARPAT hanno già in corso una serie di verifiche finalizzate all'individuazione di un adeguato numero di punti di campionamento in aree non antropizzate.

In particolare sono in corso ricerche di archivio e sopralluoghi in campo finalizzati alla ricerca di punti di campionamento idonei per lo studio delle concentrazioni di fondo in quanto significativi sia per quanto attiene la loro profondità sia per l'appartenenza alla stessa situazione geologica/idrogeologica riscontrata nell'area ex-SI.TO.CO..

Qualora sul territorio non siano disponibili punti di campionamento in numero sufficiente a soddisfare i criteri di rappresentatività di cui al *Protocollo per la definizione dei valori di fondo per le sostanze inorganiche nelle acque sotterranee* (ISPRA – Aprile 2009), sarà valutata l'opportunità di procedere ad una integrazione dei presidi di monitoraggio mediante realizzazione di nuovi piezometri.

8. PROGETTO DI BONIFICA

Come meglio esplicitato nella nota di introduzione, condividendo le osservazioni espresse in sede di segreteria tecnica, nelle more della validazione di ogni proposta basata sull'origine naturale dei contaminanti da parte di ARPAT, Laguna Azzurra ha provveduto alla "rimodulazione" del progetto di bonifica in due parti, caratterizzati da diversi tempi di esecuzione, e consistenti in una progettazione definitiva dell'intervento di bonifica dell'acquicludo superficiale mediante marginamento fisico (**paratia impermeabile di palancole**) con sistema tergale di captazione delle acque e alla progettazione preliminare dell'intervento di bonifica della falda profonda mediante barriera idraulica dinamica (**pozzi di emungimento profondi**) in grado di arrestare integralmente la propagazione verso valle, basato sullo schema di modellazione idrodinamica riportato in Figura 8.1.

L'intervento si completa con la progettazione e la conseguente realizzazione di un impianto di trattamento delle acque captate e la loro successiva re-immissione in laguna.

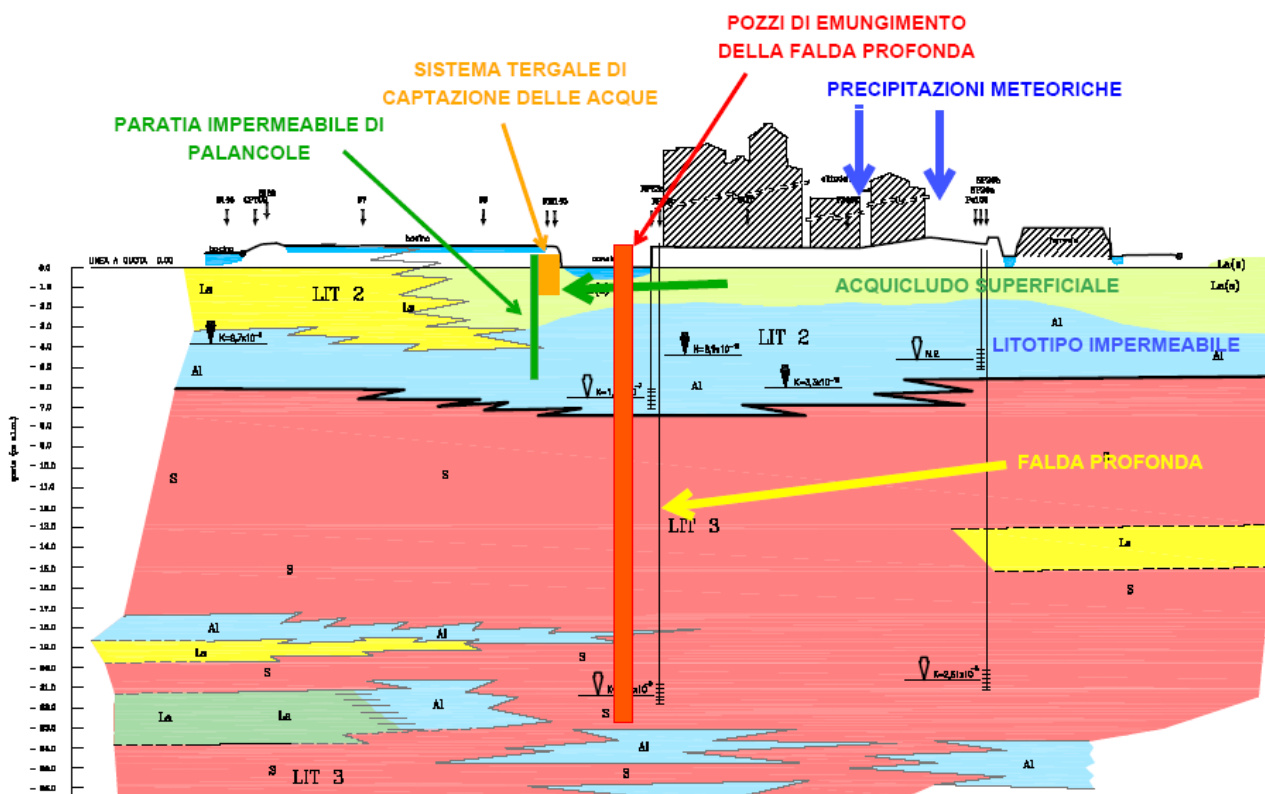


Figura 8.1 – Modello idrodinamico schematico

8.1. PROGETTO DEFINITIVO DI BONIFICA DELL'ACQUICLUDO SUPERFICIALE

Per quanto sopra descritto, per la bonifica dell'acquicludo superficiale verrà realizzato un marginamento fisico lungo il Canale Navigabile, con estensione dal limite di proprietà a sud-ovest e prolungato fino all'intersezione all'area dello Stagnino (per complessivi 1.400 m lineari circa) mediante la realizzazione di una paratia di palancole in acciaio, avente una profondità massima dal p.d.c. di circa 7 m, e posa in opera, a monte di questa, di un sistema tergale di captazione in grado di intercettare tutte le acque di percolazione all'interno dei limi argillosi più superficiali.

Per minimizzare gli eventuali richiami di acque dalla laguna, la paratia verrà resa impermeabile, mediante posizionamento di idonei giunti e potrà essere rimossa a bonifica completata.

L'intervento nasce con l'obiettivo di proteggere le acque di laguna da quelle, contaminate, che caratterizzano l'acquifero superficiale (acquicludo) della ex-SI.TO.CO..

Dette acque subiscono infatti una contaminazione per effetto della loro percolazione attraverso il soprastante livello di riporto in cenere di pirite. Le acque contaminate diventano quindi veicolo di diffusione delle componenti inquinanti in laguna.

La messa in opera del sistema tergale di captazione nella parte in corrispondenza del Canale Navigabile prospiciente la ex-Sitoco potrà essere realizzata solo una volta che saranno stati rimossi i sedimenti attualmente presenti; in tale settore la paratia di palancole in acciaio potrà essere utilizzata in futuro quale opera di marginamento del prato lagunare da realizzare nella zona lato laguna della ex-Sitoco, secondo le ipotesi di intervento già trasmesse ai vari enti competenti.

Gli interventi sono meglio rappresentati nelle tavole allegate:

- **ADB.BAC.EG.LAV.013.01** Planimetria di progetto Sezione Particolari
- **ADB.GEN.EG.LAV.014.01** Profilo longitudinale di infissione - sistema tergale di captazione - barriera idraulica

e nei paragrafi seguenti si procederà alla descrizione tecnica ed al dimensionamento degli stessi.

8.1.1. DIMENSIONAMENTO/POSIZIONAMENTO DEL SISTEMA TERGALE DI CAPTAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE SUPERFICIALI

8.1.1.1. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

In relazione a quanto sopra esposto, nel seguito si analizzerà nel dettaglio tecnico quanto relativo alla realizzazione del sistema tergale di captazione delle acque sotterranee superficiali.

Il sistema tergale di captazione delle acque sotterranee superficiali sarà realizzato

mediante scavo a sezione obbligata avendo cura di mettere in opera gli eventuali interventi di contenimento dei fronti di scavo laddove il terreno tenda a “franare”

Il materiale drenante sarà costituito da ghiaia di pezzatura 40/60 mm e il sistema di pozzi di sollevamento delle acque captate avrà un interasse medio di circa 100 m.

Il fondo dei singoli tratti di sistema tergale di captazione delle acque sotterranee superficiali sarà realizzato con lieve pendenza verso i pozzi di captazione e sollevamento (circa 0,5%) in modo da garantire il regolare emungimento delle acque captate (per maggiori dettagli vedi tavole di progetto).

8.1.1.2. *EFFETTI INDOTTI DAL SISTEMA TERGALE DI CAPTAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE SUPERFICIALI*

Con specifico riferimento agli obiettivi del progetto, si è visto che il regime idrodinamico risulta in un flusso rivolto nel verso delle acque lagunari, con conseguente contaminazione delle acque demaniali.

È altresì evidente l'effetto di schermatura prodotto dal fronte verticale della banchina prospiciente il Canale Navigabile.

Poiché in questa fase si intende captare le acque di falda superficiale lungo la citata linea di banchina, ovvero dall'interno del Canale Navigabile, è evidente la necessità di procedere alla rimozione a tratti del fronte della banchina mediante demolizione puntuale con interasse prossimo ai 10 m.

Tenuto inoltre conto che durante la stagione estiva:

- viene pompata acqua dal mare all'interno dello specchio lagunare al fine di garantirne la costanza del battente idraulico;
 - risultano modesti o quasi nulli gli apporti piovani;
- i gradienti indotti dal sistema tergale di captazione potrebbero comportare l'innescò di un flusso d'acqua rivolto dalla laguna verso l'area a terra, con conseguente sottrazione di acque dalla laguna e aumento dei quantitativi di acque da trattare.

Per tale motivo il sistema tergale di captazione delle acque sotterranee superficiali da realizzare a monte della paratia di palancole non sarà posta alla base dell'acquicludo superficiale, ma bensì prossima al p.d.c.; vedi tavole

- **ADB.BAC.EG.LAV.013.01** Planimetria di progetto Sezione Particolari
- **ADB.GEN.EG.LAV.014.01** Profilo longitudinale di infissione - sistema tergale di captazione - barriera idraulica

avendo quindi la funzione di evitare che le acque superficiali, sbarrate dalla paratia di palancole, possano tracimare sopra di questa e proseguire il loro percorso verso la laguna.

8.1.1.3. **DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI IDRAULICI PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI TRATTAMENTO**

La soluzione prescelta della realizzazione della paratia di palancole, unitamente a quella della captazione e trattamento delle acque, da un punto di vista idraulico comporta la necessità di valutare i volumi d'acqua da intercettare e inviare all'impianto di trattamento.

8.1.1.3.1. **Portate derivanti dall'acquifero superficiale**

Nello specifico, dato l'effetto indotto dalla realizzazione delle opere di marginamento e in assenza di ulteriori apporti esterni, il volume contaminato da trattare risulterebbe essere quello dell'**acquifero superficiale non confinato, con gradiente idraulico pari a circa 5,7/1000 e direzione da Nord-Est verso Sud-Ovest.**

Detto volume è stimabile, in assenza di alcuna alimentazione esterna, come il prodotto tra l'area del fronte conterminato, la permeabilità dell'acquifero e il gradiente idraulico:

$$Q_1 = A * K * i$$

dove :

A = area del fronte conterminato = 5.000 m²

K = permeabilità del substrato più superficiale limo-argilloso = 10⁻⁷ m/s

i = 5,7*10⁻³

Da cui si ricava:

$$Q_1 = 0,3 \text{ m}^3/\text{giorno}$$

Come risulta evidente, il valore calcolato risulta estremamente basso a causa del fatto che le acque sotterranee superficiali provenienti "da monte", dovendo attraversare un litotipo caratterizzato da materiali a grana molto fine, hanno deflusso praticamente nullo.

Anche affrontando la tematica con un diverso approccio di calcolo, potrebbero essere analizzati i dati dei piezometri superficiali, ma l'unico su cui possono essere eseguiti calcoli caratterizzati da una certa attendibilità è il NPZ.4a, visto che per gli altri non è stata rilevata alcuna risalita e fornirebbero una portata uguale a zero.

Premesso quanto sopra, sovrastimando le portate e facendo una stima sui dati di risalita nel pozzo e sul valore della trasmissività, si ottengono volumi compresi fra 500 e 700 l/giorno, che potrebbero arrivare a poco meno di 900 l/giorno se si potesse teoricamente mantenere un livello prossimo al fondo del piezometro.

Negli altri piezometri i dati indicano un'alimentazione scarsa o nulla e i volumi che si potrebbero estrarre sono inferiori al volume del piezometro per giorno (meno di 60 l) per ciascun piezometro.

Tenuto conto di quanto sopra, appare ragionevole sostenere che, in assenza di apporti esterni, il volume complessivo delle acque sotterranee superficiali intercettate dalla paratia di palancole dovrebbe risultare al massimo dell'ordine di:

$$QS_1 = 1 \text{ m}^3/\text{giorno}$$

8.1.1.3.2. Apporti idrici esterni

Per quanto attiene agli apporti idrici esterni, l'unico possibile è riconducibile alle acque piovane incidenti all'interno dell'area della Cittadella e dell'Area Nord, cioè dell'area complessiva a valle del fosso di guardia, stimata in circa 160.000 m².

Per la verifica degli apporti meteorici si è proceduto al calcolo di un bilancio idrico che, in generale su un'area qualsiasi, può essere espresso come:

$$P=E+R+I$$

dove:

P: precipitazione;
E: evapotraspirazione;
R: deflusso superficiale;
I: infiltrazione.

Il termine legato alle precipitazioni atmosferiche è stato determinato mediante un'analisi di tipo statistico, ovvero attraverso lo studio del regime pluviometrico riferito alla stazione pluviometrica più vicina al sito in esame (Orbetello) per la serie storica: 1980-1998.

Il termine dell'evapotraspirazione è stato ottenuto con metodo indiretto, mediante l'equazione di Thornthwaite che lega l'evapotraspirazione a parametri climatici: temperatura media e latitudine con la quale si ha una indicazione indiretta dell'irraggiamento solare dell'area in esame.

Secondo la formula di Thornthwaite, il termine dell'evapotraspirazione mensile è legato alla temperatura media mensile dalla seguente relazione:

$$m(ETP_i)=K_i \cdot 135 \cdot [m(t_i)/26,5]^a$$

dove K_i tiene conto della durata teorica dell'irraggiamento solare e varia con la latitudine ed il numero dei giorni di ciascun mese, mentre il coefficiente "a" dipende dall'indice termico annuo "i":

$$i=\sum_i[m(t_i)/5]^{1,514}$$

attraverso la relazione:

$$a = 0,49239 + 1,792 \cdot 10^{-2} \cdot i - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot i^2 + 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot i^3$$

Poiché l'area in questione si trova ad una latitudine di 42°.30' sono stati assunti per i coefficienti di irraggiamento K_i i valori medi tra quelli assunti tra le latitudini 40° e 45°.

Sostituendo i vari coefficienti determinati, si ottengono i valori di evapotraspirazione riportati nella sottostante Tabella 8.1, dove sono riprodotte le precipitazioni medie mensili e i valori attesi di infiltrazione nel sottosuolo

MESE	P (mm)	T (°C)	N (h)	CR	Cm	Rpot (mm)	R (mm)	P-R (mm)
GEN	86,4	8,35	9,30	0,30	2	41,47	41	45
FEB	70,7	8,95	10,50	0,30	2	38,18	38	33
MAR	66,1	11,05	11,90	0,30	1	28,36	28	38
APR	46,7	13,90	13,40	0,30	1	13,59	14	33
MAG	31,7	17,45	14,70	0,30	1	8,46	8	23
GIU	20,3	21,30	15,40	0,30	0	2,25	2	18
LUG	13,1	24,15	15,20	0,30	0	1,14	1	12
AGO	33,9	24,10	14,00	0,30	0	2,95	3	31
SET	50,6	21,70	12,60	0,30	0	6,98	7	44
OTT	89,2	17,65	11,00	0,30	1	32,11	32	57
NOV	104,3	13,40	9,70	0,30	1	43,81	44	60
DIC	76,1	10,05	8,90	0,30	2	36,53	37	40
TOTALE	689	16,0					256	
MESE	C	It	a	PEg.12 (mm)	PEg.C (mm)	PEm (mm)	ETR (mm)	I (mm)
GEN	0,775	2,17		1,99	2	15,93	16	29
FEB	0,875	2,41		2,23	2	18,22	18	14
MAR	0,992	3,32		3,16	3	32,42	32	5
APR	1,117	4,70		4,62	5	51,63	33	0
MAG	1,225	6,63		6,73	8	85,24	23	0
GIU	1,283	8,97		9,36	12	120,15	18	0
LUG	1,267	10,85		11,53	15	150,92	12	0
AGO	1,167	10,82		11,49	13	138,53	31	0
SET	1,05	9,23		9,66	10	101,41	44	0
OTT	0,917	6,75		6,86	6	65,02	57	0
NOV	0,808	4,45		4,35	4	35,15	35	25
DIC	0,742	2,88		2,70	2	20,73	21	19
TOTALE		73,19	1,65			835	340	93

Tabella 8.1: Bilancio idrico secondo Thornthwaite

dove :

P	= precipitazione mensile media	C	= coefficiente di correzione funzione della latitudine
T	= temperatura mensile media	It	= indice termico (mensile e annuale)
N	= insolazione media	a	= coefficiente funzione dell'indice termico
CR	= coefficiente di ruscellamento	PEg.12	= evapotraspirazione potenziale giornaliera su 12 ore
Cm	= coefficiente di correzione	PEg.C	= evapotraspirazione potenziale giornaliera corretta
Rpot	= ruscellamento potenziale	PEm	= evapotraspirazione potenziale mensile
R	= ruscellamento mensile	ETR	= evapotraspirazione reale mensile
P-R	= precipitazione - ruscellamento	I	= infiltrazione mensile
		I/P	= rapporto tra l'infiltrazione e la precipitazione

Dall'analisi dei dati si osserva che per la zona in esame possiamo distinguere, da un punto di vista di bilancio idrico, due stagioni:

- i mesi umidi (in cui le precipitazioni sono maggiori dell'evapotraspirazione), da ottobre ad aprile;
- i mesi secchi (in cui le precipitazioni sono inferiori all'evapotraspirazione), da maggio a settembre.

Tenuto conto di quanto sopra, gli apporti idrici esterni riconducibili alle acque piovane incidenti all'interno dell'area della Cittadella e dell'Area Nord, cioè dell'area complessiva a valle del fosso di guardia, stimata in circa 160.000 m², dovrebbero risultare pari a circa:

$$QS_2 = S * I = 14.900 \text{ m}^3/\text{anno}$$

dove :

S = superficie dell'area di infiltrazione = 160.000 m²

I = infiltrazione = 93 mm/anno

8.1.1.3.3. Volumi complessivi di acque da trattare

Tenuto conto di quanto sopra, si ricava un valore complessivo medio di acque da captare ed inviare a trattamento pari a circa :

$$QS = 15.000 \text{ m}^3/\text{anno} = 40 \text{ m}^3/\text{giorno} = 2 \text{ m}^3/\text{ora}$$

con un valore di picco nel mese di Gennaio pari a circa:

$$QS_p = 4.640 \text{ m}^3/\text{mese} = 150 \text{ m}^3/\text{giorno} = 6 \text{ m}^3/\text{ora}$$

8.1.2. DIMENSIONAMENTO E VERIFICA STRUTTURALE DELLE PALANCOLE

8.1.2.1. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

8.1.2.1.1. Generalità

Come accennato in precedenza, l'intervento in oggetto riveste una doppia funzione e cioè la funzione di protezione delle acque lagunari dall'interazione con quelle della falda superficiale che subiscono contaminazione per contatto diretto con le sorgenti di contaminazione e la funzione di contenimento e protezione del "prato lagunare" che sarà realizzato reinterrando con sedimenti lagunari non contaminati e/o altri idonei materiali l'attuale Canale Navigabile (nella sua porzione prospiciente lo stabilimento ex-Sitoco).

In questo contesto si è optato per l'adozione di una palancolata in acciaio, sviluppata secondo il profilo planimetrico differenziato per competenza di cui alle tavole di progetto; per minimizzare gli eventuali richiami di acque dalla laguna, la paratia verrà resa impermeabile, mediante posizionamento di idonei giunti di tenuta idraulica e potrà essere rimossa a bonifica completata.

8.1.2.1.2. Contesto di applicazione

Pur rappresentando una soluzione molto versatile dal punto di vista applicativo, le palancole necessitano di essere posate ed estratte con facilità, sfruttando la tecnologia della vibroinfissione.

I contesti più adatti per il loro utilizzo sono rappresentati da terreni granulari, privi di trovanti e massi. Ciononostante esse possono essere anche proposte in contesti di tipo coesivo, con presenza di limi e argille.

La coesione del terreno rappresenta un ottimo aspetto per quanto riguarda le spinte del terreno, poiché le riduce; d'altro canto essa rende più oneroso l'atto dell'estrazione, a causa della presenza di un'adesione acciaio-terreno.

Poiché se ne prevede l'impiego in acqua, è stata posta particolare attenzione alla possibilità di innesco di moti di filtrazione e venute d'acqua che potrebbero indurre cedimenti importanti sulle strutture.

8.1.2.1.3. Scelta della soluzione progettuale

La morfologia del sito in esame, unitamente alla limitazione degli spazi disponibili, ha reso necessario uno studio preventivo di cantierizzazione.

La soluzione in definitiva prescelta consiste nell'esecuzione di un diaframma costituito da palancole metalliche a "U" tipo *Larssen*, da infiggere accoppiando in stabilimento due profili per volta. Lo sviluppo planimetrico delle opere è stato determinato in maniera tale da soddisfare tutti i requisiti di protezione dalla contaminazione delle acque di laguna, prima di realizzare l'impianto che tratterà i volumi d'acqua contaminati.

La scelta progettuale adottata scaturisce dalla estrema versatilità di utilizzo che caratterizza le palancole metalliche; di facile posa, esse rappresentano strutture molto utilizzate, soprattutto allorquando è necessario disporre la posa in opera in tempi rapidi.

L'applicazione più visibile è senz'altro quella di opere di sostegno degli scavi. Il peso contenuto a fronte di un'ottima inerzia le rendono molto vantaggiose in questo ambito.

La possibilità del recupero costituisce inoltre un'ottimizzazione del prodotto. Il mercato offre infatti anche la possibilità del noleggio.

Non vanno sicuramente trascurati i fenomeni di corrosione e, a seconda del grado di aggressività degli ambienti, bisogna verificare la correttezza della soluzione proposta e o la necessità di adeguate protezioni. Le protezioni sono in genere ottenute mediante zincatura e verniciatura o anche potranno essere garantite con l'utilizzo di palancore di "spessore" maggiorato rispetto a quello derivante dai calcoli statici.

8.1.2.1.4. Modalità di posa in opera

La posa in opera delle palancole avviene quasi esclusivamente mediante vibro infissione. Il procedimento prevede l'impiego di un mezzo cui viene collegato il vibroinfissore, strumento che materialmente, mediante piccoli e frequenti colpi, procede al posizionamento dell'elemento metallico nel terreno. Esistono in commercio vari tipi di teste di battuta. In funzione della tipologia di palancola e dei contesti di applicazione, sono disponibili soluzioni differenti con una tempistica di esecuzione che dipende direttamente da quanto addensato e coerente sia il terreno di fondazione.

L'estrazione avviene semplicemente mediante un escavatore con sbraccio e utensile di estremità opportuni.

Le principali attività previste in sequenza sono così riassumibili:

- 1) Trasporto a mezzo di autoarticolato di escavatore idraulico che verrà scaricato su apposita area pianeggiante.
- 2) Controllo del tracciamento, eseguito dall'appaltatore lungo lo sviluppo della zona di posa.
- 3) Le palancole (di lunghezza mt. 5,00 - 7,00) arriveranno in area di lavoro per mezzo di autoarticolato che dovrà circolare su idonee piste fino al punto di scarico in modo da evitare ulteriori movimentazioni. Lo scarico delle stesse ad opera dell'escavatore idraulico avverrà lungo il tracciato del palancolato in oggetto posando i pezzi orizzontalmente uno dentro l'altro in cataste di circa 15 barre in modo da evitare il ribaltamento.
- 4) Posa del palancolato:
 - Presa della singola barra mediante aggancio con la pinza del vibroinfissore, passaggio di apposito cavo di acciaio di sicurezza, sollevamento della palancola.
 - Sollevamento in verticale e posizionamento nel luogo di infissione.
 - Accensione del vibroinfissore che per mezzo delle vibrazioni prodotte infigge la palancola fino ad una quota tale da poter ingargamare la palancola successiva.
 - Sgancio del vibratore
 - La palancola successiva viene agganciata con il vibroinfissore, sollevata e ingargamata a quella già infissa. L'aggancio di ogni singola barra sulla precedente

- verrà guidato dall'operatore che farà in modo che la palancola sia posizionata in affiancamento a quella già infissa così che i giunti si inseriscano uno nell'altro.
- Per tutte le successive palancole si ripeterà la medesima operazione.
 - Al termine dell'infissione di tutte le palancole, le stesse verranno portate alla quota prevista mediante vibroinfissione.
- 5) L'eventuale estrazione delle palancole: avverrà permettendo al mezzo cingolato di muoversi sul perimetro esterno della palancolata stessa su idonea pista di almeno mt. 5,00 di larghezza. Lo sfilaggio avverrà per mezzo del vibroinfissore idraulico che verrà posato sulla testa della barra, stretto sulla stessa per mezzo di ganascia idraulica.
- Aggancio del vibratore sulla palancola
 - Sollevamento della palancola mediante vibrazione per circa mt. 1,5, passaggio del cavo di acciaio di sicurezza, termine del sollevamento. Le vibrazioni prodotte staccano la palancola dal terreno e ne determinano lo sfilaggio.
 - ad estrazione avvenuta si blocca la vibrazione, la palancola viene sfilata da quella ancora infissa e posata a terra.
 - Tutte le palancole verranno sfilate seguendo il medesimo procedimento ed accatastate l'una sull'altra in circa 15 elementi in modo da evitarne il ribaltamento.
 - Carico delle palancole sull'autoarticolato che dovrà sostare vicino all'escavatore

8.1.2.2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La redazione del presente Progetto è stata condotta nel rispetto delle seguenti norme:

- 1) *“Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”*. Legge 5 novembre 1971, n. 1086, G.U. n. 321 del 21/12/1971.
- 2) *“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”*. Associazione Geotecnica Italiana, giugno 1977.
- 3) *“Aggiornamento delle norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”*. D.M. LL.PP. del 12/02/1982 e relative istruzioni emanate con circ. n°22631 del 24/05/1982.
- 4) *“Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione delle costruzioni in acciaio”*. CNR UNI 10011 (1985).
- 5) *“Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche”*. D.M. LL.PP. 14/02/1992 e relative istruzioni emanate con circ. n°37406/STC del 24/06/1993.
- 6) *“Nuove Norme tecniche per terreni, opere di sostegno e fondazioni”*. D.M. dei LL.PP. del 11/3/1988, Supplemento Ordinario alla G.U. n. 127 del 1/6/1988.
- 7) *“Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”*. D.M. 09/01/1996.
- 8) *“Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”*. D.M. 16/01/1996.
- 9) *“EC7 (1997)”*. Eurocodice 7.

8.1.2.3. MODELLO GEOTECNICO DELL'INTERVENTO

Seppur rimandando per maggiori dettagli alle risultanze delle indagini integrative eseguite (vedi **doc.01**), per la ricostruzione di dettaglio della natura del sottosuolo, può dirsi che numerosi risultano essere sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo realizzati, spinti a profondità comprese tra 6,0 e 30,0 m dal piano campagna.

Con particolare riferimento al tracciato del marginamento oggetto di dimensionamento, risultano realizzati 5 sondaggi stratigrafici, come riportato nella successiva tabella 8.2; i primi tre sono relativi all'argine del bacino 1, mentre i restanti due lungo il tratto che si estende fino all'intersezione con il fosso di guardia.

<i>Identif.</i>	<i>Data</i>	<i>Prof. [m dal p.c.]</i>
S142	22/11/2005	25,00
S143	16/11/2005	24,00
S144	16/11/2005	25,50
S150	04/11/2005	22,00
S151	02/11/2005	25,00

Tabella 8.2: indicazione delle caratteristiche dei sondaggi stratigrafici realizzati in relazione al tracciato del marginamento fisico.

Più in generale, sulla scorta dell'intera campagna di indagine stratigrafica condotta all'interno dell'area ex SITOCO, è stato possibile ricostruire un modello tridimensionale del sottosuolo. Individuato successivamente il tracciato planimetrico delle opere di marginamento, si è proceduto ad estrarre la sezione geologica corrispondente.

Per la restituzione di quanto estratto dal modello numerico si rimanda agli elaborati grafici costituenti parte integrante del progetto.

Ai fini della caratterizzazione geomeccanica dei terreni, considerata la presenza di un sottosuolo caratterizzato da un'alternanza di strati incoerenti e coesivi, sono state eseguite sia prove in sito sia analisi di laboratorio su campioni indisturbati. Con particolare riferimento all'area del bacino, risultano disponibili:

- n° 4 prove penetrometriche statiche del tipo C.P.T.U. (Cone Penetration test con misura delle sovrappressioni neutre) ed in particolare:
 - ☞ nel corso delle indagini pregresse sono state realizzate le CPTU1 – CPTU4;
 - ☞ nel corso dell'indagine integrativa del Febbraio 2009 (vedi **doc.04** - GEN.REL.IAM.004.00) sono state realizzate le CPTU 14 - CPTU 16
- n° 5 prove di dissipazione delle pressioni neutre con piezocono:
 - ☞ durante l'esecuzione di CPTU1, rispettivamente alle profondità di 6,0, 9,0 e 19,5 m dal p.c.;
 - ☞ durante l'esecuzione di CPTU14 alla profondità di 4,0 m dal p.c.;
 - ☞ durante l'esecuzione di CPTU16 alla profondità di 4,0 m dal p.c.;
- determinazione delle caratteristiche fisiche generali su n°7 campioni indisturbati prelevati nel corso delle perforazioni di sondaggio all'interno del bacino 1;
- n°3 prove di permeabilità a carico variabile in permeometro su campioni di terreno prelevati dai sondaggi interni al bacino 1;

- n°2 prove di taglio diretto su campioni di terreno prelevati dai sondaggi interni al bacino 1.
- n°4 prove di permeabilità in sito del tipo Le Franc (n°1 in S142, n°1 in S143 e n°2 in S144).

Dai risultati ottenuti, è stato possibile operare una caratterizzazione stratigrafica dei terreni ricadenti nell'area oggetto di studio, individuando quelle che sono, da questo punto di vista, zone omogenee. Le perforazioni a carotaggio continuo hanno evidenziato infatti che la struttura stratigrafica è riconducibile a una successione di litotipi consistenti in un'alternanza di limi da argillosi (localmente sabbiosi) di potenza variabile da circa 1,0 nella zona a nord del bacino fino ai 5,0 m in corrispondenza dello spigolo più a sud. Al di sotto del citato banco è presente un substrato in argilla con potenza compresa tra i 3,0 e i 5,0 m; il banco d'argilla funge da elemento di separazione tra l'acquifero più superficiale e la falda profonda contenuta nel potente strato sabbioso che si rinviene per spessori variabili tra i 9,0 e i 18,0 m passando dal settore a sud verso nord. Si rinviene quindi una zona caratterizzata dalla presenza di lenti di limi sabbiosi, argille limose e limi argillosi, che non mostrano carattere di continuità laterale, e a partire dalla quale i carotaggi più profondi restituiscono ancora sabbia debolmente limosa.

Relativamente ai materiali granulari, non si apprezza la presenza di sensibili legami di cementazione.

Durante le fasi di carotaggio si è proceduto all'installazione di piezometri per il monitoraggio delle oscillazioni di falda. In generale essa è sempre presente fino al piano campagna, fatta ovvia eccezione per le porzioni del rilevato arginale.

Per quanto attiene ai risultati di prove meccaniche in sito, si è detto che risulta disponibile una C.P.T.U. (CPTU1) spinta fino a 20,0.

Nella successiva figura 8.2, si riassumono le informazioni desunte lungo la verticale esplorata.

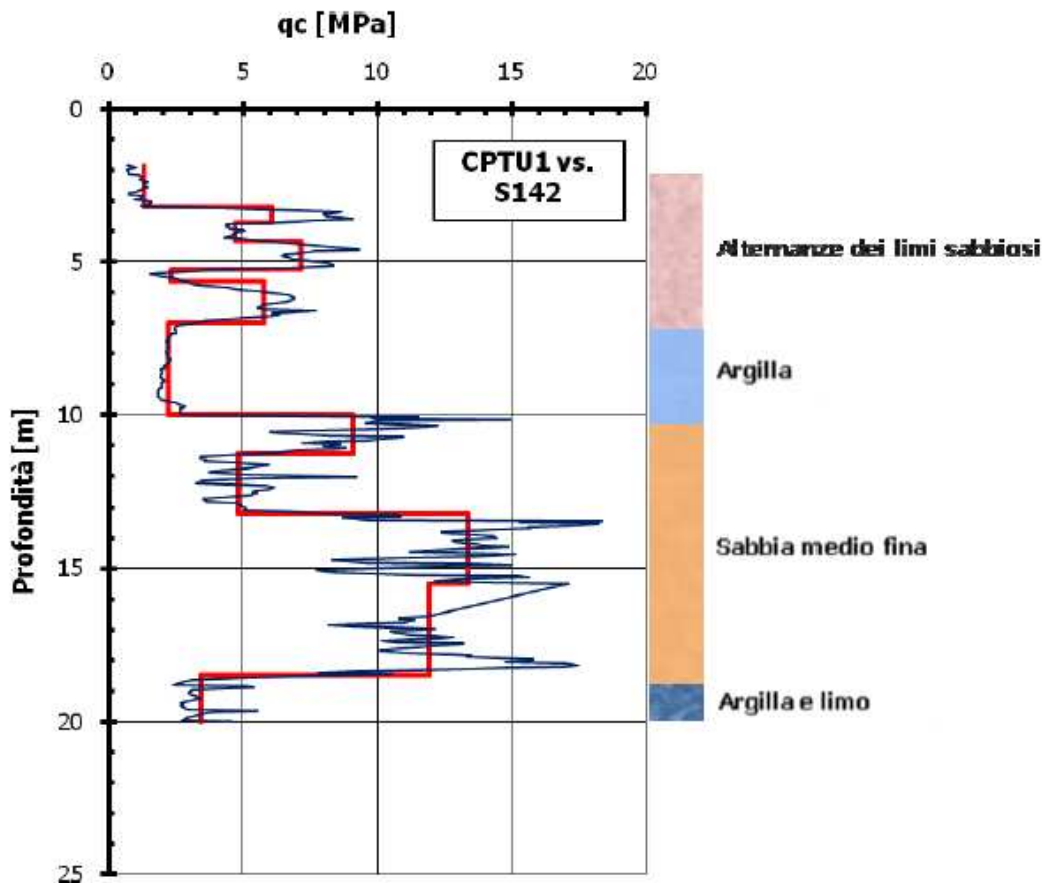


Figura 8.2: andamento della resistenza unitaria alla punta q_c con la profondità.

Il diagramma riportato mostra, in riferimento al corrispondenti profili stratigrafici, una chiara congruenza tra la natura dello strato attraversato e la resistenza alla punta misurata.

Limitatamente ai livelli costituiti da materiale di natura incoerente, ai fini della determinazione dei parametri di resistenza e di rigidità, si è fatto riferimento ai risultati della citata prova in situ CPTU.

Tale prova consente, attraverso correlazioni empiriche definite per terreni incoerenti, la valutazione della resistenza al taglio in termini del solo angolo di attrito.

In entrambi i casi si è operato nella maniera seguente:

1. determinazione, a mezzo di correlazioni empiriche note in letteratura, del valore della densità relativa D_R del terreno lungo la verticale esplorata in funzione dei valori di resistenza unitaria q_c alla punta del penetrometro o del numero di colpi N_{SPT} e della tensione verticale efficace σ'_v ;
2. determinazione del valore dell'angolo d'attrito ϕ del terreno lungo le singole verticali esplorate mediante l'utilizzo di correlazioni che ne consentono la stima in funzione della densità relativa D_R e della granulometria.

L'espressione utilizzata ai fini della determinazione dei valori della densità relativa per il caso di prove CPT viene di seguito riportata:

$$D_R = -98 + 66 \cdot \text{LOG}[q_d/(\sigma_v')^{0,5}]$$

In figura 8.3 si riporta in diagramma quanto ottenuto in relazione alla verticale di indagine.

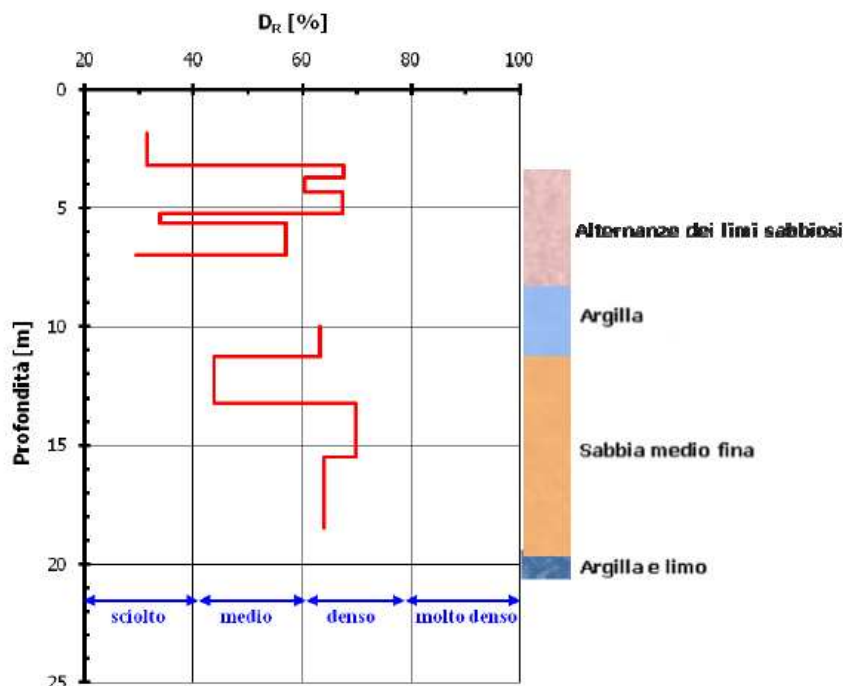


Figura 8.3 : andamento della densità relativa, determinata a partire dai risultati della prova CPTU.

Si osserva che il comportamento delle alternanze più superficiali dei limi argillosi (localmente sabbiosi) mostra una marcata variabilità con valori di densità relativa tra il 40 e il 60%. Tale aspetto è sicuramente giustificabile se posto a confronto con le stratigrafie di riferimento, laddove si osserva la presenza alternata di livelli limosi e talvolta sabbioso-argillosi.

Il substrato sabbioso, invece, denota valori della densità relativa prossimi al 60%, restituendo pertanto un comportamento da substrato da mediamente denso a denso.

La determinazione dell'andamento dell'angolo d'attrito φ del terreno lungo le singole verticali esplorate è stata effettuata mediante l'utilizzo delle correlazioni di Schmertmann (1977), che ne consentono una stima in funzione della densità relativa D_R e della granulometria.

In particolare, per limi e sabbie fini uniformi (substrato superficiale) essa assume l'espressione: $\varphi [^\circ] = 28 + 0,14 \cdot D_R$, mentre per sabbie medie uniformi (substrato profondo) si ha $\varphi [^\circ] = 31,5 + 0,115 \cdot D_R$.

In figura 8.4 si riportano i risultati ottenuti nelle condizioni analizzate.

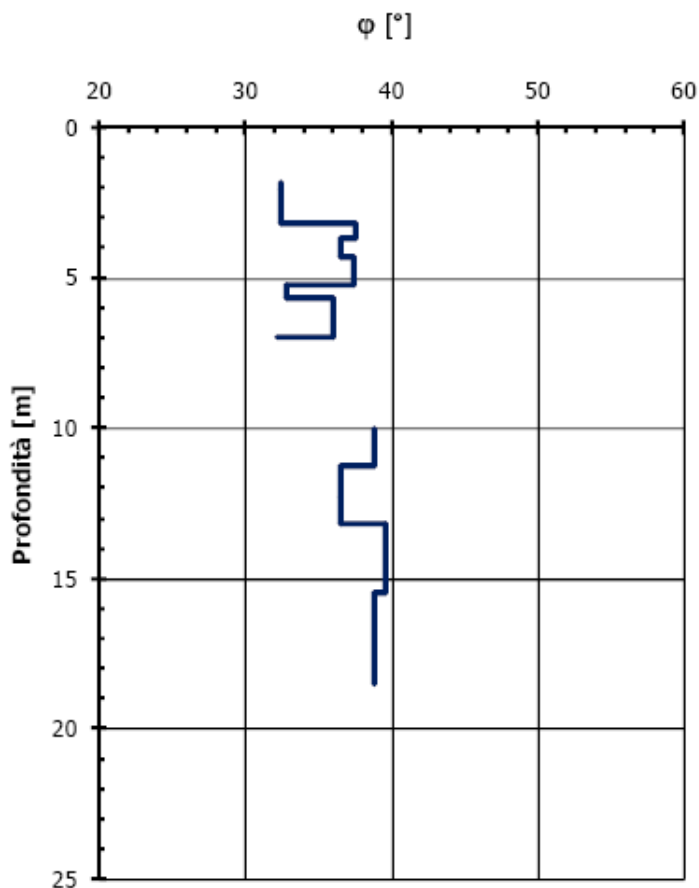


Figura 8.4: andamento del valore dell'angolo d'attrito con la profondità, determinato a partire dai risultati della prova CPTU.

Si osserva che i valori dell'angolo d'attrito risultano compresi tra un minimo di circa 32° relativamente al substrato dei limi argillosi, mentre il livello delle sabbie risulta caratterizzato da valori dell'angolo d'attrito nettamente maggiori e prossimi ai 38°.

Tali valori, seppur compatibili con le proprietà indice e di stato dei materiali in oggetto, in relazione al substrato delle sabbie, sono probabilmente condizionati anche dall'esistenza di, seppur lievi, legami di cementazione.

Per quanto riguarda le caratteristiche di deformabilità dei terreni, si è fatto riferimento all'espressione proposta da De Beer, 1965 secondo cui:

$$E_{VL} = \alpha \cdot q_C$$

ove α è stato assunto pari a 1,5 nel livello dei limi e 2,5 per il substrato delle sabbie da mediamente addensate ad addensate.

L'applicazione di tale espressione porta all'andamento con la profondità del modulo di Young E del terreno riportato in figura 8.5.

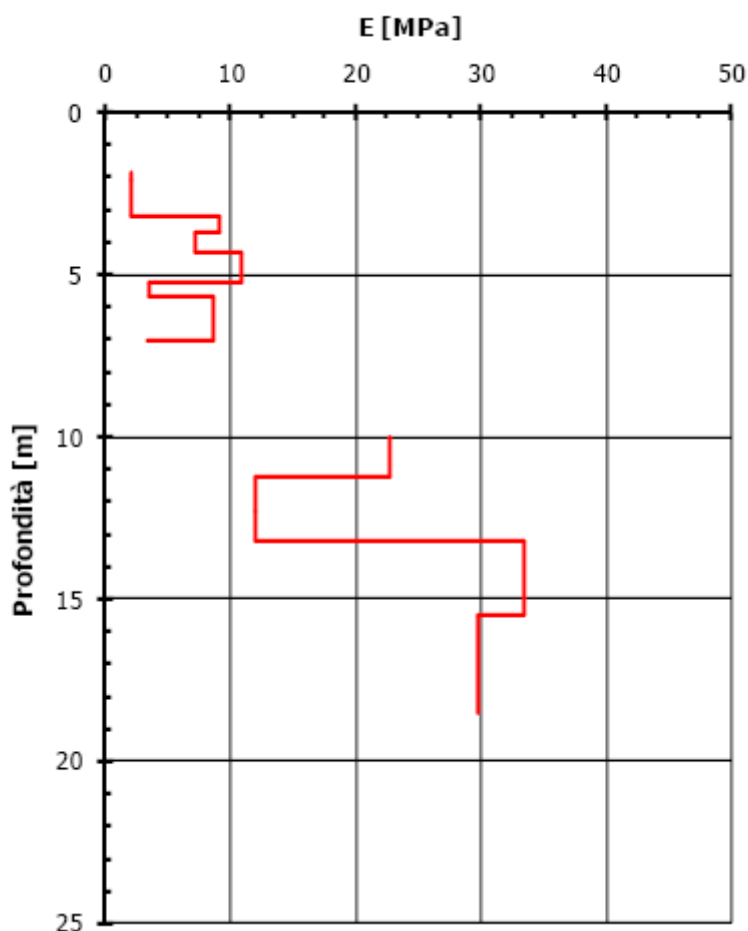


Figura 8.5: andamento del valore del modulo di Young E con la profondità, determinato a partire dai risultati della prova CPTU.

Può osservarsi che i valori determinati sono caratterizzati da un andamento piuttosto variabile, con valori medi prossimi ai 4,0 MPa nel livello dei limi sabbiosi e 25,0 MPa nel livello delle sabbie.

Prima di sintetizzare le informazioni desunte in uno schema di modello geotecnico del sottosuolo, è opportuno riportare (cfr. tabella 8.3) quanto ottenuto dalle analisi di laboratorio eseguite, come detto in precedenza, su n° 7 campioni indisturbati prelevati nel corso delle perforazioni di sondaggio a profondità compresa tra 3,1 e 5,6 m dal p.c..

Sondaggio	S	n°	3	3	4	4	4	13	13
Campione	C	n°	1	2	1	2	3	1	2
Profondità di prelievo	z	[m dal p.c.]	3,1÷3,5	4,5÷5,0	2,7÷3,0	4,0÷4,5	5,0÷5,4	3,15÷3,5	5,1÷5,6
Peso unità di volume	γ	[kN/m ³]	19,67	19,33	19,26	19,01	19,23	20,68	19,81
Peso specifico	γ_s	[kN/m ³]	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00
Porosità	n	[%]	37	41	42	46	40	35	41
Grado di saturazione	S	[%]	74	81	87	96	75	90	93
Ghiaia	G	[%]	3,8	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Sabbia	S	[%]	70,5	53,4	43,6	49,4	71,6	29,4	26,4
Limo	L	[%]	8,9	22,4	25,0	20,8	13,5	25,9	35,5
Argilla	A	[%]	16,9	24,2	27,3	29,8	14,9	44,6	38,1
Indice di plasticità	I_p	[--]	N.A.	N.A.	1,2	0,6	N.A.	1,1	1,1
Angolo d'attrito	ϕ	[°]	N.A.	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	25
Coazione non drenata	c_u	[kPa]	N.A.	62	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Coazione	c'	[kPa]	N.A.	6,0	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	10,0
Permeabilità	k	m/s	N.A.	9,7E-09	N.A.	5,7E-09	N.A.	N.A.	7,1E-08

Tabella 8.3: sintesi dei risultati delle analisi di laboratorio.

Per quanto attiene a prove di permeabilità in situ, si è detto che sono disponibili sei prove di permeabilità tipo Le Franc a carico variabile realizzate nel corso di perforazioni lungo l'argine del bacino, nonché 5 prove di dissipazione con piezocono eseguite nel corso di CPTU1 – CPTU14 – CPTU16. Nelle successive tabelle 8.4 e 8.5 si riportano i risultati ottenuti.

Sondaggio	S	n°	S142	S143	S144	S144
Profondità di indagine	z	[m dal p.c.]	3,0÷5,0	16,5÷18,0	12,0÷12,3	18,0÷19,5
Livello indagato	N.A.	N.A.	Limo sabb.	Sabbia fina	Sabbia fina	Sabbia fina
Permeabilità	k	m/s	1,1E-06	5,2E-07	2,6E-07	1,6E-07

Tabella 8.4: risultati delle prove di permeabilità in situ tipo Le Franc a carico variabile.

Sondaggio (*)	S	n°	CPTU1	CPTU1	CPTU1	CPTU14	CPTU16
Profondità di indagine	Z	[m dal p.c.]	6,0	9,0	19,5	4,0	4,0
Livello indagato	N.A.	N.A.	Argilla	Argilla	Sabbia fina	Argilla	Argilla
Permeabilità	k	m/s	8,5E-10	5,1E-10	1,2E-08	5,7E-08	6,6E-08

Tabella 8.5: risultati delle prove di dissipazione con piezocono eseguite in CPTU1.

Si osserva che, in relazione alle differenti tipologie di prova adottate ai fini della determinazione della permeabilità del sottosuolo, i risultati ottenuti appaiono sensibilmente influenzati dalla complessità strutturale che vede l'alternarsi di livelli a comportamento sensibilmente differente dal punto di vista della permeabilità.

In definitiva, si è pervenuti alla definizione del seguente modello geotecnico del sottosuolo (tabella 8.6) in relazione al quale si procederà, nel seguito, all'analisi dell'interazione del terreno con le opere di marginamento fisico.

Livello	N.A.	n°	1	2	3
Descrizione	N.A.	N.A.	Limi argillosi e sabbiosi	Argilla	Sabbia fina
Spessore	S	[m]	1,0÷5,0	3,0÷5,0	9,0÷18,0
Peso unità di volume saturo	γ_{sat}	[kN/m ³]	21,0	21,0	20,5
Peso unità di volume secco	γ_d	[kN/m ³]	17,0	17,0	17,0
Angolo d'attrito	ϕ	[°]	32	25	35
Angolo di dilatanza (*)	φ	[°]	2,0	0,0	3,0
Coesione	c	[kPa]	10,0	6,0	10,0
Coesione non drenata	c_U	[kPa]	N.A.	80,0	N.A.
Modulo di Young	E	[MPa]	4,0	10,0	25,0
Modulo non drenato	E_U	[kPa]	N.A.	12,0	N.A.
Coefficiente di Poisson	ν	N.A.	0,3	0,35	0,30
Permeabilità	k	m/s	1,0E-06	1,0E-08	1,0E-06

(*) Per la determinazione dell'angolo di dilatanza si è fatto riferimento alle indicazioni disponibili in letteratura tecnica.

Tabella 8.6: definizione del modello geotecnico di sottosuolo di riferimento.

8.1.2.4. ANALISI DELL'INTERAZIONE PALANCOLA/TERRENO

8.1.2.4.1. Descrizione del codice di calcolo utilizzato

Il codice di calcolo utilizzato è un programma agli elementi finiti, PLAXIS® (Vermeer, Brinkgreve) sviluppato nel 1987 presso l'Università di Delft.

Il software è stato messo a punto specificatamente per affrontare analisi di deformazione e di stabilità tipiche dei progetti di ingegneria geotecnica. È noto che anche le comuni applicazioni geotecniche richiedono l'adozione di modelli costitutivi avanzati per la simulazione del comportamento del terreno, tipicamente non lineare e dipendente dal tempo. In più, poiché il terreno è un materiale multifase, sono richieste speciali procedure per la definizione del regime delle pressioni interstiziali.

Sebbene la modellazione del terreno costituisce un importante aspetto, una delle problematiche più sentite nel campo dell'ingegneria geotecnica è quella dell'interazione struttura terreno, per cui il Plaxis è stato dotato di funzioni apposite per l'analisi di detta problematica.

L'imputazione della stratigrafia, delle fasi realizzative, dell'applicazione di carichi e condizioni al contorno è basata su un sistema grafico tipo CAD che consente un'accurata modellazione e simulazione del problema reale.

A partire dal modello inputato, il programma genera automaticamente una mesh agli elementi finiti. Plaxis consente di rifinire localmente la mesh, laddove si attendono i maggiori gradienti delle grandezze controllate. Il programma consente di effettuare analisi agli elementi finiti in condizione di deformazione piana o assialsimmetrica; la geometria del problema viene suddivisa secondo una mesh costituita da elementi triangolari a 6 o a 15 nodi.

Nel Plaxis è disponibile una libreria di modelli materiali per idealizzare il comportamento del terreno; oltre al semplice modello elastico lineare e al modello elastico perfettamente plastico (Mohr Coulomb), si può discernere fra il Mohr Coulomb avanzato (che contempla la variabilità del modulo di elasticità tangenziale con il livello tensionale), il Cam Clay modificato, un modello ad incrudimento cinematico (HSSR) e altri.

Per la modellazione di elementi strutturali quali opere di sostegno, tunnel e altre strutture, vengono adottati elementi caratterizzati da assegnata rigidità flessionale, assiale e momento flettente ultimo.

Per la simulazione degli effetti dell'interazione tra elementi strutturali e terreno, si interpone la cosiddetta interfaccia, che simula la sottile zona nel terreno soggetta a marcate azioni di taglio al contatto con le fondazioni, pali ecc.

Elementi di ancoraggio vengono definiti come molle elasto-plastiche dotate di assegnata rigidità assiale e massimo carico sopportabile. È anche possibile applicare carichi di precompressione.

Per la generazione delle pressioni neutre è possibile operare attraverso analisi bidimensionale specifica, ovvero assegnando delle piezometriche di riferimento.

Il codice di calcolo distingue tra condizioni drenate e non drenate. È noto che nei terreni a bassa permeabilità soggetti a carichi insorgono delle sovrappressioni neutre che talvolta possono determinare il collasso del complesso terreno strutture. Nei casi di riscontrata insufficiente stabilità, può procedersi a step, frapponendo opportune fasi di consolidazione. I tempi necessario alla dissipazione delle sovrappressioni neutre può essere valutata attraverso un'analisi specifica, che richiede l'input dei parametri di permeabilità del mezzo.

È possibile simulare fasi di costruzione, scavi, ecc attivando o disattivando gli elementi corrispondenti. Questa procedura consente una corretta simulazione della storia tensionale nel sottosuolo.

Per la valutazione del coefficiente di sicurezza del complesso terreno struttura, definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile e quella mobilitata ai fini dell'equilibrio, il codice di calcolo adotta una procedura che prevede la riduzione dei parametri di resistenza al taglio fino al raggiungimento della condizione di equilibrio limite.

Per la presentazione dei risultati, il postprocessore del Plaxis è dotato di appositi strumenti grafici. È altresì possibile ottenere la stampa dei relativi tabulati numerici. Relativamente ai punti appartenenti al dominio di riferimento, è possibile tracciare curve carico-deformazioni, percorsi tensionali e diagrammi tensioni deformazioni.

8.1.2.4.2. Individuazione delle sezioni di analisi

In riferimento alle sezioni di calcolo rappresentate in figura 8.6, si è proceduto all'implementazione del modello nel codice di calcolo agli elementi finiti.

In particolare si è proceduto all'analisi di 2 sezioni, poste alle estremità della porzione di argine del bacino 1 prospiciente il canale navigabile.

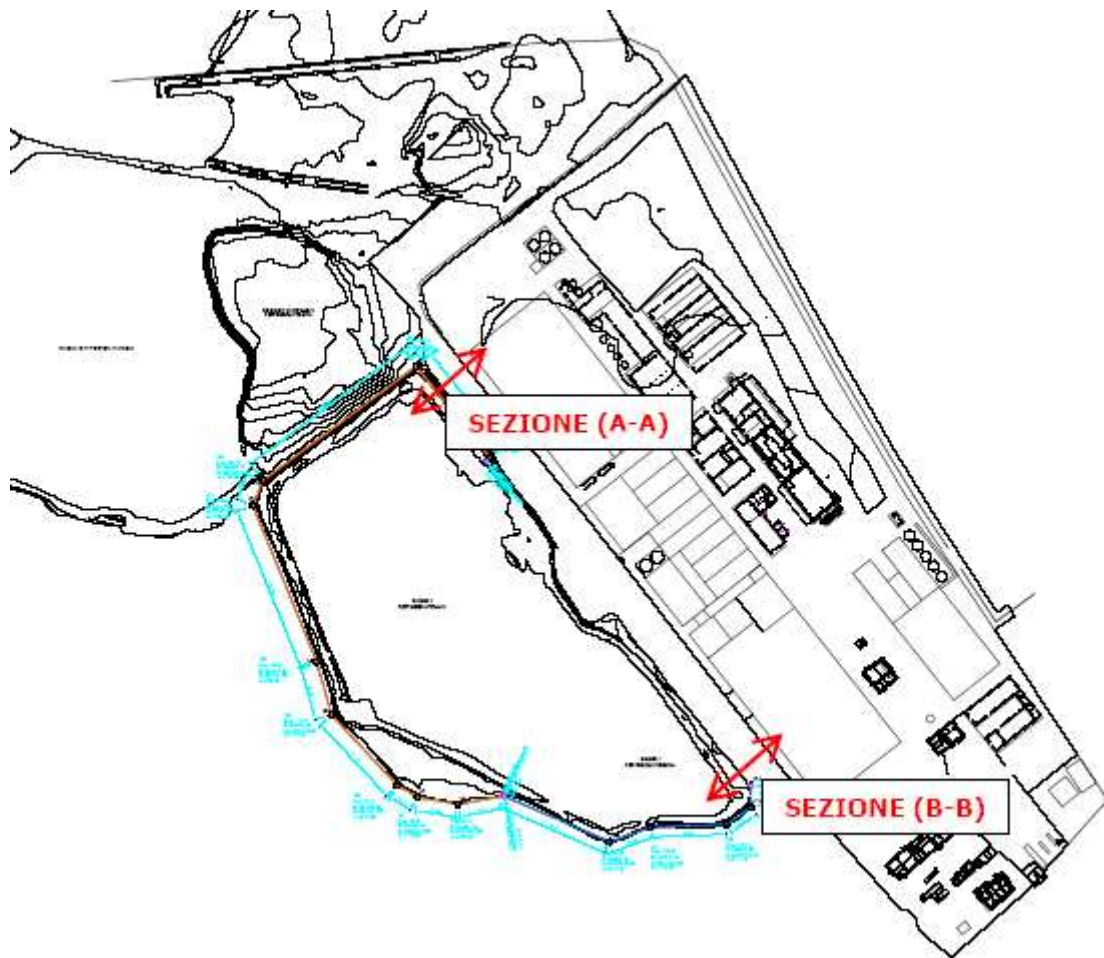


Figura 8.6: individuazione planimetrica delle sezioni di analisi.

8.1.2.4.3. Definizione dei parametri di calcolo

In riferimento alle sezioni di calcolo individuate, si è proceduto all'implementazione del modello nel codice numerico.

Il legame costitutivo adottato per la modellazione del comportamento dei terreni è quello di Mohr Coulomb e gli elementi finiti sono triangolari a sei nodi, con 15 punti interni d'integrazione.

Per quanto attiene alle proprietà dei terreni, si è fatto riferimento al modello geotecnico di sottosuolo, assumendo a riferimento le stratigrafie più prossime ai vari tratti di palanca; per ognuno dei tratti di palanca indagati è stato adottato un unico profilo strutturale del tipo Larssen 703-0.5, caratterizzato dalle seguenti caratteristiche geometriche e meccaniche:

- Qualità dell'acciaio: Fe 360 » $\sigma_{sadm} = 160 \text{ MPa}$
- $L = 0,60 \text{ m}$ [Larghezza del modulo singolo]
- $\rho_{acciaio} = 78,5 \text{ kN/m}^3$ [Peso specifico dell'acciaio]
- $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ [Modulo di Young dell'acciaio]
- $J = 23000 \text{ cm}^4/\text{m}$ [Momento d'inerzia per metro di parete]
- $W = 1150 \text{ cm}^3/\text{m}$ [Modulo di resistenza per metro di parete]
- $A = 98 \text{ cm}^2/\text{m}$ [Area della sezione trasversale per metro di parete]
- $w = A \cdot \rho = 0,77 \text{ kN/m}^2$ [Peso per unità di larghezza della palanca].

PALANCOLE LARSSEN ORIGINALI PROF. 703 - 0.5

LARSSEN	Momento di resistenza Wy cm ³ /m parete	cm ³ / palanca singola	Peso kg/m ² parete	kg/m palanca singola	Larghezza b mm	Profondità h mm	Spessore frontale t mm	Spessore ali laterali s mm	Momento di superficie 2° grado Jy cm ⁴ /m parete
L 703 - 0.5	1150	408	93,0	65,1	700	400	9,0	7,7	23000

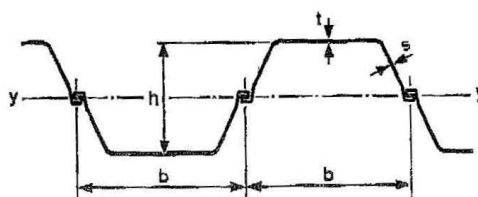


Figura 8.7: Profilo commerciale prescelto per la palanca.

Nello studio dell'interazione palanca terreno, si è assunto che l'interfaccia sia caratterizzata da un parametro di riduzione R_{inter} pari al rapporto tra la tangente dell'angolo d'attrito all'interfaccia parete terreno e la tangente dell'angolo d'attrito del terreno, nonché al rapporto tra coesione all'interfaccia e coesione del terreno.

Detto parametro è stato assunto pari a 0,67 in corrispondenza dei livelli a grana grossa e pari a 0,5 per quelli a grana fina.

L'intensità dei sovraccarichi dovuti al transito e/o sosta dei mezzi di lavoro è stata assunta pari a 20 kPa.

Per la valutazione del coefficiente di sicurezza del complesso terreno struttura, definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile e quella mobilitata ai fini dell'equilibrio, si è detto che il codice di calcolo adotta una procedura che prevede la riduzione dei parametri di resistenza al taglio fino al raggiungimento della condizione di equilibrio limite. Nel caso corrente, il rapporto tra la tangente dell'angolo d'attrito e la coesione è stato ridotto per step del 10%.

Si precisa inoltre che l'esclusiva analisi statica della palancatura avrebbe in prima analisi dimostrato l'idoneità dell'elemento tipo Larsen Prof. 601 ma, ai fini di aver garantita la durabilità a lungo termine, in alternativa a specifici trattamenti, si è optato per un profilo di maggior spessore ed inerzia quale il Prof. 703.

8.1.2.4.4. Analisi della sezione A-A

Il tratto di palanca identificato come tratto "A-A", posto in corrispondenza dell'estremo Nord-Est della porzione di argine del bacino 1 prospiciente il canale navigabile, è caratterizzato da una lunghezza in pianta complessiva di circa 700 m, altezza totale della palanca a sbalzo pari a 5,0 m, di cui 1,0 m di ritenuta e 4,0 m infissi.

A causa di alcune incertezze ancora persistenti circa la morfologia dell'argine, a vantaggio di sicurezza nel calcolo si è considerato 1,6 m di ritenuta e 3,4 m infissi.

A partire dalla definizione della geometria del modello nel codice di calcolo, si è proceduto secondo cinque fasi, necessarie per la simulazione di tutte le combinazioni di carico possibili. Nella successiva tabella 6.4.1 si riporta una descrizione delle varie fasi.

Fase n°	Descrizione
1	Simulazione dello stato tensionale iniziale nel terreno
2	Realizzazione della palanca e azione del riempimento a tergo
3	Azione del sovraccarico dovuto al passaggio dei mezzi d'opera
4	Simulazione degli effetti dovuti alle variazioni delle quote piezometriche
5	Valutazione del coefficiente di sicurezza del complesso terreno palanca

Tabella 8.7: descrizione delle fasi di calcolo

Nella successiva tabella 8.8 si riportano, in riferimento alle singole fasi esecutive, i principali risultati ottenuti in relazione all'elemento strutturale, con ovvio significato dei simboli.

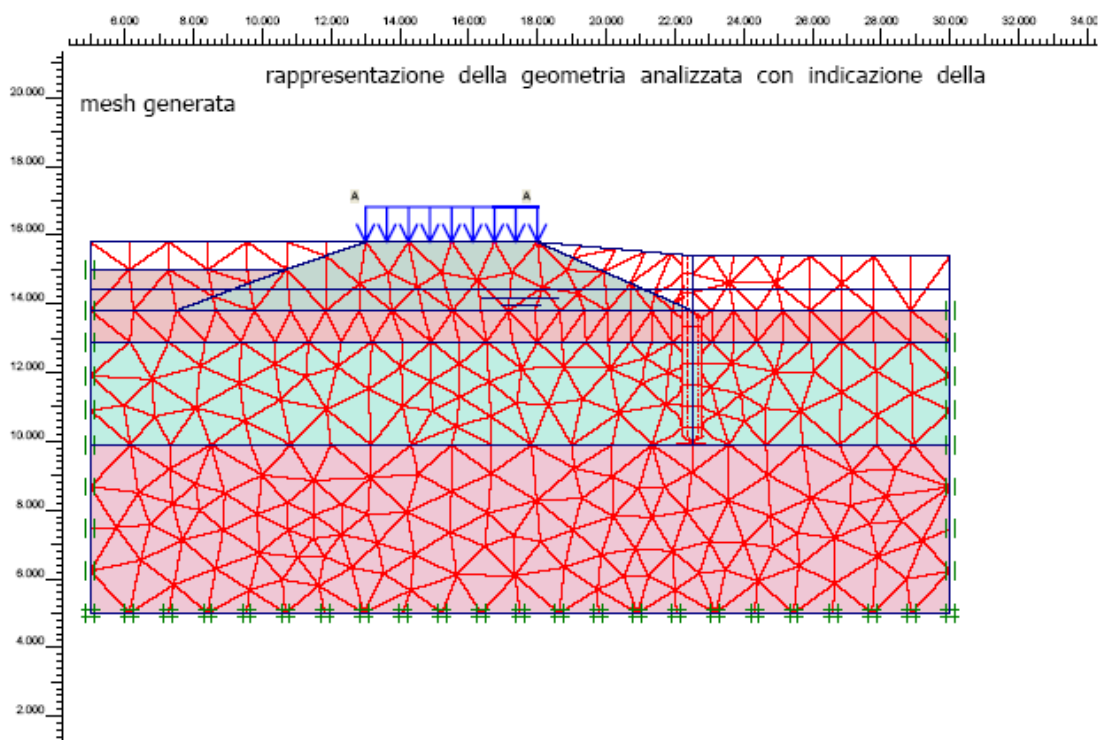
Fase n°	S _{MAX} [mm]	M _{MAX} [kNm/m]	T _{MAX} [kN/m]	Coefficiente di sicurezza
1	N.A.	N.A.	N.A.	
2	3,03	3,96	3,26	
3	3,91	2,90	3,46	
4	34,10	21,48	18,44	1,62

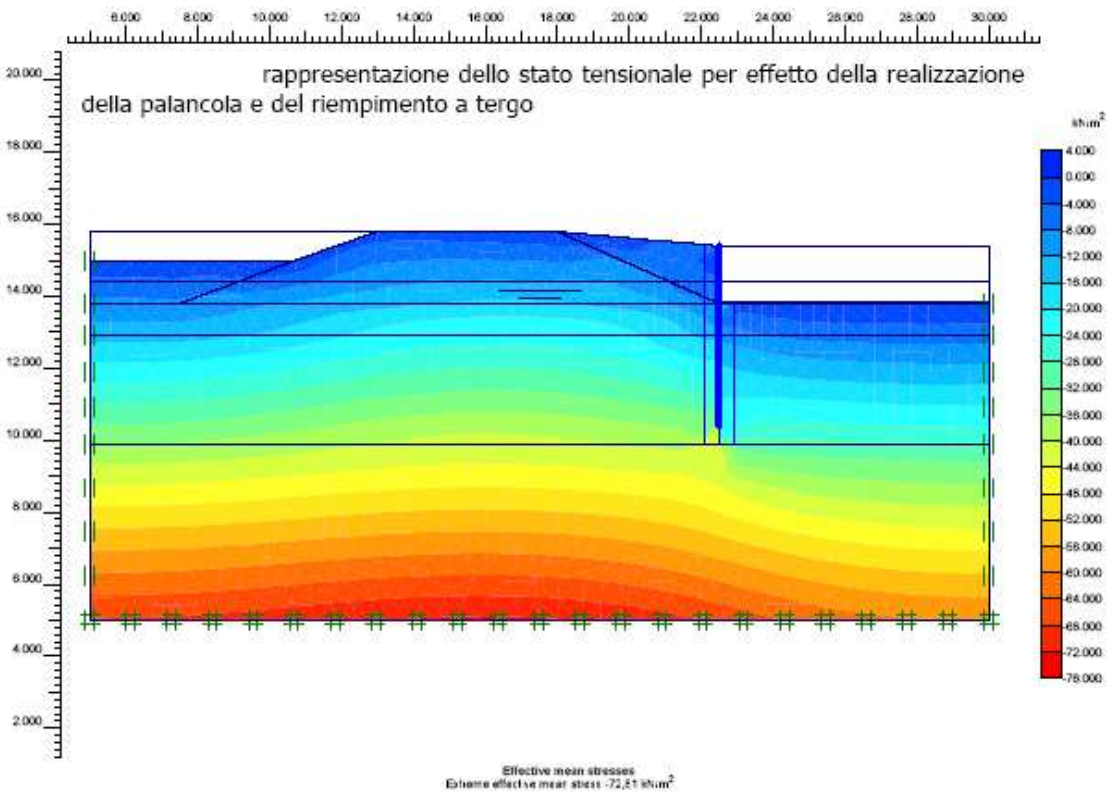
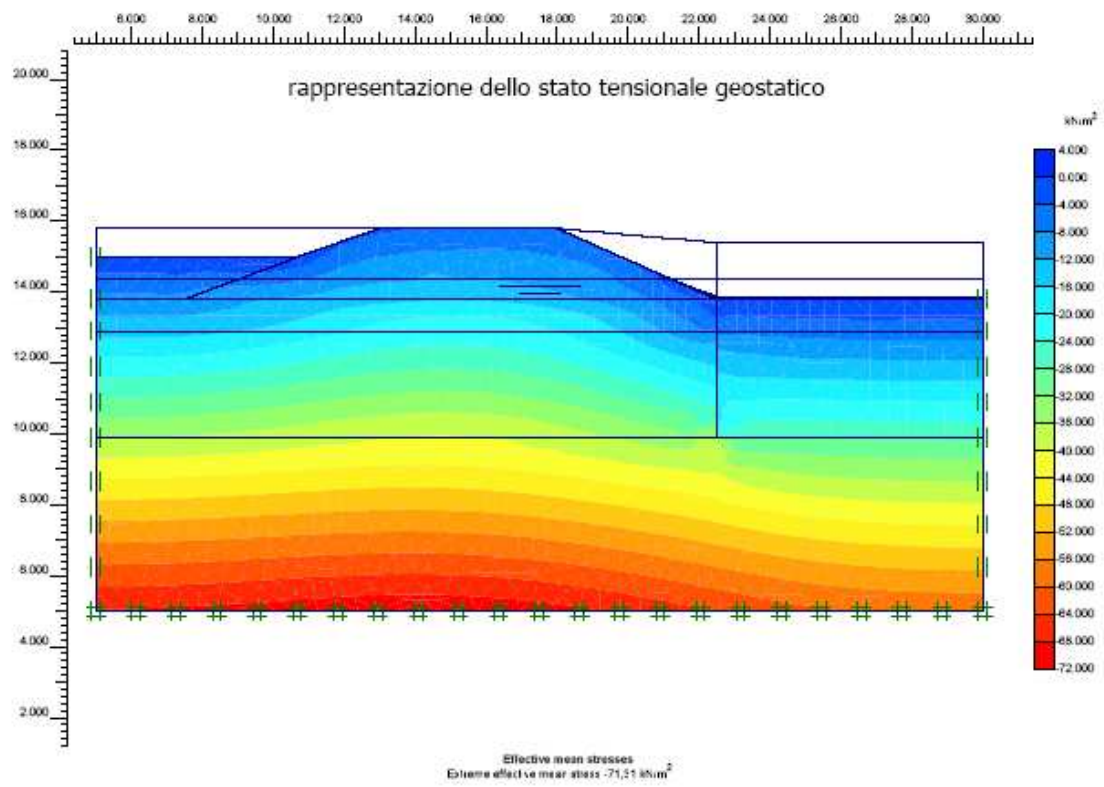
Tabella 8.8: sintesi dei principali risultati ottenuti per la sezione di calcolo A-A

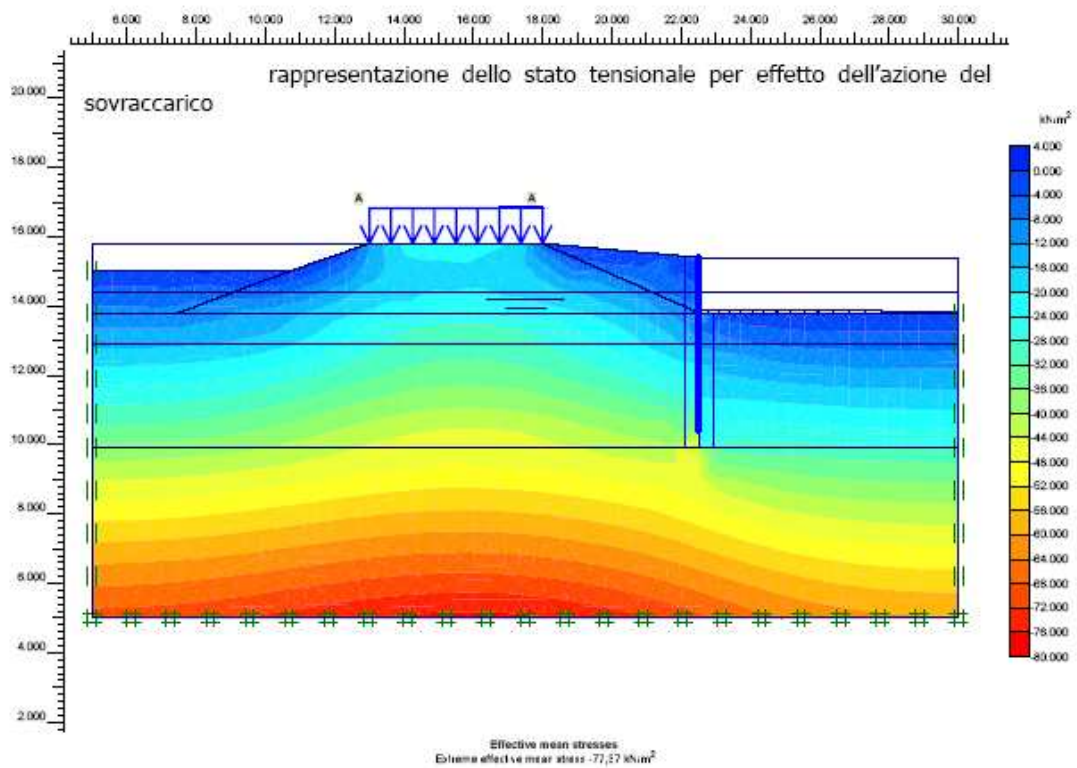
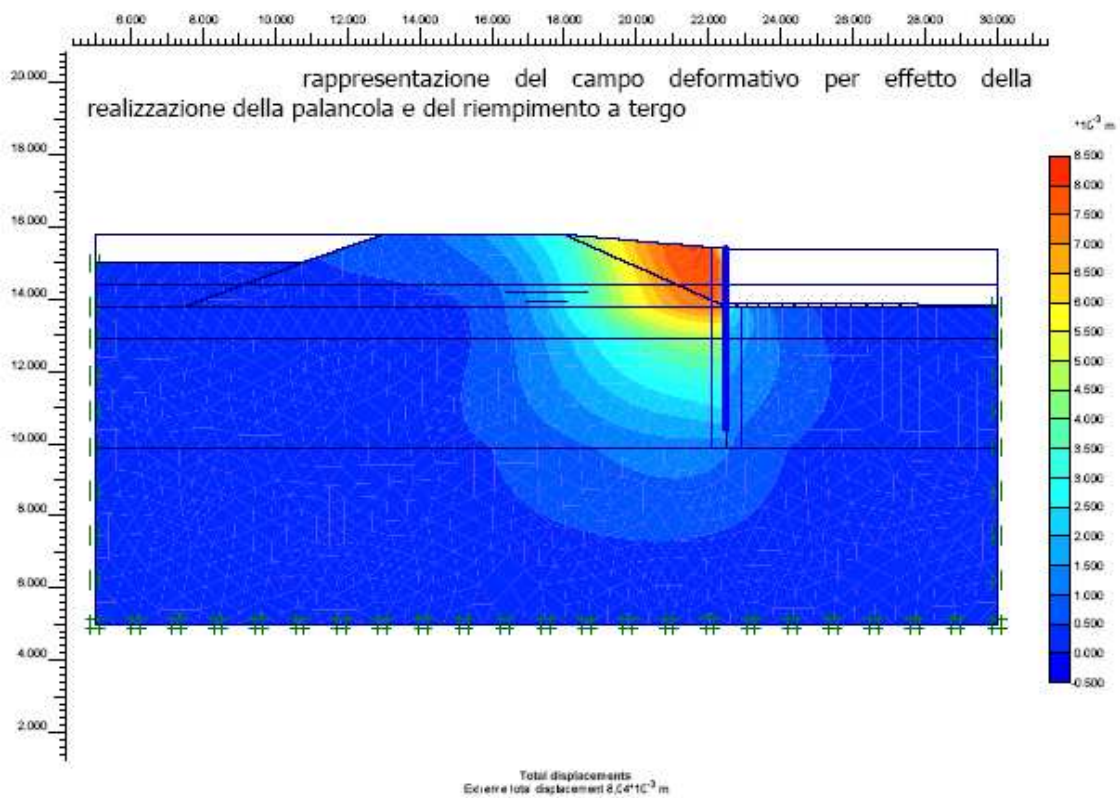
Nelle successive figure 8.8 si riporta una rappresentazione grafica dei principali risultati ottenuti nel corso della simulazione delle varie fasi realizzative, mentre in figura 8.9 sono rappresentati i diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione momento flettente e taglio e le deformate relative all'elemento strutturale.

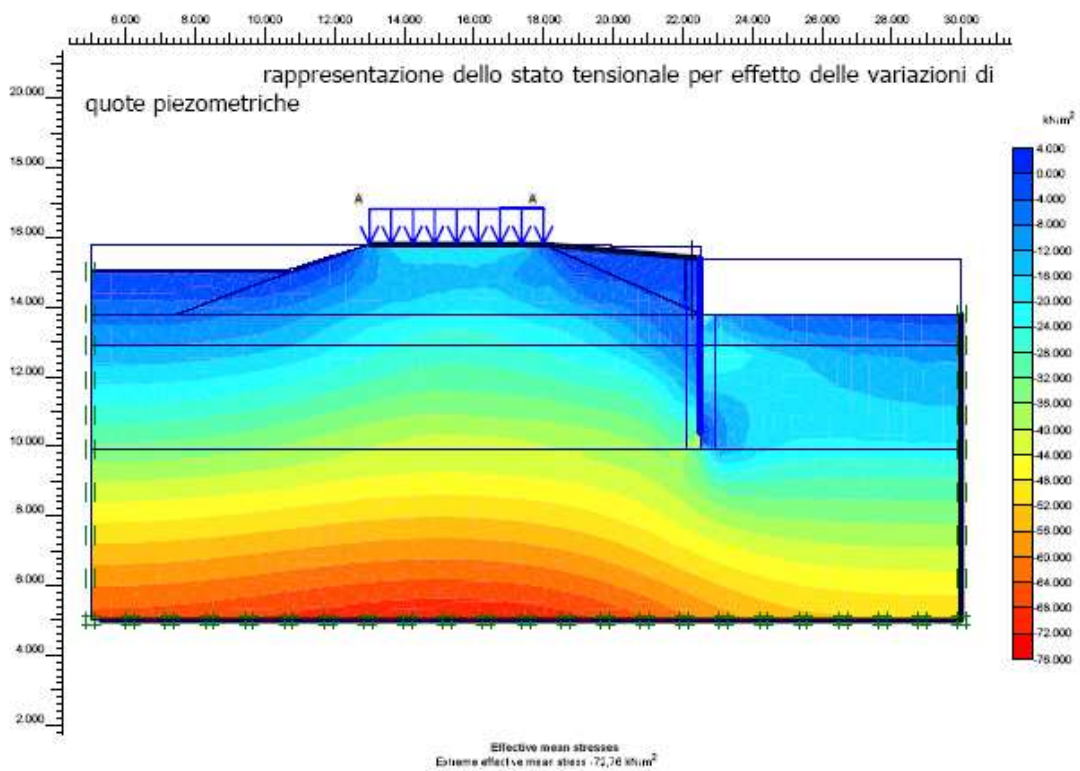
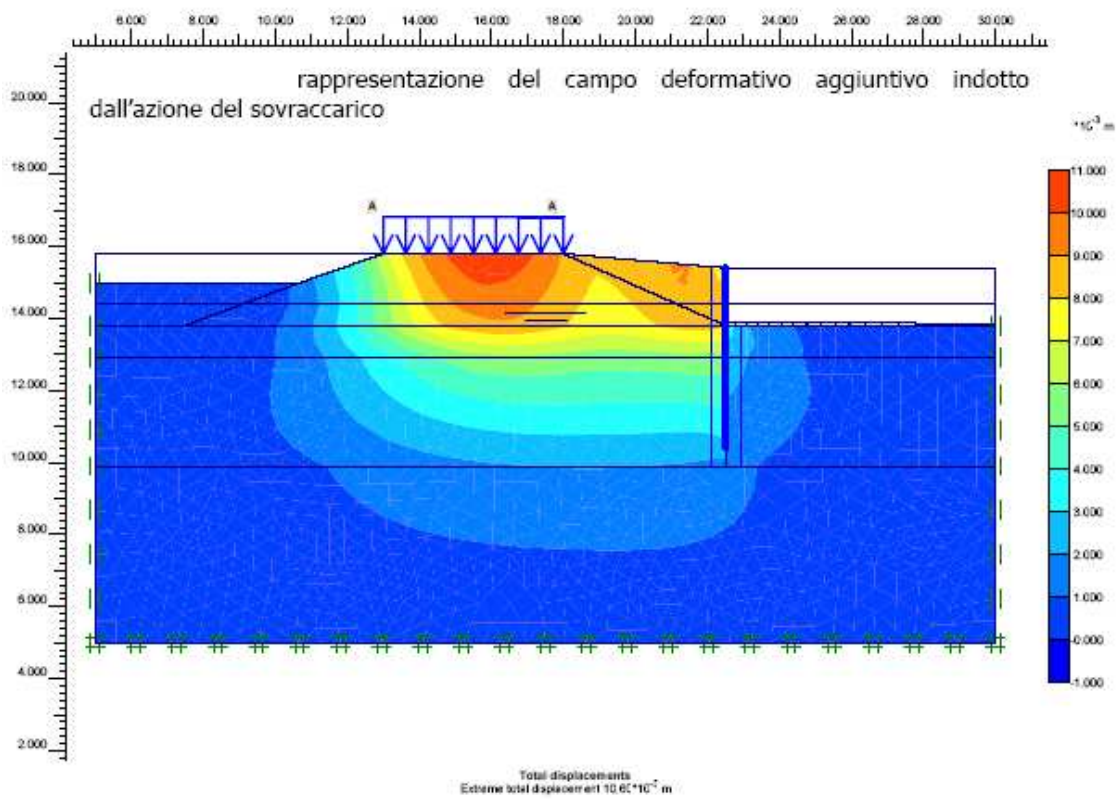
Relativamente alla fase di analisi n°4, in allegato alla presente si riportano i tabulati di calcolo relativi allo stato tensionale efficace al regime delle pressioni neutre, al campo deformativo del terreno, oltre alle caratteristiche della sollecitazione e deformazione dell'elemento strutturale.

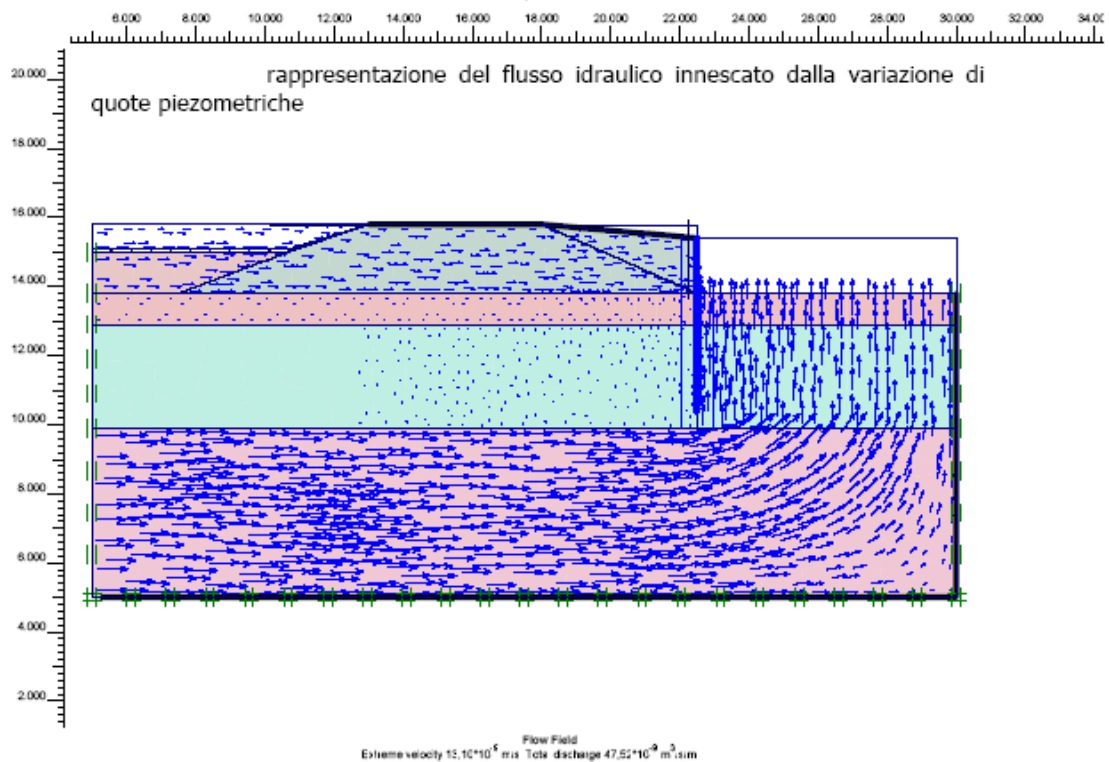
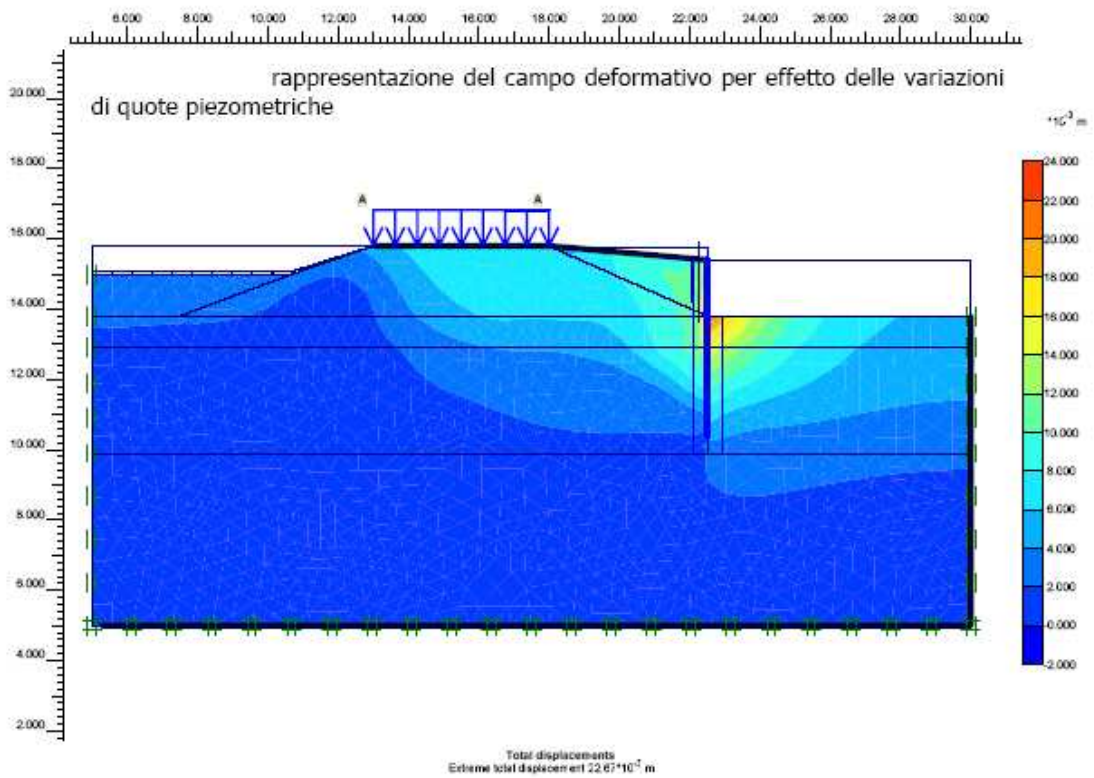
Figure 8.8











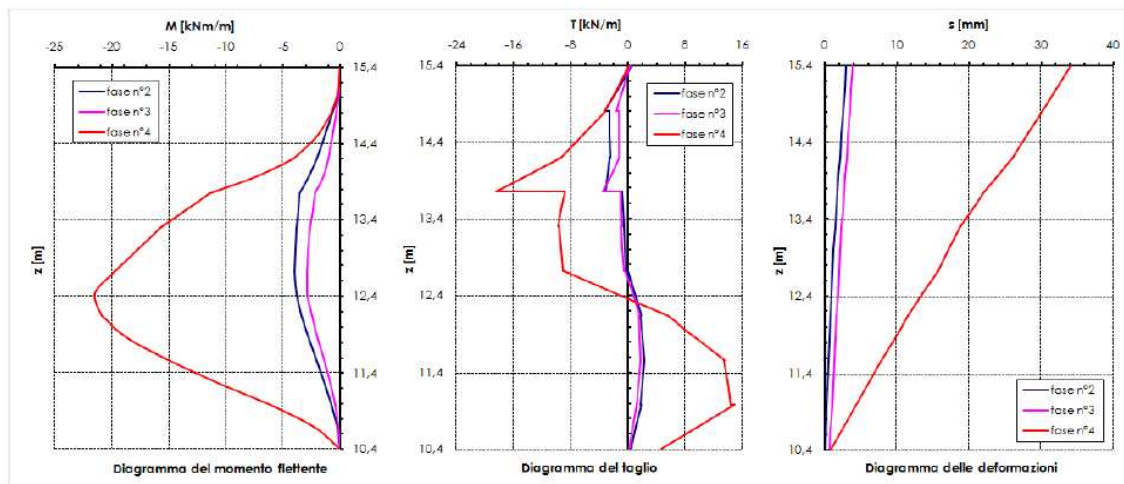
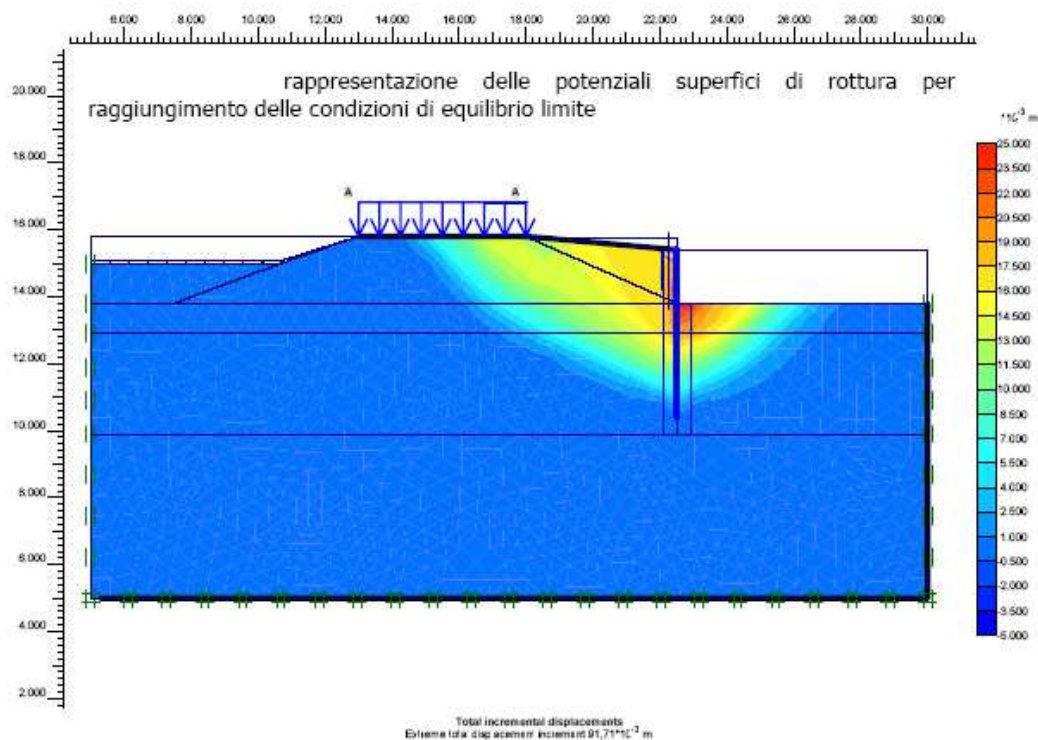


Figura 8.9: diagrammi delle caratteristiche delle sollecitazioni momento flettente e taglio e relative deformate della palancola (sezione A-A)

8.1.2.4.5. Analisi della sezione B-B

L'interazione con i terreni del tratto di palancola identificato come "B-B", posto all'estremo opposto della medesima porzione di argine di cui alla precedente analisi, è stata condotta con particolare attenzione poiché la stratigrafia del sottosuolo vede l'incrementarsi della potenza del substrato argilloso, seppure con tetto a quota prossima ai 7,0 m dal piano del rilevato arginale.

L'altezza totale della palancola a sbalzo è pari a 7,0 m, di cui 1,0 m di ritenuta e 7,0 m infissi; per le medesime ragioni di cui alla precedente analisi, a vantaggio di sicurezza nel calcolo si è considerato 1,6 m di ritenuta e 6,4 m infissi.

A partire dalla definizione della geometria del modello nel codice di calcolo, si è proceduto secondo cinque fasi, necessarie per la simulazione di tutte le combinazioni di carico possibili. Nella successiva tabella 8.9 si riporta una descrizione delle varie fasi.

Fase n°	Descrizione
1	Simulazione dello stato tensionale iniziale nel terreno
2	Realizzazione della palancola e azione del riempimento a tergo
3	Azione del sovraccarico dovuto al passaggio dei mezzi d'opera
4	Simulazione degli effetti dovuti alle variazioni delle quote piezometriche
5	Valutazione del coefficiente di sicurezza del complesso terreno palancola

Tabella 8.9: descrizione delle fasi di calcolo

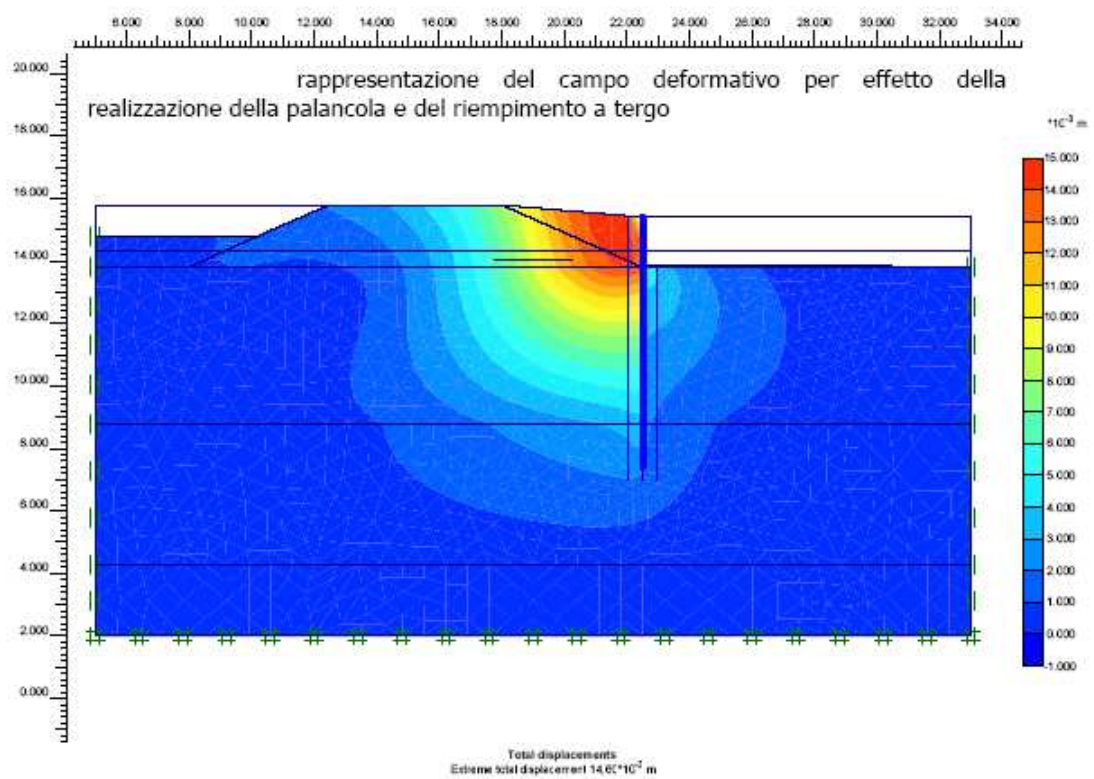
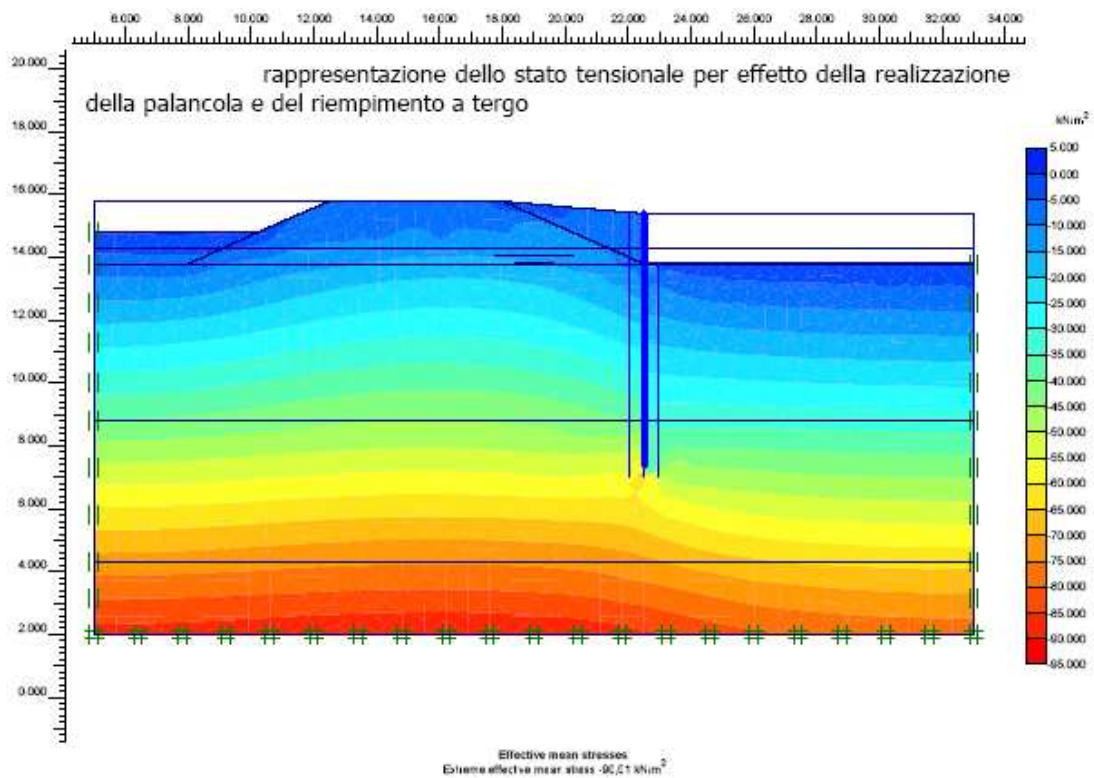
Nella successiva tabella 8.10 si riportano, in riferimento alle singole fasi esecutive, i principali risultati ottenuti in relazione all'elemento strutturale, con ovvio significato dei simboli.

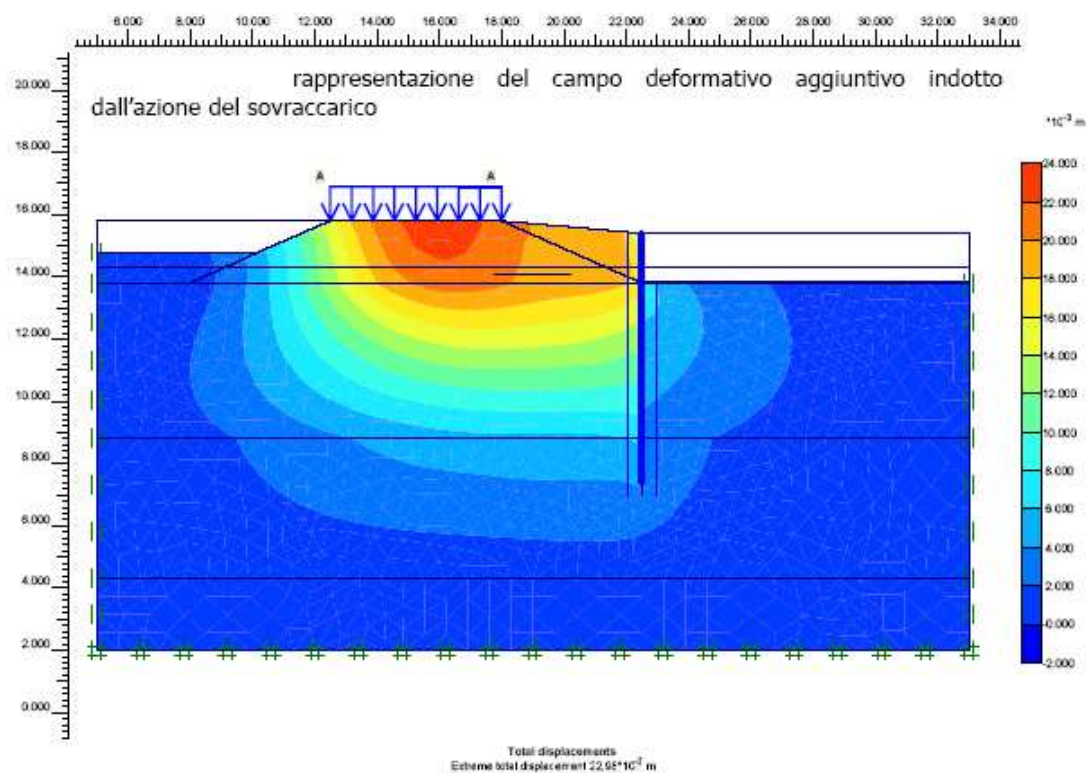
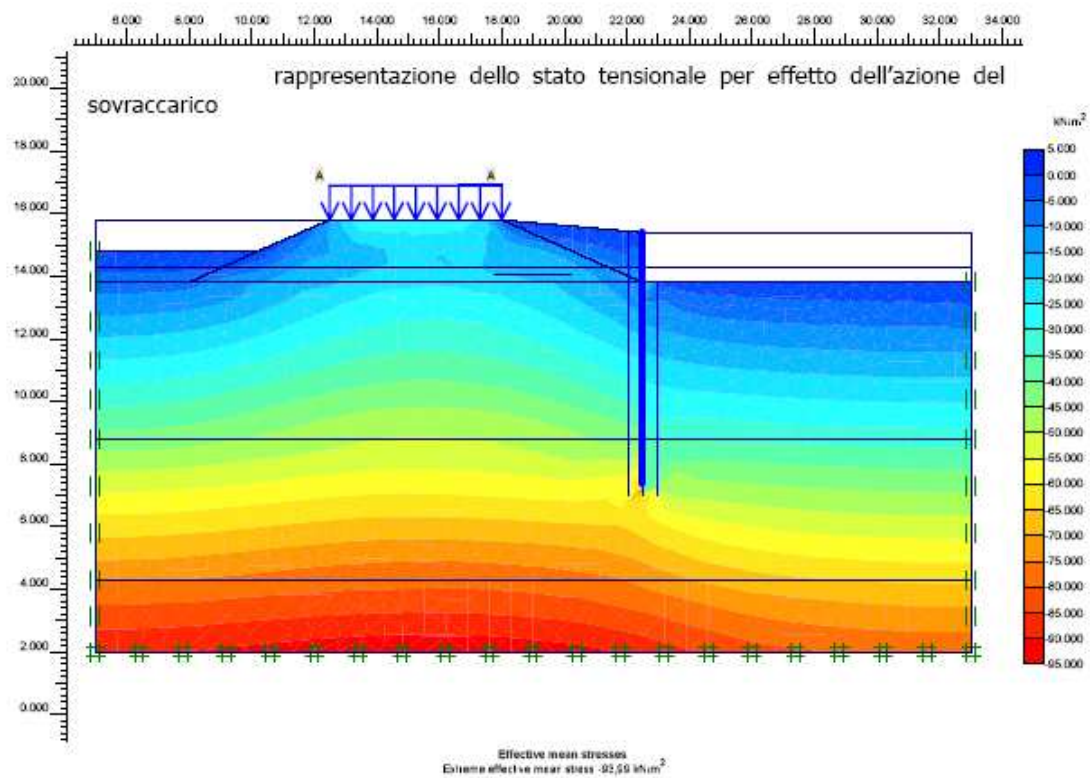
Fase n°	S _{MAX} [mm]	M _{MAX} [kNm/m]	T _{MAX} [kN/m]	Coefficiente di sicurezza
1	N.A.	N.A.	N.A.	
2	5,83	8,03	7,11	
3	7,52	2,70	5,44	
4	44,09	16,55	17,91	2,48

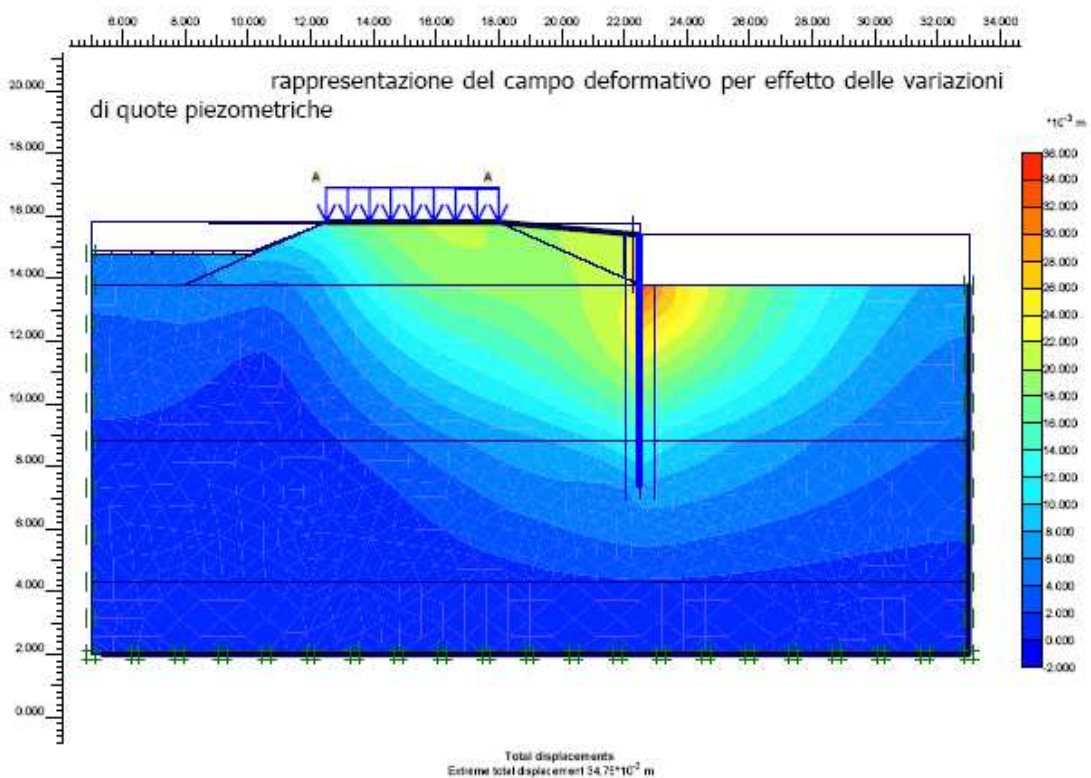
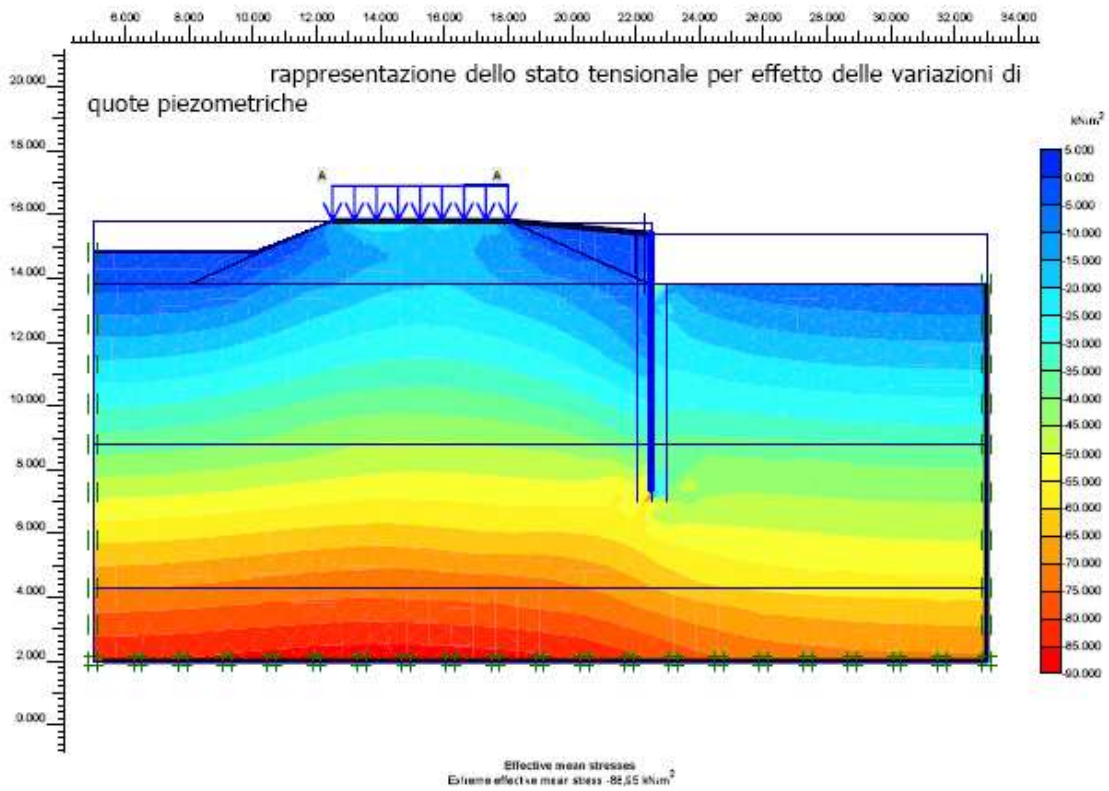
Tabella 8.10: sintesi dei principali risultati ottenuti per la sezione di calcolo B-B

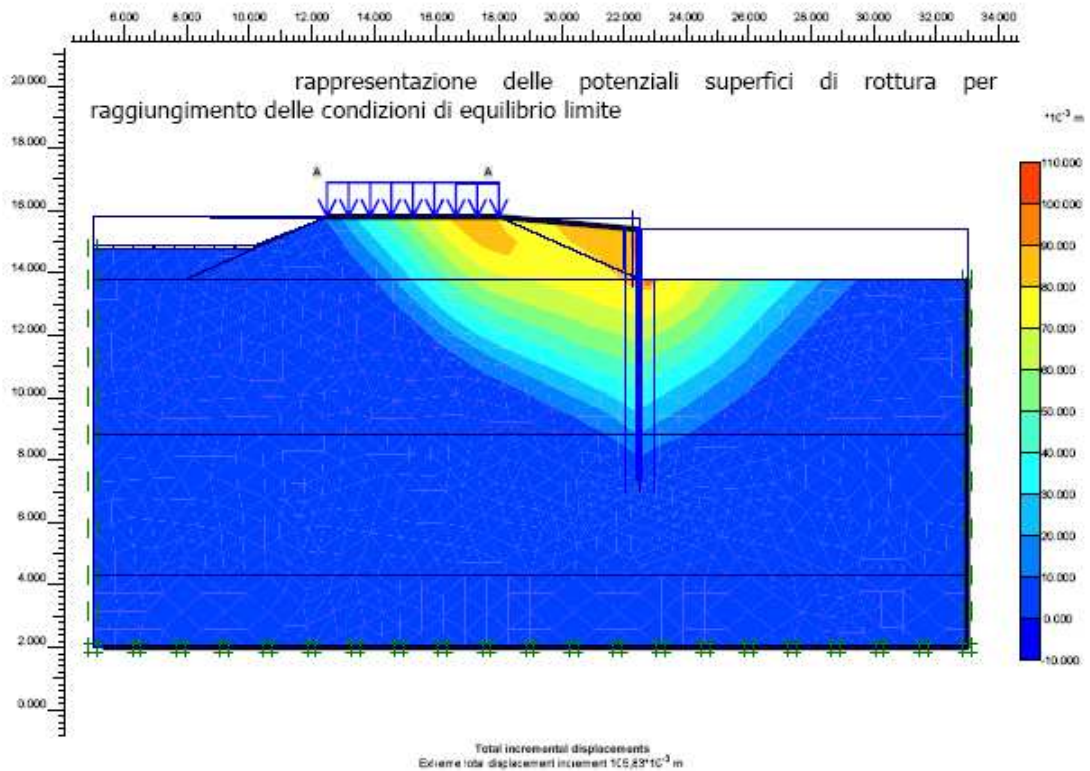
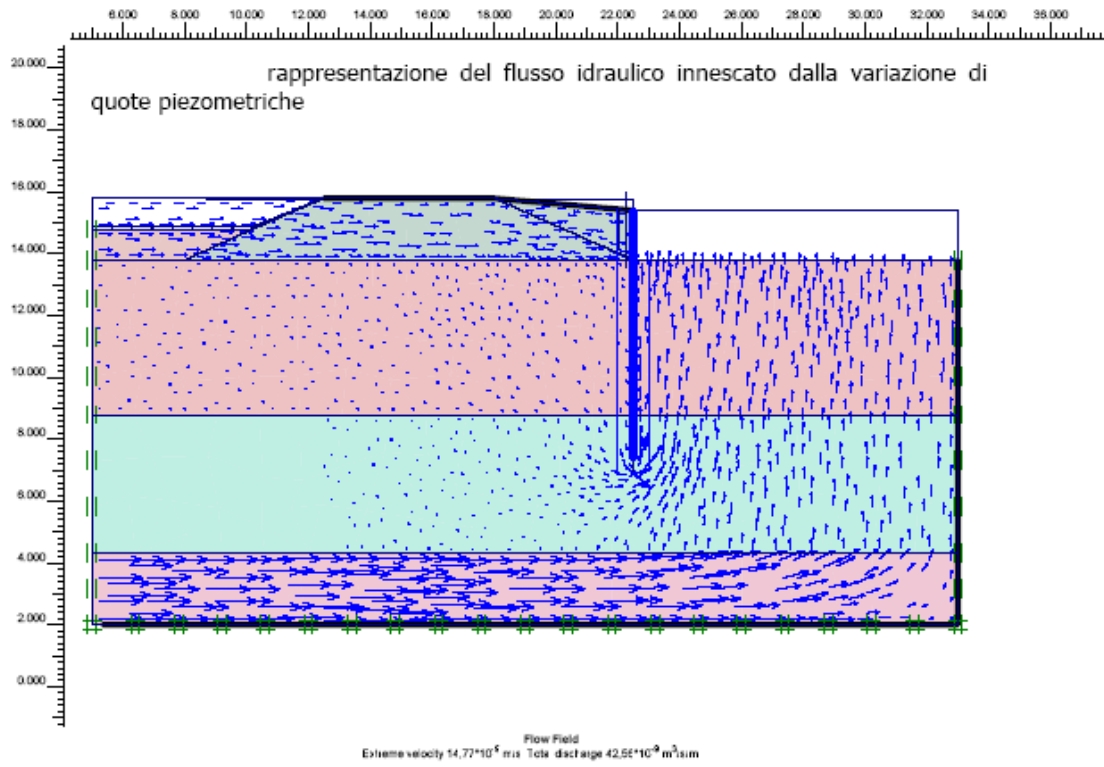
Nelle successive figure 8.10 si riporta una rappresentazione grafica dei principali risultati ottenuti nel corso della simulazione delle varie fasi realizzative, mentre in figura 8.11 sono rappresentati i diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione momento flettente e taglio e le deformate relative all'elemento strutturale.

Relativamente alla fase di analisi n° 4, in allegato alla presente si riportano i tabulati di calcolo relativi allo stato tensionale efficace al regime delle pressioni neutre, al campo deformativo del terreno, oltre alle caratteristiche della sollecitazione e deformazione dell'elemento strutturale.









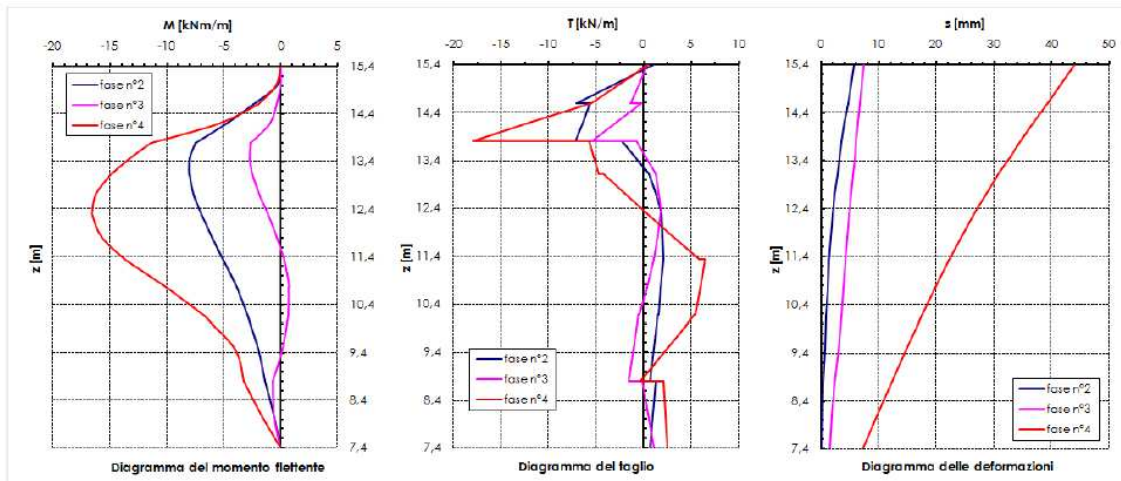


Figura 8.11 : diagrammi delle caratteristiche delle sollecitazioni momento flettente e taglio e relative deformate della palancola (sezione B-B)

8.1.2.5. VERIFICHE STRUTTURALI

8.1.2.5.1. Generalità

Lo studio dell'analisi dell'interazione terreno struttura ha consentito la determinazione dello stato di sollecitazione indotto nella palancolata. È necessario, pertanto, procedere alla verifica strutturale degli elementi in acciaio al fine di garantire che la sezione reagente sia in grado di far fronte alle azioni nei limiti imposti dalla normativa.

Il calcolo è stato eseguito col metodo delle tensioni ammissibili (D.M. 14/2/92), basato sull'ipotesi che il materiale sia duttile omogeneo e isotropo.

8.1.2.5.2. Criterio di resistenza adottato

Il criterio di resistenza adottato per le verifiche è quello originariamente proposto da Huber (1904), esaminato e sviluppato nei vari aspetti da Von Mises (1913) e Henky (1923). È anche noto come criterio della “massima tensione tangenziale media” o della “massima tensione tangenziale ottaedrale” o della “massima energia specifica di distorsione”.

Attraverso il criterio di Huber-Mises-Henky è possibile esprimere la tensione ideale in funzione delle componenti speciali della tensione espresse in un qualunque riferimento cartesiano.

A tale espressione si perviene ricordando che gli invarianti primo e secondo della tensione possono essere scritti come:

$$I_{\sigma 1} = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$$

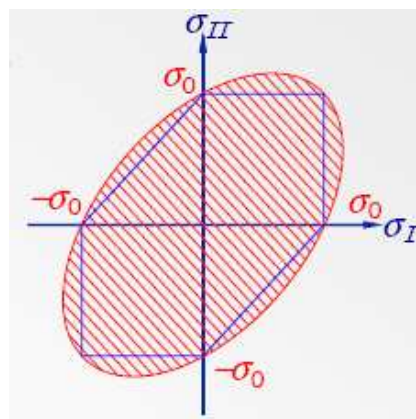
$$I_{\sigma 2} = \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)$$

per cui:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - (\sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x) + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$$

Il dominio di resistenza nello spazio delle tensioni principali è un cilindro a base circolare avente asse coincidente con la trisettrice del primo ottante.

Nel caso di stato piano di tensione il dominio di resistenza è un'ellisse circoscritta all'esagono di Tresca.



Nel caso in oggetto, per ognuna delle sezioni di calcolo, si è proceduto alla definizione della tensione ideale combinando le coppie tensione normale per flessione retta e tensione da taglio. Una volta definito il valore massimo della tensione ideale, si è tenuto conto della distinzione tra il momento di resistenza della singola palanca, quello proprio della palancolata e quello che la palancolata avrebbe se gli elementi fossero perfettamente solidali, come ad esempio saldando le palancole lungo i giunti.

Nelle palancole ad “U”, l’asse principale di inerzia delle singole palancole è parallelo all’asse di simmetria della palancolata; si ipotizza pertanto che non si sviluppino sforzi tangenziali apprezzabili lungo i giunti quando le palancole si inflettono.

Per tenere conto di quanto descritto, nel calcolo della tensione ideale di esercizio nell’acciaio viene calcolato il momento resistente come se gli elementi fossero del tutto solidali; le tensioni così calcolate sono poi amplificate di un coefficiente pari a 1,33.

8.1.2.5.3. Sintesi delle verifiche strutturali

In tabella 8.11 si riporta una sintesi dei risultati ottenuti in relazione ai cinque tratti di palancolata analizzati.

Si osserva che a partire dal valore massimo della tensione ideale calcolata, moltiplicata per un coefficiente amplificativo pari a 1,33, è stato verificato che in tutti i casi questa risulta inferiore alla tensione ammissibile per la qualità di acciaio prescelta.

Tratto	$\sigma_{id, \max}$ [MPa]	$1,33 \times \sigma_{id, \max}$ [MPa]	σ_{amm} [MPa]	verifica soddisfatta [sì/no]
A-A	28,84	38,35	160	sì
B-B	22,22	29,55	160	sì

Tabella 8.11 : Risultati delle verifiche strutturali relative ai due tratti di palanco lata analizzati

Nell'ambito del progetto di bonifica e riqualificazione ambientale dell'area "ex Sitoco" nel comune di Orbetello, con la presente relazione di calcolo sono state affrontate le problematiche di carattere geotecnico e strutturale connesse alle opere di marginamento fisico, mediante palancola, del profilo corrente lungo la porzione di argine del bacino 1 prospiciente il canale navigabile, esteso a partire dal limite di proprietà a sud-ovest e fino all'intersezione con il fosso di guardia.

L'insieme dei risultati della campagna di indagini geotecniche in sito e in laboratorio, unitamente all'analisi degli obiettivi di protezione e tutela delle acque lagunari, hanno consentito di individuare una soluzione progettuale che consiste nella posa in opera di palancole metalliche ad "U", con altezze dipendenti dalla profondità di rinvenimento del substrato argilloso, delle altezze di ritenuta e della presenza e entità dei sovraccarichi.

L'analisi dell'interazione palancola-terreno è stata riferita alle situazioni ritenute più significative e gravose ed è stata svolta mediante il codice di calcolo automatico agli elementi finiti PLAXIS®; la sintesi dei dati di input e output sono stati riportati in forma grafica al § 6, nonché in forma tabulare in allegato alla presente.

Simulati gli effetti indotti dai fenomeni di interazione negli elementi strutturali, si è proceduto alla loro verifica statica mediante l'applicazione del criterio di resistenza di Henky-Von Mises. In tutti i casi lo stato di sollecitazione in condizioni di esercizio è risultato ampiamente contenuto in quello ammissibile.

8.2. PROGETTO PRELIMINARE DI BONIFICA DELLA FALDA PROFONDA

8.2.1. DESCRIZIONE PRELIMINARE DELL'INTERVENTO

In via preliminare, nelle more della definizione dei valori del fondo naturale, eseguita e validata da ARPAT, al fine di dare o meno conferma alle risultanze ed alle determinazioni fatte dalla società Laguna Azzurra, a completamento dell'aggiornamento delle analisi e delle indagini effettuato nel primo semestre dell'anno in corso, si ritiene comunque opportuno procedere alla fase preliminare di progettazione della bonifica della falda profonda, stabilendo gli obiettivi generali di bonifica e gli approfondimenti tecnici necessari ad una corretta valutazione delle possibili interazioni con il sistema di alimentazione e di circolazione delle acque lagunari.

Il corretto dimensionamento di una barriera idraulica richiede infatti una idonea conoscenza idrogeologica del sito, acquisita durante e successivamente alla fase di caratterizzazione; per casi complessi possono inoltre essere implementati modelli matematici per prevedere il comportamento dinamico dell'acquifero durante il periodo di trattamento e per verificare l'effettiva funzionalità del sistema tramite analisi statistica dei dati raccolti durante il monitoraggio.

Nel caso in oggetto si ipotizza di realizzare una barriera idraulica nel sito di interesse, presupponendo che una parte dell'inquinante riesca ad attraversare il pacco di sedimenti a dominante argillosa superficiale (Litotipo 2) e penetri nel livello di sabbie sottostanti (Litotipo 3).

L'ipotesi di base è la costituzione di una barriera idraulica costituita da pozzi in pompaggio continuo attestati nel livello di sabbie ad una profondità compresa fra i 20.00 e i 25.00 m in modo da intercettare la parte di acquifero sottostante il pacco di sedimenti a dominante argillosa superficiale (Litotipo 2).

Si ipotizza di indurre un abbassamento di 15.00 m dal p. c. in modo da intercettare con un sufficiente grado di sicurezza gli inquinanti che riuscissero ad attraversare il livello argilloso, assunto di spessore massimo pari a 10.00 m in base ai dati disponibili; in tal modo viene assunto un franco di sicurezza di almeno 5 m nelle zone a massimo spessore dei litotipi argillosi sovrastanti la falda multistrato in pressione presente nelle sabbie.

8.2.2. DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE DELLA BARRIERA IDRAULICA DINAMICA

La progettazione dell'intervento di Bonifica della falda profonda mediante barriera idraulica dinamica è basata sullo schema di modellazione idrodinamica riportato in Figura 8.1.

Per il dimensionamento preliminare della barriera sono stati utilizzati i dati ottenuti dalle prove di portata eseguite sui piezometri dai quali si evince come il livello di sabbie

di interesse abbia valori di trasmissività simili per i piezometri NPZ 4b, NPZ3b e NPZ5b.

Piezometro	$T (m^2 s^{-1})$
3B	1.85×10^{-4}
4B	1.72×10^{-4}
5B	9.20×10^{-5}

Tabella 8.12 – Valori di trasmissività

Si è considerato in prima istanza il piezometro NPZ4b che ha dato i migliori risultati nel pompaggio; dai dati disponibili dalla prova di emungimento a gradini si è calcolata la portata necessaria per avere un abbassamento di 15.00 m secondo la relazione:

$$s = BQ + CQ^2$$

Ottenendo una portata di 1.50 l s^{-1} .

Utilizzando poi l'espressione di Dupuit – Thiem per falde confinate e trascurando, in quanto poco significativo ed agente a favore della sicurezza, il valore del gradiente idraulico pari a circa 6/1000, avente direzione da Nord-Est verso Sud-Ovest,

:

$$Q = 2\pi T \frac{\Delta h_{p1} - \Delta h_{p2}}{\ln r_2 - \ln r_1}$$

si è ottenuto il valore dell'abbassamento (rispetto al livello statico) a diverse distanze dal pozzo, ipotizzato con **diametro 0.25 m**.

Pozzo P1	
Distanza (m)	Abbassamento (m)
140	6.20
280	5.20

I dati indicano come in caso di costanza dei parametri idrodinamici sarebbero sufficienti due pozzi alla distanza di circa 280 m per ottenere gli abbassamenti indicati in corrispondenza di tutta l'area a terra della ex-Sitoco, indicativamente posizionati uno in corrispondenza di NPZ4b e l'altro nei pressi del vertice NW del fabbricato, ossia a SW di NPZ2b.

Sarà invece probabile che i parametri abbiano invece una certa variabilità, come per altro riscontrato nelle prove, per cui assumendo per le sabbie nella zona più a Nord le caratteristiche idrodinamiche di NPZ3b, per mantenere il livello dinamico ad una quota di circa 15.0 m, sarà necessario realizzare altri due pozzi sul fronte dell'edificio, uno in corrispondenza di NPZ 3b ed uno a valle di NPZ 2b. In aggiunta per controllare in

sicurezza anche la zona a N, comunque sito di deposito delle scorie, è stato previsto di realizzare un quarto pozzo nei pressi di NPZ1b.

Per praticità si definiscono i nuovi pozzi nella seguente maniera (vedi Figura 8.12):

Pozzo presso NPZ4b P1
 Pozzo presso NPZ3b P2
 Pozzo a valle di NPZ2b P3
 Pozzo presso NPZ1b P4

8.2.3. EFFETTI INDOTTI DALLE OPERE DI MARGINAMENTO DINAMICO

Con i parametri idrodinamici di NPZ3b, il **pozzo P2** avrà, a fronte di un pompaggio di 0.2 l s^{-1} i seguenti abbassamenti (vedi Figura 8.12):

Pozzo P2	
Distanza (m)	Abbassamento (m)
0	4.30
140	3.43
380	3.29

Analogamente ciò accadrà anche per il **pozzo P3** (vedi Figura 8.12):

Pozzo P3	
Distanza (m)	Abbassamento (m)
0	4.30
140	3.43
240	3.36

e anche per il **pozzo P4** (vedi Figura 8.12)

Pozzo P4	
Distanza (m)	Abbassamento (m)
0	6.03
240	2.06
380	1.79

Gli abbassamenti, calcolati per un intorno non troppo esteso proprio a causa della variabilità, si sommeranno per cui gli abbassamenti risultanti saranno i seguenti:

Pozzo	Abbassamento (m)	Abbassamento risultante (m)	Q (l s ⁻¹)
1	15.00 + 3.43 da P2 + 3.33 da P3	21.76	1.5
2	4.30 + 6.20 da P1 + 3.43 da P3 + 1.79 da P4	15.72	0.2
3	4.30 + 5.20 da P1 + 3.43 da P2 + 2.06 da P4	14.99	0.2
4	6.03 + 3.36 da P3 + 3.29 da P2	12.68	0.2

con una curva cumulativa di abbassamento avente l'andamento schematicamente indicato nelle Figure 8.13 e 8.14.

I pozzi dovranno avere un profondità di circa 22.00-25.00 m e dovranno essere verificate le condizioni idrodinamiche una volta realizzati per affinare i valori di pompaggio, considerando che i piezometri hanno un solo metro di filtro e penetrano parzialmente l'acquifero.

8.2.4. VOLUMI CAPTATI

Tenuto conto di quanto sopra, si ricava un valore complessivo medio di acque profonde da captare ed inviare a trattamento pari a circa :

$$QP = 180 \text{ m}^3/\text{giorno} = 8 \text{ m}^3/\text{ora}$$

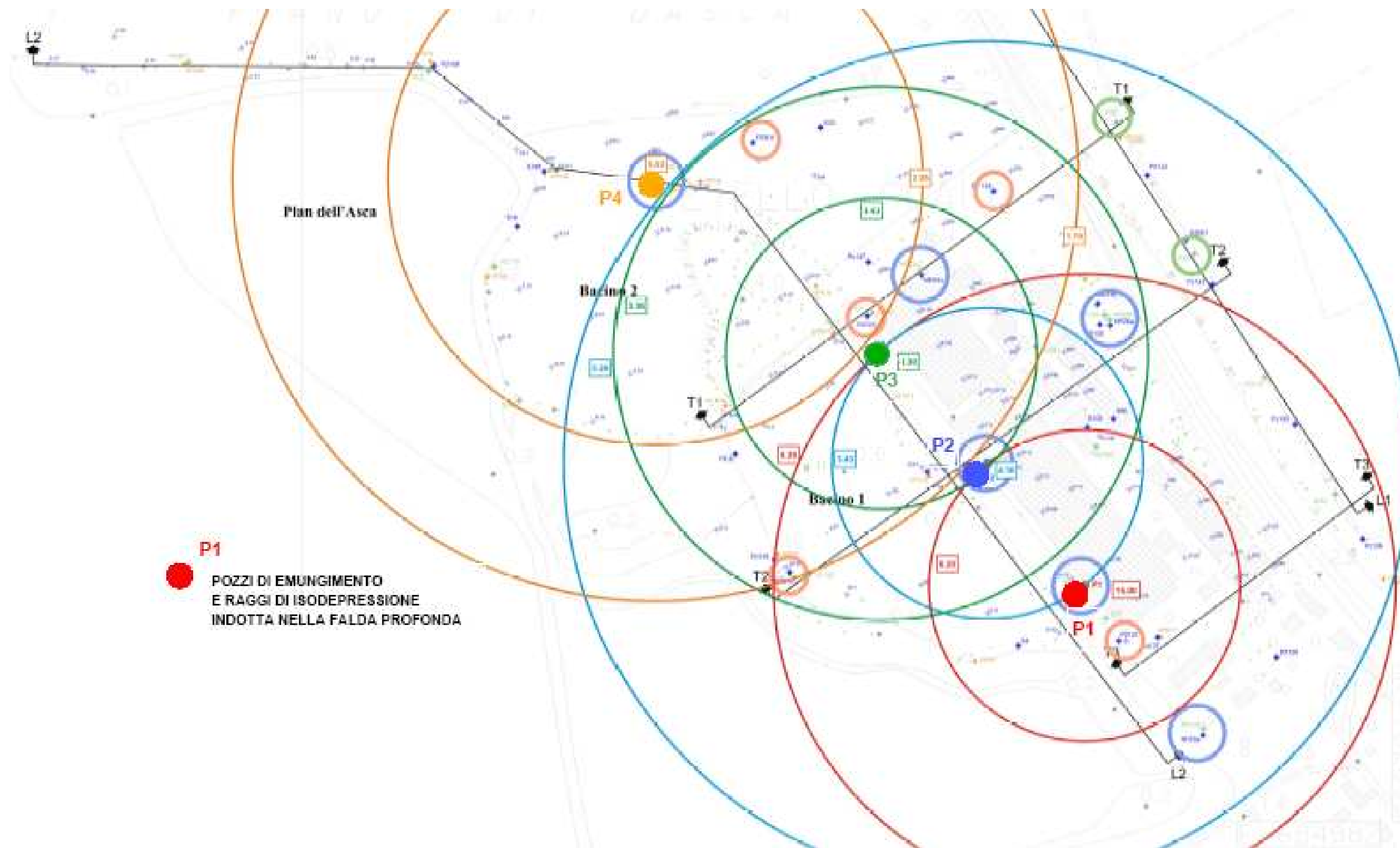


Figura 8.12 - Pozzi di emungimento della falda profonda – Planimetria e curve di isodepressione indotta

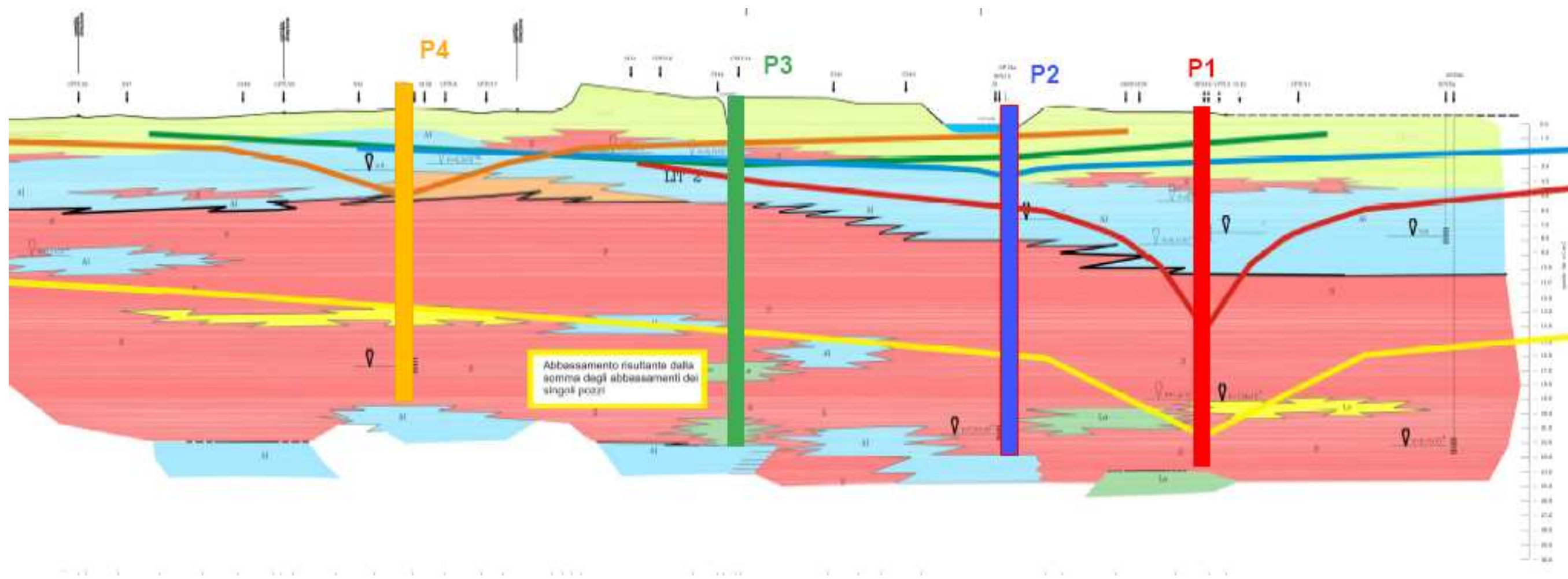


Figura 8.13—Sezione litologica L2 - Conoidi di depressione singoli e cumulativo -

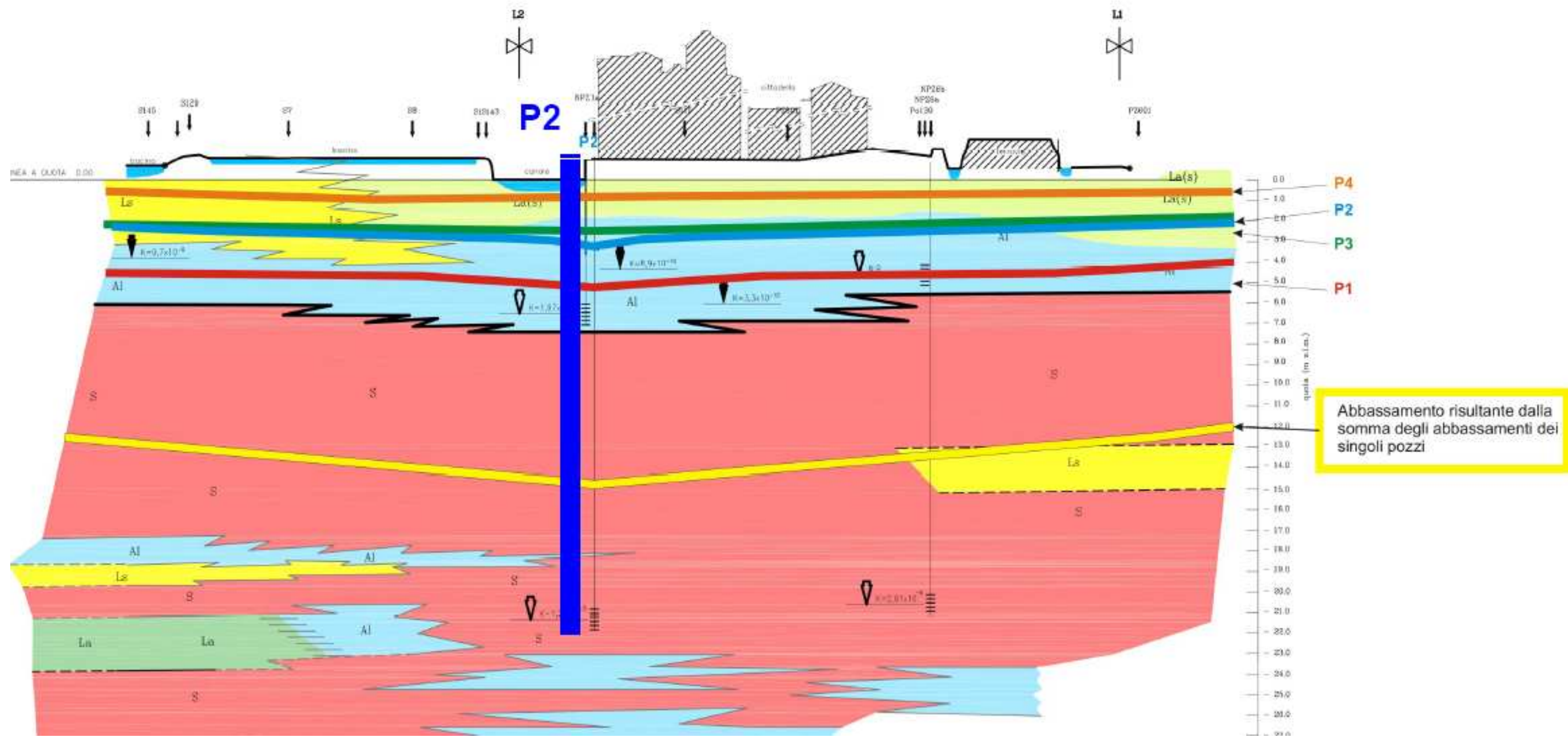


Figura 8.14—Sezione litologica T2 - Conoidi di depressione singoli e cumulativo –

8.2.5. EFFETTI INDOTTI SULLA CIRCOLAZIONE DELLE ACQUE LAGUNARI

Valutato quanto sopra, si deve osservare che quando si inizia a prelevare acqua da un pozzo di emungimento si sovrappone un flusso radiale a quello iniziale generato dal gradiente idraulico, in quanto le particelle di acqua sono sollecitate a dirigersi verso il pozzo.

L'influenza del richiamo dell'opera di captazione in regime transitorio tende a stabilizzarsi nel tempo fino a quando non si stabiliscono condizioni di regime permanente nelle quali l'influenza del prelievo di acque si trasmette anche "a valle" del pozzo di emungimento fino ad un punto, denominato di "stagnazione", la cui posizione (X_s) rispetto al pozzo è direttamente proporzionale alla portata emunta (Q) ed è inversamente proporzionale alla trasmissività (T) e al gradiente idraulico (i) della falda intercettata, secondo la relazione:

$$X_s = \frac{Q}{2 \pi T i}$$

Tenendo dunque conto delle condizioni di emungimento che sono state stimate necessarie per la bonifica della falda profonda e che sono state calcolate nei precedenti paragrafi, si rileva che, nelle condizioni di pompaggio di progetto, si avrà un'estensione verso la laguna della zona interessata dal richiamo di acque profonde e che tale zona di richiamo avrà un'estensione, a valle dell'allineamento dei pozzi, variabile a seconda delle condizioni reali dell'acquifero tra un minimo di circa 130 m e un massimo di circa 250 m.

Premesso quanto sopra, prima di procedere alla realizzazione e messa in funzione dei pozzi di captazione delle acque profonde saranno eseguiti approfondimenti circa le possibili interazioni con il sistema di circolazione delle acque lagunari mediante:

- implementazione, in stretto contatto e coordinamento con la Parte Pubblica, della caratterizzazione geologica, idrogeologica e geochimica dell'area lagunare a Ovest della Cittadella, per un'estensione in laguna pari ad almeno 250 m, con particolare riferimento all'individuazione di strati di separazione tra gli acquiferi riconosciuti;
- implementazione di un modello di simulazione delle linee di flusso e delle zone di cattura delle acque profonde a seguito degli emungimenti operati dalla barriera idraulica dinamica.

Sulla base degli accertamenti inerenti le caratteristiche del fondo naturale e i potenziali effetti sulle acque lagunari derivanti dall'emungimento della falda profonda saranno apportati i necessari adeguamenti al Progetto di Bonifica della falda in corrispondenza dell'area ex-SI.TO.CO..

8.2.6. VERIFICA DELL'EFFICACIA DELL'INTERVENTO

Come sopra specificato, in corso d'opera dovranno essere verificate le condizioni idrodinamiche dei pozzi una volta che saranno stati realizzati per affinare i valori di pompaggio.

Il metodo di valutazione della performance del sistema dipende dal tipo di dati che vengono raccolti presso il sito e dal metodo di rappresentazione di tali dati, oltre che dal tipo di metodo statistico o di modello numerico utilizzato per la loro interpretazione; risulterà comunque fondamentale il controllo del contenimento idraulico ed idrochimico degli inquinanti, per evitare qualsiasi fuga di sostanze dannose per la salute dell'uomo e per l'ambiente.

Premesso quanto sopra, la verifica dell'efficacia dell'intervento sarà eseguita nel rispetto della procedura di seguito illustrata.

8.2.6.1. Fase 1 – Revisione dei dati

Innanzitutto, per ogni singolo pozzo, sarà operata una revisione dei dati disponibili osservando gli effetti sulla morfologia della falda e sulle concentrazioni di contaminanti, adattando le portate prelevate, integrando eventualmente il numero di punti di captazione e sostituendo i pozzi che potrebbero rivelarsi inefficienti.

Nel corso della gestione della barriera idraulica potranno anche essere introdotte modifiche alle condizioni iniziali, in risposta a situazioni connesse alla struttura idrogeologica (maggiore o minore trasmissività locale dell'acquifero da sbarrare) o logistica (spostamento di opere di captazione per necessità di bonifica o di uso del suolo).

8.2.6.2. Fase 2 – Monitoraggio dell'efficienza e dell'efficacia della barriera idraulica

Le misure da effettuare in sito sono finalizzate alla verifica dell'efficienza e dell'efficacia della barriera idraulica intendendo con questi due termini quanto segue:

- **efficienza idraulica:** grado di copertura dell'area contaminata operata dalla depressione piezometrica originata dal pompaggio di acque sotterranee;
- **efficacia idrochimica:** massa di inquinante estratta in un intervallo di tempo rispetto al volume di acqua estratto nello stesso intervallo temporale.

L'efficienza idraulica sarà verificata mediante un approccio sperimentale (misure piezometriche in campo) e teorico (modellazione del flusso idrico sotterraneo).

L'efficacia idrochimica sarà verificata mediante il prelievo e l'analisi di acque a monte, all'interno e a valle dell'area contaminata.

8.2.6.3. *Fase 3 – Sintesi sui risultati raggiunti: proseguimento o cessazione dell'intervento*

Le verifiche sulla barriera idraulica saranno condotte sia in corso d'opera, per verificare che l'azione di intercettazione della contaminazione sia ottimizzata, sia in fase conclusiva, quando sarà stato bonificato il terreno soprastante da cui avviene la lisciviazione dei contaminanti.

In quest'ultima fase sarà quindi necessario valutare, sulla base dell'andamento tendenziale delle concentrazioni nei punti di monitoraggio, se si possa considerare cessata la necessità del funzionamento della barriera idraulica.

8.3. IMPIANTO DI TRATTAMENTO ACQUE CAPTATE

8.3.1. Premessa

Nel quadro degli interventi di Bonifica dell'area in oggetto è stata prevista la realizzazione di un impianto di captazione e trattamento dell'acquicludo superficiale nonché della falda profonda, avente come obiettivo la protezione delle acque di laguna dalla potenziale contaminazione determinata da detti acquiferi.

Per tale motivo, sulla base degli accertamenti inerenti le caratteristiche del fondo naturale e i potenziali effetti sulle acque lagunari derivanti dall'emungimento della falda profonda potranno essere apportati adeguamenti al Progetto di Bonifica della falda in corrispondenza dell'area ex-SI.TO.CO..

Nel presente capitolo si illustra nel dettaglio le caratteristiche tecniche dell'impianto di depurazione da installare a valle del sistema di emungimento precedentemente descritto, previsto per una portata massima di punta pari a 30 m³/h.

Il carico nominale continuo all'impianto tuttavia si attesterà attorno ai 15 m³/h.

8.3.2. Qualità delle acque da trattare

Come già evidenziato in altra parte della presente relazione tecnica, le analisi chimiche sulla qualità delle acque sono state eseguite, nel corso della campagna di prelievi, per ogni punto di campionamento, sia sul campione tal quale sia sul campione filtrato direttamente in campo con membrana a 0,45 µm.

Per comodità si riassumono brevemente i risultati e le conclusioni di dette analisi, assunte a base della progettazione seguente.

Sono stati ricercati in laboratorio i seguenti analiti:

- **Al – As – Cd – Crtot – Fe – Mn – Hg – Ni – Pb – Cu – Zn**

In totale, la campagna di monitoraggio delle acque come già detto ha interessato 20 punti di campionamento.

In Tabella 7.3 sono stati riportati i tabulati riassuntivi delle analisi eseguite. In detta tabella sono stati evidenziati gli analiti per i quali, nel corso delle pregresse campagne di monitoraggio, era stato registrato il superamento dei valori di cui alla Tabella 2. Sono stati inoltre evidenziati con apposita colorazione i casi in cui si ha superamento del limite di cui al *D.Lgs. 152/2006 – Parte IV – Allegato 5 – Tabella 2 – Concentrazione soglia di contaminazione nelle acque sotterranee*.

8.3.3. STATO DI CONTAMINAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE SUPERFICIALI

L'esame combinato delle stratigrafie, ricavate dai sondaggi geognostici e dalle prove eseguite in sito ed in laboratorio, ha evidenziato che acquifero superficiale risulta costituito da acque di ristagno nel livello superficiale costituito da limi argillosi, che risultano impediti nel loro moto di migrazione verso il basso dalla presenza di argille limose praticamente impermeabili. Non si ha evidenza di collegamento idraulico fra l'acquifero superficiale e la falda più profonda.

Per quanto attiene lo stato di contaminazione delle acque dalle indagini effettuate² è emerso quanto segue:

8.3.3.1. Ambito Cittadella-Acquifero superficiale

Nelle acque sotterranee superficiali della Zona Cittadella **non** è stato rilevato il superamento dei valori di cui alla Tabella 2 per **Al – Cd - CrTot – Hg – Pb – Cu – Zn** e, almeno nei nuovi piezometri, non viene rilevato neppure il superamento dei valori di cui alla Tabella 2 per il parametro **Fe** che si riscontra, con modesti superamenti della Tabella 2, solo nei vecchi piezometri PZ₁₂₃ e PZ₁₂₄.

Rispetto alle analisi pregresse si rileva un modesto superamento delle CSC del parametro **Ni** nei piezometri superficiali PZ124 – NPZ3a, ma comunque tale analita viene rilevato nei nuovi piezometri profondi con valori inferiori a quelli di cui alla Tabella 2.

8.3.3.2. Ambito Cittadella -Acquifero profondo

E' stata rilevata la presenza di **Fe** e **Mn**, rinvenuti in modeste quantità, anche se forse attribuibile al *fondo naturale* della zona.

E' stata inoltre rilevata la presenza di **As** nei piezometri profondi, anch'essa sembra dovuta a processi naturali che caratterizzano il corpo idrico sotterraneo.

² Indagini effettuate dal dott. Carlo Meoni

8.3.3.3. *Ambito Bacini-Acquifero superficiale*

Nelle acque sotterranee superficiali della Zona Bacini è stato rilevato il superamento dei valori di cui alla Tabella 2:

- in maniera modesta per **As – Cd - Ni**;
- con valori elevati per **Al – Fe - Mn – Zn**.

8.3.3.4. *Ambito Bacini -Acquifero profondo*

Nelle acque sotterranee profonde della Zona Bacini è stato rilevato il superamento dei valori di cui alla Tabella 2:

- in maniera modesta per **As – Fe**;
- con valori elevati solo per **Mn** e solo in corrispondenza della Fascia Ripariale

8.3.3.5. *Ambito Zona Nord*

Nelle acque sotterranee superficiali della Zona Nord è stato rilevato il superamento dei valori di cui alla Tabella 2, solo in maniera modesta, per **Fe - Mn – Pb**.

Da segnalare inoltre la presenza di **Hg** nel PZ₄₀₁, seppure in concentrazioni non rilevanti.

8.3.4. **IMPIANTO DI TRATTAMENTO DEPURATIVO DELLE ACQUE EMUNTE**

L'impianto proposto, sulla base della indagini relative alla qualità della acque superficiali e profonde sopra richiamata, prevede il trattamento delle stesse a seguito dall'emungimento delle due citate falde effettuate così come descritto in precedenza.

Si prevede il trattamento in loco delle acque emunte con l'obiettivo di riportare le concentrazioni dei parametri di interesse entro i limiti previsti dal *D.Lgs 152/2006* prima della re-immissione delle stesse in laguna.

L'impianto di trattamento dell'area in oggetto é quindi specificamente progettato per la rimozione dalle acque dei metalli pesanti e dell'Arsenico presenti in concentrazioni superiori alle concentrazioni limite di riferimento.

La captazione avviene:

- mediante trincea drenante per l'acquicludo superficiale;
- mediante barriera idraulica dinamica per la falda profonda.

L'obiettivo principale dell'impianto è quindi quello di rimuovere, dalle acque da trattare, i metalli pesanti rilevati nei campionamenti eseguiti. Lo stesso impianto potrà esser utilmente impiegato anche per le necessità della parte pubblica, quali ad esempio il trattamento delle acque provenienti dalla eventuale disidratazione dei sedimenti presenti nel canale navigabile oltre che di altre eventuali tipologie di acque contenenti metalli

presenti nell'area oggetto di bonifica. Le necessarie integrazioni saranno definite di concerto con le strutture tecniche della parte pubblica.

Si prevede di realizzare una unica linea di trattamento, con l'eventuale possibilità di aggiunta di ulteriori moduli analoghi qualora si volesse o ridurre i tempi di completamento della bonifica o incrementare i quantitativi da trattare.

La tipologia di impianto proposto è riconosciuta affidabile ed efficiente, in quanto positivamente applicata in altri casi per la rimozione dei medesimi inquinanti.

Sulla base delle esperienze maturate su impianti simili e quindi già funzionanti, possono dirsi garantite le seguenti condizioni:

- lo scarico avviene come previsto dal *D.Lgs. 152/06* e s.m.i..
- Le immissioni in atmosfera sono conformi ai limiti imposti dal Decreto del Ministero dell'Ambiente del 12 Luglio 1990 "*linee guida per il contenimento delle emissioni inquinanti degli impianti industriali e la fissazione dei valori minimi di emissione*".
- Dal trattamento di depurazione delle acque di falda i fanghi di supero disidratati avranno un tenore di sostanza secca superiore al 25%.

Gli interventi sono meglio rappresentati nelle tavole allegate:

- **ADB.GEN.EG.LAV.015.01** Lay out impianto trattamento acque
- **ADB.GEN.EG.LAV.016.01** Prospetti
- **ADB.GEN.EG.LAV.017.01** Schema a blocchi
- **ADB.GEN.EG.LAV.018.01** P&I Impianto di trattamento

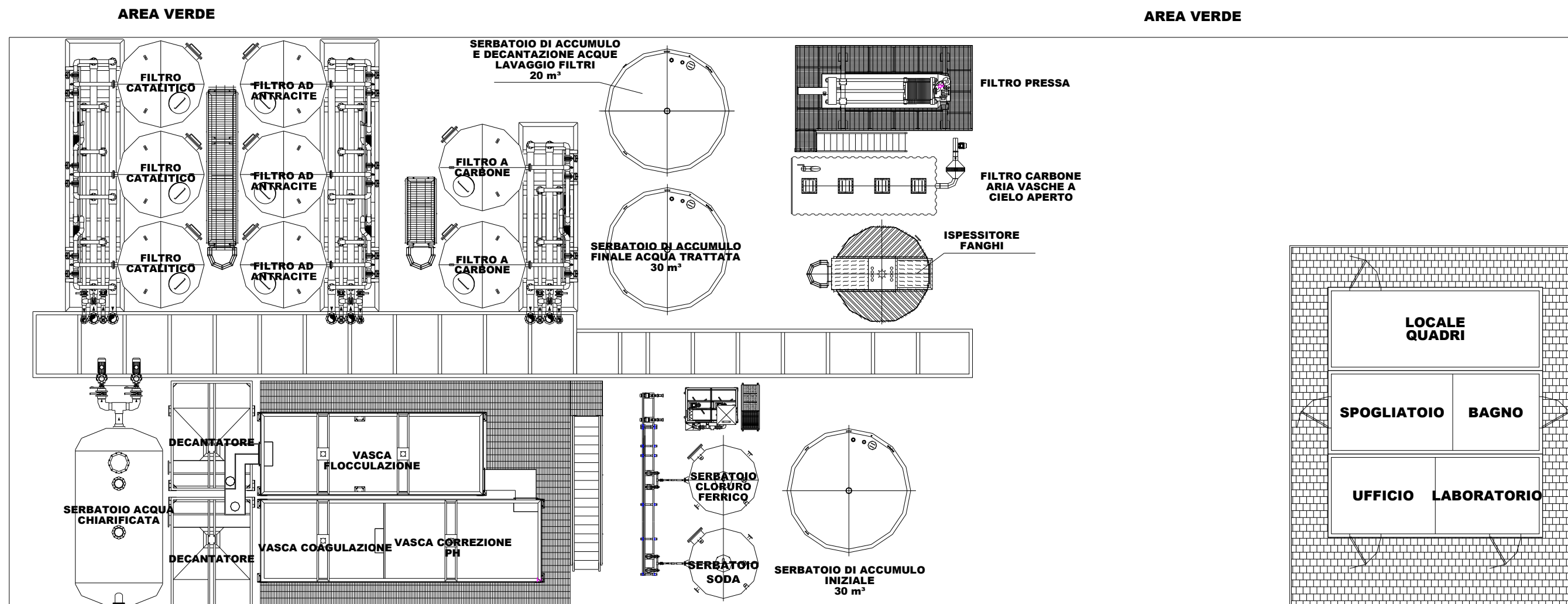
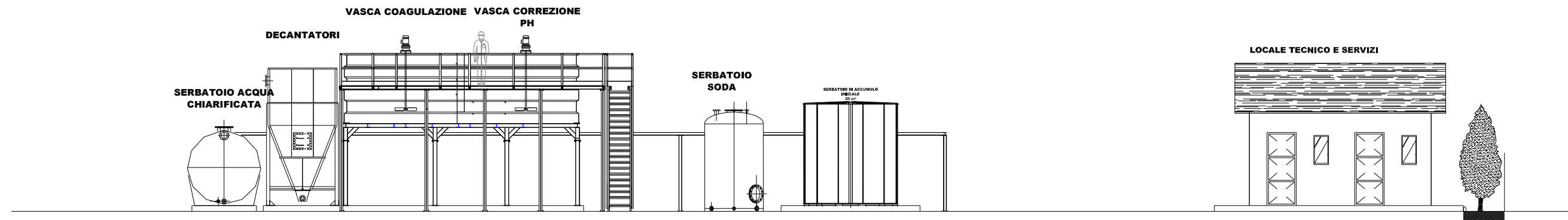


Figura 1 Lay out impiantistico



VISTA B-B

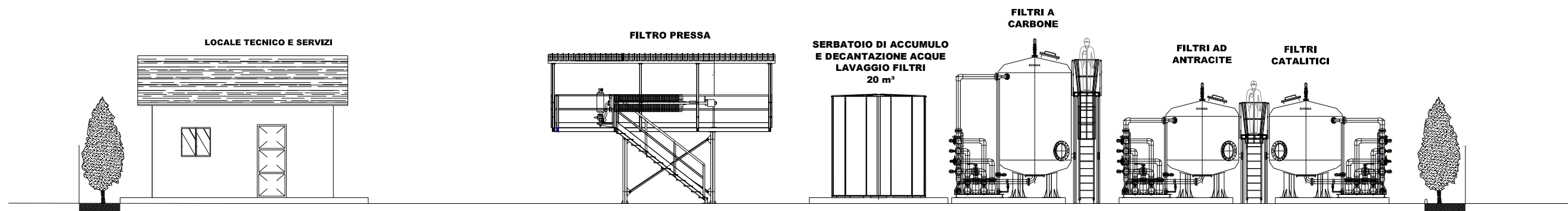


Figura 2 Viste

8.3.5. ATTIVITÀ DI INSTALLAZIONE DEL CANTIERE

Tra le attività di preparazione e installazione del cantiere per la effettuazione dell'intervento di cui trattasi sono previste:

- La realizzazione di un'area di alloggiamento delle maestranze costituita da box prefabbricati ad uso ufficio e servizi igienici.
- Il collegamento di questi ultimi alle forniture di acqua ed energia elettrica
- La predisposizione della cartellonistica di cantiere e la fornitura dei dispositivi di protezione collettiva come previsto dalla normativa in materia di sicurezza nei cantieri mobili.

8.3.5.1. *Fornitura di energia elettrica al cantiere*

La fornitura di energia elettrica al cantiere sarà realizzata attraverso il collegamento alla rete elettrica locale della potenza installata pari almeno a 10 kW

Sono previsti tutti i collegamenti a norma e a regola d'arte con tutte le utenze di cantiere (pompe elettrosommerse, impianti di trattamento acque, box, illuminazione cantiere, ecc), in particolare attraverso:

- lo scavo a sezione obbligata delle tracce
- la fornitura e la posa in opera di tubazione in PVC pesante conforme alle norme CEI EN 50086-1 e 50086-2-4
- la linea elettrica in cavo multipolare per servizio pesante conforme ai riferimenti CEI 20-19 e 20-35
- la fornitura e la posa in opera di pozzetti in cemento armato prefabbricati per cavidotti
- il rinterro delle tracce incluso il costipamento e la regolarizzazione finale.

Gli impianti e gli interventi sugli stessi saranno realizzati solo da personale specializzato ed in possesso dei requisiti tecnico - professionali così come stabilito dalla Legge 46/90.

8.3.5.2. *Accorgimenti generali in merito alla realizzazione degli impianti elettrici*

Gli impianti e gli interventi sugli stessi saranno realizzati solo da personale specializzato ed in possesso dei requisiti tecnico - professionali così come stabilito dalla Legge 46/90.

I lavori di installazione degli impianti saranno accompagnati da specifica dichiarazione di conformità, a certificare che i lavori sono stati eseguiti a regola d'arte.

Gli impianti elettrici, in fase esecutiva, saranno progettati e realizzati tenendo conto degli ambienti in cui saranno installati. Il grado di protezione IP di ogni componente elettrico sarà adeguato rispetto all'utilizzo previsto (es. ambienti polverosi, immersi in acqua, sottoposti a getti d'acqua, ecc.).

Le misure preventive generali che verranno attuate per evitare il contatto diretto sono:

- garantire l'isolamento di tutte le parti attive con conduttori elettrici sotto traccia, entro canalette o in tubi esterni non metallici.
- congiungere i fili elettrici con apposite cassette o in scatole di materiale isolante.
- sostituire tutti i componenti dell'impianto rotti o deteriorati (prese a spina, interruttori, cavi, etc.)

- non installare prese fisse a muro, prese a spina volanti e apparecchi elettrici per i quali non è previsto un utilizzo in presenza d'acqua in aree in cui è presente acqua o altri liquidi.

Per prevenire fenomeni di contatto indiretto si provvederà ad installare un impianto di messa a terra, adeguatamente eseguito per l'utilizzo in un area di scarica o prossima, al fine di collegare allo stesso potenziale tutte le masse metalliche. Dal collegamento a terra saranno esclusi i prodotti provvisti del simbolo con il quale la ditta costruttrice garantisce l'isolamento rinforzato o doppio. Tutti gli altri apparecchi saranno muniti di prese a spina con polo o contatto per il collegamento elettrico a terra della massa metallica.

Oltre all'impianto di messa a terra per garantire la protezione dai contatti indiretta provvederà ad installare a monte degli apparecchi utilizzatori un dispositivo in grado di rilevare la dispersione di corrente verso terra (interruttore differenziale o magnetotermico) che interrompa il flusso di corrente elettrica prima che la stessa assuma valori pericolosi.

Gli interruttori magnetotermici, i fusibili e gli interruttori differenziali saranno coordinati con l'impianto di messa a terra in modo da garantire il rispetto delle condizioni di sicurezza richieste dalla Norma CEI 64-8.

Anche l'impianto di messa a terra sarà installato e verificato da personale qualificato, così come stabilito dalla Legge 46/90.

Infine, per prevenire i rischi da incendio o esplosione gli impianti saranno protetti contro il sovraccarico, il corto circuito e la propagazione dell'incendio.

La conformità degli impianti installati alle norme di buona tecnica (norme CEI) sarà garantita dalla presenza sugli stessi del simbolo grafico IMQ.

A titolo esemplificativo e non esaustivo, la normativa di riferimento applicabile che si dovrà rispettare fa riferimento al DPR 547/55, alla Legge 186/68, alla Legge 791/77, alla Legge 46/90, al DPR 447/91, al D.Lgs. 626/96, e alle Norme CEI 64-8, CEI 64-2, CEI 23-16, CEI 23-5.

8.3.5.3. Normative per le tubazioni

8.3.5.3.1. Normativa di riferimento per tubazioni in acciaio

La normativa di riferimento per le tubazioni lisce è la seguente:

- UNI EN 1092-1:2003 “Flange e loro giunzioni. Flange circolari per tubazioni, valvole, raccordi e accessori designate mediante PN. Flange di acciaio”;
- UNI EN 288-9:2001 “Specificazione e qualificazione delle procedure di saldatura per materiali metallici-Prova di qualificazione della procedura di saldatura per la saldatura testa a testa di tubazioni a terra e in mare”;
- UNI EN 10224:2006 “Tubi e raccordi di acciaio non legato per il convogliamento di acqua e di altri liquidi acquosi - Condizioni tecniche di fornitura”;

- UNI EN 10312:2003 “Tubi saldati di acciaio inossidabile per il convogliamento di liquidi acquosi inclusa l'acqua per il consumo umano - Condizioni tecniche di fornitura”;
- UNI 10954-1:2001 “Sistemi di tubazioni multistrato metallo-plastici per acqua fredda e calda – Tubi”;
- UNI 10954-2:2005 “Sistemi di tubazioni multistrato metallo-plastici per acqua fredda e calda – Raccordi”;
- UNI EN ISO 1127:1998 “Tubi di acciaio inossidabile - Dimensioni, tolleranze e masse lineiche convenzionali”;
- UNI SPERIMENTALE 1285:1968 “Calcolo di resistenza dei tubi metallici soggetti a pressione interna”;
- UNI 1288:1974 “Tubi senza saldatura di acciaio non legato, da pozzo, filettati, con manicotto di giunzione. Tubi serie leggera”;
- UNI ISO 5256:1987 “Tubi ed accessori di acciaio impiegati per tubazioni interrate o immerse. Rivestimento esterno e interno a base di bitume o di catrame”;
- UNI 7929:1979 “Tubi di acciaio. Curve da saldare, tipi 3D e 5D (45_i,90_i e 180_i), senza prescrizioni di qualità”;
- UNI 9099:1989 “Tubi di acciaio impiegati per tubazioni interrate o sommerse”
- UNI EN 10216-5:2005 “Tubi senza saldatura di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 5: Tubi di acciaio inossidabile”;
- UNI EN 10217-1:2005 “Tubi saldati di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 1: Tubi di acciaio non legato per impiego a temperatura ambiente”;
- UNI EN 10217-7:2005 “Tubi saldati di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 7: Tubi di acciaio inossidabile”;
- UNI EN 10241:2002 “Raccordi di acciaio filettati per tubi”.

8.3.5.4. *Normativa di riferimento per tubazioni in HDPE*

La normativa di riferimento per le tubazioni lisce è la seguente:

- UNI EN 12201-1:2004 “Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua - Polietilene (PE) – Generalità”;
- UNI EN 12201-2:2004 “Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua - Polietilene (PE) – Tubi”;
- UNI EN 12201-3:2004 “Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua - Polietilene (PE) – Raccordi”;
- UNI EN 12201-4:2002 “Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua - Polietilene (PE) – Valvole”;
- UNI EN 12201-5:2004 “Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua - Polietilene (PE) – Parte 5: Idoneità all'impiego del sistema”;
- UNI 7613:1976 + SS UNI E13.08.623.0:1998 “Tubi di polietilene ad alta densità per condotte di scarico interrate. Tipi, dimensioni e requisiti”;
-
- UNI 7615:1976 “Tubi di polietilene ad alta densità. Metodi di prova”;
- UNI 7616:1976 + A90:1979 “Raccordi di polietilene ad alta densità per condotte di fluidi in pressione. Metodi di prova”;
- UNI EN 1092-1:2003 “Flange e loro giunzioni. Flange circolari per tubazioni, valvole, raccordi e accessori designate mediante PN. Flange

di acciaio”;

- UNI 11149:2005 “Posa in opera e collaudo di sistemi di tubazioni di polietilene per il trasporto di liquidi in pressione”;
- UNI ENV 1046:2003 “Sistemi di tubazioni e condotte di materia plastica - Sistemi di adduzione d'acqua e scarichi fognari all'esterno dei fabbricati - Raccomandazioni per installazione interrata e fuori terra”

8.3.6. Normativa generale di riferimento

Gli impianti e le opere connesse saranno realizzate secondo la buona tecnica ed in accordo alla normativa vigente. In particolare, a carattere non esaustivo, si riportano di seguito le principali norme e direttive vigenti in materia di sicurezza e impiantistica da rispettare:

Prevenzione infortuni sul lavoro:

- DPR 547/55 e successive modifiche e integrazioni

Tutela e sicurezza dei lavoratori:

- DL 626/94
- 89/392/CEE e successivi emendamenti
- 98/37/CE

Impianti elettrici:

- CEI EN 20439-1; CEI EN 60204-1;
- Direttiva Bassa Tensione 73/23/CEE;
- Direttiva EMC 89/336/CEE; Norme CEI applicabili

Attrezzature a pressione:

- L 46/90;
- DPR 447/91
- Direttiva PED 97/23/CE
- D.M. 1 dicembre 2004, n. 329

Tutte le apparecchiature installate saranno marchiate CE.

8.3.7. Requisiti dell'impianto

L'impianto previsto è caratterizzato dai seguenti requisiti fondamentali:

- Portate in ingresso e in uscita compresa tra i 15 e i 30 m³/h;
- Obiettivi qualità delle acque trattate secondo i limiti previsti dal *D.Lgs. 152/2006, Parte Quarta, Titolo V, Allegato 4*, coerenti con i valori limite di concentrazione *ex D.M. 471/99, Allegato 1, Tabella 2*.
- Certificazione impianto secondo la normativa applicabile in materia di fornitura, installazioni elettriche, meccaniche, pneumatiche, idrauliche e di sicurezza.
- Funzionamento e controllo in continuo 24h su 24h.

- Modalità di gestione automatizzata con un sistema di registrazione del funzionamento degli impianti e di allarmi.
- Garanzia totale dell'efficienza dell'impianto in ogni sua singola parte/componente per tutta la durata delle attività.
- Autorizzazione all'esercizio

8.3.8. Principio di funzionamento dell'impianto

Per il raggiungimento dei sopra richiamati obiettivi l'impianto progettato risulta articolato nelle seguenti distinte fasi di trattamento:

8.3.8.1. Sistema di sollevamento

Le acque provenienti dai pozzi di emungimento vengono inviate all'impianto di trattamento mediante stazioni di sollevamento.

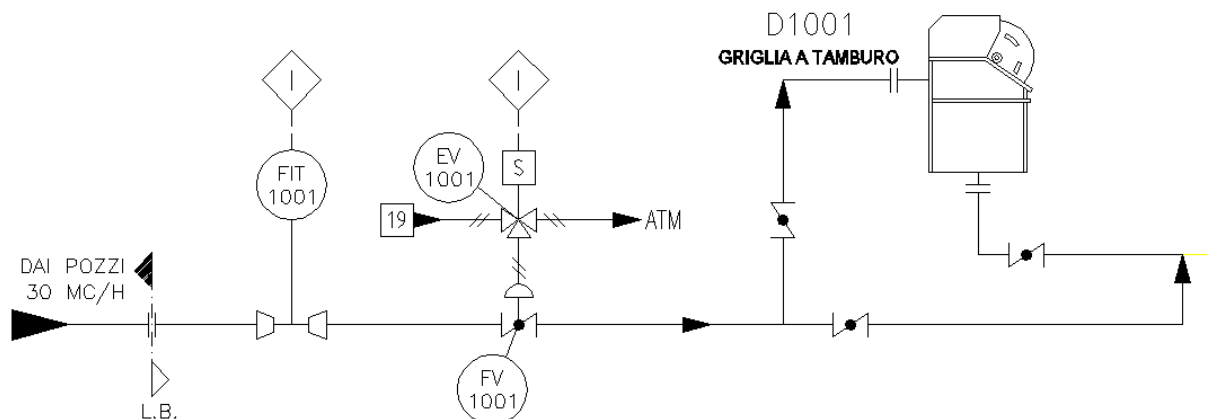
In corrispondenza di ognuno dei punti di emungimento verranno installate n.2 pompe sommergibili per il sollevamento delle acque.

Dati di progetto:

- Portata complessiva: fino a 30 m³/h
 - Pompe installate: 1 x numero di punti di emungimento
 - Pompe: 1 in esercizio alternato
1 riserva
- Il sistema di pompaggio sarà gestito in base a sistema di rilevazione livelli ad ultrasuoni.

8.3.8.2. Pretrattamento iniziale

L'impianto è realizzato da una sistema di grigliatura fine meccanizzata avente un grado di filtrazione di 0,5 mm per la rimozione di eventuali solidi in sospensione provenienti dai singoli drenaggi per una portata totale fino a 30 m³/h.



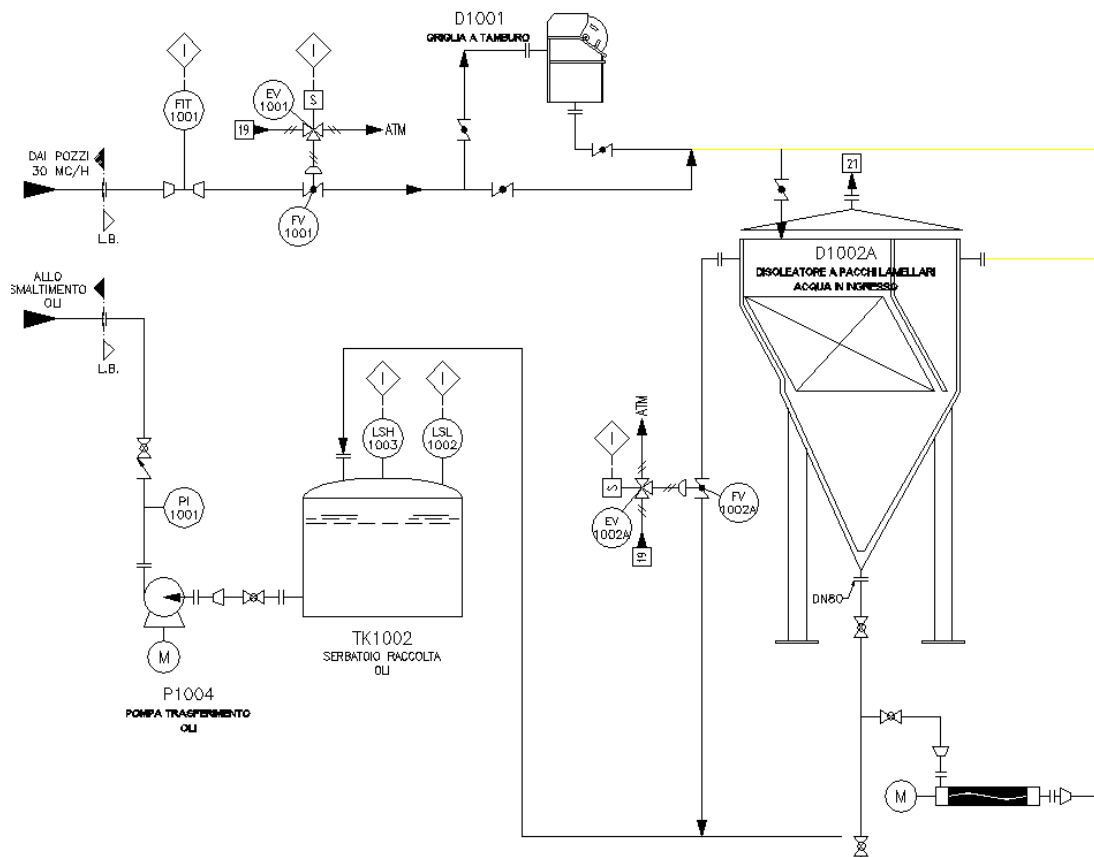
8.3.8.3. Sistema di disoleazione (TPI) per la rimozione degli idrocarburi miscelabili e per la separazione dei solidi.

E' previsto l'impiego di n.1 disoleatore del tipo TPI per eliminare le particelle di diametro superiore a 50 μ (peso specifico olio 0,8) e un effluente con un contenuto di oli separabili max. 5 ppm.

L'unit  sar  corredata di serbatoio per la raccolta/smaltimento degli idrocarburi miscelabili, e di pompe per l'invio dei fanghi alla sezione di ispessimento/disidratazione fanghi.

Dati di progetto:

- Portata di progetto: 30 m³/h
- Tenore max di idrocarburi miscelabili 200 mg/l
- Velocit  di risalita 0,45 m/h



8.3.8.4. Accumulo iniziale acque da trattare

L'accumulo sarà costituito da serbatoio chiuso, e munito sullo sfiato, di sistema di filtrazione a carbone attivo per il trattamento dell'aria.

Dati di progetto:

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| • Tipo: | Verticale |
| • Tempo di ritenzione dei reflui: | 45 min. |
| • Volume utile: | 30 m ³ |
| • Materiale: | Acciaio al carbonio |
| • Trattamento interno: | Sabbiatura SA 2.5 + ciclo epossidico |
| • Trattamento esterno: | Sabbiatura SA 2.5 + ciclo poliuretano |

Il serbatoio sarà dotato di una pompa di spinta al trattamento da 30 m³/h.

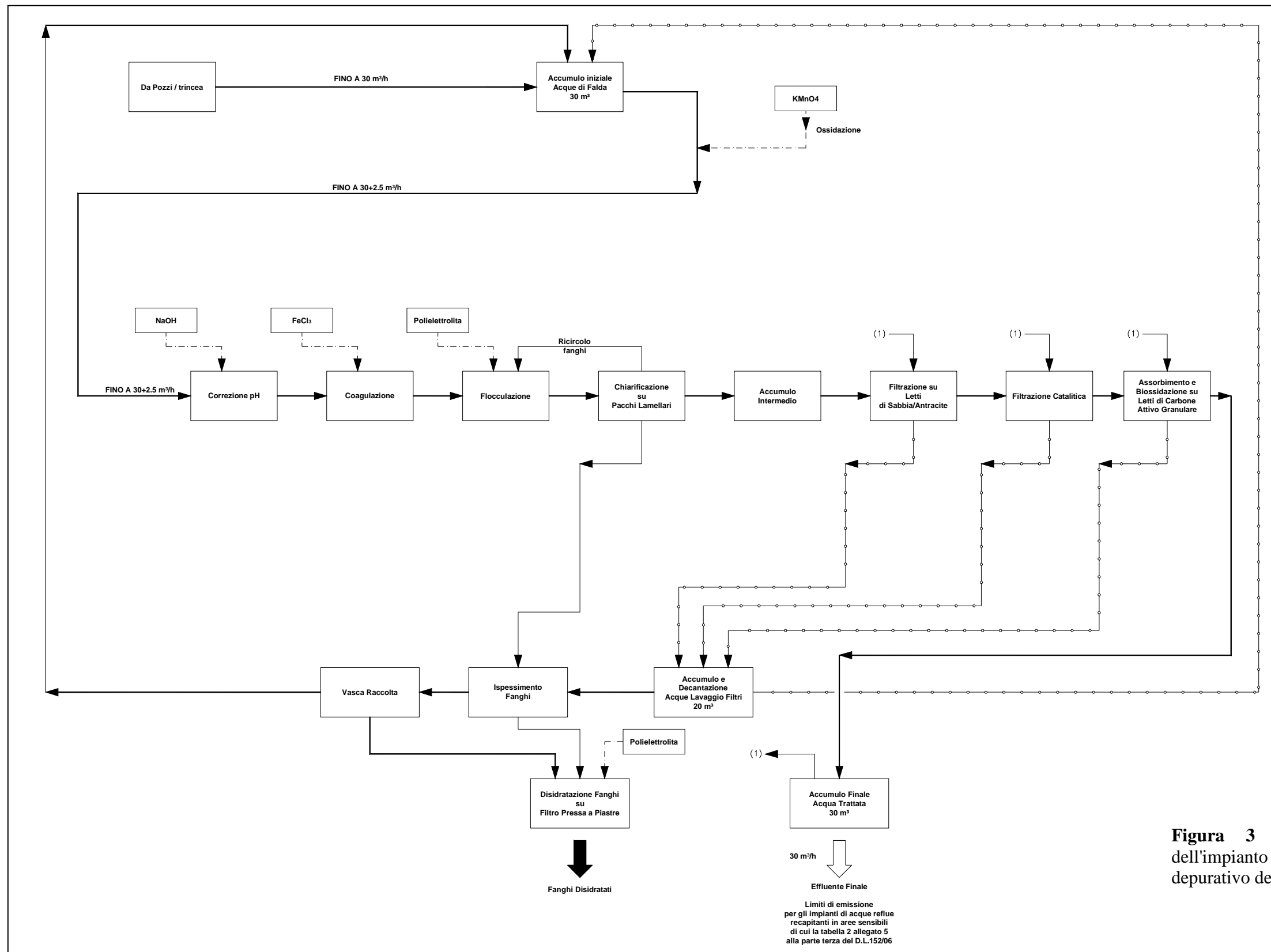


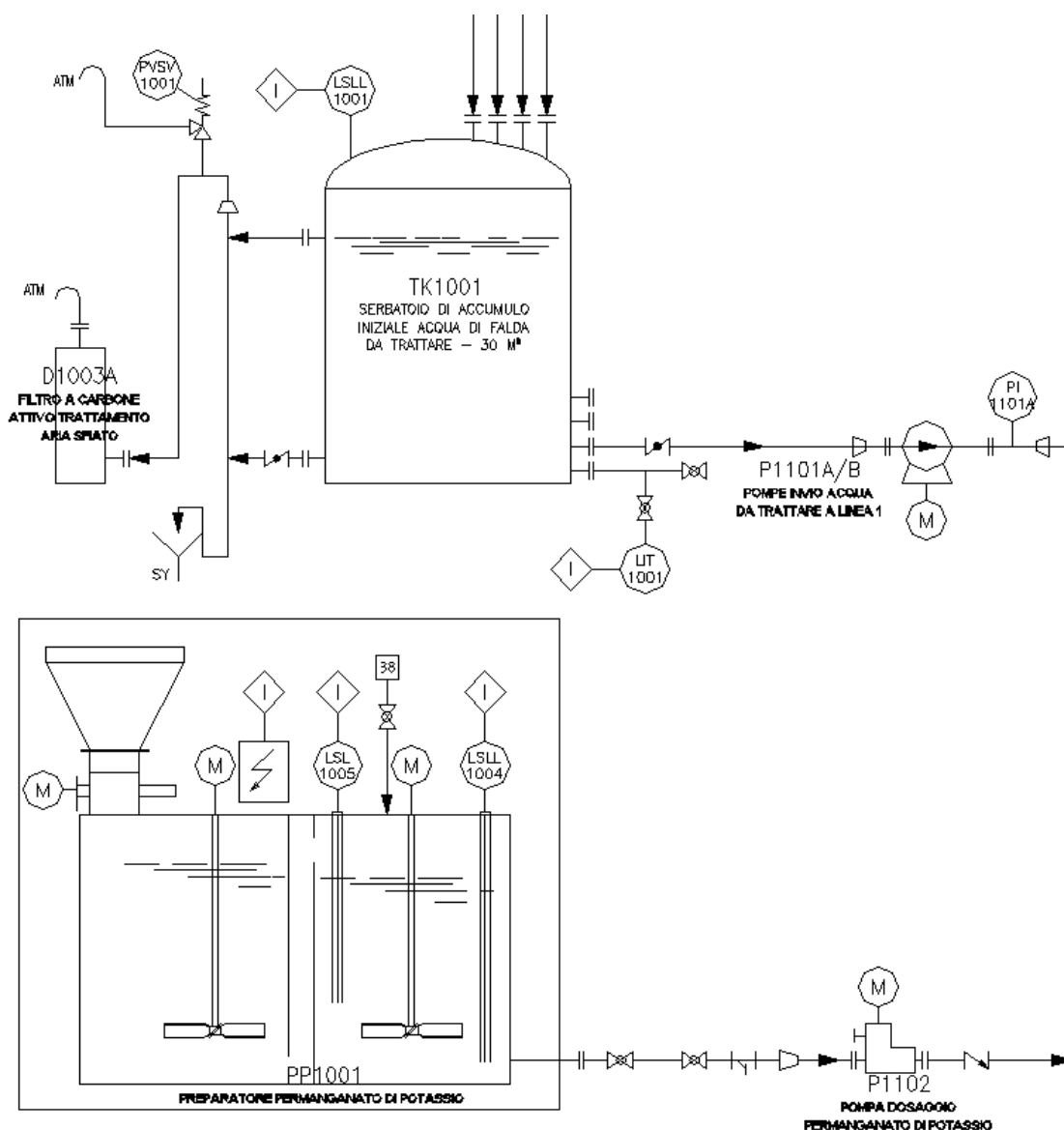
Figura 3 Schema funzionale dell'impianto di trattamento depurativo delle acque

8.3.8.5. Fase di ossidazione

Detta fase avviene mediante il dosaggio di Potassio permanganato in soluzione acquosa (precedentemente preparato da apposito preparatore automatico).

La reazione con il Potassio permanganato assicura la completa ossidazione dei metalli oltre che la degradazione dei componenti organici a bassa volatilità.

Il dosaggio del Potassio permanganato avviene sulla linea che alimenta la sezione di trattamento pH e per ottimizzarne la miscelazione viene inserito un apposito miscelatore statico.



8.3.8.6. Fase di correzione del pH

Detta fase avviene in una vasca di reazione ove il pH viene controllato e mantenuto costante tramite il dosaggio di NaOH.

Dati di progetto:

- Portata di progetto: fino a 30 m³/h
- Capacità: 6 m³
- Tempo di contatto: 12 min
- Dimensioni: 2,8x1,5x1,5
- Materiale: acciaio al carbonio
- Trattamento interno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo epossidico
- Trattamento esterno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo poliuretano

8.3.8.7. Fase di coagulazione

Avviene in una vasca di reazione ove viene dosato del FeCl₃ quale coagulante.

Dati di progetto:

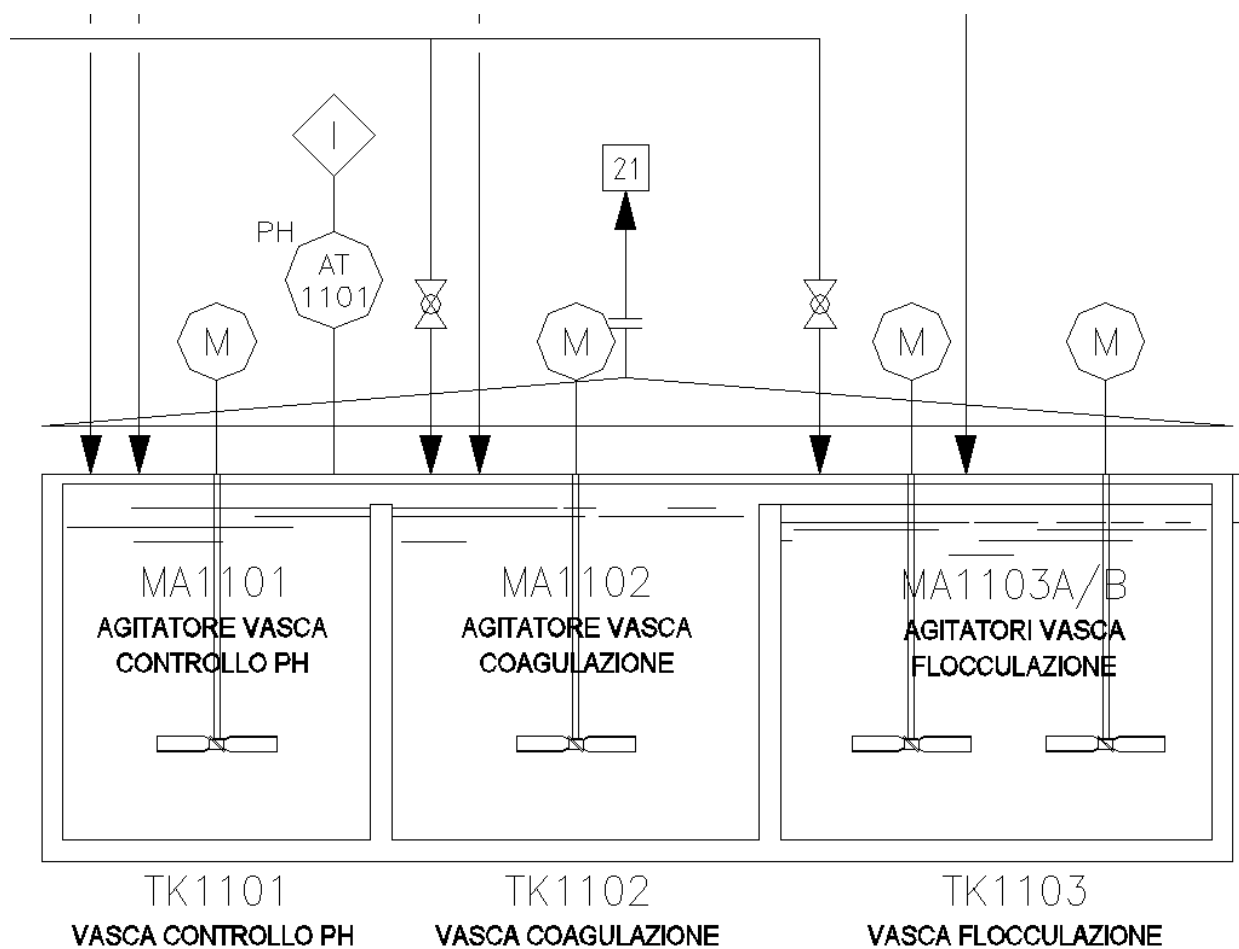
- Portata di progetto: fino a 30 m³/h
- Capacità: 8,5 m³
- Tempo di contatto: 13 min.
- Dimensioni: 2,8x1,5x1,5
- Materiale: acciaio al carbonio
- Trattamento interno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo epossidico
- Trattamento esterno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo poliuretano

8.3.8.8. Fase di flocculazione

Avviene in una vasca di reazione ove viene dosato del polielettrolita anionico.

Dati di progetto:

- Portata di progetto: fino a 30 m³/h
- Capacità: 11 m³
- Tempo di contatto: 22 min
- Dimensioni: 5,0x1,5x1,5
- Materiale: acciaio al carbonio
- Trattamento interno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo epossidico
- Trattamento esterno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo poliuretano

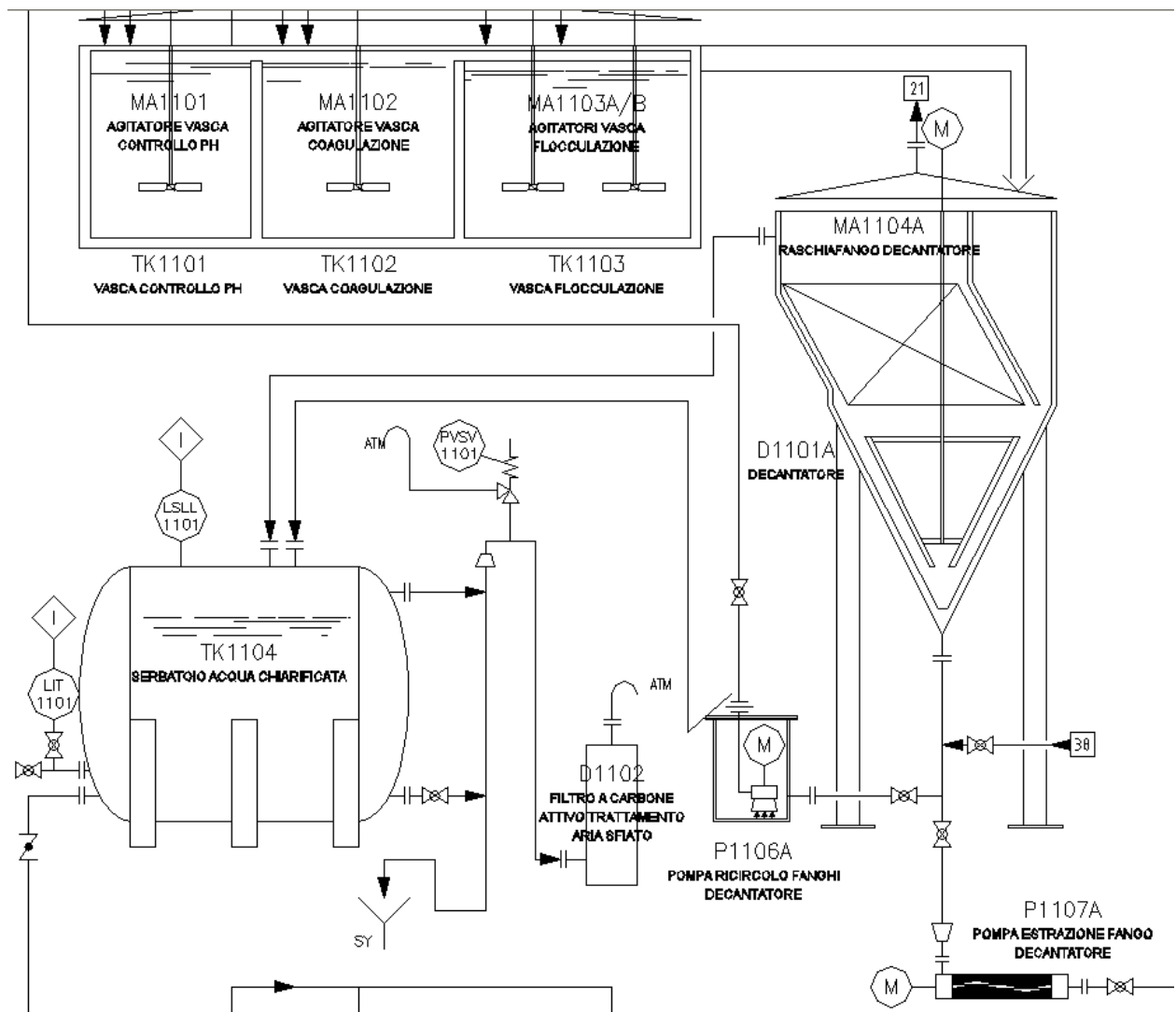


8.3.8.9. Sezione di decantazione

L'acqua in uscita dalla vasca di reazione viene inviata alla decantazione a pacchi lamellari dotata dei dispositivi per la raccolta del fango di fondo e di idonee pompe per l'invio dei fanghi alla sezione di trattamento.

Dati di progetto:

- Portata di progetto: fino a 30 m³/h
- Unità: 2
- Superficie equivalente: 23x2=46 m²
- Velocità di sedimentazione: ≈0,66 m/ m²/h
- Materiale: acciaio al carbonio
- Trattamento interno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo epossidico
- Trattamento esterno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo poliuretano



8.3.8.10. Accumulo intermedio e rilancio alla filtrazione

L'acqua in uscita dalla sezione di decantazione viene accumulata in un idoneo serbatoio di hold-up, munito sullo sfiato, di sistema di filtrazione a carbone attivo per il trattamento dell'aria e corredato di pompe per il rilancio della stessa alla sezione di filtrazione a pressione.

Dati di progetto:

- Capacità: 5 m³
- Materiale: PRFV

8.3.8.11. Sezione di filtrazione a pressione su filtri ad antracite

L'acqua in uscita dal trattamento di chiariflocculazione viene inviata alla fase di filtrazione su filtri ad antracite per la completa rimozione di solidi in sospensione, che sarà realizzata come appresso.

Dati di progetto:

• Portata di progetto:	fino a 30	m ³ /h
• Solidi sospesi in ingresso:	20	mg/l
• Solidi sospesi in uscita:	4	mg/l
• Velocità di filtrazione:	9,17	m ³ / m ² /h
• Velocità di controlavaggio:	35	m ³ / m ² /h
• N. di controlavaggi per filtro	2/giorno	
• Materiale di riempimento	Quarzite/antracite	
• N. unità titolari	2	
• N. unità di riserva	1	
• Diametro filtro	1,8	m
• Altezza letto filtrante	0,80	m
• Velocità di sedimentazione:	≈0,66	m ³ / m ² /h
• Materiale:	acciaio al carbonio	
• Trattamento interno:	Sabbiatura SA 2.5 + ciclo epossidico	
• Trattamento esterno:	Sabbiatura SA 2.5 + ciclo poliuretano	
• Sistema di controlavaggio	Misto Aria/acqua	

Le fasi operative vengono comandate da un sistema di valvole a comando pneumatico comandate dal pannello di controllo.

8.3.8.12. Sezione di filtrazione a pressione su filtri catalitici

L'acqua in uscita dal trattamento di filtrazione meccanica viene inviata alla fase di filtrazione su filtri catalitici per la rimozione di Arsenico, Ferro e Manganese che sarà così realizzata.

Dati di progetto:

• Portata di progetto:	fino a 30	m ³ /h
• Solidi sospesi in ingresso:	4	mg/l
• Solidi sospesi in uscita:	1	mg/l
• Velocità di filtrazione:	9,17	m ³ / m ² /h
• Velocità di controlavaggio:	35	m ³ / m ² /h
• N. di controlavaggi per filtro	2/giorno	
• Materiale di riempimento	BIRM	
• N. unità titolari	2	
• N. unità di riserva	1	
• Diametro filtro	1,8	m
• Altezza letto filtrante	0,80	m

- Velocità di sedimentazione: $\approx 0,66 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$
- Materiale: acciaio al carbonio
- Trattamento interno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo epossidico
- Trattamento esterno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo poliuretano
- Sistema di controlavaggio: Misto Aria/acqua

Le fasi operative vengono comandate da un sistema di valvole a comando pneumatico comandate dal pannello di controllo.

8.3.8.13. Sezione di filtrazione a pressione su carbone attivo

L'acqua in uscita dal trattamento di filtrazione catalitica viene inviata alla fase di filtrazione su filtri a carbone attivo per la finitura.

Dati di progetto:

- Portata di progetto: fino a $30 \text{ m}^3/\text{h}$
- Tipologia di carbone attivo: granulare
- Velocità di filtrazione: $14,62 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$
- N. unità titolari: 2
- Configurazione: serie 1-2 2-1
- Diametro filtro: 2,2 m
- Altezza letto filtrante: 1,50 m
- Materiale: acciaio al carbonio
- Trattamento interno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo epossidico
- Trattamento esterno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo poliuretano
- Sistema di controlavaggio: Misto Aria/acqua

Le fasi operative vengono comandate da un sistema di valvole a comando manuale.

8.3.8.14. Accumulo finale acqua trattata

Le acque trattate in uscita dall'impianto verranno stoccate in adeguato serbatoio per essere utilizzate nelle operazioni di controlavaggio dei filtri ad antracite e catalitico.

Dati di progetto:

- Tipo: Verticale
- Volume utile: 30 m^3
- Materiale: Acciaio al carbonio
- Trattamento interno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo epossidico
- Trattamento esterno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo poliuretano

L'acqua in eccesso verrà scaricata per troppo pieno in modo da mantenere sempre il serbatoio di accumulo pieno per le operazioni di controlavaggio.

8.3.8.15. *Accumulo acqua di controlavaggio filtri*

Le acque utilizzate per il controlavaggio dei filtri in pressione verranno accumulate in un serbatoio per consentirne il pompaggio dosato circa 3,5 mc/h alle fase di trattamento.

Dati di progetto:

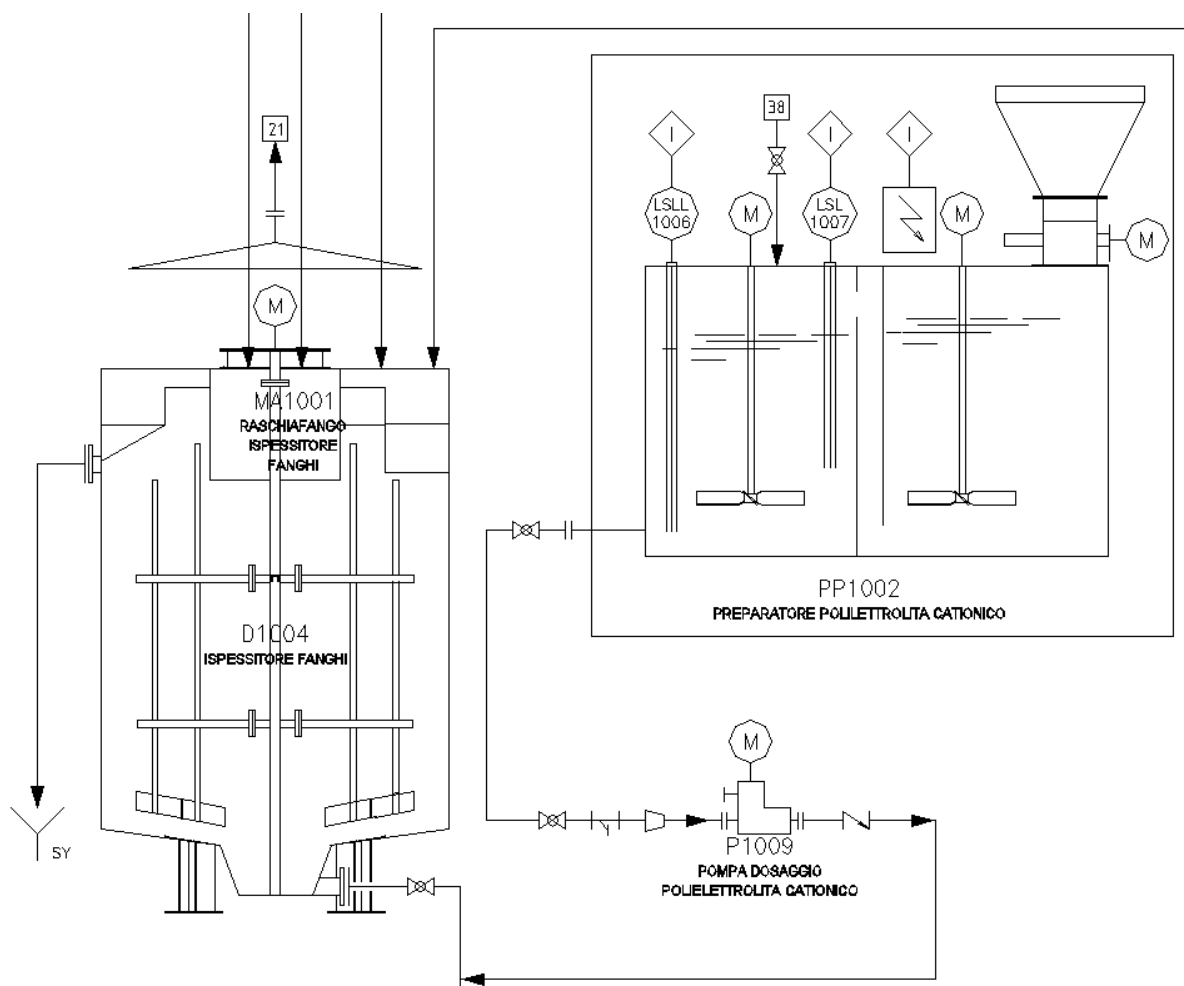
- Tipo: Verticale
- Volume utile: 20 m³
- Materiale: Acciaio al carbonio
- Trattamento interno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo epossidico
- Trattamento esterno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo poliuretano

8.3.8.16. *Ispessitore dei fanghi di depurazione*

Il fango di supero prodotto dall'impianto viene inviato ad un ispessitore meccanizzato.

Dati di progetto:

- Solidi sospesi in uscita: 4%
- Materiale: Acciaio al carbonio
- Trattamento interno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo epossidico
- Trattamento esterno: Sabbiatura SA 2.5 + ciclo poliuretano
- Diametro: 2,5 mt
- Portata fanghi in ingresso: 5 m³/h
- Concentrazione fanghi in ingresso: 1-2 %
- Portata fanghi in uscita: 2,5 m³/h
- Concentrazione fanghi in uscita: 4%
- Portata liquido surnatante ricircolato: 2,5 m³/h
- Altezza totale: 2 mt
- Altezza parte cilindrica: 1,5 mt.
- Volume: 18 m³

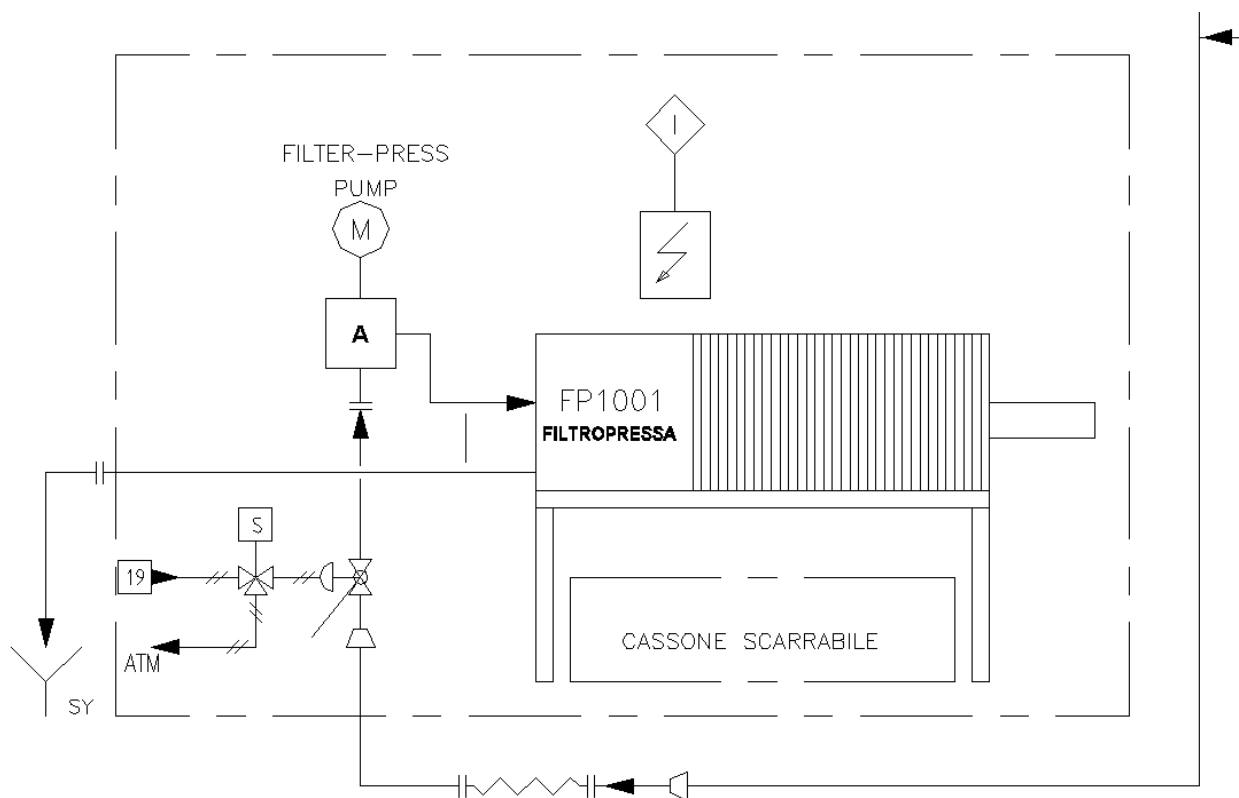


8.3.8.17. Disidratazione meccanica fango

I fanghi dopo essere stati ispessiti vengono definitivamente disidratati mediante l'utilizzo di sistema di disidratazione meccanica mediante l'utilizzo di filtropressa automatico.

Dati di progetto:

- Unità	1
- Funzionamento	6 h/d
- Funzionamento	4 d/set.
- Portata fanghi in ingresso	2,5 m ³ /h
- Concentrazione fanghi in ingresso	4 %
- Concentrazione fanghi disidratati	> 25 %
- Portata acqua di fango da riciclare	2,3 m ³ /h
- Superficie filtrante	mq: 18
- Dimensioni ciascuna piastra	800X800 mm
- Piastre installate	n. 18
- Potenza istallata	7 Kw



8.3.8.18. *Trattamento vapori organici*

Le vasca di reazione verrà munita di sistema di captazione dei vapori organici.

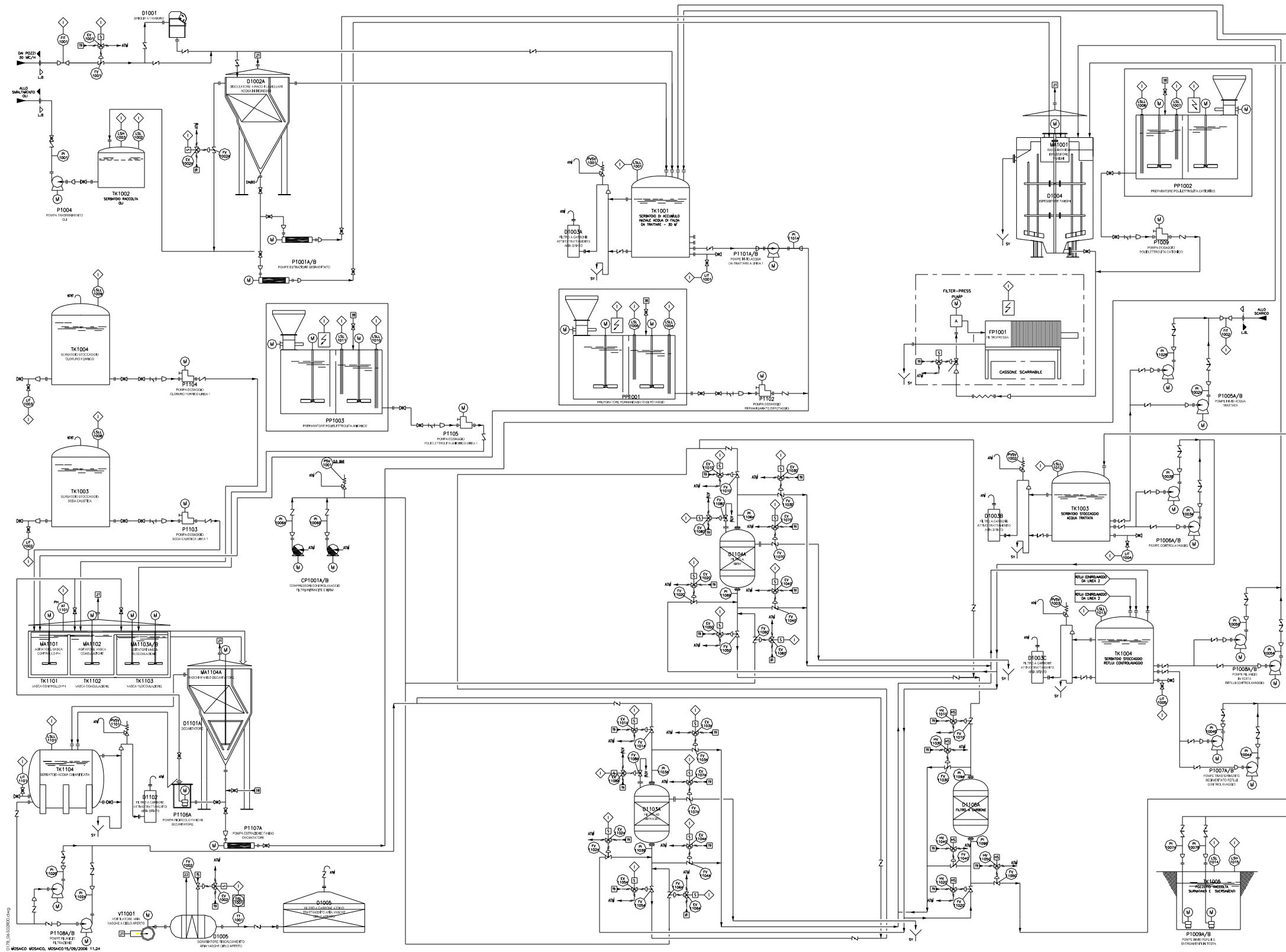
Il trattamento depurativo sarà effettuato filtrazione su carboni attivi, il sistema di aspirazione localizzata sarà dimensionata per garantire 6/7 ricambi ora. L'aria in ingresso ai filtri sarà riscaldata a 30 °C.



Figura 4 Tipica installazione del sistema di captazione dei vapori organici

Dati di progetto:

- Portata vapori/aria esausta 150 Nm³/h
- Alimentazione dei filtri in serie
- Numero di unità filtranti 2
- Volume carbone attivo 4 m³



8.3.9. Sistemi di controllo della funzionalità dell'impianto

L'impianto progettato è dotato di tutta la strumentazione necessaria per il funzionamento in automatico ed in sicurezza.

Tutto l'impianto di trattamento verrà alimentato, comandato e monitorato con quadro di controllo locale installato in campo che consentirà la gestione dei dati ed il comando delle utenze, il quadro comando sarà installato in apposito locale come evidenziato nelle P&I.

Le varie utenze saranno corredate di un selettore ON/OFF ed AUTOMATICO per facilitare le operazioni di manutenzione.

Il quadro di controllo sarà munito di PLC e sistema di supervisione e controllo, completo di sistema di trasmissione dati.

Tutti i dati acquisiti dal sistema potranno essere inviati (in remoto) ad eventuale centrale di supervisione e controllo.

ITEM	GRANDEZZA RILEVATA	Punto di rilevamento	CONTROLLO	NOTE
FIT 1001	Portata	Ingresso impianto	Rilevamento /registrazione	
FIT 1101	Portata	Portata alimentazione	Rilevamento /registrazione	
AT 1101	pH	Vasca reazione	Rilevamento/ Comando dosaggio soda	Segnalazione/ Blocco impianto in caso di anomalia
FIT 1002	Portata	Uscita impianto	Rilevamento /registrazione	
LS...	Livello	Su tutti i serbatoi	Rilevamento/ Comando	Segnalazione/ Blocco impianto in caso di anomalia

Oltre ai sistemi di rilevazione/comando in automatico dell'impianto per garantire la perfetta funzionalità, verranno eseguiti dei controlli analitici sia sulle acque in ingresso che quelle in uscita sui parametri sensibili con cadenza settimanale.

Nella seguente tabella sono riportate le verifiche, con relativi tempi, che saranno effettuate sull'impianto:

VERIFICA	FREQUENZA	INTERVENTI DA EFFETTUARE
Verifica della chiariflocculazione	8 ore	<ul style="list-style-type: none"> a) Verificare che i dosaggi del coagulante, della soda e del polielettrolita avvenga regolarmente. b) Verificare che il ricircolo fanghi avvenga regolarmente c) Verificare che all'interno delle vasche ci sia una buona agitazione generata dagli agitatori. d) Verificare che la flocculazione sia regolare e che i fiocchi abbiano una buona consistenza. e) Verificare che l'acqua che esce dal decantatori sia limpida.
Verifica del livello dei prodotti chimici	8 ore	<ul style="list-style-type: none"> a) Verificare che all'interno delle tramogge dei preparatori ci sia polvere di flocculante. b) Verificare che all'interno dei serbatoio di ci sia una quantità sufficiente di prodotto.
Verifica presenza allarmi sul pannello generale	4 ore	<ul style="list-style-type: none"> a) Verificare che sul pannello di controllo non si sia generato nessun allarme
Verifica della marcia dei raschifango	8 ore	<ul style="list-style-type: none"> a) Verificare che tutti gli i raschifango presenti sull'impianto marcino regolarmente. Una anomalia di uno di essi potrebbe compromettere la funzionalità dell'apparecchiatura e a dover effettuare degli interventi consistenti per ripulire l'apparecchiatura dal fango essiccato.
Verifica della consistenza dei fanghi nel decantatore	8 ore	<ul style="list-style-type: none"> a) Prelevare un campione da ricircolo fanghi e determinare la concentrazione del fango nel cono imhoff dopo 20'. La concentrazione ottimale dovrebbe essere circa 250-350ml su 1000ml.
Verifica della perdite di carico sulla filtrazione ad Antracite/Birm/Sabbia	12 ore	<ul style="list-style-type: none"> a) Verificare che i filtri ad antracite abbiano svolto regolarmente le loro fasi di rigenerazione e che il valore ΔP fra ingresso ed uscita degli stessi non superi i 0,5Bar.

8.3.10. Impatto delle opere sull'ambiente

Nel presente capitolo si affronteranno le problematiche di potenziale impatto derivante sia dalla fase di realizzazione che all'esercizio dell'impianto di trattamento delle acque di che trattasi.

Le soluzioni impiegate prevedono misure di contenimento dell'impatto sull'ambiente, ed alcune scelte sono state individuate per risolvere possibili conflitti tra l'opera e l'ambiente, al fine di minimizzare ogni impatto potenziale individuato.

Anticipando le conclusioni del presente rapporto, il progetto in questione - pur presentando potenziali impatti sul alcune componenti ambientali - non presenta nella sua globalità sostanziali criticità, in virtù anche dell'adozione, in sede di progetto, delle necessarie misure di mitigazione e riduzione degli effetti negativi sull'ambiente.

Il capitolo seguente è stato strutturato secondo le principali linee guida della direttiva nazionale in materia di impatto ambientale e cioè secondo i quadri programmatico, progettuale ed ambientale.

8.3.10.1. *Interferenze opera-ambiente nella fase di costruzione*

Nella fase di costruzione dell'impianto, l'impatto più gravoso sull'ambiente circostante sarà costituito dal traffico di mezzi pesanti, che tuttavia interesserà in maniera limitata il centro abitato data la posizione nettamente periferica dell'area in questione, inoltre si evidenzia la notevole vicinanza agli sbocchi della via Aurelia.

Gli impatti durante la fase di cantiere possono essere valutati come segue: la prima fase di installazione e delimitazione dell'area di intervento produrrà come conseguenza l'occupazione e movimentazione di suolo e le varie conseguenze dovute all'avviamento del cantiere dell'impianto.

Detta movimentazione di suolo risulterà pressappoco nulla, in quanto l'impianto sarà realizzato completamente fuori terra. Durante la fase di trasporto dei materiali e dei macchinari, gli impatti più rilevanti saranno rappresentati dalle emissioni dei mezzi di trasporto, dal rumore e dal sollevamento di polveri: le prescrizioni di sicurezza ed opportuni provvedimenti ad hoc, quali l'innaffiatura delle aree sterrate in caso di tempo secco, consentiranno di minimizzare gli impatti sull'area confinante il sito di impianto.

Particolare attenzione dovrà essere posta nelle precauzioni per evitare lo sversamento di agenti inquinanti, che potrebbero contaminare i corpi idrici superficiali e la falda.

Gli accorgimenti per limitare l'impatto acustico dato dai mezzi pesanti in fase di cantiere sono costituiti dal limitare le operazioni di introduzione/uscita dei mezzi al periodo diurno, di utilizzare possibilmente nuove apparecchiature di movimentazione di unità di carico in quanto conformi alle recenti prescrizioni europee in materia di emissioni sonore, nonché di addestrare il personale affinché le operazioni siano effettuate tenendo anche conto della riduzione dell'inquinamento acustico (spegnendo le macchine non operative, evitando di movimentare convogli parzialmente frenati, riducendo la velocità degli automezzi, evitando gli urti delle unità di carico con i rimorchi/vagoni durante le operazioni, etc.).

8.3.11. Interferenze opera-ambiente in fase di esercizio

8.3.11.1. Produzione ed impatto da odori

Le emissioni di odori sgradevoli sono uno degli impatti più significativi generati da un impianto di depurazione. La natura chimica dei composti responsabili degli odori è molto varia e dipende specificamente dal singolo processo: in genere le sostanze responsabili sono il risultato di trasformazioni anaerobiche e possono essere raggruppate in composti solforati, prodotti azotati e acidi organici e aldeidi.

Un accorgimento proposto in tal senso è l'introduzione di un sistema di captazione ed abbattimento di vapori organici che si potrebbero sviluppare nelle vasche di reazione. Tali vasche verranno munite di apposito sistema di captazione dei vapori organici.

Il trattamento depurativo sarà effettuato mediante filtrazione su carboni attivi: il sistema di aspirazione localizzata sarà dimensionata per garantire 6/7 ricambi ora.

Anche sui serbatoi di accumulo si è previsto l'installazione di filtri a carbone attivo per abbattere sostanze volatili.

8.3.11.2. Produzione ed impatto da rumore

Le principali fonti di produzione di inquinamento acustico degli impianti di depurazione sono rappresentate dalla presenza di macchinari e processi rumorosi, il cui impatto è aggravato a causa dell'operatività continua ed all'aperto. I ricettori dell'inquinamento acustico sono gli abitanti nella fascia intorno al depuratore, gli utenti delle varie strutture culturale e/o ricettive presenti nelle immediate vicinanze nonché gli operatori dell'impianto che naturalmente dovranno adottare tutte le obbligatorie prescrizioni di sicurezza contro l'inquinamento acustico.

Le principali azioni per la mitigazione degli impatti sono la scelta di macchinari che rispettino rigorosamente le norme che regolano le emissioni acustiche e che possano lavorare ad un basso numero di giri.

Le fonti di emissione sonora dell'impianto in fase di esercizio sono costituite principalmente da macchine rotative quali:

- compressori d'aria;
- pompe;
- ventilatori;
- filtropresse (solo nella sporadica fase di scuotimento delle piastre)

I provvedimenti assunti in fase di progettazione si basano essenzialmente sulla limitazione dei rumori alla fonte con l'uso di macchinari a basso impatto acustico; a tal proposito i compressori d'aria saranno forniti con apposite cabine di insonorizzazione mentre i ventilatori saranno di piccolo diametro e realizzati in polipropilene.

8.3.11.3. *Impatto sull'ambiente idrico*

Per evitare che l'impianto stesso possa costituire fonte di impatto negativo per le acque sotterranee saranno adottate particolari precauzioni, anche se come già evidenziato precedentemente, non sono previste opere interrato o semi-interrato. Le uniche opere che richiedono scavi, sono quelle relative alla posa sottoservizi (idrici, elettrici, telefonici, etc). I canali saranno realizzati con materiale PVC, materiale insensibile agli acidi, inattaccabile dai microrganismi delle muffe ed autoestinguente e che presenta una elevata rigidità ed è un ottimo isolante termico.

Tutte le apparecchiature elettromeccaniche invece saranno realizzate in metallo con rivestimento protettivo in vernice epossidica; tale trattamento crea per le strutture una sicura protezione chimica nel tempo.

Durante la fase di esercizio gli scarichi idrici saranno direttamente controllati con analisi periodiche per verificarne il rispetto dei limiti di progetto.

8.3.11.4. *Percezione visiva*

Dai sopralluoghi sul sito è possibile individuare i potenziali impatti sul paesaggio circostante derivanti dall'inserimento del nuovo impianto.

L'area è tuttavia sufficientemente lontana dalle grandi direttrici di traffico (via Aurelia). Di fatti l'unico impatto visivo può avvenire dalla via Lungolago Pescatori, dalla via Franco Bachini e da via Donatori del Sangue.

Poiché la allocazione dell'impianto è stata determinata nella logica che questo potesse essere nascosto dalla sagoma dei fabbricati esistenti, si ritiene che la presenza dell'impianto non peggiori l'attuale impatto visivo che risulta dominato (negativamente) dalla presenza del locale Impianto Complessi.

In ogni caso, anche guardando dagli argini dei bacini, l'impatto non sarà particolarmente evidente se si tiene conto che le strutture più alte non superano i 4-5 metri dal piano campagna.

8.3.11.5. *Salute pubblica*

Il rischio più significativo per la salute pubblica è senz'altro legato alla qualità dell'aria, quindi agli odori. Poiché l'area abitata risulta piuttosto lontana, l'impatto globale sulla salute pubblica risulterebbe piuttosto modesto, anche in virtù delle misure adottate per la riduzione delle emissioni.

Gli addetti al funzionamento ed alla manutenzione dell'impianto sono i soggetti più esposti ai rischi infettivi reali: pertanto è opportuno, oltre al rispetto delle norme di sicurezza sopra evidenziate, che essi osservino minuziosamente le seguenti regole igieniche:

- doccia alla fine di ogni turno;
- frequenti lavaggi alle mani dopo ogni operazione manuale;
- cambio di abito per ogni turno;
- vaccinazioni obbligatorie;
- visite mediche annuali;
- divieto di consumare cibi e bevande durante le operazioni di lavoro;
- divieto di fumare durante le operazioni di lavoro (in quanto si tocca o si posa la sigaretta in ambienti insicuri);
- cure di primo soccorso immediate anche in caso di lievi ferite.

Dall'analisi del processo depurativo e delle soluzioni tecnologiche adottate, emerge chiaramente la forte attenzione a prevenire ogni possibile effetto che l'impianto potrebbe avere sulla salute pubblica: il rispetto dei limiti di legge associato ad ulteriori provvedimenti mitigativi degli impatti, quali ad esempio la predisposizione di aspiratori delle vasche e degli impianti che emettono odori, rumori ed il filtraggio rendono estremamente improbabile l'ingenerarsi di situazioni di rischio per l'incolumità e la salute delle popolazioni residenti nell'area circostante il sito.

È da valutare invece con attenzione l'importanza di un'estrema sicurezza nei confronti degli addetti all'impianto, in quanto sono i più esposti a rischi nella fase di esercizio standard e, soprattutto, in eventuali fasi di emergenza. Si rimanda dunque alla meticolosa attuazione di tutte le normative relative alla sicurezza negli ambienti di lavoro.

8.3.12. Reimmissione in laguna delle acque depurate

Per consentire lo scarico delle acque trattate si prevede la realizzazione di una tubazione di scarico nel canale a Nord del Pian d'Asca.

8.3.13. CONTROLLI E MONITORAGGI

8.3.13.1. Piano di monitoraggio dell'intervento

Prima dello *start-up* dell'impianto di pompaggio verranno verificate tutte le parti costitutive, meccaniche ed elettriche e il sistema sarà avviato per un periodo di prova, durante il quale sarà verificato il suo corretto funzionamento.

In fase di *start-up* dell'impianto (durata indicativa di 1÷2 settimane), si procederà alla misura almeno su base giornaliera di alcuni parametri significativi:

- portate estratte, abbassamento del livello piezometrico, misura dei principali parametri mediante strumentazione da campo (concentrazione di ossigeno, ecc.) in corrispondenza dei pozzi e dei piezometri presenti in sito;
- concentrazioni dei composti contaminanti negli effluenti liquidi a monte (ogni due mesi) e a valle dell'impianto di trattamento, per verificare l'efficienza del sistema anche in presenza di flussi in ingresso superiori a quelli del normale funzionamento;

Dalla partenza definitiva in poi, il sistema di bonifica sarà oggetto di gestione e manutenzione periodica, condotta da personale tecnico specializzato, che verificherà la corretta funzionalità di tutte le parti del sistema e che terrà costantemente sotto controllo l'efficienza dello stesso.

Verrà garantito il funzionamento a regola d'arte dell'impianto di trattamento senza soluzione di continuità (24 ore su 24) per l'intera durata dell'intervento.

In particolare, si provvederà ad eseguire almeno il seguente programma di monitoraggio:

- misura dei parametri di funzionamento dell'impianto (portate estratte dai pozzi e in ingresso all'impianto, parametri di funzionamento dell'unità di trattamento, pressioni in ingresso all'unità di trattamento) in continuo;
- misura dei parametri relativi agli acquiferi oggetto dell'intervento (abbassamento del livello piezometrico, concentrazione di ossigeno in corrispondenza dei piezometri, ecc.) a cadenza quindicinale nel corso dei campionamenti delle acque sotterranee ;
- campionamento delle acque emunte a monte e a valle dell'impianto di trattamento, da condursi con cadenza mensile per le acque in ingresso e giornaliera per le acque in uscita. Tali campionamenti servono solo ad attestare lo stato di qualità delle acque con cadenza periodica i cui obiettivi di qualità dovranno essere garantiti in continuo.
- campionamento delle acque di falda in corrispondenza di ciascuno dei piezometri di interesse per l'intervento di cui trattasi, da condursi con cadenza quindicinale nel corso dei campionamenti delle acque sotterranee.

In fase di prelievo dei campioni, saranno determinati in campo almeno i seguenti parametri:

- Temperatura;
- pH;
- Conducibilità elettrica;
- Ossigeno disciolto;
- Potenziale Redox.

Sui campioni prelevati saranno determinati almeno i seguenti gruppi di parametri, con la determinazione dei singoli elementi o composti stabiliti dal D.Lgs 152/2006, Parte Quarta, Titolo V, Allegato 5:

- Metalli;
- Composti organici aromatici (BTEX);
- Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA);
- Composti alifatici clorurati;
- Fenoli;
- Policlorobifenili;
- Idrocarburi come n-esano;
- Solfati;

Oltre a:

- COD;
- BOD;
- Nitrati;
- Ione ammonio.

A conclusione dell'intervento di cui trattasi si procederà con l'esecuzione delle attività di collaudo in contraddittorio con gli enti di controllo. Il collaudo finale dell'intervento si configurerà nel prelievo di campioni di acqua di falda in corrispondenza dei piezometri interessanti l'area di intervento, da analizzare per il set analitico riportato in precedenza.

I campioni prelevati durante tale attività saranno oggetto di validazione da parte degli Enti di controllo, secondo modalità che saranno definite dagli stessi preliminarmente all'inizio degli interventi.

Le concentrazioni dei composti analizzati verranno confrontate con le concentrazioni limite ammissibili per tali composti nelle acque di falda. Le analisi sui campioni di acqua prelevati dai restanti piezometri avranno invece come obiettivo la verifica della qualità delle acque in tali punti, per valutare l'eventuale contributo esterno alla contaminazione del sito e lo stato qualitativo generale delle acque sotterranee locali.

Qualora al termine dell'intervento di messa in sicurezza d'emergenza, durante il monitoraggio periodico della falda, si registrassero ancora dei superamenti delle concentrazioni limite ammissibili per le acque sotterranee in corrispondenza dei punti oggetto dell'intervento, l'intervento di bonifica potrà essere proseguito fino al perseguimento degli obiettivi prefissati.

8.3.13.2. Piano di monitoraggio delle acque sotterranee

Al fine di avere un quadro idrogeologico ed ambientale (qualità delle acque) più chiaro, si prevede di realizzare un monitoraggio ogni due mesi, per un periodo di 16 mesi, a partire dalla realizzazione degli interventi di cui trattasi.

Il monitoraggio della qualità delle acque sarà utilizzato per la verifica dell'attenuazione naturale dei livelli di contaminazione della falda.

Nel caso specifico, il monitoraggio periodico delle acque sotterranee avverrà utilizzando la rete di piezometri attualmente esistente .

Il monitoraggio prevede le seguenti attività:

- rilievo dei livelli piezometrici;
- campionamento delle acque dai piezometri;
- analisi di laboratorio.

In sede di campionamento si rileveranno anche i seguenti parametri chimico fisici di campo:

- Temperatura;
- pH;
- Conducibilità elettrica;
- Ossigeno disciolto;
- Potenziale Redox.

Sui campioni prelevati saranno determinati almeno i seguenti gruppi di parametri, con la determinazione dei singoli elementi o composti stabiliti *D.Lgs 152/2006, Parte Quarta, Titolo V, Allegato 5*:

- Metalli;
- Composti organici aromatici (BTEX)
- Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA);
- Composti alifatici clorurati;
- Fenoli;
- Policlorobifenili;
- Idrocarburi come n-esano;
- Nitrati;
- Solfati;

Oltre a:

- COD;
- BOD.
- Nitrati;
- Ione ammonio.

8.3.13.3. Piano di gestione delle acque emunte dai pozzi

A seguito dell'installazione dei pozzi di emungimento e preliminarmente alla messa in opera del sistema di trattamento, saranno eseguite alcune prove idrogeologiche.

Le acque prodotte durante l'esecuzione delle prove saranno convogliate al sistema di trattamento acque.

Qualora l'impianto non possa gestire le acque convogliate, quelle in eccesso verranno smaltite negli opportuni impianti di destinazione finali secondo la vigente normativa sui rifiuti.

Qualora il trattamento non rispettasse gli obiettivi di qualità previsti le acque in uscita dall'impianto verranno smaltite negli appositi impianti di smaltimento.

8.3.14. Gestione dell'impianto

La gestione diretta dell'impianto avverrà a cura di personale specializzato; tutte le operazioni di gestione saranno ridotte al minimo grazie all'elevata automazione dell'impianto proposto, garantendo un alto livello di affidabilità e sicurezza.

Tutto l'impianto sarà monitorato da un sistema di supervisione e controllo con trasmissione a distanza di tutte le informazioni.

Tutti i dati acquisiti dal sistema potranno essere inviati in remoto anche ad eventuale centrale di supervisione e controllo, come nei casi di gestione di più impianti da unica sede.

Attività svolte nella gestione ordinaria:

- Controllo generale dell'impianto:

	Verifica della chiariflocculazione	8 ore	f) Verificare che i dosaggi del coagulante, della soda e del polielettrolita avvenga regolarmente. g) Verificare che il ricircolo fanghi avvenga regolarmente h) Verificare che all'interno delle vasche ci sia una buona agitazione generata dagli agitatori. i) Verificare che la flocculazione sia regolare e che i fiocchi abbiano una buona consistenza. j) Verificare che l'acqua che esce dai decantatori sia limpida.
1	Verifica del livello dei prodotti chimici	8 ore	c) Verificare che all'interno delle tramogge dei preparatori ci sia polvere di flocculante. d) Verificare che all'interno del serbatoio di ci sia una quantità sufficiente di prodotto.
2	Verifica presenza allarmi sul pannello generale	8 ore	b) Verificare che sul pannello di controllo non si sia generato nessun allarme
3	Verifica della marcia dei raschiafango	8ore	b) Verificare che tutti gli i raschiafango presenti sull'impianto marcino regolarmente. Una anomalia di uno di essi potrebbe compromettere la funzionalità dell'apparecchiatura e a dover effettuare degli interventi consistenti per ripulire l'apparecchiatura dal fango essiccato.
4	Verifica della consistenza dei fanghi nei decantatori	8ore	b) Prelevare un campione da ricircolo fanghi e determinare la concentrazione del fango nel cono imhoff dopo 20'. La concentrazione ottimale dovrebbe essere circa 250-350ml su 1000ml.
5	Verifica della perdite di carico sulla filtrazione ad Antracite/Birm/Carbone	12ore	b) Verificare che i filtri ad antracite abbiano svolto regolarmente le loro fasi di rigenerazione e che il valore ΔP fra ingresso ed uscita degli stessi non superi i 0,5Bar.

- verifica di funzionamento di tutte le singole apparecchiature
- controllo visivo sulla qualità dell'acqua nelle singole fasi
- caricamento dei reattivi
- estrazione dei fanghi dalle singole filtropresse ed accumulo negli appositi scarrabili
- pulizia di eventuali filtri su chemicals
- controllo dei livello dell'olio nelle singole apparecchiature ed eventuale ripristino
- regolazione del dosaggio dei chemicals
- pulizia delle aree di pertinenza dei singoli impianti

Parte integrante del processo gestionale sono gli approvvigionamenti dei chemicals (soda, cloruro ferrico, permanganato di potassio, polielettrolita) e lo smaltimento dei fanghi prodotti.

Sono altresì incluse le analisi dell'acqua in ingresso e in uscita all'impianto da effettuarsi con cadenza settimanale e relativamente ai seguenti parametri: metalli pesanti (Al, Fe, As, Mn).

Si dovrà infine provvedere all'installazione di un'adeguata potenza elettrica; si precisa che la potenza da installare è di 25 kW, mentre il consumo di energia si può assumere in 15 kWh.

8.3.15. Considerazioni Conclusive

Nei paragrafi precedenti si sono descritte dettagliatamente le caratteristiche tecniche dell'impianto di depurazione acque da installare, per una portata massima di 30 m³/h, al fine del trattamento delle acque di falda.

In base alle caratteristiche delle acque in ingresso ed agli inquinanti presenti è stata proposta una soluzione ottimale che vede l'inserimento della fase di disoleazione subito dopo la fase diagliatura e prima della vasca di reazione.

L'inserimento del disoleatore permette di rimuovere eventuali sostanze oleose, che se non rimosse potrebbero creare dei problemi nella fase di decantazione successiva, causando dei problemi nella fase gestionale.

Subito a valle dopo della disoleazione è stata inserita la fase chimico-fisica, al fine di assicurare la completa ossidazione dei metalli oltre che la degradazione dei componenti organici a bassa volatilità.

Nell'impianto proposto l'arsenico viene completamente ossidato e precipitato senza l'utilizzo di resine selettive, abbattendo sensibilmente sia i costi di gestione che l'impatto ambientale, in quanto non è necessario procedere a fasi rigenerative delle resine che comportano la produzione di eluati concentrati da dover smaltire.

Per quanto attiene al sistema di disidratazione fanghi, si è previsto l'utilizzo di filtropressa a piastre; tale sistema, sicuro e affidabile in termini di percentuale di secco prodotto, permette di ottenere del fango con un secco superiore al 25% senza l'impiego di sistemi di inertizzazione, abbattendo sensibilmente i costi di gestione e le quantità di fanghi smaltiti.

Degno infine di menzione è l'introduzione di sistema di captazione ed abbattimento di vapori organici che si potrebbero sviluppare nelle vasche di reazione.

Anche sui serbatoi di accumulo si è previsto l'installazione di filtri a carbone attivo per abbattere sostanze volatili.

8.3.16. RIPRISTINO FINALE DELL'AREA

Al termine degli interventi , raggiunti gli obiettivi di bonifica, si provvederà allo smantellamento del cantiere e dell'impianto, secondo le seguenti modalità:

- Rimozione dei cavidotti e delle tubazioni posati
- Demolizione del locale tecnico e della platea in calcestruzzo armato
- Rimozione di recinzioni e cancelli
- Rimozione e recupero delle componenti elettromeccaniche
- Allontanamento box e cellule bagno
- Quant'altro necessario per ripristinare l'area alle condizioni originarie

9. PROGRAMMA DI ATTUAZIONE DEGLI INTERVENTI

Il programma di attuazione degli interventi sarà articolato in 2 diverse Fasi, ed in particolare:

FASE 1 - OPERE DI BONIFICA DELL'ACQUICLUDO SUPERFICIALE

- Realizzazione della paratia di palandole costituente il marginamento fisico dal Canale Navigabile allo Stagnino
- Realizzazione del sistema tergale di captazione dell'acquifero superficiale e relativi pozzi di captazione, escluso il tratto del Canale Navigabile prospiciente la Cittadella (tale opera potrà essere completata solo dopo che sarà stato effettuato, a cura della Parte Pubblica, il dragaggio e la rimozione dei sedimenti presenti nel Canale Navigabile) e degli impianti di convogliamento delle acque captate ad un sistema di stoccaggio provvisorio
- Realizzazione di un sistema di stoccaggio provvisorio delle acque captate che saranno inviate ad impianti esterni di trattamento in attesa, parallelamente alla verifica della necessità ed alle eventuali metodologie di bonifica della falda profonda, di verificare la convenienza tecnica-economica di realizzare un impianto di trattamento delle acque

Tempi di realizzazione:

Considerando la realizzazione delle opere accessorie ed integrative di connessione idraulica e di collegamenti elettrici ed allacciamenti, a partire dall'effettivo inizio lavori, si stimano:

- circa 100 giorni lavorativi per la paratia, il sistema tergale di captazione dell'acquifero superficiale, gli impianti di convogliamento delle acque captate e il sistema di stoccaggio provvisorio delle acque captate

FASE 2 - OPERE DI BONIFICA DELLA FALDA PROFONDA

- Definizione dei valori del fondo naturale delle acque sotterranee, che dovrà essere effettuata da ARPAT
- Implementazione, in stretto contatto e coordinamento con la Parte Pubblica, della caratterizzazione geologica, idrogeologica e geochimica dell'area lagunare a Ovest della Cittadella, per un'estensione in laguna pari ad almeno 250 m, con particolare riferimento all'individuazione di strati di separazione tra gli acquiferi riconosciuti;
- Implementazione di un modello di simulazione delle linee di flusso e delle zone di cattura delle acque profonde a seguito degli emungimenti operati dalla barriera idraulica dinamica, da eseguire appena dragati i sedimenti del Canale Navigabile;
- Realizzazione dei pozzi P1-P2-P3-P4 di emungimento della falda profonda e/o definizione di un diverso sistema progettuale di intervento
- Emungimento della falda profonda – Invio delle acque captate all'impianto di trattamento
- Realizzazione dell'impianto di trattamento delle acque captate

Tempi di realizzazione:

- circa 240 giorni per
 - ☞ la definizione dei valori del fondo naturale delle acque sotterranee

- ☞ l'implementazione, in stretto contatto e coordinamento con la Parte Pubblica, della caratterizzazione geologica, idrogeologica e geochimica dell'area lagunare a Ovest della Cittadella, per un'estensione in laguna pari ad almeno 250 m, con particolare riferimento all'individuazione di strati di separazione tra gli acquiferi riconosciuti;
- ☞ l'implementazione di un modello di simulazione delle linee di flusso e delle zone di cattura delle acque profonde a seguito degli emungimenti operati dalla barriera idraulica dinamica.
- per la realizzazione delle opere, considerando la realizzazione delle opere accessorie ed integrative di connessione idraulica e di collegamenti elettrici ed allacciamenti, a partire dall'effettivo inizio lavori, si stimano circa 90 giorni lavorativi.
- circa 150 giorni lavorativi per la realizzazione dell'impianto di trattamento

Si specifica che le operazioni potranno, qualora ne sussistano le condizioni, essere anche cronologicamente sovrapposte con un possibile contenimento dei tempi.

10. BIBLIOGRAFIA

10.1. DOCUMENTAZIONE PREGRESSA E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Comin srl, 1996 – Stabilimento “SITOCO” srl – Orbetello (GR) – Interventi di risanamento ambientale. Risultati delle indagini preliminari - *Committente*: SI.TO.CO. srl

Comin srl, 2000 – Area industriale ex-SI.TO.CO. – Intervento di risanamento ambientale -Orbetello Scalo (GR). Completamento del Piano della Caratterizzazione dell’area - *Committente*: ARPAT

Conte Giacomo, 2005 – Interventi di messa in sicurezza d’emergenza dell’area industriale ex-SI.TO.CO. nel Comune di Orbetello (GR) – *Committente*: Laguna Azzurra srl

Earth srl, 2005.a – Sito di interesse nazionale ex-SI.TO.CO. – Orbetello (GR) – Integrazione al Piano di messa in sicurezza d’emergenza – *Committente*: Laguna Azzurra srl

Earth srl, 2005.b – Sito di interesse nazionale ex-SI.TO.CO. – Orbetello (GR) – Rapporto di Caratterizzazione Ambientale – *Committente*: Laguna Azzurra srl

Geo Environmental Engineering, 2009 – Ricognizione dello stato di funzionalità dei presidi di monitoraggio interni ed esterni al SIN ex-SI.TO.CO. – Indagine idrogeochimica acque sotterranee di “monte” - *Committente*: Laguna Azzurra srl

Geosphera Studio Associato, 2003 – Progetto del Piano di Caratterizzazione della parte a terra del Sito di Interesse Nazionale ex-SI.TO.CO. - *Committente*: Tribunale di Roma – Sezione Fallimentare.

Geotecno, 2006 – Indagine integrativa – *Committente*: Laguna Azzurra srl

ICRAM – Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica e Tecnologica Applicata al Mare, 2006 – Piano di indirizzo e monitoraggio scientifico delle attività di messa in sicurezza d’emergenza nel sito di bonifica di interesse nazionale di Orbetello Scalo – Area ex-SI.TO.CO.

ICRAM – Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica e Tecnologica Applicata al Mare, 2008 – Studio atto a verificare lo stato dell’arte della caratterizzazione e la necessità di realizzare interventi di messa in sicurezza d’emergenza nel sito di interesse nazionale di Orbetello– Ex-SI.TO.CO (GR).

ISPRA, 2009 – Protocollo per la definizione dei valori di fondo per le sostanze inorganiche nelle acque sotterranee

IdroGeo Service srl, 2005 – Report idrogeologico preliminare di supporto alla perforazione esplorativa di un pozzo per acqua termale in Località Orbetello Scalo (GR) – Considerazioni di carattere idrogeologico e risultati delle indagini sismiche – *Committente*: Laguna Azzurra srl

Marini L., Accornero M., 2007 - Prediction of the thermodynamic properties of metal-arsenate and metal-arsenite aqueous complexes to high temperatures and pressures and some geological consequences *Env. Geol.*, **52**, 1343-1363.

Martino Associati Grosseto, 2005 – Interventi di bonifica con ripristino ambientale e realizzazione di uno stoccaggio permanente dei rifiuti rimossi – *Committente*: Commissario Delegato Emergenza Ambientale Laguna di Orbetello & Laguna Azzurra srl

Provincia di Milano – Università degli Studi di Milano, 2003 – Linee guida per il monitoraggio delle barriere idrauliche.

Martino Associati Grosseto, 2007 – Studio di fattibilità – Interventi di MISE del Sito d'Interesse Nazionale ex-SI.TO.CO. nel Comune di Orbetello – Realizzazione di diaframma plastico bentonitico – *Committente*: Laguna Azzurra srl

Smedley P.L., Kinniburgh D.G., 2002 - A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Appl. Geochem.*, **17**, 517-568.

SO.IN.G. srl, 2006 – Indagini geofisiche elettriche nell'area bacino serbatoi per la caratterizzazione stratigrafica – Area ex-SI.TO.CO., Orbetello Scalo (GR) – *Committente*: Hearth srl

10.2. ELABORATI PRESENTATI DA LAGUNA AZZURRA A SEGUITO DELLE RECENTI CAMPAGNE DI APPROFONDIMENTO CONOSCITIVO

- doc 1 .** Meoni Carlo, Marzo 2009 - Intervento di risanamento ambientale dell'area Ex-Si.To.Co. di Orbetello Scalo - Attività di caratterizzazione ambientale - **Rapporto tecnico definitivo della integrazione d'indagine del Febbraio 2009** – Archivio : **GEN.REL.IAM.004.00**
Prot. Laguna Azzurra : **LA 73/2009** - Prot. MATTM : **07120/QdV/di**
- doc 2 .** Meoni Carlo, Aprile 2009 - Intervento di risanamento ambientale dell'area Ex-Si.To.Co. di Orbetello Scalo - Attività di caratterizzazione ambientale - Integrazione d'indagine del Febbraio 2009 – **Sezioni litologiche su base cromatica** – Archivio : **GEN.REL.IAM.005.00**
Prot. Laguna Azzurra : **LA 78/2009** - Prot. MATTM : **08058/QdV/di**
- doc 3 .** Meoni Carlo, Maggio 2009 - Intervento di risanamento ambientale dell'area Ex-Si.To.Co. di Orbetello Scalo – Attività di bonifica – **Stima quantitativa dei materiali da asportare** – Archivio : **ADB.GEN.REL.IAM.004.00**
Prot. Laguna Azzurra : **LA 96/2009** - Prot. MATTM : **10502/QdV/di**
- doc 4 .** Meoni Carlo, Giugno 2009 - Intervento di risanamento ambientale dell'area Ex-Si.To.Co. di Orbetello Scalo - Attività di caratterizzazione ambientale – **Approfondimento di indagine sullo stato di contaminazione delle acque sotterranee** – Archivio : **GEN.REL.IAM.006.00**
Prot. Laguna Azzurra : **LA 105/2009** - Prot. MATTM : **12517/QdV/di**
- doc 5 .** Meoni Carlo, Luglio 2009 - Intervento di risanamento ambientale dell'area Ex-Si.To.Co. di Orbetello Scalo – Attività di bonifica – **Valutazione delle caratteristiche fisico-meccaniche e chimiche dei materiali da rimuovere** – Archivio : **ADB.GEN.REL.IAM.002.00**
Prot. Laguna Azzurra : **LA 110/2009** - Prot. MATTM : **14039/QdV/di**
- doc 6 .** Meoni Carlo, Luglio 2009 - Intervento di risanamento ambientale dell'area Ex-Si.To.Co. di Orbetello Scalo – Attività di bonifica – **Valutazione delle caratteristiche fisico-meccaniche e chimiche dei materiali da rimuovere - Parte PUBBLICA – Aree bacini e aree demaniali/non censite** – Archivio : **ADB.GEN.REL.IAM.003.00**
Prot. Laguna Azzurra : **LA 116/2009** - Prot. MATTM : **14985/QdV/di**
- doc 7 .** MASSA SpinOff – C.N.R. , Luglio 2009 - **Rapporto sui dati chimici ed isotopici misurati nelle acque dei piezometri ubicati nel sito ex-Sitoco di Orbetello (GR).**
Prot. Laguna Azzurra : **LA 120/2009** - Prot. MATTM : **15716/QdV/di**