Consorzio Industriale Provinciale di Sassari

PIANO DELLA CARATTERIZZAZIONE DELLE AREE LIBERE CONSORTILI

MODELLO CONCETTUALE DEFINIVO

			Prof. Ing. Battista Grosso Dott. Ing. Marco Cigagna Dott. Ing. Cristina Levanti
1	Validazione ARPAS	Novembre 2017	
0	Emissione	Marzo 2017	
Rev. n°	Descrizione	Data	

SOMMARIO

1 PREMESSA 5
2 AREA DI INTERVENTO 6
3 PIANI DI INDAGINE 8
3.1 Piano di indagine per la caratterizzazione delle aree di competenza pubblica all'interno del Sito di bonifica di Interesse Nazionale "Aree Industriali di Porto Torres" – Aree libere consortili 8
3.1.1 Sondaggi e campionamento dei terreni 9
3.2 PO FESR 2007 -2013 Aggiornamento della rete di monitoraggio dei siti inquinati dell'area industriale di Porto Torres 14
3.2.1 Piezometri e campionamenti acque di falda 15
3.2.2 Sondaggi e campionamento dei terreni 19
3.2.3 Prove Lefranc 23
3.2.4 Prelievi manuali superficiali (top soil) 23
4 RISULTATI DELLA INDAGINI 25
4.1 Ricostruzione stratigrafica 25
4.2 Caratterizzazione dell'acquifero 25
4.3 Caratterizzazione del top soil 28
4.4 Caratterizzazione dei terreni 28
4.4.1 Premessa 28
4.4.2 Analisi chimiche 29
4.4.3 Analisi fisiche 30
4.5 Caratterizzazione delle acque di falda 33
5 MODELLO CONCETTUALE DEFINITIVO 38
5.1 Premessa 38
5.2 Assetto geologico ed idrogeologico 40
5.3 Sorgenti primarie di contaminazione (centri di pericolo - CDP) 43
5.4 Sorgenti secondarie di contaminazione 44
5.5 Bersagli 48
6 Conclusioni 49

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1. Inquadramento delle Aree libere consortili (Tavola 1) 6
Figura 2. Suddivisione delle aree libere consortili in sub aree 7
Figura 3. Localizzazione sondaggi realizzati nell'ambito del Piano di indagine CIP Sassari 9
Figura 4. Piezometri della rete di monitoraggio RAS interni o prossimi alle aree libere consortili 17
Figura 5. Carta delle isofreatiche dell'area consortile 26
Figura 6. Localizzazione delle prove per la determinazione della conducibilità idraulica 27
Figura 7. Aree libere consortili e sondaggi realizzati (Tavola 2) 29
Figura 8. Superamenti delle CSC nella matrice terreno 30
Figura 9. Classificazione dei campioni di terreno (SHEPARD) 32
Figura 10. Curve granulometriche dei campioni prelevati 33
Figura 11. Superamenti acque sotterranee – Metalli e inquinanti inorganici (Tavola 12) 34
Figura 12. Superamenti acque sotterranee – Composti organici aromatici e Clorobenzeni (Tavola 13) 35
Figura 13. Superamenti acque sotterranee – Solventi aromatici, Alifatici clorurati cancerogeni e Idrocarburi totali (Tavola 14) 37
Figura 14. Aree omogenee individuate per la descrizione del modello concettuale di dettaglio dell'area di Porto Torres- Progetto PO FESR Sardegna 2007 – 2013 40
Figura 15. Carta geologica dell'area di interesse (Tavola 4) 41
Figura 16. Acquiferi affioranti (Tavola 7) 42
Figura 17. Centri di pericolo all'interno delle aree libere consortili (Tavola 9) 44
Figura 18. Poligoni di Thiessen – terreno profondo (Tavola 11) 45
Figura 19. Distribuzione statistica dell'arsenico 46
Figura 20. Estratto della Carta delle isofreatiche - campagna 3 - PO FESR 2007-2013 48

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1. Sondaggi realizzati 9
Tabella 2. Campioni sottoposti a caratterizzazione geotecnica 14
Tabella 3. Coordinate e caratteristiche costruttive dei piezometri della nuova realizzazione - Progetto PO FESR Sardegna 2007-2013..... 16
Tabella 4. Coordinate e caratteristiche costruttive dei piezometri realizzati nell'ambito del Progetto POR Sardegna 2000 - 2006 interni o prossimi alle aree libere consortili..... 17
Tabella 5. Piezometri interessati dal monitoraggio in continuo delle oscillazioni freatimetriche 18
Tabella 6. Piezometri su cui si sono realizzate le prove di emungimento..... 18
Tabella 7. Campioni di terreno prelevati durante i sondaggi. 19
Tabella 8. Prove Lefranc eseguite durante le perforazioni..... 23
Tabella 9. Localizzazione dei campioni di top soil..... 24
Tabella 10. Riepilogo delle prove Lefranc eseguite durante le perforazioni..... 27
Tabella 11. Sintesi dei risultati delle prove di portata 28
Tabella 12. Superamenti rilevati nella matrice terreno..... 29
Tabella 13. Riepilogo dati geotecnici relativi ai campioni di terreno 31
Tabella 14. Superamenti acque sotterranee – Metalli e inquinanti inorganici..... 34
Tabella 15. Superamenti acque sotterranee – Composti organici aromatici e Clorobenzeni 35
Tabella 16. Superamenti acque sotterranee – Solventi aromatici, Alifatici clorurati cancerogeni e Idrocarburi totali..... 35

ELENCO DELLE TAVOLE

Tavola 1: Inquadramento territoriale
Tavola 2: Aree libere e sondaggi realizzati
Tavola 3: Localizzazione piezometri
Tavola 4: Carta geologica dell'area di interesse
Tavola 5: Sezioni stratigrafiche AA' e BB'
Tavola 6: Sezioni stratigrafiche CC', DD' e EE'
Tavola 7: Acquiferi in affioramento nell'area di interesse
Tavola 8a: Carta delle isofreatiche nell'area consortile - Campagna 1 e 2
Tavola 8b: Carta delle isofreatiche nell'area consortile - Campagna 3 e 4
Tavola 9: Centri di Pericolo
Tavola 10: Poligoni di Thiessen – Suolo superficiale

Tavola 11: Poligoni di Thiessen – Suolo profondo

Tavola 12: Superamenti acque sotterranee – Metalli e inquinanti inorganici

Tavola 13: Superamenti acque sotterranee – Composti organici aromatici e Clorobenzeni

Tavola 14: Superamenti acque sotterranee – Solventi aromatici, Alifatici clorurati cancerogeni e Idrocarburi totali

Tavola 15: Modello concettuale definitivo

1 PREMESSA

Il presente documento definisce il modello concettuale definitivo (MCS) delle Aree Libere di competenza del Consorzio Industriale Provinciale di Sassari, ricadenti nell'agglomerato industriale di Porto Torres (Figura 1).

Tali aree, unitamente alla discarica consortile, al depuratore consortile e al Centro Intermodale Regionale, costituiscono le aree di competenza pubblica ubicate all'interno del Sito di Interesse Nazionale (SIN) "Aree industriali di Porto Torres". Esse sono state caratterizzate nell'ambito del *Piano di indagine per la caratterizzazione delle aree di competenza pubblica all'interno del Sito di bonifica di Interesse Nazionale "Aree industriali di Porto Torres"* previsto dall'Accordo di Programma, sottoscritto in data 22/09/2009, tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, la Regione Autonoma della Sardegna, la Provincia di Sassari, il Comune di Sassari ed il Comune di Porto Torres.

Le attività di caratterizzazione delle aree libere sono state svolte in parte della Regione Autonoma della Sardegna (RAS) e in parte del Consorzio Industriale, secondo le modalità previste nei seguenti piani di indagine:

- piano di indagine afferente al progetto "*Aggiornamento della rete di monitoraggio siti inquinati: area industriale di Porto Torres*", di competenza dalla RAS, effettuato con l'obiettivo di caratterizzare le acque sotterranee;
- "*Piano di indagine per la caratterizzazione delle aree di competenza pubblica all'interno del Sito di bonifica di Interesse Nazionale "Aree Industriali di Porto Torres" – Aree libere consortili*", di competenza del Consorzio Industriale, effettuato con l'obiettivo di caratterizzare principalmente i terreni.

2 AREA DI INTERVENTO

Le aree libere (Figura 1) occupano la fascia orientale del SIN di Porto Torres e sono comprese fra l'area industriale Syndial a Ovest e la SS 131 ad Est. A Nord confinano con il mare ed a Sud con le aree agricole esterne al SIN. La dimensione di tali aree è di circa 2,5 km in direzione N-S, ed è variabile fra 1,5 km nella parte meridionale e 1 km circa nella parte settentrionale in direzione E-O; la sua estensione complessiva è pari a circa 280 ettari.



Figura 1. Inquadramento delle Aree libere consortili (Tavola 1)

Tali aree, collocandosi tra il polo petrolchimico e l'area urbanizzata di Porto Torres, rivestono un'importanza cruciale nell'ambito dei processi di diffusione della contaminazione dal sito industriale alle aree abitate. Ai fini della caratterizzazione, le aree libere sono state suddivise in 5 sub aree, secondo una logica che rispecchia la tipologia delle aziende insediate (Figura 2), a cui se ne aggiunge una sesta, denominata "aree limitrofe" costituita da piccole superfici localizzate ai margini dell'agglomerato industriale di Porto Torres.

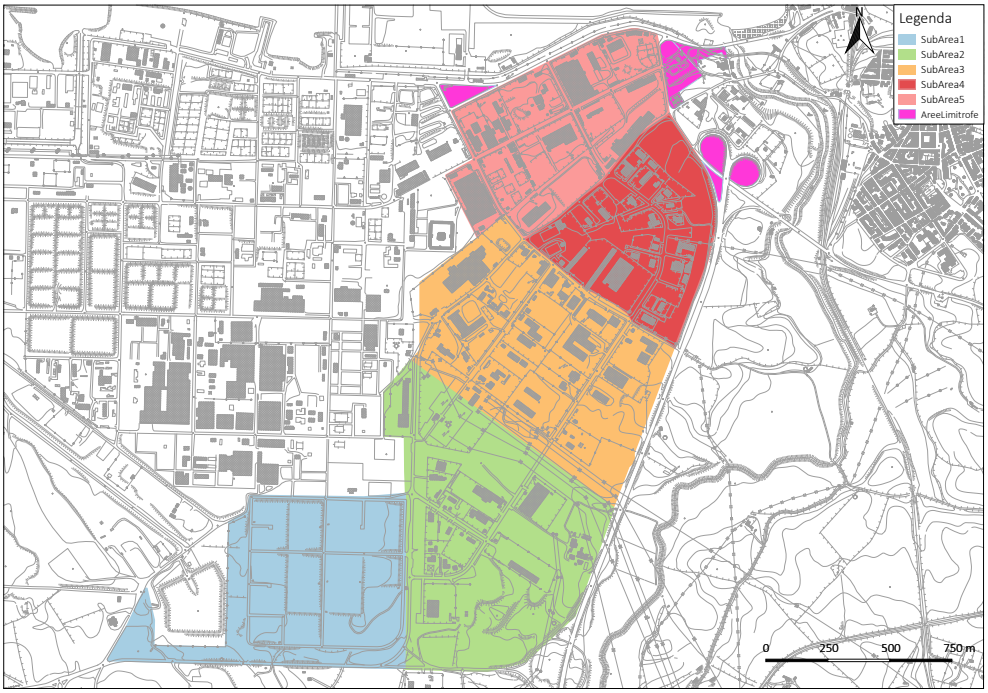


Figura 2. Suddivisione delle aree libere consortili in sub aree

3 PIANI DI INDAGINE

Il modello concettuale delle aree libere consortili è stato definito sulla base dei dati acquisiti nell'ambito di due distinti piani di indagine:

- il "*Piano di indagine per la caratterizzazione delle aree di competenza pubblica all'interno del Sito di bonifica di Interesse Nazionale "Aree Industriali di Porto Torres" – Aree libere consortili*" (2016) di competenza del Consorzio Industriale;
- il piano di indagine relativo al progetto "*Aggiornamento della rete di monitoraggio siti inquinati: area industriale di Porto Torres*" (2014) di competenza dalla RAS.

Nel seguito sono illustrati i contenuti principali.

3.1 Piano di indagine per la caratterizzazione delle aree di competenza pubblica all'interno del Sito di bonifica di Interesse Nazionale "Aree Industriali di Porto Torres" – Aree libere consortili

La caratterizzazione della matrice terreni delle aree libere consortili è stata effettuata dal Consorzio Industriale Provinciale di Sassari nell'ambito di una più ampia attività che, oltre alle aree libere, ha interessato:

- Discarica consortile;
- Depuratore consortile;
- Centro Intermodale Regionale.

Nell'ambito del suddetto Piano di indagine sono stati effettuati:

- n. 179 sondaggi;
- n. 2 sondaggi attrezzati a piezometro;
- analisi chimiche del top soil, dei terreni e delle acque sotterranee;
- analisi geotecniche sui terreni.

I risultati di queste attività sono riassunti nei paragrafi che seguono mentre per la descrizione completa ed esaustiva delle modalità di esecuzione si rimanda alla *Relazione Tecnica del Piano di indagine per la caratterizzazione delle aree di competenza pubblica all'interno del Sito di bonifica di Interesse Nazionale "Aree Industriali di Porto Torres" – Aree Libere consortili, revisione 2 del gennaio 2017*.

3.1.1 Sondaggi e campionamento dei terreni

I sondaggi sono stati effettuati con carotaggio continuo a rotazione a secco al fine di consentire il prelievo di campioni rappresentativi dello stato naturale del terreno, evitando il dilavamento della carota e delle parti fini.

La distribuzione dei punti di indagine nelle aree libere consortili è stata definita sulla base di una suddivisione in 5 sub-aree e una sub-area aggiuntiva definita "aree limitrofe". In tutte le sub-aree è stata impiegata una maglia di campionamento 100x100 m ad eccezione di una parte della sub-area 4 dove si è proceduto ad un infittimento (maglia 50x50 m).

Complessivamente sono stati realizzati 179 sondaggi la cui ubicazione è mostrata in Figura 3 e le cui coordinate, determinate mediante rilievo planoaltimetrico, sono riportate in Tabella 1. Una parte dei sondaggi previsti nel Piano di Indagine non sono stati realizzati in quanto ricadenti in aree risultate non disponibili o interessate da sottoservizi non chiaramente identificabili.

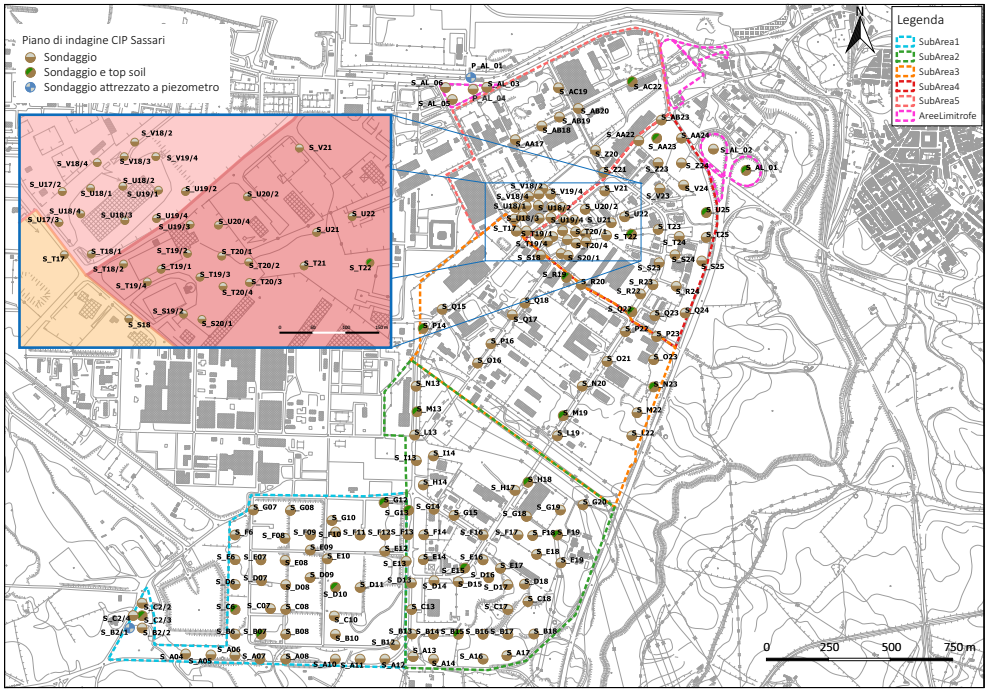


Figura 3. Localizzazione sondaggi realizzati nell'ambito del Piano di indagine CIP Sassari

Tabella 1. Sondaggi realizzati

Data esecuzione	Denominazione	Sub area	Tipologia	X	Y	Elevazione (m slm)	Profondità (m)
06/10/2015	S_A04	1	sondaggio	1446504.26	4518435.49	21	10
06/10/2015	S_A05	1	sondaggio	1446606.37	4518431.31	20	5
05/10/2015	S_A06	1	sondaggio	1446703.18	4518429.17	20	14

Data esecuzione	Denominazione	Sub area	Tipologia	X	Y	Elevazione (m slm)	Profondità (m)
05/10/2015	S_A07	1	sondaggio	1446803.70	4518414.90	20	14
07/10/2015	S_B2-1	1	piezometro	1446278.54	4518539.47	22.21	51
05/10/2015	S_B2-2	1	sondaggio	1446328.74	4518539.90	20	7.5
05/10/2015	S_B6	1	sondaggio	1446703.72	4518514.87	20	10
02/10/2015	S_C2-2	1	sondaggio	1446328.71	4518639.93	18	10
05/10/2015	S_C2-3	1	sondaggio	1446328.55	4518589.47	18	8
05/10/2015	S_C2-4	1	sondaggio	1446292.76	4518590.01	18	8
02/10/2015	S_C6	1	sondaggio	1446703.55	4518614.47	20	17
02/10/2015	S_D6	1	sondaggio	1446703.73	4518714.92	20	8
02/10/2015	S_E6	1	sondaggio	1446703.77	4518814.94	21	10
01/10/2015	S_F6	1	sondaggio	1446703.74	4518914.86	20	11
10/06/2016	S_A08	1	sondaggio	1446907.82	4518414.46	25	11
22/06/2016	S_A10	1	sondaggio	1447107.82	4518414.46	26	11.5
23/06/2016	S_A11	1	sondaggio	1447207.82	4518414.46	25	6
24/06/2016	S_A12	1	sondaggio	1447307.82	4518414.46	20	5
09/06/2016	S_B07	1	sondaggio	1446807.82	4518514.46	21	5
10/06/2016	S_B08	1	sondaggio	1446907.82	4518514.46	25	13.2
14/06/2016	S_B10	1	sondaggio	1447107.82	4518514.46	25	9
24/06/2016	S_B12	1	sondaggio	1447348.29	4518471.16	21	5
09/06/2016	S_C07	1	sondaggio	1446846.28	4518618.15	22	5
09/06/2016	S_C08	1	sondaggio	1446907.82	4518614.46	24	10
13/06/2016	S_C10	1	sondaggio	1447103.46	4518588.28	21	10
06/06/2016	S_D07	1	sondaggio	1446810.01	4518730.19	21	7
07/06/2016	S_D08	1	sondaggio	1446907.82	4518714.46	24	11
01/06/2016	S_D09	1	sondaggio	1447006.11	4518742.90	26	7
30/05/2016	S_D10	1	sondaggio	1447107.56	4518704.21	26	2
30/05/2016	S_D11	1	sondaggio	1447207.82	4518703.21	23	14
23/05/2016	S_E07	1	sondaggio	1446807.82	4518814.46	21	2.8
24/05/2016	S_E08	1	sondaggio	1446905.45	4518812.87	25	13.5
31/05/2016	S_E09	1	sondaggio	1447006.89	4518854.25	26	9
15/06/2016	S_E10	1	sondaggio	1447075.53	4518818.54	25	4.4
30/05/2016	S_E12	1	sondaggio	1447307.65	4518849.06	24	5
24/05/2016	S_F08	1	sondaggio	1446904.73	4518901.35	24	5
25/05/2016	S_F09	1	sondaggio	1447007.82	4518914.46	28	7.4
25/05/2016	S_F10	1	sondaggio	1447108.61	4518927.16	27	11
26/05/2016	S_F11	1	sondaggio	1447207.82	4518914.46	25	13
27/05/2016	S_F12	1	sondaggio	1447307.82	4518914.46	21	3.8
23/05/2016	S_G07	1	sondaggio	1446777.39	4519015.67	23	6
21/06/2016	S_G08	1	sondaggio	1446926.61	4519013.79	27	7
22/06/2016	S_G10	1	sondaggio	1447094.32	4518973.18	25	7
21/06/2016	S_G12	1	sondaggio	1447304.06	4519044.93	25	11
18/06/2015	S_A13	2	sondaggio	1447421.57	4518424.46	26	21
16/09/2015	S_A14	2	sondaggio	1447503.57	4518414.46	25	11
22/06/2015	S_A16	2	sondaggio	1447703.57	4518414.46	20	17.6
25/06/2015	S_A17	2	sondaggio	1447799.57	4518428.46	21	15.5
15/06/2015	S_B13	2	sondaggio	1447417.57	4518515.46	26	23
20/06/2015	S_B14	2	sondaggio	1447503.57	4518514.46	25	21
14/09/2015	S_B15	2	sondaggio	1447603.57	4518514.46	20	21
23/06/2015	S_B16	2	sondaggio	1447703.57	4518514.46	20	17
24/06/2015	S_B17	2	sondaggio	1447803.57	4518514.46	20	10.6
25/06/2015	S_B18	2	sondaggio	1447908.58	4518515.46	21	7.5
11/06/2015	S_C13	2	sondaggio	1447415.57	4518614.47	22	8.4
22/07/2015	S_C17	2	sondaggio	1447803.57	4518614.46	9	11
15/07/2015	S_C18	2	sondaggio	1447884.58	4518646.46	17	18

Data esecuzione	Denominazione	Sub area	Tipologia	X	Y	Elevazione (m slm)	Profondità (m)
12/06/2015	S_D13	2	sondaggio	1447414.57	4518721.47	22	5.8
28/07/2015	S_D14	2	sondaggio	1447505.57	4518730.47	22	15
24/07/2015	S_D15	2	sondaggio	1447603.57	4518726.47	22	16
20/07/2015	S_D16	2	sondaggio	1447726.57	4518742.47	21	20
21/07/2015	S_D17	2	sondaggio	1447803.57	4518714.47	15	20
22/07/2015	S_D18	2	sondaggio	1447870.58	4518716.47	22	13.5
28/07/2015	S_E13	2	sondaggio	1447393.57	4518809.47	22	12
30/07/2015	S_E14	2	sondaggio	1447462.57	4518815.47	22	16.5
27/07/2015	S_E15	2	sondaggio	1447629.57	4518781.47	21	15
17/07/2015	S_E16	2	sondaggio	1447703.57	4518814.47	21	19
17/07/2015	S_E17	2	sondaggio	1447773.57	4518780.47	21	20
30/06/2015	S_E18	2	sondaggio	1447919.58	4518836.47	25	21
25/06/2015	S_E19	2	sondaggio	1448017.58	4518802.47	25	21.5
29/07/2015	S_F13	2	sondaggio	1447400.57	4518915.47	23	7.1
31/07/2015	S_F14	2	sondaggio	1447464.57	4518915.47	23	15.5
03/08/2015	S_F16	2	sondaggio	1447703.57	4518914.47	23	9
02/07/2015	S_F17	2	sondaggio	1447844.58	4518914.47	21	22.5
03/07/2015	S_F18	2	sondaggio	1447903.58	4518912.47	21	21.5
06/07/2015	S_F19	2	sondaggio	1448003.58	4518914.47	25	23
29/07/2015	S_G13	2	sondaggio	1447403.57	4519014.47	23	11.5
03/08/2015	S_G14	2	sondaggio	1447505.57	4519018.47	24	6
03/08/2015	S_G15	2	sondaggio	1447586.57	4518993.47	25	9
03/07/2015	S_G18	2	sondaggio	1447878.58	4518989.47	24	22.5
10/07/2015	S_G19	2	sondaggio	1448015.58	4519015.47	25	22
10/07/2015	S_G20	2	sondaggio	1448106.58	4519036.47	25	17
04/08/2015	S_H14	2	sondaggio	1447462.57	4519116.48	23	14
14/07/2015	S_H17	2	sondaggio	1447832.58	4519094.47	24	24
13/07/2015	S_H18	2	sondaggio	1447884.58	4519127.47	24	23.5
05/08/2015	S_I13	2	sondaggio	1447434.57	4519214.48	24	7
05/08/2015	S_I14	2	sondaggio	1447503.57	4519233.48	24	7
06/08/2015	S_L13	2	sondaggio	1447427.57	4519317.48	23	11.5
06/08/2015	S_M13	2	sondaggio	1447436.57	4519411.48	21	7.5
24/08/2015	S_N13	2	sondaggio	1447433.57	4519514.48	21	12
01/09/2015	S_L19	3	sondaggio	1448004	4519314	25	12
28/08/2015	S_L22	3	sondaggio	1448304	4519314	25	12
02/09/2015	S_M19	3	sondaggio	1448027	4519395	25	12
28/08/2015	S_M22	3	sondaggio	1448325	4519407	20	13.5
07/09/2015	S_N20	3	sondaggio	1448104	4519514	18	18
27/08/2015	S_N23	3	sondaggio	1448392	4519511	20	14
02/09/2015	S_O16	3	sondaggio	1447682	4519607	21	15
05/09/2015	S_O21	3	sondaggio	1448204	4519614	20	18
26/08/2015	S_O23	3	sondaggio	1448392	4519621	20	7.5
03/09/2015	S_P14	3	sondaggio	1447462	4519747	23	20
03/09/2015	S_P16	3	sondaggio	1447736	4519685	25	18
25/08/2015	S_P22	3	sondaggio	1448278	4519734	21	9
26/08/2015	S_P23	3	sondaggio	1448404	4519714	20	11
05/09/2015	S_Q15	3	sondaggio	1447539	4519824	23	21
03/09/2015	S_Q17	3	sondaggio	1447822	4519802	22	15
04/09/2015	S_Q18	3	sondaggio	1447873	4519849	23	20
07/09/2015	S_R19	3	sondaggio	1448040	4519953	23	12
07/09/2015	S_R20	3	sondaggio	1448100	4519924	23	20
08/09/2015	S_S18	3	sondaggio	1447936	4520042	23	8.6
10/09/2015	S_T17	3	sondaggio	1447838	4520139	24	20

Data esecuzione	Denominazione	Sub area	Tipologia	X	Y	Elevazione (m slm)	Profondità (m)
10/09/2015	S_AA23	4	sondaggio	1448403.59	4520514.50	19	5
10/09/2015	S_AA24	4	sondaggio	1448503.60	4520514.50	19	5
08/09/2015	S_Q22	4	sondaggio	1448303.59	4519814.49	21	12.1
11/09/2015	S_Q23	4	sondaggio	1448396.59	4519798.49	21	13.5
08/09/2015	S_Q24	4	sondaggio	1448518.59	4519809.49	21	18
09/09/2015	S_R22	4	sondaggio	1448338.59	4519886.49	23	8
11/09/2015	S_R23	4	sondaggio	1448388.59	4519923.49	23	10
12/09/2015	S_R24	4	sondaggio	1448482.59	4519917.49	23	9.5
11/01/2016	S_S19/2	4	sondaggio	1448018.59	4520049.49	23	17
12/01/2016	S_S20/1	4	sondaggio	1448046.59	4520041.49	23	17.5
14/09/2015	S_S23	4	sondaggio	1448413.59	4520012.49	23	16
14/09/2015	S_S24	4	sondaggio	1448477.59	4520044.49	23	10.5
08/09/2015	S_S25	4	sondaggio	1448585.60	4520019.49	23	10
24/09/2015	S_T18/2	4	sondaggio	1447927.58	4520125.49	22	3
14/01/2016	S_T19/1	4	sondaggio	1447984.58	4520117.49	22	7
14/01/2016	S_T19/2	4	sondaggio	1448024.59	4520141.49	22	5
24/09/2015	S_T19/3	4	sondaggio	1448043.59	4520105.49	22	14
24/09/2015	S_T19/4	4	sondaggio	1447963.58	4520098.49	22	3
12/10/2015	S_T20/1	4	sondaggio	1448076.59	4520137.49	22	17
13/01/2016	S_T20/2	4	sondaggio	1448117.59	4520128.49	22	7
13/01/2016	S_T20/3	4	sondaggio	1448118.59	4520097.49	22	6
13/01/2016	S_T20/4	4	sondaggio	1448078.59	4520091.49	22	8
16/09/2015	S_T21	4	sondaggio	1448201.59	4520122.49	22	10
15/09/2015	S_T22	4	sondaggio	1448301.59	4520127.49	22	18
15/09/2015	S_T23	4	sondaggio	1448409.59	4520146.49	22	13.5
11/09/2015	S_T24	4	sondaggio	1448494.59	4520118.49	23	8
09/09/2015	S_T25	4	sondaggio	1448603.60	4520114.49	23	10
23/09/2015	S_U19/3	4	sondaggio	1448028.59	4520185.49	19	12.5
18/09/2015	S_U20/2	4	sondaggio	1448115.59	4520227.50	19	15
23/09/2015	S_U20/4	4	sondaggio	1448071.59	4520184.49	19	5
16/09/2015	S_U21	4	sondaggio	1448220.59	4520173.49	21	13
17/09/2015	S_U22	4	sondaggio	1448274.59	4520197.49	21	20
09/09/2015	S_U25	4	sondaggio	1448603.60	4520214.49	22	10
18/09/2015	S_V21	4	sondaggio	1448194.59	4520301.50	21	15
17/09/2015	S_V23	4	sondaggio	1448416.59	4520311.50	21	12
09/09/2015	S_V24	4	sondaggio	1448512.60	4520325.50	21	10
10/09/2015	S_Z23	4	sondaggio	1448409.59	4520415.50	21	12
11/09/2015	S_Z24	4	sondaggio	1448503.60	4520414.50	19	5
13/10/2015	S_AA17	5	sondaggio	1447833.58	4520508.50	13	5
10/09/2015	S_AA22	5	sondaggio	1448331.59	4520504.50	17	14.7
13/10/2015	S_AB18	5	sondaggio	1447940.59	4520563.50	13	12
15/10/2015	S_AB19	5	sondaggio	1448011.59	4520599.50	11	7.5
21/09/2015	S_AB20	5	sondaggio	1448087.59	4520634.50	11	17
10/09/2015	S_AB23	5	sondaggio	1448422.60	4520587.50	14	15
22/09/2015	S_AC19	5	sondaggio	1448007.59	4520717.51	8	5
23/09/2015	S_AC22	5	sondaggio	1448304.59	4520742.50	7	10
24/09/2015	S_T18/1	5	sondaggio	1447878.58	4520140.49	24	10
24/09/2015	S_U17/2	5	sondaggio	1447834.58	4520235.50	22	12.3
24/09/2015	S_U17/3	5	sondaggio	1447829.58	4520188.50	22	9.7
24/09/2015	S_U18/1	5	sondaggio	1447877.58	4520240.50	20	18
12/10/2015	S_U18/2	5	sondaggio	1447926.58	4520243.50	20	13
24/09/2015	S_U18/3	5	sondaggio	1447929.58	4520191.50	20	10
12/10/2015	S_U18/4	5	sondaggio	1447862.58	4520201.50	20	14

Data esecuzione	Denominazione	Sub area	Tipologia	X	Y	Elevazione (m slm)	Profondità (m)
25/09/2015	S_U19/1	5	sondaggio	1447980.59	4520237.50	21.7	15
25/09/2015	S_U19/2	5	sondaggio	1448021.59	4520235.50	21.7	10
25/09/2015	S_U19/4	5	sondaggio	1447977.58	4520194.50	21.7	16
21/12/2015	S_V18/2	5	sondaggio	1447944.58	4520310.50	20	15
24/09/2015	S_V18/3	5	sondaggio	1447928.58	4520288.50	20	12.6
22/12/2015	S_V18/4	5	sondaggio	1447887.58	4520279.50	20	7
25/09/2015	S_V19/4	5	sondaggio	1447976.59	4520288.50	21	10
22/09/2015	S_Z20	5	S4ondaggio	1448157.59	4520465.50	18	13
18/09/2015	S_Z21	5	sondaggio	1448190.59	4520376.50	17	15
09/10/2015	P_AL_01	AL	piezometro	1447654.58	4520758.51	5	10
16/09/2015	S_AL_01	AL	sondaggio	1448763.60	4520384.50	5	5
16/09/2015	S_AL_02	AL	sondaggio	1448632.60	4520470.50	5	5
21/09/2015	S_AL_03	AL	sondaggio	1447718.58	4520719.51	5	7
21/09/2015	S_AL_04	AL	sondaggio	1447663.58	4520711.51	5	5
22/09/2015	S_AL_05	AL	sondaggio	1447579.58	4520670.51	19	13
21/09/2015	S_AL_06	AL	sondaggio	1447552.58	4520718.51	19	14

I campioni di terreno insaturo sono stati prelevati secondo le seguenti modalità:

- un campione rappresentativo del primo metro di scavo, uno intermedio ed uno rappresentativo del fondo foro, nel caso di sondaggi fino a 5 m di profondità;
- un ulteriore campione di terreno, oltre i primi tre, nel caso di sondaggi fino a 7,5 m di profondità per un totale di 4;
- un ulteriore campione di terreno, oltre i primi quattro, nel caso di sondaggi fino a 10 m di profondità per un totale di 5;
- un ulteriore campione di terreno ogni 5 m di scavo per sondaggi oltre i 10 m di profondità, in aggiunta ai precedenti 5 campioni.

Complessivamente sono stati sottoposti ad analisi chimica 687 campioni di terreno.

Sono inoltre stati effettuati 21 prelievi di top soil nello strato di profondità compresa fra 0 e 10 cm, in corrispondenza di zone non asfaltate o pavimentate e il più vicino possibile al punto di sondaggio. I campioni sono stati prelevati mediante spatole e ripuliti dalle sostanze estranee alla matrice (sostanze vegetali soprastanti).

Su 20 campioni (Tabella 2), oltre all'analisi chimica, sono stati misurati i seguenti parametri:

- densità del suolo;
- contenuto naturale di acqua in percentuale W;
- frazione di carbonio organico;
- pH del suolo saturo e insaturo;
- curva granulometrica.

Tabella 2. Campioni sottoposti a caratterizzazione geotecnica

Campione	Sub Area	Profondità prelievo (m da pc)
S_A04 CG1	1	0.0-1.0
S_A04 CG2	1	3.0-4.0
S_G19 CG1	2	3.1-4.0
S_C18 CG1	2	3.0-4.0
S_C18 CG2	2	11.0-12.0
S_C18 CG3	2	17.0-17.5
S_L13 CG1	2	0.0-1.0
S_L13 CG2	2	8.0-9.0
S_L13 CG3	2	10.6-10.9
S_P22 CG1	3	0.0-4.0
S_Q17 CG1	3	0.0-1.0
S_Q17 CG2	3	7.0-7.5
S_R23 CG1	4	0.0-1.0
S_R23 CG2	4	3.5-4.0
S_U20/2 CG1	4	0.0-0.6
S_AB20 CG1	5	6.0-6.5
S_AB20 CG2	5	12.5-13.0
S_T18/1 CG1	5	0.0-0.7
S_T18/1 CG2	5	5.0-6.0
S_AL-01 CG1	limitrofe	7.0-8.0

3.2 PO FESR 2007 -2013 Aggiornamento della rete di monitoraggio dei siti inquinati dell'area industriale di Porto Torres

Il progetto "Aggiornamento della rete di monitoraggio siti inquinati: area industriale di Porto Torres" (nel seguito Progetto PO FESR Sardegna 2007-2013) si inquadra all'interno della Linea di Attività 4.1.2.a, Obiettivo Operativo 4.1.2, Obiettivo specifico 4.1, Asse d'intervento IV del PO FESR Sardegna 2007-2013, che si pone come obiettivo generale quello di "promuovere un uso sostenibile ed efficiente delle risorse ambientali e sostenere l'attrattività e la competitività del territorio valorizzando le risorse naturali e culturali per sviluppare il turismo sostenibile".

Precedentemente a questo progetto e nell'ambito del POR Sardegna 2000 - 2006 Asse I Misura 1.7 Monitoraggio ambientale, era stato realizzato dalla RAS un sistema integrato di monitoraggio delle aree industriali compromesse dei comuni di Assemini, Sarroch, Ottana e Porto Torres, attraverso il servizio "*Interventi di indagine preliminare e realizzazione del sistema di monitoraggio siti inquinati: aree industriali di Assemini, Sarroch, Ottana e Porto Torres*".

Facendo seguito a tale iniziativa, attraverso il Progetto PO FESR Sardegna 2007-2013 la RAS ha voluto completare l'indagine ambientale e la rete di monitoraggio dei siti inquinati, laddove le informazioni di carattere ambientale erano maggiormente carenti ovvero le aree del Consorzio Industriale Provinciale di Sassari ricadenti nel sito Industriale di Porto Torres.

Obiettivo principale del Piano d'Indagine del Progetto PO FESR Sardegna 2007-2013 è stato la determinazione dello stato di contaminazione delle acque sotterranee nelle aree consortili e il completamento della rete di monitoraggio regionale. Inoltre, al fine di massimizzare il risultato delle risorse impiegate, le perforazioni realizzate per la costruzione dei piezometri sono state eseguite con recupero di carota in modo da poter campionare e caratterizzare, in quei punti, anche i terreni.

Più in dettaglio il Piano ha previsto la realizzazione di:

- n. 33 sondaggi attrezzati a piezometro;
- prelievi di campioni di terreno dai sondaggi e di acque sotterranee;
- misure freatimetriche;
- n. 4 prelievi manuali superficiali (top soil);
- analisi chimica di terreni e acque sotterranee;
- analisi geotecnica dei terreni;
- prove in situ per definire il comportamento idraulico degli acquiferi (prove Lefranc e prove di portata).

Le attività di campo e di laboratorio eseguite nell'ambito del Progetto PO FESR Sardegna 2007-2013 sono descritte in dettaglio nel documento Piano d'Indagine (PT - RT - PI.02) del 17/03/2014. I risultati delle attività svolte sono riportati nella Relazione di Sintesi Parte A - Presentazione dei risultati dell'indagine (PT-TR_RSA.04), mentre nel documento Relazione di Sintesi Parte B – Analisi ed interpretazione dei risultati dell'indagine (PT - RT – RSB.05) è descritto il quadro emerso dall'analisi dei dati e il modello concettuale definitivo. Nell'ambito dello stesso Progetto è inoltre stata predisposta la Relazione di Caratterizzazione ambientale (PT - RT – RCA.01) che costituisce la revisione e l'aggiornamento della Relazione sulla caratterizzazione ambientale (RCA) – sito di Porto Torres (57597-REL-T-004.4), prodotta nell'ambito del progetto POR Sardegna 2000 – 2006. Tutti i suddetti documenti sono stati redatti dalla RAS.

3.2.1 Piezometri e campionamenti acque di falda

In Figura 4 è illustrata la posizione dei 33 piezometri di nuova realizzazione. Tre di questi (cluster) comprendono due punti di campionamento: uno superficiale alla profondità di 25/30 m e uno profondo alla profondità di 55 m p.c. (contraddistinti dalla lettera B).

Le coordinate dei piezometri sono riportate in Tabella 3.

Tabella 3. Coordinate e caratteristiche costruttive dei piezometri della nuova realizzazione - Progetto PO FESR Sardegna 2007-2013

Punto di indagine	Sub-area	Est	Nord	Quota p.c. (m s.l.m.)	Quota di fondo foro (m da p.c.)	Tratto fessurato piezometro (m da p.c.)
PTPzN01	1	1447050,940	4518455,501	22,62	30	18,00-30,00
PTPzN02	1	1446928,022	4518859,041	23,41	30	18,00-30,00
PTPzN03	2	1447595,883	4518396,549	20,72	25	12,00-25,00
PTPzN04	1	1446994,651	4519047,478	23,06	30	18,00-30,00
PTPzN04B	1	1446994,609	4519043,700	23,01	55	45,00-55,00
PTPzN05	1	1447252,497	4519047,055	25,34	30	18,00-30,00
PTPzN06	2	1447788,288	4519021,439	24,31	25	15,00-25,00
PTPzN07	2	1447653,096	4518925,683	22,12	25	14-70-24,70
PTPzN08	2	1447595,156	4519212,454	23,04	30	18,00-30,00
PTPzN09	2	1447398,554	4519596,394	20,74	25	15,00-25,00
PTPzN09B	2	1447397,041	4519594,578	20,73	55	45,00-55,00
PTPzN10	3	1448060,829	4519434,780	20,85	25	15,00-25,00
PTPzN11	3	1448220,975	4519679,276	17,97	30	18,00-30,00
PTPzN12	4	1447923,333	4520097,925	23,57	30	20,00-30,00
PTPzN13	3	1448231,767	4519841,456	23,26	30	18,00-30,00
PTPzN14	3	1447970,365	4520002,016	23,75	30	18,00-30,00
PTPzN15	3	1447467,084	4519784,011	22,69	30	18,00-30,00
PTPzN16	3	1447762,821	4519717,754	25,32	30	15,00-30,00
PTPzN17	5	1447818,866	4520204,097	22,19	30	15,00-30,00
PTPzN17B	5	1447821,657	4520206,807	22,16	55	45,00-55,00
PTPzN18	5	1447646,376	4520465,783	18,05	25	15,00-25,00
PTPzN19	5	1447739,755	4520277,971	21,00	30	18,00-30,00
PTPzN20	5	1448109,591	4520560,716	12,75	25	12,00-25,00
PTPzN21	4	1448277,396	4520320,680	19,27	30	12,00-30,01
PTPzN22	4	1448357,322	4520248,468	21,19	30	15,00-30,00
PTPzN23	4	1448566,903	4520284,370	21,72	30	15,00-30,00
PTPzN24	5	1448251,335	4520710,352	8,83	20	5,00-20,00
PTPzN25	5	1448264,493	4520974,061	4,12	15	2,00-15,00
PTPzN27	3	1447879,369	4519876,869	25,18	30	20,00-30,00
PTPzN28	5	1447852,372	4520514,374	14,12	25	10,00-20,00
PTPzN29	1	1447251,554	4518854,033	25,49	30	18,00-30,00
PTPzN30	5	1447978,502	4520852,799	4,93	15	2,00-15,00
PTPzN31	5	1447767,917	4520753,294	5,94	15	2,00-15,00

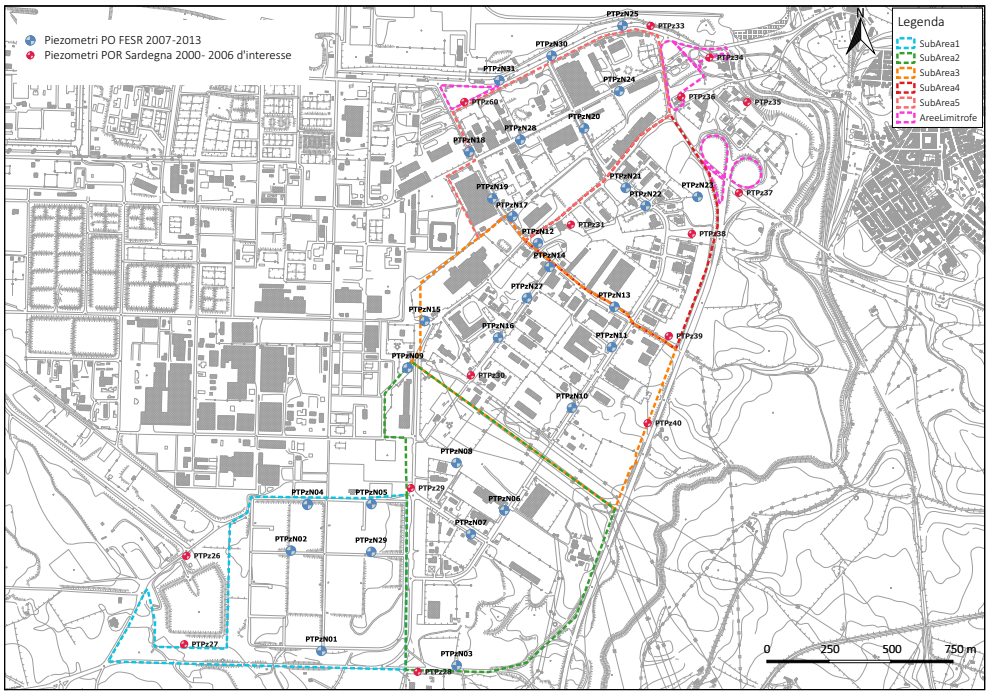


Figura 4. Piezometri della rete di monitoraggio RAS interni o prossimi alle aree libere consortili

La successiva campagna di campionamento ha interessato sia i 33 piezometri di nuova costruzione sia i 67 piezometri preesistenti (nel seguito vecchia rete di monitoraggio) di cui, però solo 15 interni o prossimi alle aree libere consortili e quindi di interesse. La localizzazione di questi 15 piezometri è indicata in Figura 4 mentre le coordinate planoaltimetriche sono indicate in Tabella 4.

Tabella 4. Coordinate e caratteristiche costruttive dei piezometri realizzati nell'ambito del Progetto POR Sardegna 2000 - 2006 interni o prossimi alle aree libere consortili

Punto di indagine	Sub-area	Est	Nord	Quota p.c. (m s.l.m.)	Quota di fondo foro (m da p.c.)	Tratto fessurato piezometro (m da p.c.)
PTPz26		1446506.38	4518838.32	13.72		
PTPz27		1446497.62	4518482.33	18.98		
PTPz28		1447438.75	4518371.19	24.5		
PTPz29		1447411.18	4519111.30	23.03		
PTPz30		1447653.19	4519565.38	24.97		
PTPz31		1448056.07	4520172.18	20.47		
PTPz33		1448377.51	4520973.04	4.35		
PTPz34		1448614.77	4520845.50	5.74		
PTPz35		1448766.79	4520665.81	18.73		
PTPz36		1448501.20	4520687.42	16.11		
PTPz37		1448733.62	4520300.51	18.54		
PTPz38		1448543.72	4520135.56	23.75		
PTPz39		1448450.87	4519723.64	22.94		
PTPz40		1448365.65	4519372.99	13.89		
PTPz60		1447626.68	4520666.69	7.12		

Contestualmente al prelievo dei campioni di acqua di falda sono stati eseguiti profili verticali dei parametri torbidità, temperatura, potenziale redox, pH, conducibilità e ossigeno disciolto, mediante sonda Hydrolab MS5.

Su tutti i pozzi della vecchia e della nuova rete di monitoraggio sono state condotte 4 campagne freatimetriche nei periodi:

- 9 - 14 marzo 2013;
- 31 maggio - 14 giugno 2013;
- 29 - 31 luglio 2013;
- 23 - 24 settembre 2013.

In ciascuna campagna è stato misurato il livello statico della falda con una sonda d'interfaccia acqua –olio in grado di rilevare anche l'eventuale presenza di fase libera, superficiale o profonda (LNAPL e/o DNAPL).

Su 20 piezometri di nuova realizzazione (Tabella 5) sono stati inoltre installati dei sensori di pressione per il monitoraggio in continuo delle oscillazioni freatimetriche. Le misure sono state effettuate per un periodo di 4 mesi, corrispondenti all'intervallo temporale trascorso tra la prima e la quarta campagna di misura.

Tabella 5. Piezometri interessati dal monitoraggio in continuo delle oscillazioni freatimetriche

Piezometro	Sub Area	Piezometro	Sub Area
PTPzN01	Sub Area 1	PTPzN15	Sub Area 3
PTPzN29	Sub Area 1	PTPzN27	Sub Area 3
PTPzN04	Sub Area 1	PTPzN12	Sub Area 4
PTPzN04B	Sub Area 1	PTPzN21	Sub Area 4
PTPzN03	Sub Area 2	PTPzN23	Sub Area 4
PTPzN06	Sub Area 2	PTPzN17	Sub Area 5
PTPzN09	Sub Area 2	PTPzN17B	Sub Area 5
PTPzN09B	Sub Area 2	PTPzN20	Sub Area 5
PTPzN10	Sub Area 3	PTPzN31	Sub Area 5
PTPzN13	Sub Area 3	PTPzN25	Sub Area 5

Al fine di indagare i parametri idrogeologici dell'acquifero sono state eseguite 5 prove di emungimento sui piezometri indicati in Tabella 6.

Tabella 6. Piezometri su cui si sono realizzate le prove di emungimento

Piezometro	Sub Area
PTPZN02	Sub Area 1
PTPZN08	Sub Area 2
PTPZN27	Sub Area 3
PTPZN12	Sub Area 4
PTPZN24	Sub Area 5

3.2.2 Sondaggi e campionamento dei terreni

Come anticipato, le operazioni di perforazione sono state condotte a carotaggio continuo, senza l'ausilio di fluidi di perforazione e a bassa velocità, al fine di non surriscaldare il terreno e causare quindi la volatilizzazione di eventuali contaminanti. Per ogni sondaggio è stato redatto il relativo report stratigrafico e fotografico.

Sulle carote è stata eseguita l'analisi speditiva con fotoionizzatore portatile (PID) per l'individuazione dei livelli contaminati da sostanze volatili (Head Space Analysis).

Lungo ciascun sondaggio (intero spessore di terreno insaturo) sono stati prelevati una media di circa 5 campioni di terreno seguendo le modalità sotto riportate:

- un campione rappresentativo del primo metro di scavo, un campione intermedio ed uno rappresentativo del fondo foro, nel caso di sondaggi fino a 5.0 m di profondità nell'insaturo;
- ulteriori n. 2 campioni di terreno nel caso di sondaggi spinti fino a 10.0 m di profondità e un ulteriore campione di terreno ogni 5 m di scavo per sondaggi oltre i 10 m di profondità nell'insaturo.

Nel corso dei 33 sondaggi sono stati prelevati 168 campioni di terreno il cui elenco è riportato in Tabella 7. Di questi, 20 (indicati in Tabella 7 con la lettera G) sono stati sottoposti a caratterizzazione geotecnica; mentre per ulteriori 20 campioni prelevati a profondità superiore a 10 m, è stata determinati la sola curva granulometrica.

Le analisi chimiche sono eseguite sui campioni prelevati nei primi 10 m di profondità; solo nei casi in cui il campione più profondo analizzato ha evidenziato tracce di contaminazione, le analisi sono state estese anche agli orizzonti più profondi, fintanto che l'ultimo campione analizzato non sia risultato conforme ai limiti fissati dalla vigente normativa in materia di bonifiche.

Complessivamente sono stati sottoposti ad analisi chimiche 148 campioni, di cui 128 con protocollo analitico completo e 20 in cui sono stati determinati solo pH e FOC (corrispondenti ai campioni sottoposti alle analisi geotecniche).

Tabella 7. Campioni di terreno prelevati durante i sondaggi.

Punto di indagine	Nome campione	Data prelievo	Profondità *(m da p.c.)*	Note
PTPzN01	PTPzN01/1	12/12/2012	0.00-1.00	
	PTPzN01/2	12/12/2012	2.00-3.00	
	PTPzN01/3	12/12/2012	4.00-5.00	
	PTPzN01/4	12/12/2012	5.00-6.00	
	PTPzN01/5	12/12/2012	7.80-8.80	
	PTPzN01/6	12/12/2012	11.60-12.30	campione prelevato a profondità >10 m
PTPzN02	PTPzN02/1	18/12/2012	0.00-1.00	
	PTPzN02/2	18/12/2012	2.00-3.00	
	PTPzN02/3	18/12/2012	4.00-5.00	

Punto di indagine	Nome campione	Data prelievo	Profondità *(m da p.c.)*	Note
	PTPzN02/4	18/12/2012	6.00-7.00	
	PTPzN02/5	18/12/2012	13.00-14.00	campione prelevato a profondità >10 m
	PTPzN02/6	18/12/2012	15.00-16.00	
PTPzN03	PTPzN03/1	04/03/2013	0.00-1.00	
	PTPzN03/2	04/03/2013	2.00-2.50	
	PTPzN03/3	04/03/2013	6.50-7.50	
	PTPzN03/G1	12/12/2012	1.40-1.60	
PTPzN04	PTPzN04/1	10/01/2013	0.00-1.00	
	PTPzN04/2	10/01/2013	2.00-3.00	
	PTPzN04/3	10/01/2013	4.00-5.00	
	PTPzN04/4	10/01/2013	5.25-6.25	
	PTPzN04/5	10/01/2013	9.00-10.00	
PTPzN04B	PTPzN04B/1	15/01/2013	0.00-1.00	
	PTPzN04B/2	15/01/2013	2.00-3.00	
	PTPzN04B/3	15/01/2013	3.30-4.30	
	PTPzN04B/4	15/01/2013	7.90-8.90	
	PTPzN04B/5	15/01/2013	9.00-10.00	
	PTPzN04B/6	15/01/2013	10.50-11.50	campione prelevato a profondità >10 m
	PTPzN04B/G1	15/01/2013	1.00-1.10	
	PTPzN04B/G2	15/01/2013	3.00-3.10	
PTPzN05	PTPzN05/1	20/12/2012	0.00-1.00	
	PTPzN05/2	20/12/2012	2.00-3.00	
	PTPzN05/3	20/12/2012	4.00-5.00	
	PTPzN05/4	20/12/2012	5.50-6.50	
	PTPzN05/5	20/12/2012	11.80-12.50	campione prelevato a profondità >10 m
PTPzN06	PTPzN06/1	28/03/2013	0.00-1.00	
	PTPzN06/2	28/03/2013	2.00-3.00	
	PTPzN06/3	28/03/2013	4.00-5.00	
	PTPzN06/4	28/03/2013	6.50-7.50	
	PTPzN06/5	28/03/2013	9.00-10.000	
	PTPzN06/6	29/03/2013	11.50-12.50	campione prelevato a profondità >10 m
	PTPzN06/7	29/03/2013	18.00-19.00	
	PTPzN06/G1	28/03/2013	5.80-6.00	
PTPzN07	PTPzN07/1	07/01/2013	0.00-1.00	
	PTPzN07/2	07/01/2013	2.00-3.00	
	PTPzN07/3	07/01/2013	4.00-5.00	
	PTPzN07/4	07/01/2013	6.50-7.50	
	PTPzN07/5	07/01/2013	9.00-10.00	
	PTPzN07/6	08/01/2013	17.50-18.50	campione prelevato a profondità >10 m
PTPzN08	PTPzN08/1	28/03/2013	0.00-1.00	
	PTPzN08/2	28/03/2013	2.00-3.00	
	PTPzN08/3	28/03/2013	4.00-5.00	
	PTPzN08/4	28/03/2013	6.50-7.50	
PTPzN08	PTPzN08/5	28/03/2013	9.00-10.00	
	PTPzN08/6	28/03/2013	11.00-12.00	campione prelevato a profondità >10 m
	PTPzN08/7	28/03/2013	15.00-16.00	
	PTPzN008/G1	28/03/2013	1.20-1.40	
PTPzN09	PTPzN09/1	29/01/2013	0.00-1.00	
	PTPzN09/2	29/01/2013	2.00-3.00	
	PTPzN09/3	29/01/2013	4.00-5.00	
	PTPzN09/4	29/01/2013	5.80-6.30	
	PTPzN09/5	29/01/2013	9.00-10.00	
PTPzN09B	PTPzN09B/1	31/01/2013	0.00-1.00	
	PTPzN09B/2	31/01/2013	2.00-3.00	
	PTPzN09B/3	31/01/2013	4.00-5.00	

Punto di indagine	Nome campione	Data prelievo	Profondità *(m da p.c.)*	Note
	PTPzN09B/4	31/01/2013	9.30-9.90	
	PTPzN09B/G1	31/01/2013	1.20-1.30	
PTPzN10	PTPzN10/1	07/02/2013	0.00-1.00	
	PTPzN10/2	07/02/2013	2.00-3.00	
	PTPzN10/3	07/02/2013	3.00-4.00	
	PTPzN10/4	07/02/2013	6.00-7.00	
	PTPzN10/5	07/02/2013	9.00-10.00	
	PTPzN10/6	07/02/2013	14.00-15.00	campione prelevato a profondità >10 m
	PTPzN10/G1	07/02/2013	1.30-1.50	
PTPzN11	PTPzN11/1	13/02/2012	0.00-1.00	
	PTPzN11/2	13/02/2012	3.50-4.00	
	PTPzN11/3	13/02/2012	4.00-5.00	
	PTPzN11/4	13/02/2012	6.50-7.50	
	PTPzN11/5	13/02/2012	9.00-10.00	
	PTPzN11/6	13/02/2012	12.00-12.80	campione prelevato a profondità >10 m
PTPzN12	PTPzN12/1	25/03/2013	0.00-1.00	
	PTPzN12/2	25/03/2013	2.00-2.60	
	PTPzN12/G1	25/03/2013	0.70-0.90	
PTPzN13	PTPzN13/1	26/02/2013	0.00-1.00	
	PTPzN13/2	26/02/2013	2.00-3.00	
	PTPzN13/3	26/02/2013	4.00-5.00	
	PTPzN13/4	26/02/2013	6.50-7.50	
	PTPzN13/5	26/02/2013	9.0-10.0	
	PTPzN13/6	26/02/2013	10.00-11.00	campione prelevato a profondità >10 m
PTPzN14	PTPzN14/1	18/02/2013	0.00-1.00	
	PTPzN14/2	18/02/2013	2.00-3.00	
	PTPzN14/3	18/02/2013	5.00-5.60	
	PTPzN14/G1	18/02/2013	1.00-1.20	
PTPzN15	PTPzN15/1	20/02/2013	0.00-1.00	
	PTPzN15/2	20/02/2013	2.00-3.00	
	PTPzN15/3	20/02/2013	4.00-5.00	
	PTPzN15/4	20/02/2013	6.50-7.50	
	PTPzN15/5	20/02/2013	9.00-10.00	
	PTPzN15/6	20/02/2013	10.00-11.00	campione prelevato a profondità >10 m
	PTPzN15/G1	20/02/2013	7.70-7.80	
PTPzN16	PTPzN16/1	04/04/2013	0.00-1.00	
	PTPzN16/2	04/04/2013	2.50-3.50	
	PTPzN16/3	04/04/2013	4.00-5.00	
	PTPzN16/4	04/04/2013	6.00-7.00	
	PTPzN16/G1	04/04/2013	3.70-3.90	
PTPzN17	PTPzN17/1	05/03/2013	0.00-1.00	
	PTPzN17/2	05/03/2013	2.00-2.50	
PTPzN17B	PTPzN17B/1	11/03/2013	0.00-1.00	
	PTPzN17B/2	11/03/2013	1.00-2.00	
PTPzN18	PTPzN18/1	20/03/2013	0.00-1.00	
	PTPzN18/2	20/03/2013	2.00-3.00	
	PTPzN18/3	20/03/2013	4.00-5.00	
	PTPzN18/4	20/03/2013	6.50-7.50	
	PTPzN18/5	20/03/2013	9.00-10.00	
	PTPzN18/G1	20/03/2013	1.80-2.00	
PTPzN19	PTPzN19/1	07/03/2013	0.50-1.00	
	PTPzN19/2	07/03/2013	2.00-3.00	
	PTPzN19/3	07/03/2013	4.00-5.00	
	PTPzN19/4	07/03/2013	6.50-7.50	
	PTPzN19/5	07/03/2013	9.50-10.00	

Punto di indagine	Nome campione	Data prelievo	Profondità *(m da p.c.)*	Note
	PTPzN19/6	07/03/2013	12.00-13.00	campione prelevato a profondità >10 m
PTPzN20	PTPzN20/1	09/04/2013	0.00-1.00	
	PTPzN20/2	09/04/2013	2.00-3.00	
	PTPzN20/3	09/04/2013	4.00-5.00	
	PTPzN20/4	09/04/2013	6.50-7.50	
	PTPzN20/5	09/04/2013	9.00-10.00	
	PTPzN20/G1	09/04/2013	1.40-1.60	
PTPzN21	PTPzN21/1	09/04/2013	0.00-1.00	
	PTPzN21/2	09/04/2013	2.00-3.00	
	PTPzN21/3	09/04/2013	4.00-5.00	
	PTPzN21/4	09/04/2013	5.50-6.50	
	PTPzN21/5	09/04/2013	11.00-12.00	campione prelevato a profondità >10 m
	PTPzN21/G1	09/04/2013	1.40-1.60	
	PTPzN21/G2	09/04/2013	3.00-3.20	
PTPzN22	PTPzN22/1	04/03/2013	0.00-1.00	
	PTPzN22/2	04/03/2013	2.00-3.00	
	PTPzN22/3	04/03/2013	4.00-5.00	
	PTPzN22/4	04/03/2013	6.50-7.500	
PTPzN22	PTPzN22/5	04/03/2013	9.00-10.00	
	PTPzN22/6	04/03/2013	11.00-12.00	campione prelevato a profondità >10 m
	PTPzN22/G1	04/03/2013	1.00-1.15	
	PTPzN22/G2	04/03/2013	3.00-3.20	
PTPzN23	PTPzN23/1	20/02/2013	0.00-0.50	
PTPzN24	PTPzN24/1	13/03/2013	0.00-1.00	
	PTPzN24/2	13/03/2013	2.00-3.00	
	PTPzN24/3	13/03/2013	4.00-5.00	
	PTPzN24/4	13/03/2013	5.00-6.00	
	PTPzN24/G1	13/03/2013	3.20-3.40	
PTPzN25	PTPzN25/1	25/03/2013	0.00-1.00	
	PTPzN25/2	25/03/2013	2.00-3.00	
PTPzN27	PTPzN27/1	27/02/2013	0.00-1.00	
	PTPzN27/2	27/02/2013	2.00-3.00	
	PTPzN27/3	27/02/2013	4.00-5.00	
	PTPzN27/4	27/02/2013	6.50-7.50	
	PTPzN27/5	27/02/2013	9.00-10.00	
	PTPzN27/6	27/02/2013	10.00-11.00	campione prelevato a profondità >10 m
PTPzN28	PTPzN28/1	18/03/2013	0.00-0.90	
	PTPzN28/G1	18/03/2013	0.50-0.80	
	PTPzN29/1	08/01/2013	0.00-1.00	
PTPzN29	PTPzN29/2	08/01/2013	2.00-3.00	
	PTPzN29/3	08/01/2013	4.00-5.00	
	PTPzN29/4	08/01/2013	5.90-6.90	
	PTPzN29/5	08/01/2013	13.00-14.00	campione prelevato a profondità >10 m
	PTPzN29/6	08/01/2013	15.00-15.50	
PTPzN30	PTPzN30/1	25/03/2013	0.00-1.00	
PTPzN31	PTPzN31/1	27/03/2013	0.00-1.00	
	PTPzN31/2	27/03/2013	2.00-3.00	
	PTPzN31/3	27/03/2013	4.00-5.00	
	PTPzN31/G1	27/03/2013	1.40-1.60	

3.2.3 Prove Lefranc

Durante l'esecuzione di 11 sondaggi a rotazione sono state condotte prove di permeabilità di tipo Lefranc a carico idraulico variabile ovvero misurando la velocità di riequilibrio del livello dell'acqua nel foro, dopo averlo alzato tramite immissione d'acqua (prova di abbassamento).

In totale sono state eseguite 12 prove, in quanto nel sondaggio PTPzN09B, che è stato spinto fino alla profondità di 55 m, sono state eseguite due prove al fine di investigare l'acquifero a profondità differenti.

La distribuzione spaziale delle prove è stata scelta al fine di privilegiare la raccolta dei dati sulla permeabilità dei terreni nelle zone maggiormente interessate dalla presenza di centri pericolo e quindi a vulnerabilità maggiore.

In Tabella 8 sono sintetizzati i dati relativi alle prove effettuate con indicazione del sondaggio di riferimento.

Tabella 8. Prove Lefranc eseguite durante le perforazioni

Dati sondaggio			Prove Lefranc	
Sigla sondaggio	**profondità m p.c.**	**tratto fessurato piezometro**	**Sigla**	**profondità m p.c**
PTPzN04B	55	45.00-55.00	PTPzN04B/LF1	43.20-44.50
PTPzN06	25	15.00-25.00	PTPzN06/LF1	23.00-23.50
PTPzN9B	55	45.00-55.00	PTPzN9B/LF1	17.50-18.00
			PTPzN9B/LF2	46.00-46.50
PTPzN10	25	15.00-25.00	PTPzN10/LF1	20-20.50
PTPzN11	30	18.00-30.00	PTPzN11/LF1	10.00-10.50
PTPzN12	30	20.00-30.00	PTPzN12/LF1	19.00-19.50
PTPzN17B	55	45.00-55.00	PTPzN17B/LF1	46.30-47.00
PTPzN20	25	12.00-25.00	PTPzN20/LF1	14.50-15.00
PTPzN23	30	15.00-30.00	PTPzN23/LF1	22.70-23.50
PTPzN25	15	2.00-15.00	PTPzN25/LF1	11.50-12.00
PTPzN31	15	2.00-15.00	PTPzN31/LF1	10.00-10.50

3.2.4 Prelievi manuali superficiali (top soil)

Sono stati prelevati 4 campioni di top soil nell'intervallo di profondità 0-10 cm nelle vicinanze dei punti di sondaggio ed in corrispondenza di zone non asfaltate o pavimentate. I prelievi, effettuati nella misura del 10% del numero complessivo dei sondaggi, sono stati distribuiti per rappresentare tutte le subaree d'intervento eccetto la sub-area 1.

In Tabella 9 sono indicate le sigle e le coordinate dei campioni di top soil determinate tramite strumentazione GPS.

Per ogni campione è stato redatto un report stratigrafico e fotografico e sono inoltre stati determinati i contenuti di amianto, PCB, diossine e furani.

Tabella 9. Localizzazione dei campioni di top soil

Punto di indagine	Est	Nord	Quota p.c. *(m s.l.m.m.)*
PTPzN07	1447653	4518925	22.12
PTPzN16	1447762	4519717	25.32
PTPzN20	1448109	4520560	12.75
PTPzN22	1448357	4520248	21.19

4 RISULTATI DELLA INDAGINI

4.1 Ricostruzione stratigrafica

I dati di natura stratigrafica acquisiti nel corso delle campagne d'indagine (Progetto PO FESR Sardegna 2007-2013 e Piano di indagine CIP Sassari) relativi a 212 sondaggi a carotaggio continuo (Figura 3), sono stati utilizzati per ricostruire l'assetto stratigrafico dei terreni attraversati.

I risultati delle elaborazioni confermano la presenza della Formazione di Mores (unità sedimentaria oligo-miocenica del Logudoro Sassarese) costituita da calcareniti variamente alterate, alternate a limi, limi argillosi, argille e sabbie argillose (Tavole 5 e 6). Nella sub area 1, al di sopra delle calcareniti e delle sabbie, sono presenti strati di marne e, subordinatamente, calcari. Nella zona più a Ovest della stessa sub area, in corrispondenza dei sondaggi S_C2 e S_B2 sono state rinvenuti vulcaniti appartenenti alle formazioni oligo -mioceniche.

4.2 Caratterizzazione dell'acquifero

Nell'ambito del piano di indagine PO FESR Sardegna 2007-2013 e del Piano di indagine CIP Sassari, sono state eseguite indagini mirate alla caratterizzazione idrogeologica dell'acquifero detritico-carbonatico oligo-miocenico. Nello specifico sono state eseguite:

- misure della piezometrica;
- prove di permeabilità Lefranc;
- prove di pompaggio di lunga durata.

L'andamento del deflusso idrico sotterraneo in corrispondenze dell'area consortile è stato ricostruito mediante quattro campagne di misura dei livelli di falda, eseguite sull'intera rete di piezometri RAS nel periodo maggio-settembre 2013.

Le carte delle isofreatiche relative alle quattro campagne sono riportate in Figura 5 e in Tavola 8.

L'andamento della piezometria mette evidenza un deflusso diretto verso il mare, avente direzione prevalente da Sud-Ovest verso Nord-Est. Più in dettaglio:

- nella sub area 1 la quota piezometrica varia tra 7,5 m slm in corrispondenza del lato Ovest dell'area e 4,5 m slm in corrispondenza dello spigolo NE. Le linee di flusso sono disposte secondo la direzione OSO-ENE con un gradiente idraulico medio di 0,003; la quota del piano campagna è variabile tra 20,0 e 28,0 m slm per cui la soggiacenza media della falda è 16,4 m.

- nella sub area 2 la quota piezometrica varia tra 5,0 m slm in corrispondenza dello spigolo SO e 3,5 m slm in corrispondenza dello spigolo N. Le linee di flusso hanno direzione OSO-ENE e gradiente idraulico medio 0,0027; la quota del piano campagna è variabile tra 15,0 e 26,0 m slm e la soggiacenza media della falda è 17,2 m.
- nella sub area 3 la quota piezometrica varia tra 3,5 m slm in corrispondenza dello spigolo SO e 1,5 m slm in corrispondenza dello spigolo E. Le linee di flusso sono dirette SO-NE con un gradiente idraulico medio di 0,0020; la quota del piano campagna è variabile tra 18,0 e 25,0 m slm e la soggiacenza media della falda è 19,1 m.
- nella sub area 4 la quota piezometrica varia tra 3,0 m slm in corrispondenza del lato SO dell'area e 1,0 m slm in corrispondenza dello spigolo N. Le linee di flusso hanno direzione SO-NE e gradiente idraulico medio 0,003; la quota del piano campagna è variabile tra 19,0 e 23,0 m slm e la soggiacenza media della falda è 19,2 m.
- nella sub area 5 la quota del piano campagna è variabile tra 5,0 e 24,0 m slm mentre la quota piezometrica varia tra 2,5 m slm in corrispondenza del lato S dell'area e 0,5 m slm in corrispondenza dello spigolo N. Le linee di flusso hanno direzione S-N con un gradiente idraulico medio di 0,0027. La soggiacenza media è 11 m.

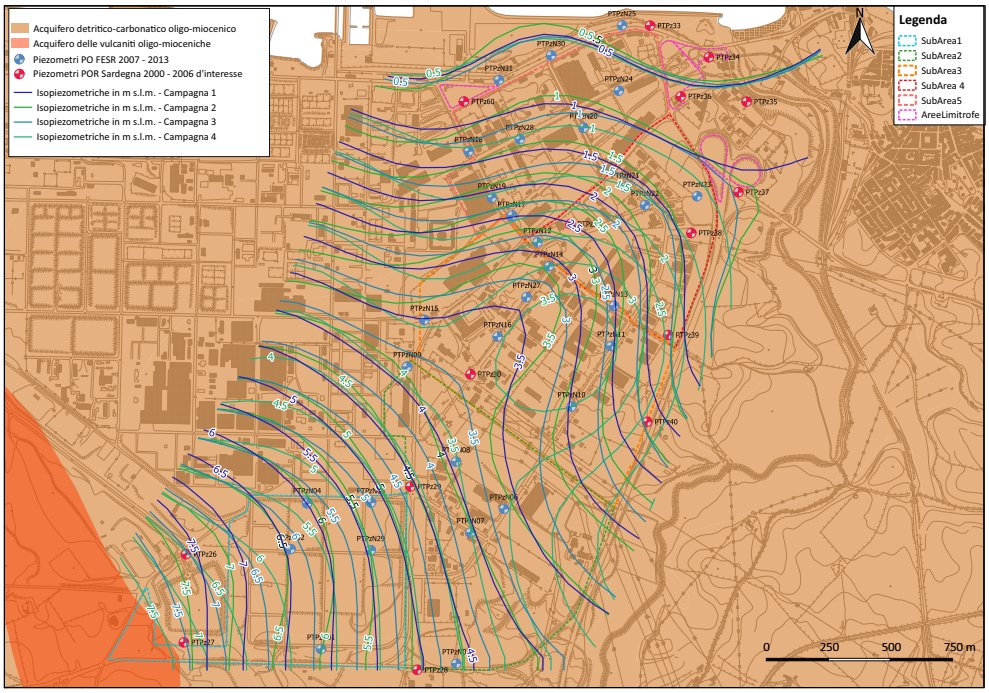


Figura 5. Carta delle isofreatiche dell'area consortile

I risultati delle prove Lefranc sono sintetizzati in Tabella 8 e in Figura 6.

Tabella 10. Riepilogo delle prove Lefranc eseguite durante le perforazioni

Piezometro	Profondità piezometro (m p.c.)	Tratto fessurato (m p.c.)		Profondità prova (m p.c)	Descrizione stratigrafica	k (m/s)
PTPzN04B	55	45.00-55.00	18.24	43.2	calcarenite alterata	1.31E-06
PTPzN06	25	15.00-25.00	22.5	23	calcarenite alterata	1.20E-05
PTPzN09B	55	45.00-55.00	17.1	17.5	calcarenite alterata	3.79E-05
PTPzN09B	55	45.00-55.00	17.1	46	calcarenite alterata	3.33E-05
PTPzN10	25	15.00-25.00	18.05	20	calcarenite alterata	4.77E-07
PTPzN12	30	20.00-30.00	15.5	19	calcarenite alterata	1.38E-06
PTPzN17B	55	45.00-55.00	22.3	46.3	calcarenite alterata	4.13E-08
PTPzN20	25	12.00-25.00	13.5	14.5	calcarenite alterata	1.61E-05
PTPzN23	30	15.00-30.00	19.6	22.7	calcarenite alterata	1.28E-06
PTPzN25	15	2.00-15.00	5.6	11.5	calcarenite alterata	4.28E-06
PTPzN31	15	2.00-15.00	6.2	10	calcarenite alterata	9.16E-08
PTPzN11[1]	30	18.00-30.00	16.3	10.5	sabbia fine limosa	5.07E-07
S_B2-1[2]	54	48.0-54.0		8.0	Ignimbrite alterata	1.06E-05
S_B2-1	54	48.0-54.0		21.0	Argilla	2.95E-07

Le misure effettuate nell'acquifero detritico-carbonatico oligo-miocenico mettono in evidenza una forte variabilità della conducibilità idraulica (da $3.79 \cdot 10^{-5}$ a $4.18 \cdot 10^{-8}$ m/s), imputabile all'eterogeneità delle calcareniti caratterizzate da differenti gradi di fessurazione ed alterazione. Il valore medio delle misure effettuate è $9.83 \cdot 10^{-6}$ m/s.

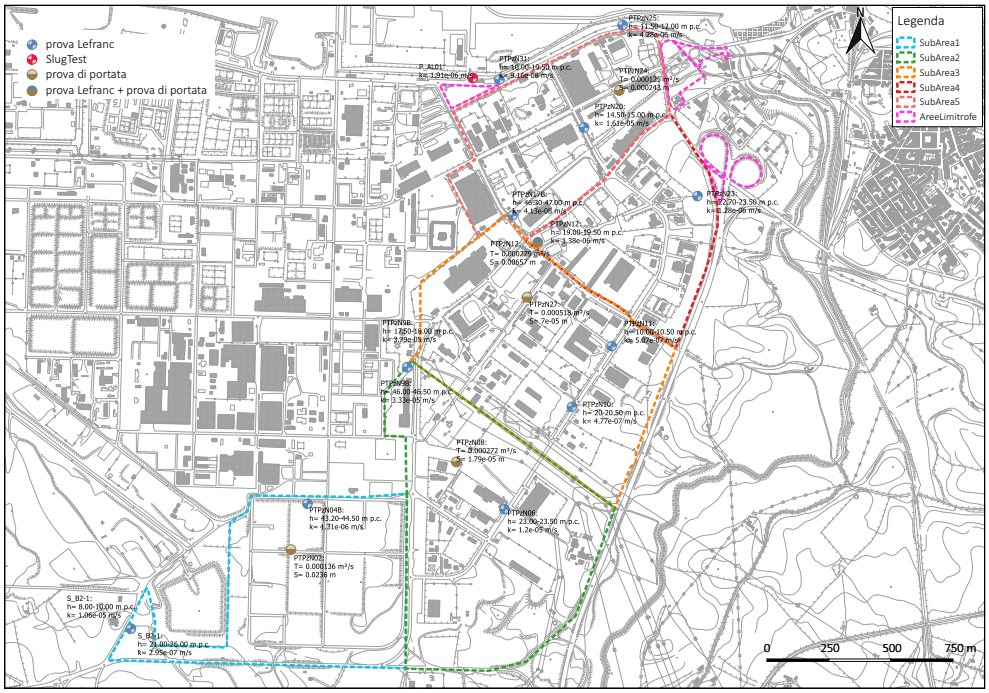


Figura 6. Localizzazione delle prove per la determinazione della conducibilità idraulica

[1] prova nel terreno insaturo
[2] prova nell'acquifero non produttivo delle vulcaniti oligo mioceniche

Nell'acquifero detritico-carbonatico oligo-miocenico sono state effettuate 6 prove di portata (Figura 6) i cui risultati sono riassunti in Tabella 11.

Tabella 11. Sintesi dei risultati delle prove di portata

Piezometro	Profondità piezometro [m p.c.]	T [m²/s]	S [m]	k [m/sec]
P_AL_01	15	3.82E-05		1.91E-6
PTPzN02	30	1.36E-04	2.36E-02	
PTPzN08	30	2.72E-04	1.79E-05	
PTPzN12	30	2.79E-04	6.57E-03	
PTPzN24	20	1.25E-04	2.43E-04	
PTPzN27	30	5.18E-04	7.00E-05	

4.3 Caratterizzazione del top soil

I risultati delle analisi chimiche effettuate sui campioni di top soil mostrano valori conformi ai limiti normativi (Tabella 1, colonna B dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del D. Lgs. 152/2006).

4.4 Caratterizzazione dei terreni

4.4.1 Premessa

La caratterizzazione della matrice terreni è stata effettuata all'interno delle aree liberi consortili[3] mediante campionamenti distribuiti arealmente secondo una maglia regolare. L'area complessivamente caratterizzata ammonta a 127 ettari e corrisponde alla parte pubblica dell'area totale delle sub aree che ammonta a 280 ettari.

L'intero spessore del terreno insaturo è stato caratterizzato attraverso la realizzazione di 212 sondaggi[4], corrispondenti ad un sondaggio ogni circa 6000 m^2 (Figura 7).

I 687 campioni di terreno prelevati dalle carote e i 21 campioni di top soil sono stati sottoposti ad analisi chimica.

[3] È stata utilizzata una maglia di 100x100 m ad eccezione di una parte della sub-area 4, oggetto di attività industriale pregressa, dove è stata utilizzata una maglia di 50x50 m

[4] 33 realizzati nell'ambito del Progetto PO FESR Sardegna 2007-2013 e 179 realizzati nell'ambito del Piano di indagine CIP Sassari

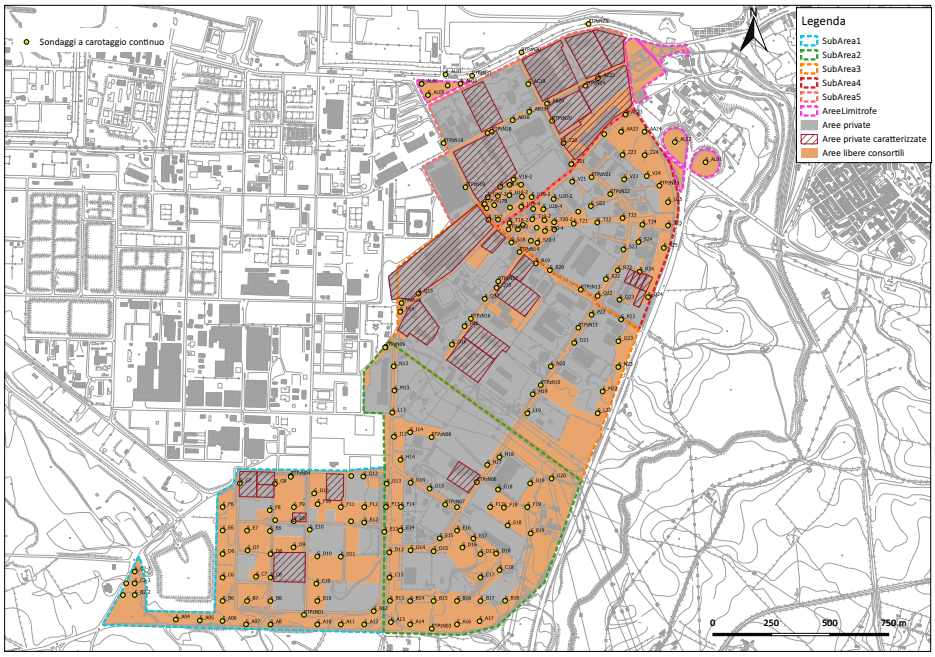


Figura 7. Aree libere consortili e sondaggi realizzati (Tavola 2)

4.4.2 Analisi chimiche

I risultati delle analisi chimiche effettuate sui campioni di terreno mettono in evidenza un unico superamento della CSC per il rame nel terreno superficiale (0-1 metro) e 15 superamenti della CSC per arsenico relativamente al terreno profondo (1-10 metri). I restanti parametri mostrano valori conformi ai limiti normativi (Tabella 1, colonna B dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del D. Lgs. 152/2006).

La Tabella 12 e la Figura 8 riportano la localizzazione dei sondaggi e la profondità a cui sono stati registrati i superamenti.

Tabella 12. Superamenti rilevati nella matrice terreno

Suolo superficiale			Descrizione della litologia di ritrovamento
Campione	Profondità	Rame	
		CSC: 600 mg/kg	
PTPzN07/1	0.0 - 1.0	980	Terreno di riporto costituito da ghiaia e clasti in matrice sabbioso limosa marroncina
Suolo profondo			
Campione	Profondità	Arsenico	
		CSC: 50 mg/kg	
PTPzN09/5	9.0 - 10.0	85	Limo argilloso debolmente sabbioso con clasti calcarei. Presenza di livelli limo sabbiosi di colore marrone ocraceo
PTPzN09B/3	4.0 - 5.0	62	Sabbia limosa con clasti di colore marrone chiaro localmente cementati. Presenza di livelli centimetrici limo argillosi
PTPzN09B/4	9.3 - 9.9	112	Limo argilloso debolmente sabbioso con clasti calcarei
PTPzN12/2	2.0 - 2.6	53	Limo sabbioso di colore marroncino con locale presenza di frammenti di calcarenite

PTPzN16/3	4.0 - 5.0	60	Argilla di colore marrone
PTPzN29/2	2.0 - 3.0	51	Argilla limosa di colore marrone con livelli di colore rosso, presenza di rari clasti e rari livelli sabbiosi
S_E12/C3	3.0 - 3.6	160	Sabbie con resti di sostanze organiche combuste - colore nero
S_A11/C2	2.0 - 3.0	260	Argille di colore bruno-verdastro con intercalcati sottili livelli sabbiosi
S_B17/C4	6.0 - 6.8	60	Limo argilloso e sabbioso molto consistente di colore dal marrone all'ocra
S_G19/C2	2.0 - 3.0	58	Limo argilloso, con livelli ghiaiosi, moderatamente consistente
S_H17/C4	6.0 - 7.0	82	Limo argilloso a tratti debolmente sabbiosi da moderatamente consistenti a consistenti di colore ocra verdastro
S_G15/C2	2.2 - 3.0	51	Limo argilloso e sabbioso, a letto anche ghiaioso, di colore marrone
S_M13/C3	4.0 - 5.0	75	Argilla moderatamente consistente di colore nocciola-marrone
S_P22/C3	4.0 - 5.0	61	Sabbia fine limosa con livelli sub-decimetrici arenacei e livelli decimetrici schiettamente limosi, colore ocra
S_L19/C3	4.2 - 5.0	76	Limo argilloso e sabbioso moderatamente consistente di colore ocra-verdastro

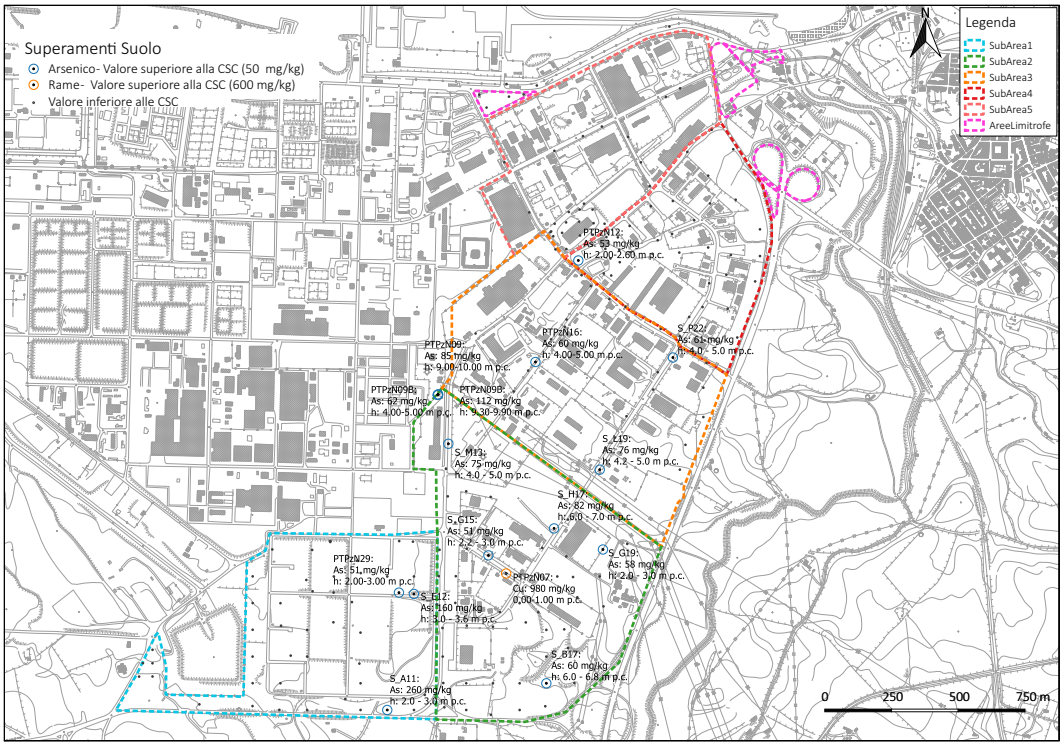


Figura 8. Superamenti delle CSC nella matrice terreno

4.4.3 Analisi fisiche

I risultati delle prove per la caratterizzazione geotecnica eseguite durante le campagne d'indagine (Progetto PO FESR Sardegna 2007-2013 e Piano di indagine CIP Sassari) sono sintetizzati in Tabella 13.

Tabella 13. Riepilogo dati geotecnici relativi ai campioni di terreno

Campione	SUB AREA	h (m da p.c)	Wr (%)	γr (kN/m^3)	G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	d10 (mm)	d30 (mm)	d60 (mm)	U (-)
S_A04 CG1	1	0.0-1.0	8.81	16.55	0.30	44.45	37.26	18.00	0.00	0.01	0.12	200.00
S_A04 CG2	1	3.0-4.0	11.66	16.00	0.55	49.61	41.84	8.00	0.00	0.02	0.08	21.43
PTPzN04B/G1	1	1.0-1.1	15.02	21.80	-	27.25	68.48	4.27	-	-	-	-
PTPzN04B/G2	1	3.0-3.1	11.71	21.90	-	39.33	58.76	1.91	-	-	-	-
PTPzN01/6	1	11.6-12.3	-	-	-	11.69	73.87	14.44	-	-	-	-
PTPzN02/5	1	13.0-14.0	-	-	-	80.87	17.30	1.83	-	-	-	-
PTPzN02/6	1	15.0-16.0	-	-	-	13.40	74.30	12.30	-	-	-	-
PTPzN04B/6	1	10.5-11.5	-	-	-	80.73	16.92	2.35	-	-	-	-
PTPzN05/5	1	11.8-12.5	-	-	-	88.31	10.61	1.09	-	-	-	-
PTPzN29/5	1	13.0-14.0	-	-	-	83.30	14.62	2.08	-	-	-	-
PTPzN29/6	1	15.0-15.5	-	-	-	85.23	13.08	1.70	-	-	-	-
SG19CG1	2	3.1-4.0	5.87	15.48	49.56	23.75	22.68	4.00	0.01	0.09	7.00	1014.5
SC18CG1	2	3.0-4.0	18.41	16.25	6.55	38.40	49.04	6.00	0.00	0.01	0.12	35.29
SC18CG2	2	11.0-12.0	15.18	14.19	4.05	28.32	57.63	10.00	0.00	0.01	0.03	14.00
SC18CG3	2	17.0-17.5	10.67	17.97	29.77	24.60	39.63	6.00	0.00	0.02	0.40	133.33
SL13CG1	2	0.0-1.0	6.32	14.98	21.71	33.74	30.55	14.00	0.00	0.02	0.25	250.00
SL13CG2	2	8.0-9.0	4.69	15.42	20.01	27.07	40.91	12.00	0.00	0.01	0.18	105.88
SL13CG3	2	10.6-10.9	22.08	19.91	7.61	31.20	42.19	19.00	0.00	0.00	0.05	130.00
PTPzN09B/G1	2	1.2-1.3	11.95	22.00	-	24.41	65.60	9.99	-	-	-	-
PTPzN03/G1	2	1.4-1.6	23.60	20.60	-	7.23	78.26	14.51	-	-	-	-
PTPzN06/6	2	11.5-12.5	-	-	-	94.03	5.97	0.00	-	-	-	-
PTPzN06/7	2	18.0-19.0	-	-	-	96.67	3.33	0.00	-	-	-	-
PTPzN06/G1	2	5.8-6.0	23.39	20.40	-	14.21	82.02	3.77	-	-	-	-
PTPzN07/6	2	17.5-18.5	-	-	-	15.76	72.89	11.35	-	-	-	-
PTPzN08/6	2	11.0-12.0	-	-	-	95.38	4.62	0.00	-	-	-	-
PTPzN08/7	2	15.0-16.0	-	-	-	96.24	3.76	0.00	-	-	-	-
PTPzN08/G1	2	1.2-1.4	16.95	21.40	-	23.20	62.69	14.11	-	-	-	-
SP22CG1	3	0.0-4.0	6.40	15.05	31.29	37.19	27.52	4.00	0.01	0.06	0.70	127.27
SQ17CG1	3	0.0-1.0	8.03	14.73	29.98	30.82	29.20	10.00	0.00	0.03	0.60	300.00
SQ17CG2	3	7.0-7.5	17.07	14.90	27.86	27.45	39.69	5.00	0.00	0.01	0.60	171.43
PTPzN10/6	3	14.0-15.0	-	-	-	87.41	11.16	1.43	-	-	-	-
PTPzN10/G1	3	1.3-1.5	20.63	20.80	-	13.34	80.87	5.79	-	-	-	-
PTPzN11/6	3	12.0-12.8	-	-	-	91.26	8.74	0.00	-	-	-	-
PTPzN13/6	3	10.0-11.0	-	-	-	9.95	85.33	4.71	-	-	-	-
PTPzN14/G1	3	1.0-1.2	17.15	21.50	-	18.10	71.44	10.46	-	-	-	-
PTPzN15/6	3	10.0-11.0	-	-	-	83.79	14.06	2.15	-	-	-	-
PTPzN15/G1	3	7.7-7.8	25.65	20.20	-	32.12	61.39	6.49	-	-	-	-
PTPzN16/G1	3	3.7-3.9	25.59	20.30	-	15.47	76.77	7.76	-	-	-	-
PTPzN27/6	3	10.0-11.0	-	-	-	82.50	15.38	2.12	-	-	-	-
SR23CG1	4	0.0-1.0	7.52	14.12	24.36	21.57	34.16	19.90	0.00	0.01	0.12	171.43
SR23CG2	4	3.5-4.0	20.43	14.53	0.40	12.01	71.59	16.00	0.00	0.01	0.03	35.56
SU_20/2CG1	4	0.0-0.6	7.99	14.29	29.90	27.24	30.86	12.00	0.00	0.02	0.50	333.33
PTPzN12/G1	4	0.7-0.9	15.95	21.20	-	23.94	65.33	10.73	-	-	-	-
PTPzN21/5	4	11.0-12.0	-	-	-	96.11	3.89	0.00	-	-	-	-
PTPzN21/G1	4	1.4-1.6	16.76	21.50	-	15.49	68.45	16.06	-	-	-	-
PTPzN21/G2	4	3.0-3.2	20.76	21.40	-	1.66	79.71	18.63	-	-	-	-
PTPzN22/6	4	11.0-12.0	-	-	-	95.76	4.24	0.00	-	-	-	-
PTPzN22/G1	4	1.0-1.2	13.30	22.40	-	19.65	69.34	11.01	-	-	-	-
PTPzN22/G2	4	3.0-3.2	14.21	21.90	-	29.78	64.80	5.42	-	-	-	-
SAB20CG1	5	6.0-6.5	8.58	14.55	14.30	41.52	34.18	8.00	0.00	0.02	0.50	178.57
SAB20CG2	5	12.5-13.0	18.45	20.64	9.67	32.43	50.90	7.00	0.00	0.01	0.10	32.76
S_T18/1 CG1	5	0.0-0.7	6.13	15.93	12.21	31.15	46.64	10.00	0.00	0.01	0.08	40.00

Campione	SUB AREA	h (m da p.c)	Wr (%)	γr (kN/m³)	G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	d10 (mm)	d30 (mm)	d60 (mm)	U (-)
S_T18/1 CG2	5	5.0-6.0	10.07	16.91	5.23	37.03	47.73	10.00	0.00	0.01	0.10	45.45
PTPzN18/G1	5	1.0-2.0	11.33	23.00	-	28.33	65.59	6.08	-	-	-	-
PTPzN19/6	5	12.0-13.0	-	-	-	60.53	34.47	5.00	-	-	-	-
PTPzN20/G1	5	1.4-1.6	16.82	22.10	-	45.10	50.39	4.51	-	-	-	-
PTPzN24/G1	5	3.0-3.4	20.21	20.90	-	34.72	60.92	4.36	-	-	-	-
PTPzN28/G1	5	0.5-0.8	7.40	22.80	-	68.32	26.48	5.20	-	-	-	-
PTPzN31/G1	5	1.4-1.6	13.02	22.40	-	45.06	45.16	9.78	-	-	-	-
S_AL-01 CG1	AL	7.0-8.0	15.31	18.01	16.61	34.70	43.68	5.00	0.00	0.02	0.16	41.03

h profondità di prelievo del campione; **Wr** umidità reale; **γ** peso di volume -metodo ASTM D5550 o peso di volume reale - CNR anno VII n°40-1973; **G** ghiaia; **S** sabbia; **L** limo; **A** argilla; **d10** diametro a cui corrisponde il 10% del passante; **d30** diametro a cui corrisponde il 30 % del passante; **d60** diametro a cui corrisponde il 60 % del passante; **U** coefficiente di uniformità.

Le analisi geotecniche hanno messo in evidenza che lo strato insaturo è caratterizzato da una granulometria tipica delle sabbie e sabbie limose (Figura 9 e Figura 10) con umidità compresa tra il 5% e il 25% con media di 14%.

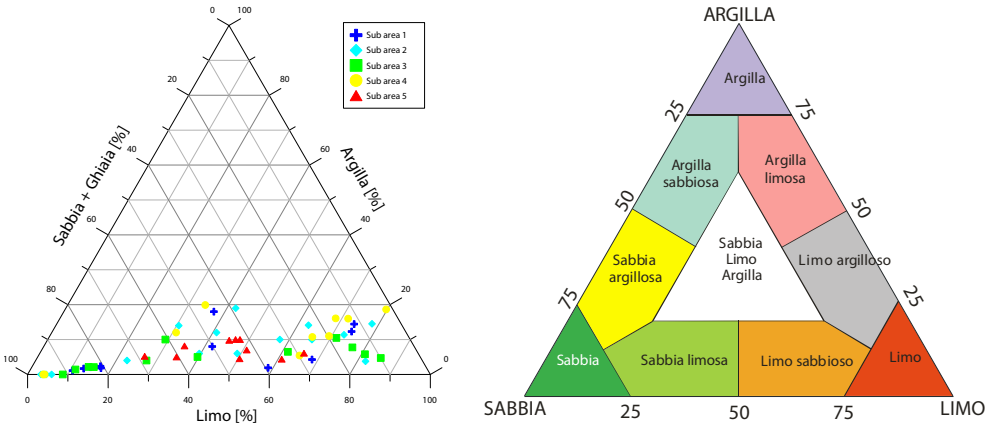


Figura 9. Classificazione dei campioni di terreno (SHEPARD)

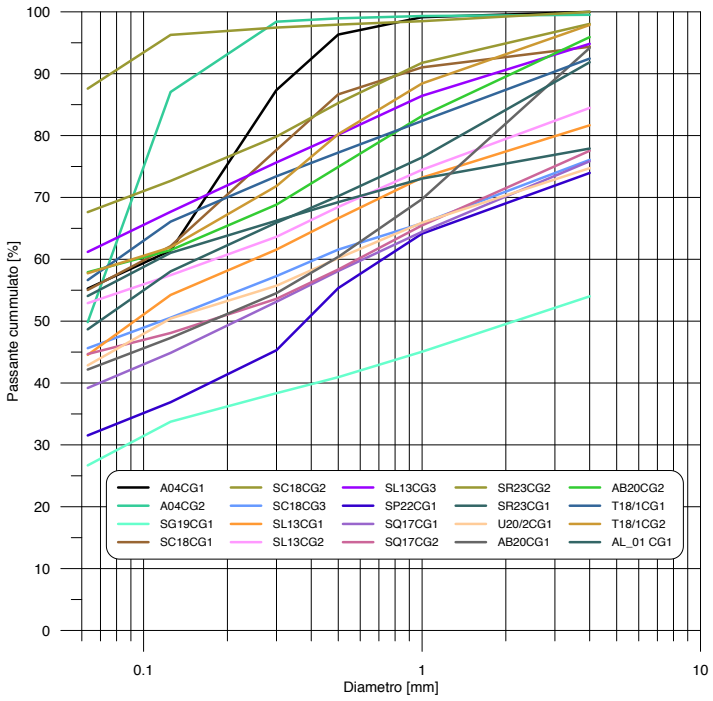


Figura 10. Curve granulometriche dei campioni prelevati

4.5 Caratterizzazione delle acque di falda

L'acqua di falda è stata caratterizzata mediante l'analisi di campioni prelevati nel set di piezometri composto da:

- 15 piezometri realizzati nell'ambito del Progetto POR Sardegna 2000 – 2006;
- 33 piezometri realizzati nell'ambito del Progetto PO FESR Sardegna 2007-2013;
- 2 realizzati nell'ambito del Piano di indagine CIP Sassari.

I piezometri sono distribuiti uniformemente sull'intera area ed hanno copertura areale (1 piezometro ogni 5.6 ettari) sufficiente a caratterizzare l'acquifero delle aree libere consortili.

I risultati delle analisi chimiche mettono in evidenza superamenti delle CSC (Tabella 2 dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del D. Lgs. 152/2006) in 34 campioni su 50. Per gli analiti non ricompresi nell'Allegato 5, i limiti normativi stabiliti dal D. Lgs. 152/2006 sono stati integrati con le concentrazioni presenti nella banca dati bonifiche dell'ISS. In Tabella 14 e in Figura 11 sono indicati i valori di concentrazione superiori alla CSC in riferimento a metalli e composti inorganici.

Tabella 14. Superamenti acque sotterranee – Metalli e inquinanti inorganici

Piezometro	Certificato	Solfati	Nitriti	Alluminio	Arsenico	Cromo esavalente	Ferro	Piombo	Selenio	Manganese
		mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Limiti D. Lgs 152/2016 parte IV, titolo V, allegato 5, Tabella 2		250	500	200	10	5	200	10	10	50
PTPz27	13-LA14236	181	<20	6	<1.0	**5.1**	<5.0	<1.0	1	<5.0
PTPz29	13-LA09876	**254**	20	<5.0	<1.0	1.7	<5.0	<1.0	<1.0	<5.0
PTPz33	13-LA10059	133	34	<5.0	**22**	<0.5	48	<1.0	<1.0	31
PTPz34	13-LA14417	199	<20	<5.0	1	0.7	<5.0	<1.0	<1.0	<5.0
PTPz36	13-LA14254	65	**1026**	10	1	3.8	**437**	<1.0	<1.0	9
PTPz60	13-LA09746	2	<5	10	**83**	<0.5	**1874**	<1.0	<1.0	**439**
PTPzN01	13-LA10201	79	43	9	<1.0	4.1	<5.0	**56**	<1.0	23
PTPzN04B	13-LA14409	**286**	<20	<5.0	<1.0	1.5	6	<1.0	<1.0	<5.0
PTPzN08	13-LA13440	**351**	<20	<5.0	1	1.1	12	<1.0	2	<5.0
PTPzN09B	13-LA13444	192	<20	8	<1.0	2.7	<5.0	1	<1.0	**88**
PTPzN11	13-LA14228	136	57	<5.0	<1.0	**5.1**	5	<1.0	<1.0	<5.0
PTPzN16	13-LA13456	148	<20	6	<1.0	3.5	**282**	<1.0	1	6
PTPzN18	13-LA14234	44	<20	7	3	**8**	5	<1.0	<1.0	<5.0
PTPzN23	13-LA14214	64	<20	<5.0	<1.0	**5.3**	6	<1.0	<1.0	<5.0
PTPzN25	13-LA13154	**387**	29	6	1	<0.5	<5.0	<1.0	<1.0	**90**
PTPzN27	13-LA14224	92	39	8	<1.0	**5.2**	71	2	<1.0	<5.0
PTPzN31	13-LA13274	**319**	<20	9	1	<0.5	41	<1.0	1	**162**
P_AL_01	16LA04192	53	<50	**430**	**41**	<0.5	340	<1	5.9	**210**
S_B2/1	16LA04530	**360**	<50	36	2.8	1.8	<10	1.6	**14**	<5

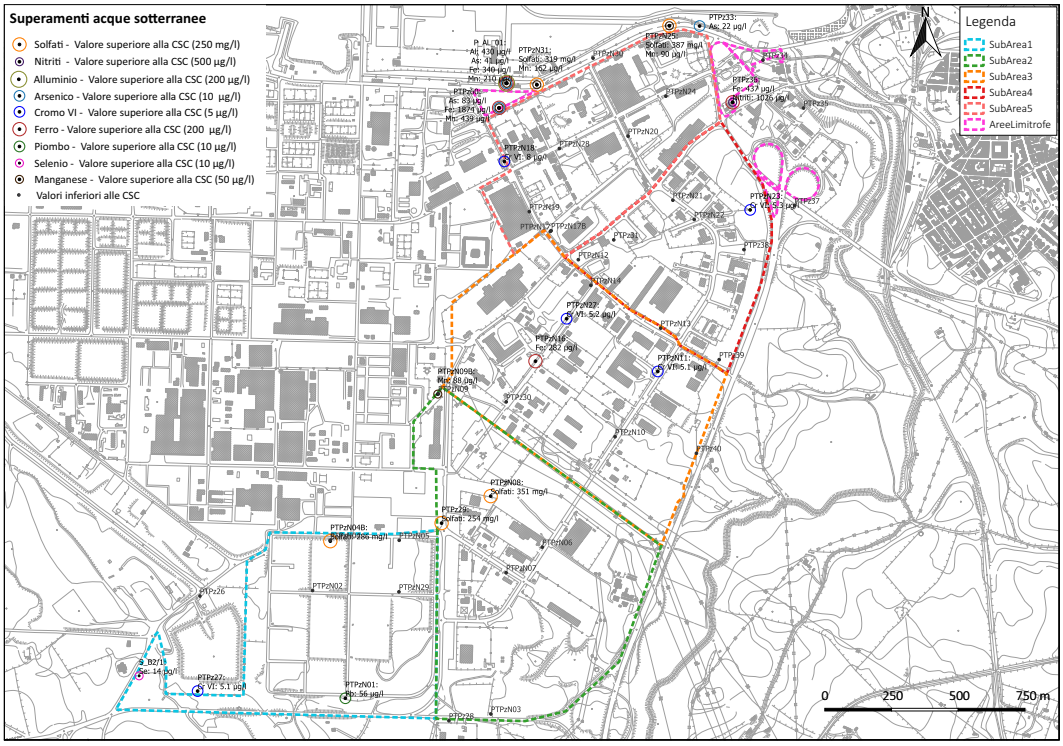


Figura 11. Superamenti acque sotterranee – Metalli e inquinanti inorganici (Tavola 12)

In Tabella 15 e in Figura 12 sono indicati i valori di concentrazione superiori alla CSC in riferimento a composti organici aromatici e clorobenzeni.

Tabella 15. Superamenti acque sotterranee – Composti organici aromatici e Clorobenzeni

Descrizione	Codice	Benzene	Etilbenzene	Stirene	Toluene	para xilene	Xilene (o)	1,2-dicloroetilene	1,2-dicloropropano	Esaclorobenzene
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Limiti D. Lgs 152/2016 parte IV, titolo V, allegato 5, tabella 2		1	50	25	15	10	10	60	0.15	0.01
PTPz27	13-LA14236	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.08	<0.015	<0.01
PTPz29	13-LA09876	3	13.92	3.3	0.63	26.24	5.09	9.24	1.24	<0.01
PTPz60	13-LA09746	4165.2	12365.3	1285.8	569.3	15805.2	3218.3	0.39	<0.015	<0.01
PTPzN01	13-LA10201	1.24	11.51	<0.10	0.73	12.82	3.55	0.11	<0.015	<0.01
PTPzN04	13-LA14415	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	50	1.64	<0.01
PTPzN04B	13-LA14409	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	303	10.5	<0.01
PTPzN12	13-LA14248	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.08	<0.015	3.3

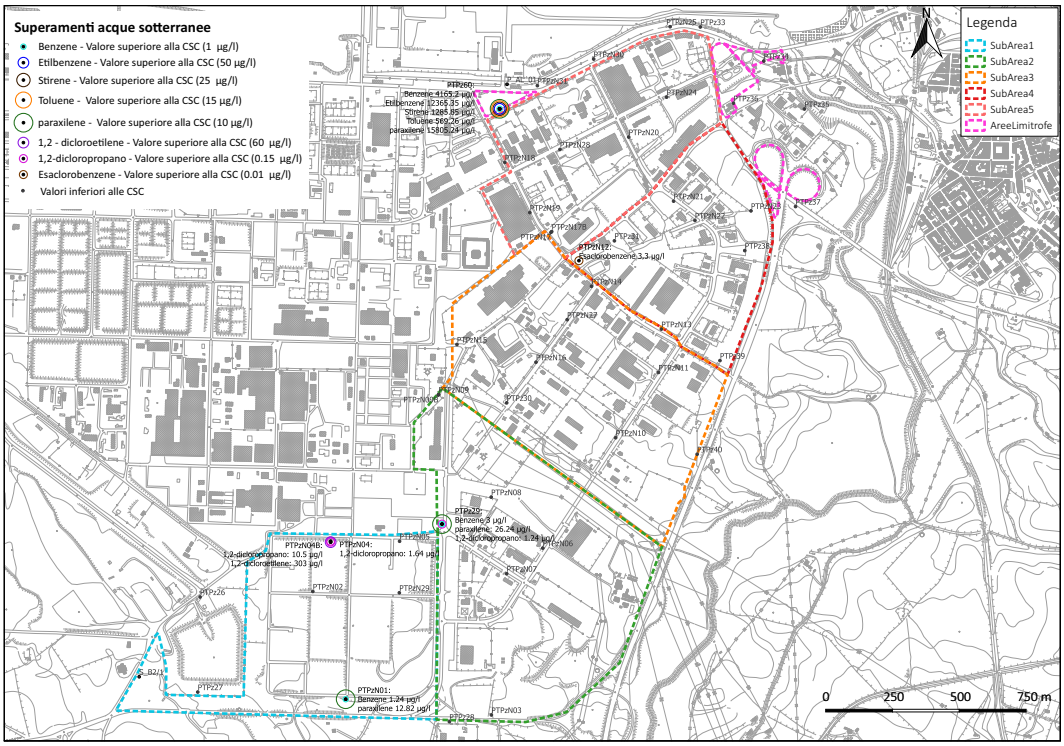


Figura 12. Superamenti acque sotterranee – Composti organici aromatici e Clorobenzeni (Tavola 13)

In Tabella 15 e in Figura 12 sono indicati i valori di concentrazione superiori alla CSC in riferimento a solventi aromatici, composti alifatici clorurati cancerogeni e idrocarburi totali.

Tabella 16. Superamenti acque sotterranee – Solventi aromatici, Alifatici clorurati cancerogeni e Idrocarburi totali

Descrizione	Codice	1,2,4 trimetilbenzene	Isopropilbenzene	Diclorometano	Triclorometano	Cloruro di vinile	1,1-dicloroetilene	Tetracloroetilene	Tricloroetilene	Sommatoria organoalogenati	Idrocarburi totali (come n-esano)
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Limiti D. Lgs 152/2016 parte IV, titolo V, allegato 5, tabella 2		10*	50*	0,15*	0.15	0.5	0.05	1.1	1.5	10	350

Descrizione	Codice	1,2,4 trimetilbenzene	Isopropilbenzene	Diclorometano	Triclorometano	Cloruro di vinile	1,1-dicloroetilene	Tetracloroetilene	Tricloroetilene	Sommatoria organoalogenati	Idrocarburi totali (come n-esano)
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
PTPz29	13-LA09876	0.08	3.87	<0.1	**1.02**	<0.05	**0.25**	**1.92**	0.84	4.1	<35.0
PTPz30	13-LA09878	<0.05	0.43	<0.1	**0.33**	<0.05	<0.05	<0.05	0.9	1.33	<35.0
PTPz34	13-LA14417	<0.05	<0.05	<0.1	**0.3**	<0.05	<0.05	0.16	0.37	0.895	<35.0
PTPz38	13-LA14496	<0.05	<0.05	<0.1	**0.65**	<0.05	<0.05	<0.05	0.25	0.995	<35.0
PTPz39	13-LA12821	<0.05	0.14	<0.1	**0.181**	<0.05	<0.05	<0.05	0.39	0.666	<35.0
PTPz60	13-LA09746	**15.38**	**3536.6**	<0.1	<0.015	0.09	**0.097**	<0.05	<0.03	0.279	**2514.8**
PTPzN01	13-LA10201	<0.05	<0.05	<0.1	<0.015	<0.05	<0.05	<0.05	<0.03	0.118	**1608.7**
PTPzN04	13-LA14415	<0.05	<0.05	**0.2**	**2.57**	<0.05	**2.08**	**11.2**	**6.3**	**22.2**	<35.0
PTPzN04B	13-LA14409	<0.05	<0.05	<0.1	**10.5**	**0.78**	**7.1**	**49**	**27.8**	**95.5**	<35.0
PTPzN06	13-LA14429	<0.05	<0.05	<0.1	**1.32**	<0.05	<0.05	<0.05	<0.03	1.43	52.91
PTPzN07	13-LA14431	<0.05	<0.05	<0.1	**10.8**	<0.05	<0.05	<0.05	<0.03	**10.9**	35.65
PTPzN08	13-LA13440	<0.05	<0.05	<0.1	**0.6**	<0.05	<0.05	0.23	<0.03	0.915	<35.0
PTPzN10	13-LA14427	<0.05	<0.05	<0.1	**0.175**	<0.05	<0.05	0.26	0.5	1.01	<35.0
PTPzN11	13-LA14228	0.05	<0.05	<0.1	**0.29**	<0.05	<0.05	0.08	**1.64**	2.08	<35.0
PTPzN13	13-LA13448	<0.05	<0.05	<0.1	**0.61**	<0.05	<0.05	0.23	0.35	1.26	<35.0
PTPzN14	13-LA13436	<0.05	<0.05	<0.1	**1.39**	<0.05	<0.05	0.27	0.3	2.03	<35.0
PTPzN15	13-LA14232	<0.05	<0.05	<0.1	**1.77**	<0.05	<0.05	<0.05	<0.03	1.88	<35.0
PTPzN18	13-LA14234	<0.05	<0.05	<0.1	**0.172**	<0.05	<0.05	<0.05	<0.03	0.282	<35.0
PTPzN19	13-LA13295	<0.05	<0.05	**0.6**	**0.25**	0.28	<0.05	0.48	0.09	1.38	<35.0
PTPzN22	13-LA14425	<0.05	<0.05	<0.1	**0.98**	<0.05	<0.05	0.24	0.37	1.66	<35.0
PTPzN23	13-LA14214	<0.05	<0.05	**0.2**	**0.49**	<0.05	<0.05	<0.05	0.16	0.746	<35.0
PTPzN24	13-LA13669	<0.05	<0.05	<0.1	0.115	<0.05	<0.05	<0.05	<0.03	0.225	**392.6**
PTPzN27	13-LA14224	<0.05	<0.05	<0.1	**3.1**	<0.05	<0.05	<0.05	0.7	3.9	<35.0
PTPzN28	13-LA14222	0.07	<0.05	<0.1	**0.184**	<0.05	<0.05	0.13	<0.03	0.446	<35.0
S_B2/1	16LA04530	<1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.01	<1	**960**

* limiti banca dati bonifiche ISS per le sostanze non comprese nel D.Lgs. 152/06

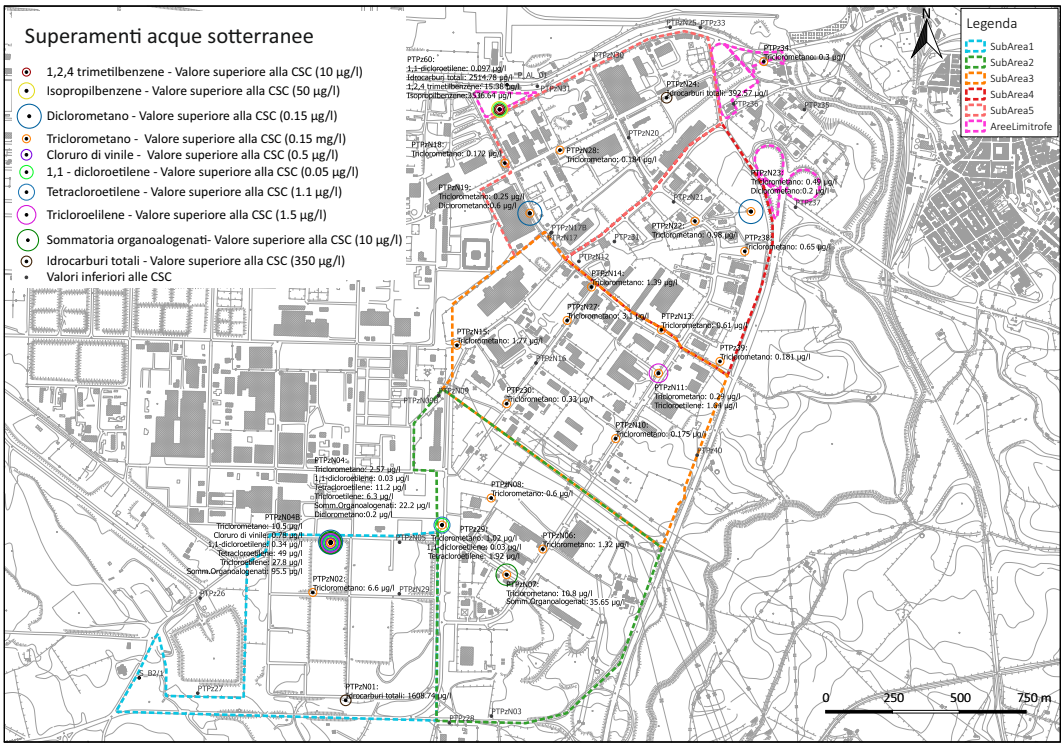


Figura 13. Superamenti acque sotterranee – Solventi aromatici, Alifatici clorurati cancerogeni e Idrocarburi totali (Tavola 14)

4.6 Validazioni delle procedure di campionamento e di caratterizzazione analitica

Le attività di campionamento sono state verificate dai tecnici di ARPAS i quali hanno anche proceduto a acquisire i campioni di suolo nella misura concordata per l'esecuzione delle analisi chimiche.

Con comunicazione del 03-11-2017 (Protocollo Partenza N. 36984/2017) il dipartimento ARPAS Sassari – Gallura ha trasmesso la Relazione di validazione analitica in cui, in riferimento ai suoli, vengono giudicate valide sia l'attività di campionamento sia quella di caratterizzazione analitica.

Relativamente alle acque sotterranee, il campionamento e l'analisi sono state validate nell'ambito della procedura svolta dalla RAS (Progetto PO FESR Sardegna 2007-2013).

5 MODELLO CONCETTUALE DEFINITIVO

5.1 Premessa

Il modello concettuale dell'intero Polo Industriale di Porto Torres è stato definito nell'ambito del Progetto PO FESR Sardegna 2007-2013[5], attraverso l'aggiornamento del quadro conoscitivo emerso dai risultati delle indagini condotte nel corso del 2013. Tale modello è rappresentativo dell'area vasta, che comprende l'intero sito industriale di Porto Torres ed i territori limitrofi. In esso vengono descritte:

- l'assetto geologico ed idrogeologico;
- le sorgenti primarie di contaminazione ovvero le attività industriali, attive o dismesse, che possono generare o aver generato la contaminazione delle matrici ambientali;
- le opere di prevenzione o riduzione dell'inquinamento – opere di messa in sicurezza di emergenza (MISE) o permanenti (MISP);
- le sorgenti secondarie di contaminazione, ovvero lo stato di contaminazione delle matrici ambientali suolo, sottosuolo e acque sotterranee;
- le possibili vie di migrazione degli inquinanti nell'ambito delle matrici ambientali;
- i bersagli ambientali individuati nel territorio del sito industriale di Porto Torres e le modalità di esposizione di tali bersagli alla contaminazione.

Sulla base di tali conoscenze, il polo industriale è stato suddiviso in aree omogenee individuate, dal punto di vista geometrico, utilizzando il reticolo informativo dei sondaggi effettuati nell'ambito del POR Sardegna 2000-2006 e nell'ambito del Progetto PO FESR Sardegna 2007-2013.

La delimitazione delle aree omogenee è stata definita sulla base della maglia dei poligoni Thiessen profondi, cioè relativi a strati a profondità maggiore di 1m da piano campagna, delimitati sulla base dei dati di campo raccolti per le aree localizzate all'esterno delle proprietà industriali. La dimensione di ciascuna area deriva quindi dalla somma delle estensioni dei poligoni considerati come omogenei e di conseguenza accorpati. La scelta di fare riferimento a tale maglia geometrica, basata sugli scavi e i piezometri realizzati, è legata al fatto che queste indagini forniscono un quadro più completo circa lo stato delle matrici suolo e acque sotterranee.

Le aree corrispondenti ai Centri Di Pericolo (CDP) primari, che rappresentano le sorgenti primarie di contaminazione, sono state ricomprese in un'unica area omogenea (area omogenea 13),

[5] Relazione di Sintesi – Parte B (PT-RT-RSB.05)

all'interno della quale non sono stati individuati poligoni di Thiessen, né effettuate ulteriori suddivisioni.

Le aree di pertinenza del Consorzio Industriale Provinciale di Sassari (Aree Libere Consortili) coincidono con l'*Area omogenea 8: area CISP*. Nel modello concettuale dell'area vasta, tale area risulta confinante:

- ad est con l'area omogenea 13, sede di centri di pericolo primari del settore orientale ovvero le aree di proprietà Syndial e società coinsediate, caratterizzata da una contaminazione del suolo attribuibile principalmente alla presenza di diverse famiglie di sostanze organiche di sintesi (in particolare idrocarburi totali, idrocarburi aromatici - BTEX, idrocarburi alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni). È presente inoltre una contaminazione da metalli, in particolare l'arsenico, il mercurio e lo zinco, anche se meno importante e meno diffusa rispetto a quella relativa ai contaminanti organici;
- a sud con l'area omogenea 6, caratterizzata da una generale omogeneità dello stato di qualità del suolo e sottosuolo, con assenza di potenziale contaminazione rispetto ai limiti di riferimento per la colonna B (uso industriale) di cui al D. Lgs 152/2006, mentre la contaminazione delle acque sotterranee, sebbene l'informazione non sia omogeneamente distribuita sull'intera area, è prevalentemente attribuibile alla presenza di alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni;
- ad ovest con l'area omogenea 9, esterna alla perimetrazione del SIN che comprende l'abitato di Porto Torres e le area a sud dell'abitato. In tale area i suoli risultano contaminanti (rispetto alla colonna A della Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D. Lgs. 152/2006) da metalli, IPA e idrocarburi pesanti mentre nel sottosuolo sono stati riscontrati superamenti per l'arsenico. Le acque dell'acquifero detritico carbonatico miocenico risultano contaminate, soprattutto nelle aree dell'abitato e in quelle fronte mare per vari contaminanti (prevalentemente alifatici clorurati e metalli, incluso CrVI);
- a nord con l'area omogenea 11 e con il mare. L'area omogenea 11 è rappresentata dalla fascia costiera a valle dei centri di pericolo primari del settore orientale ed ha destinazione d'uso di tipo industriale. In tale aree sono stati riscontrati superamenti della CSC per il suolo in riferimento a mercurio e zinco. La contaminazione delle acque sotterranee risulta diffusa ed eterogenea in cui si riscontrano superamenti per sostanze inorganiche, in parte di possibile origine naturale (solfati e manganese) e per sostanze organiche si sintesi, in prevalenza alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni, con possibile volatilizzazione nel gas interstiziale e nell'aria ambiente.

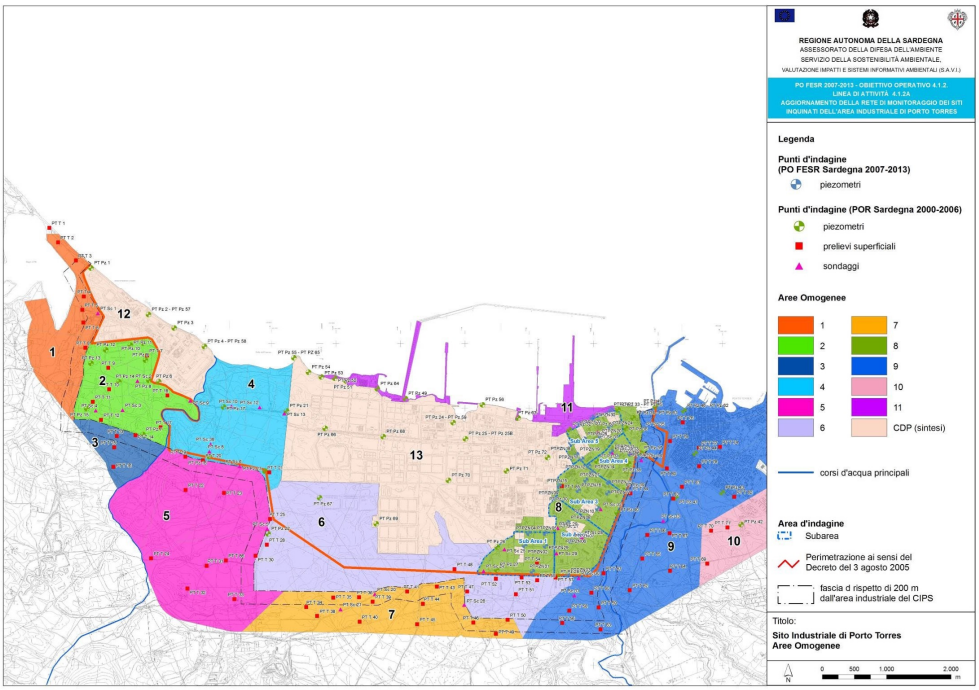


Figura 14. Aree omogenee individuate per la descrizione del modello concettuale di dettaglio dell'area di Porto Torres- Progetto PO FESR Sardegna 2007 – 2013

Nel seguito viene presentato il modello concettuale definitivo delle aree libere consortili, sviluppato a partire dal modello dell'area omogenea 8 e sulla base dei risultati delle indagini condotte dal CIP Sassari nel corso del 2016 e descritte nei capitoli precedenti.

5.2 Assetto geologico ed idrogeologico

La geologia dell'area consortile è costituita prevalentemente dalle formazioni appartenenti alla Successione Sedimentaria Oligo-Miocenica del Logudoro-Sassarese (Figura 15, Tavola 4, 5 e 6):

- ***RESb*** - Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Arenarie e conglomerati a cemento carbonatico, fossiliferi e bioturbati. Intercalazioni di depositi sabbioso-arenacei quarzoso-feldspatici a grana medio - grossa, localmente ricchi in ossidi di ferro (Ardara-Mores). Ambiente litorale. BURDIGALIANO SUP.
- ***RESa*** - Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi. Calcari nodulari a componente terrigena, variabile, con faune a gasteropodi (Turritellidi), ostreidi ed echinidi (Scutella, Amphiope) ("Calcari inferiori" Auct.). Ambiente litorale. BURDIGALIANO SUP.

Limitatamente alla sub area 1 sono presenti anche le formazioni (Figura 15):

- **h1i**-Depositi antropici. Discariche industriali. OLOCENE;
- **b**-Depositi alluvionali. OLOCENE;
- **CZS** - UNITÀ DI CANDELAZZOS: Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbritica, pomico-cineritici, prevalentemente non saldati, di colore grigio-violaceo. BURDIGALIANO. Appartenenti al Distretto Vulcanico di Capo Marargiu.

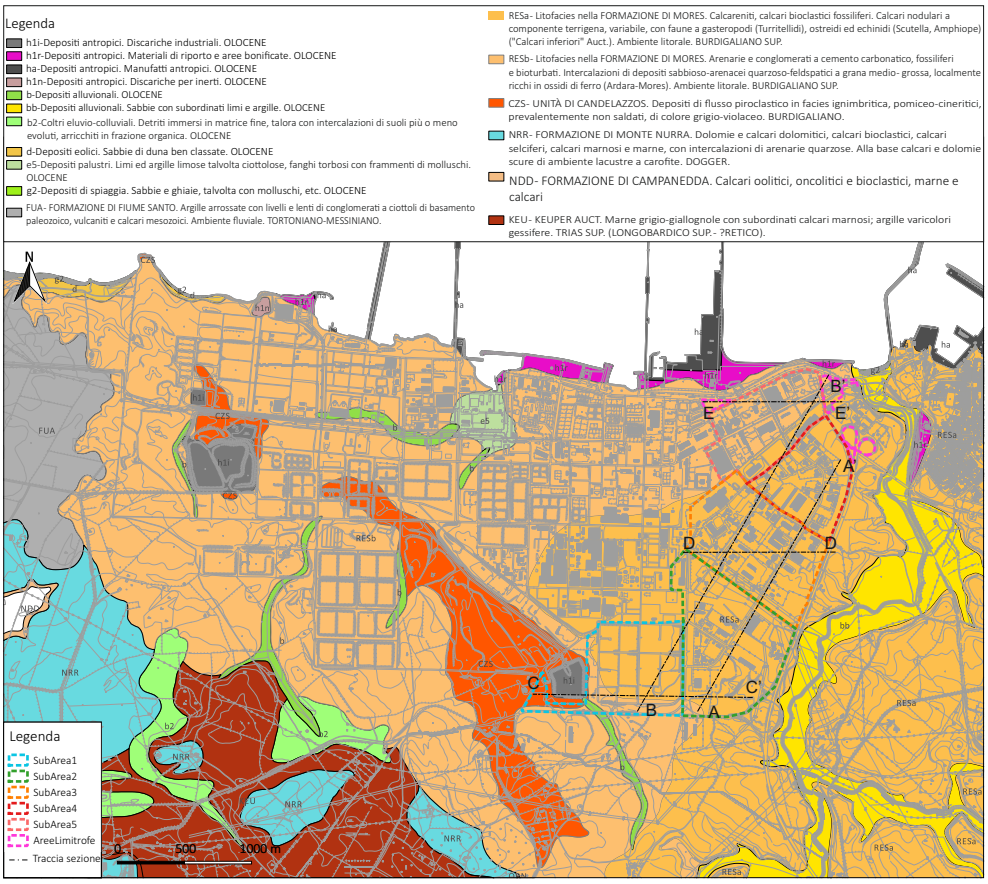


Figura 15. Carta geologica dell'area di interesse (Tavola 4)

La circolazione idrica sotterranea è fortemente condizionata dalla struttura tettonica: le faglie fungono, in taluni casi, da via preferenziale di comunicazione tra gli acquiferi ed in altri ne determinano l'isolamento per effetto dei riempimenti argillosi anche molto potenti (fino a 40 m). Il quadro conoscitivo attuale dell'area individua cinque unità idrogeologiche che corrispondono a 5 differenti litotipi:

- l'acquifero alluvionale miocenico;
- l'acquifero delle vulcaniti oligo-mioceniche;
- l'acquifero carbonatico mesozoico;
- l'acquifero detritico-carbonatico oligo-miocenico;

- l'acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario della Nurra.

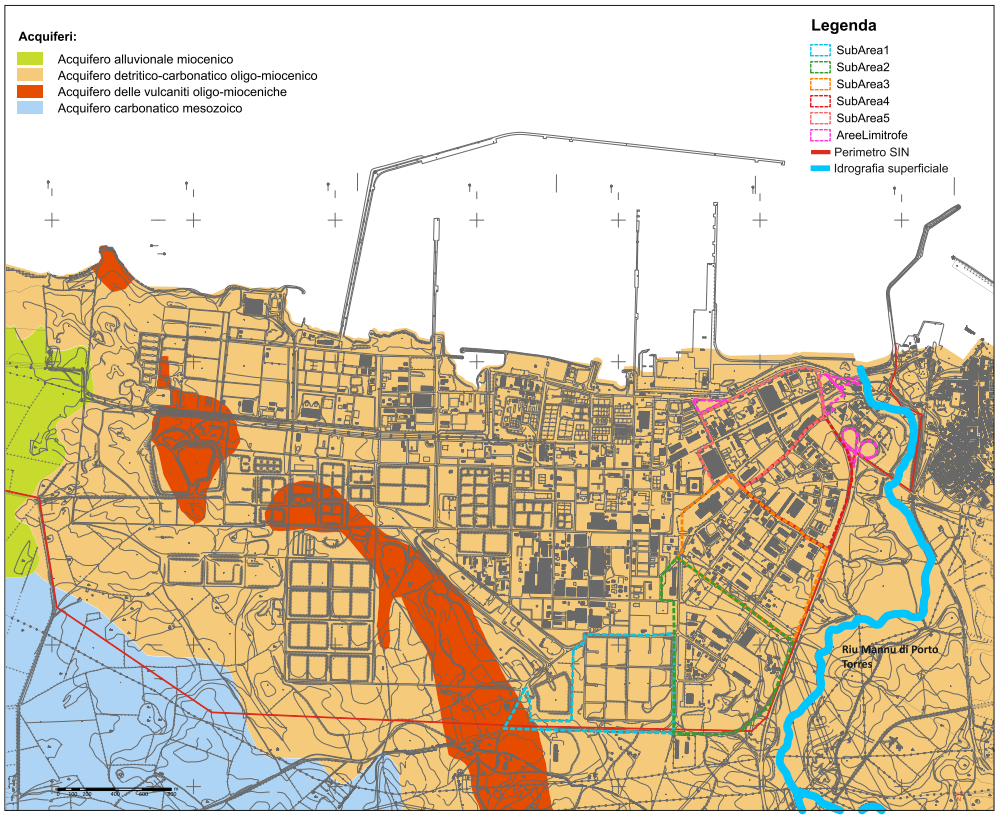


Figura 16. Acquiferi affioranti (Tavola 7)

I primi due hanno caratteristiche idrogeologiche di acquitardo/acquiclude, a cui si associano valori di permeabilità bassa e molto bassa e una circolazione idrica assente o comunque non apprezzabile.

L'acquifero carbonatico mesozoico è il più profondo e ha sede nella successione carbonatica mesozoica; esso affiora nella zona sud occidentale nel bacino idrografico del Fiume Santo. Tale acquifero ha una potenza di circa cento di metri e una permeabilità secondaria per fratturazione e carsismo.

L'acquifero detritico-carbonatico oligo-miocenico è impostato in parte su materiale sciolto detritico, presente in prevalenza in superficie, e in parte su roccia, arenaria o calcarenite presente più in profondità. La base del complesso è presumibilmente costituita da un livello conglomeratico di spessore approssimativo di 8-12 metri, che poggia sulle vulcaniti terziarie dotate di scarsissima permeabilità. L'acquifero ha una potenza variabile tra i 10 ed i 70 metri e presenta una permeabilità primaria per porosità ed una secondaria per fessurazione e carsismo con conducibilità idraulica compresa tra $1 \cdot 10^{-4}$ e $1 \cdot 10^{-5}$ m/s.

La direzione del deflusso idrico è verso il mare con una direttrice generale NNE, fortemente influenzata dalla distribuzione stratigrafica e areale dei terreni meno impermeabili.

Al centro sud dell'area industriale, si riscontra un contatto tettonico tra l'insieme di terreni sedimentari miocenici ed il sistema vulcanitico oligo-miocenico. La linea di contatto si sviluppa in direzione NO-SE e costituisce uno spartiacque idrogeologico che limita l'alimentazione sotterranea diretta della falda calcarenitica.

L'acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario della Nurra è un acquifero freatico, impostato sui depositi alluvionali lungo i corsi d'acqua, di spessore variabile fino a 20 metri, dove la falda si attesta in media pochi metri al di sotto del piano campagna. L'acquifero è sede di circolazione idrica variabile nel tempo e nello spazio ed il suo grado di permeabilità si attesta su valori, molto disuniformi, attorno a $1 \cdot 10^{-4}$-$1 \cdot 10^{-6}$ m/s. La variabilità della circolazione idrica in questo acquifero è legata alla sua alimentazione, di tipo diretto tramite infiltrazione superficiale e sversamenti provenienti del sistema idrografico.

Le indagini effettuate nell'ambito dei piani di indagine PO FESR Sardegna 2007-2013 e CIP Sassari hanno confermato che il sottosuolo delle aree libere è costituito dalla Formazione di Mores (unità sedimentaria oligo-miocenica del Logudoro Sassarese) costituita da calcareniti variamente alterate, alternate a limi, limi argillosi, argille e sabbie argillose. In tale formazione si sviluppa l'acquifero detritico-carbonatico oligo-miocenico la cui base è costituita dalle vulcaniti terziarie impermeabili.

La permeabilità di questo acquifero è localmente molto variabile a causa della variabilità spaziale della fratturazione e alterazione delle calcareniti. Le misure effettuate hanno evidenziato valori compresi fra $3.79 \cdot 10^{-5}$ e $4.18 \cdot 10^{-8}$ m/s.

Nelle aree libere, il deflusso sotterraneo è diretto complessivamente da Sud-Ovest verso Nord-Est con gradiente idraulico variabile da 0.002 a 0.003.

5.3 Sorgenti primarie di contaminazione (centri di pericolo - CDP)

Le sorgenti primarie della contaminazione sono rappresentate dai centri di pericolo ubicati nell'area di interesse. I centri di pericolo (primari e secondari) sono individuati e descritti nella Relazione di Caratterizzazione Ambientale RCA (PT - RT – RCA.01) del Progetto PO FESR Sardegna 2007-2013 (aprile 2014). Sono considerati centri di pericolo primari le aree di insediamento di aziende di dimensioni rilevanti e/o coinvolte in attività produttive particolarmente pericolose dal punto di vista ambientale; sono considerati centri di pericolo secondari aree in cui sono insediate

aziende di dimensioni ridotte e/o che operano nell'ambito di processi produttivi potenzialmente meno impattanti.

I centri di pericolo primari ubicati nelle aree del Consorzio Industriale Provinciale di Porto Torres sono rappresentati dai siti delle seguenti aziende: Verde Vita, Petroltecnica Sardegna, Pb Oil, ENI SpA, Esso Italiana, Butan Gas, Liquid Gas e R.I.T. produzione di polietilene e PVC.

Essi sono indicati in Figura 17, mentre in Allegato 1, per ognuno di essi, sono riportate le informazioni rilevanti.

Oltre ai centri di pericolo primari, sono stati individuati numerosi centri di pericolo secondari rappresentati da siti in cui si svolgono attività afferenti a vari settori, dalla meccanica all'elettrotecnica, dalle produzioni per l'edilizia alle lavorazioni chimiche.

Oltre ai centri di pericolo ubicati nelle aree libere sono da considerare quelli ubicati nelle aree limitrofe ed in particolare il sito industriale Syndial situato ad Ovest.



Figura 17. Centri di pericolo all'interno delle aree libere consortili (Tavola 9)

5.4 Sorgenti secondarie di contaminazione

Le matrici ambientali contaminate rappresentano le sorgenti secondarie di contaminazione.

In riferimento ai terreni, i risultati delle analisi effettuate su 687 campioni mettono in evidenza che:

- nel top soil non sono presenti superamenti dei limiti normativi;
- nella matrice terreno superficiale (fino a 1 m di profondità) è stato rilevato un solo punto di non conformità per il rame (PTPzN07/1 – 980 mg/kg) (Tavola 10);
- nella matrice terreno profondo (profondità > 1 m) sono stati rilevati 15 punti di non conformità per l'arsenico (Tavola 11).

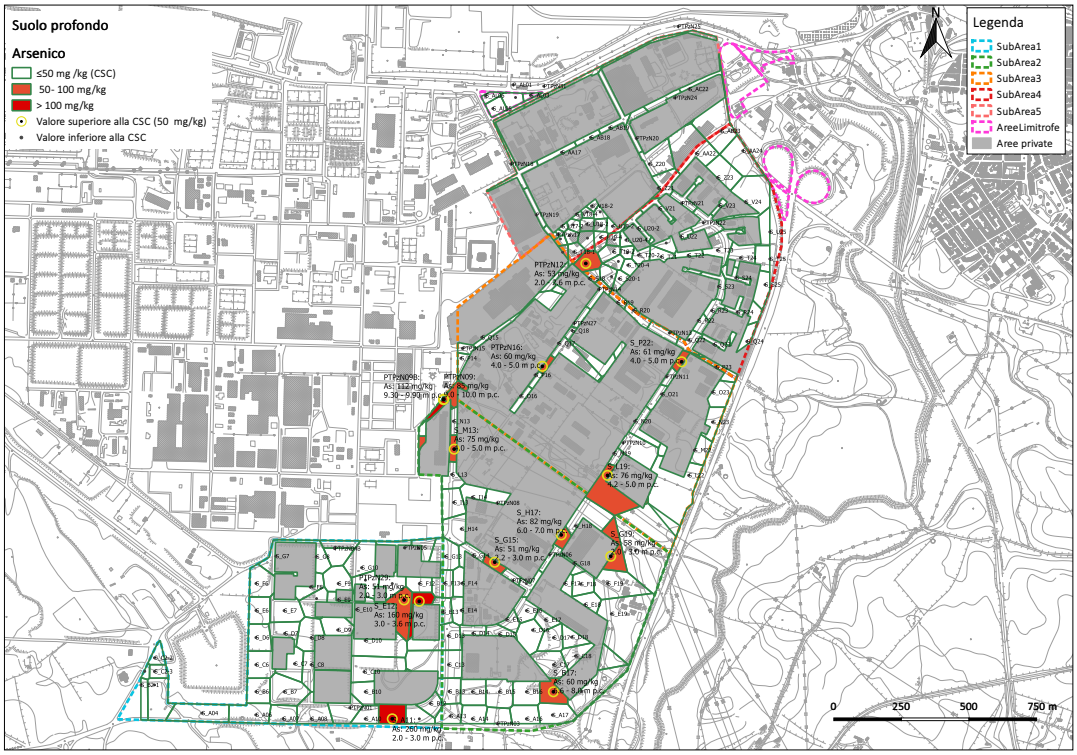


Figura 18. Poligoni di Thiessen – terreno profondo (Tavola 11)

Relativamente al ritrovamento di concentrazioni superiori alla CSC del rame, si osserva che tale elemento è fortemente calcofilo (bassa affinità per l'ossigeno) e tende facilmente a legarsi con lo zolfo formando solfuri altamente insolubili.

Si ritrova in natura, associato con il piombo, lo zinco, l'arsenico, il selenio ed il nichel in depositi a solfuri ed è dotato di una mobilità intermedia, controllata da assorbimento e coprecipitazione su ossidi di ferro e manganese.

La sua presenza è da attribuirsi, con elevata probabilità, alla composizione mineralogica del detrito costituente il riporto, considerata la prossimità del sito a formazioni di rocce vulcaniche caratterizzate da mineralizzazioni a solfuri.

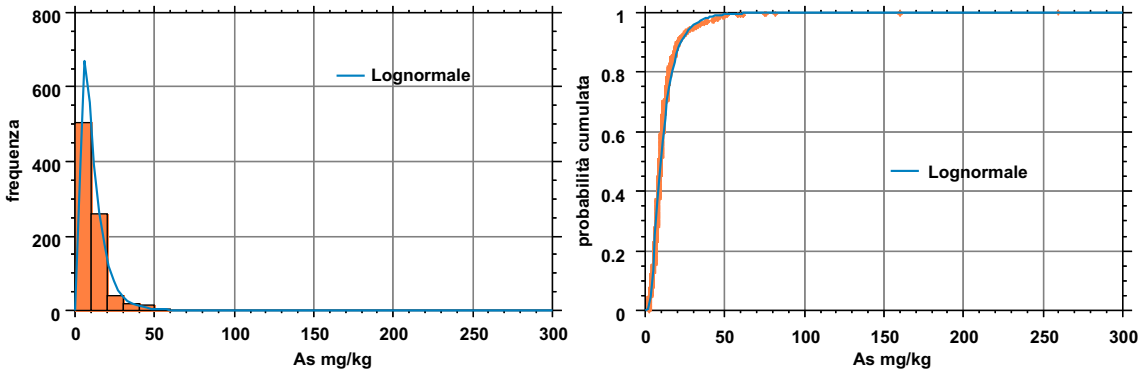


Figura 19. Distribuzione statistica dell'arsenico

L'arsenico è il costituente principale di oltre 200 fasi minerali tra cui arsenati (60%), solfuri e solfosali (20%), arseniuri, arseniti, ossidi, etc.

Esso si trova usualmente in quantità apprezzabili nei giacimenti minerari a solfuri, nella forma di arsenopirite ed è presente e abbondante nei reticoli di pirite, galena, calcopirite e blenda.

La calcarenite oligo-miocenica costituente il sottosuolo delle aree libere consortili si è formata in ambiente marino litoraneo a seguito della cementazione carbonatica di clasti di origine continentale. Considerato che nel territorio di provenienza della frazione continentale sono ubicate mineralizzazioni ad arsenopirite, è ragionevole ipotizzare che la presenza di tale elemento nella matrice terreno sia di origine naturale legata, appunto, alla genesi delle calcareniti.

A conferma di questa tesi si consideri che i superamenti delle CSC per l'As sono stati rilevati all'interno di un "materiale argilloso limoso alcune volte sabbioso con presenza di frammenti di calcarenite[6]", originato con ogni probabilità dall'alterazione della calcarenite.

Infine, sempre a supporto della tesi esposta, si noti che la frequenza della concentrazione di arsenico nei campioni di terreno ha una distribuzione tipica delle formazioni naturali (lognormale con marcata asimmetria positiva (Figura 19)).

Relativamente alla possibilità di migrazione dalla matrice solida alle acque sotterranee, si osserva che in queste ultime non sono stati misurate concentrazioni di arsenico significative e, soprattutto, non si osservano correlazioni spaziali fra i punti di superamento nei suoli e quelli nelle acque. Inoltre l'arsenico, come già osservato, è presente in orizzonti a permeabilità molto bassa. Si deduce dunque che la migrazione in falda dell'arsenico debba essere esclusa dai meccanismi di trasmissione di questo contaminante.

[6] ad esclusione del campione C3 del sondaggio S_E12 (3.0m - 3.6m) che è stato ritrovato in una sabbia con resti di sostanza organica carbonizzata, per il quale saranno necessari ulteriori approfondimenti

Le analisi dell'acqua dell'Acquifero-Detritico-Carbonatico Oligo-Miocenico hanno evidenziato una diffusa contaminazione da parte di triclorometano in concentrazione media di 1.72 µg/l e massima di 10 µg/l (piezometro PTPzN04B e PTPzN07) e, subordinatamente, di altri composti alifatici clorurati cancerogeni e da composti inorganici, composti organici aromatici, idrocarburi e solventi aromatici.

Nel piezometro PTPz60 sono stati rinvenuti composti in fase libera galleggiante costituiti da idrocarburi totali (2515 µg/l), benzene (4165 µg/l), etilbenzene (12365 µg/l), stirene (1285 µg/l), toluene (569 µg/l), para-xilene (15805 µg/l).

La contaminazione della falda può essere ricondotta alla vicinanza del centro di pericolo primario rappresentato dal sito Syndial, ubicato a ovest delle aree libere consortili.

La falda sotterranea di quest'area è infatti caratterizzata da elevate concentrazioni dei medesimi composti ritrovati nella falda delle aree libere.

L'ipotesi circa l'origine della contaminazione della falda delle aree libere consortili, oltre ad essere supportata dalla tipologia dei contaminanti, è coerente con la direzione di moto della falda che, nella parte di monte (Sud) è orientata secondo l'asse SO – NE.

A questo proposito si fa notare che la forma della superficie piezometrica riportata in figura è influenzata dall'azione di emungimento della barriera idraulica costiera disposta nella porzione Ovest del litorale. Nella condizione che ha preceduto la realizzazione della barriera, le linee di flusso hanno avuto, per lo meno nella parte nord, una componente significativa in direzione Est, verso le aree libere.

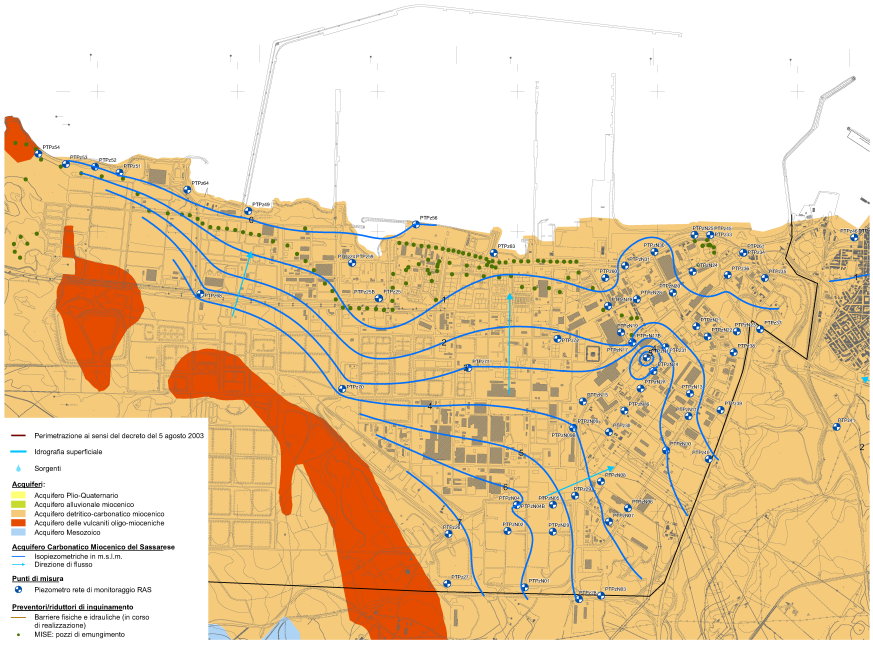


Figura 20. Estratto della Carta delle isofreatiche - campagna 3 - PO FESR 2007-2013

5.5 Bersagli

Le acque sotterranee rappresentano la principale via di trasmissione dei contaminanti. La loro direzione di moto, da SO verso NE, individua quali bersagli della contaminazione:

- l'area marina antistante le aree consortili;
- la parte terminale dell'asta fluviale del Rio Mannu.

L'area marina antistante è in parte protetta dai pozzi costituenti i sistemi di messa in sicurezza delle società insediate nella sub area 5:

- MISE delle acque di falda del deposito costiero ENI;
- MISE Deposito costiero Esso basato su di un sistema di pompaggio delle acque sotterranee da 2 pozzi per il recupero del prodotto surnatante ed il contenimento idraulico della contaminazione in falda a cui sono stati aggiunti 7 punti di recupero del prodotto mediante uno skimmer attivo e sei skimmer passivi.

6 Conclusioni

La caratterizzazione delle aree libere consortili è stata effettuata integrando i risultati delle attività svolte nell'ambito di due distinti piani di indagine:

- il "Piano di indagine per la caratterizzazione delle aree di competenza pubblica all'interno del Sito di bonifica di Interesse Nazionale "Aree Industriali di Porto Torres" – Aree libere consortili" (2016) di competenza del Consorzio Industriale avente l'obiettivo di caratterizzare la matrice suolo;
- il piano di indagine relativo al progetto "Aggiornamento della rete di monitoraggio siti inquinati: area industriale di Porto Torres" (2014) di competenza dalla RAS, finalizzato principalmente alla caratterizzazione delle acque di falda.

I risultati delle indagini hanno confermato i caratteri stratigrafici e idrogeologici delineati nel modello concettuale preliminare.

La caratterizzazione della matrice terreno (top soil, terreno superficiale e profondo) ha messo in evidenza:

- l'assenza di superamenti nel top soil;
- un unico punto di non conformità nel terreno superficiale (0-1) per il rame;
- 15 punti di non conformità per la matrice terreno profondo relativi all'arsenico.

L'unico superamento del CSC del rame, rinvenuto in un terreno di riporto, è attribuibile alla composizione mineralogica dei frammenti della roccia madre da cui è composto il terreno ed è dunque, con ogni probabilità, di origine naturale.

Relativamente ai 15 superamenti delle CSC dell'arsenico rinvenuti nel terreno profondo, si osserva che:

- tali campioni rappresentano il 2% dei campioni analizzati (15 su 687);
- la loro posizione non è correlabile ad alcun centro di pericolo primario o evento isolato di contaminazione;
- 14 campioni su 15 provengono da strati del medesimo tipo litologico (argille e limi con frammenti di calcarenite) la cui profondità è compresa fra 2 e 10 m dal piano di campagna;
- in tutta la zona anche nelle porzioni esterne all'area SIN e lontane dai centri di pericolo, si riscontano superamenti delle CSC dell'arsenico[7].

[7] PO FESR 2007-2013. RELAZIONE DI SINTESI PARTE B – Analisi ed interpretazione dei risultati dell'indagine

Vi è dunque la ragionevole certezza che i valori apparentemente anomali della concentrazione dell'arsenico (superamenti delle CSC) siano legati alla composizione mineralogica delle calcareniti e che abbiano, dunque, origine naturale.

Al fine di verificare che anche il campione prelevato nel sondaggio S_E12, ritrovato in una sabbia con resti di sostanza organica carbonizzata, sia di origine naturale, si ritiene opportuno eseguire un'analisi mineralogica del campione.

Relativamente alle acque di falda, la caratterizzazione mette in luce una contaminazione diffusa, in particolare da composti alifatici clorurati cancerogeni (tricoloromethano) ed in misura minore da composti inorganici, composti organici aromatici, idrocarburi e solventi aromatici.

Tale contaminazione non è correlabile ai centri di pericolo localizzati all'interno delle aree libere consortili ma a centri di pericolo presumibilmente esterni per la cui identificazione appare opportuna l'attivazione della procedura di individuazione del responsabile della contaminazione da parte dell'amministrazione competente ai sensi del D.Lgs. 152/2006.

Il superamento delle CSC nelle acque sotterranee da parte di numerosi contaminanti rende necessaria l'attivazione dell'analisi di rischio e, se del caso, delle misure di messa in sicurezza/bonifica della falda. Considerato che la contaminazione della falda delle aree libere consortili ha gli stessi caratteri (seppure molto meno marcati) di quella della parte centrale del SIN, in cui sono in corso le operazioni di bonifica della falda, si ritiene che l'analisi di rischio e le eventuali misure di messa in sicurezza/bonifica della falda delle aree consortili debbano essere sviluppate dal responsabile della contaminazione in coordinamento con quanto in atto nelle aree suddette.

Riguardo alla presenza di fase surnatante e degli importanti superamenti rinvenuti nel piezometro PTPz60, relativi ad idrocarburi e composti aromatici a bassa densità, si fa presente che tali situazioni richiederebbero l'attivazione di misure di messa in sicurezza di emergenza. Tuttavia, dato che tale piezometro si trova nella zona di influenza della barriera idraulica costiera di MISE, e che dall'epoca del campionamento sono trascorsi più di 3 anni, è possibile che tale situazione sia già stata risolta dal sistema di MISE citato.

Si ritiene comunque opportuno attuare un monitoraggio periodico dello stato della falda in quel punto mediante il suo inserimento nella rete di monitoraggio regionale.