



CONSORZIO INDUSTRIALE PROVINCIALE DI CAGLIARI
COMUNI DI ASSEMINI - CAGLIARI- CAPOTERRA - UTA (CA)

**PIANO DI CARATTERIZZAZIONE DELL'AGGLOMERATO
INDUSTRIALE DI MACCHIAREDDU**
SITO DI BONIFICA INTERESSE NAZIONALE SULCIS-IGLESIENTE GUSPINESE
(TITOLO V PARTE QUARTA D.LGS. 152/06 E SS.MM.II.)

RELAZIONE GENERALE

Data	Rev.	Descrizione	
			-
Ottobre 2012	0	Emissione	scala-

A cura di
I.A.T. Consulenza e Progetti S.r.l. con socio unico



Coordinatore e responsabile

Dott. Ing. Giuseppe Frongia

Gruppo di lavoro

Dott. Ing. Giuseppe Frongia

Dott. Ing. Gianluca Melis

Dott. Geol. Consuelo Nicolò

Dott. Ing. Emanuela Spiga

Referente scientifico

Prof. Ing. Aldo Muntoni

Committente:

Consorzio Industriale Provinciale di Cagliari - CACIP

Viale Diaz, 86 - 09125 Cagliari

Telefono +39.070.24.81 email: cacip@cacip.it

Elaborazioni: I.A.T. Consulenza e Progetti S.r.l. con socio unico - V. Tigellio 22, 09123 Cagliari, Tel. +39.070.658297 Fax +39.070.655271

INDICE

1	INTRODUZIONE	1
2	LIMITAZIONI	3
3	OBIETTIVI DEL PIANO	4
3.1	MOTIVAZIONI	4
3.2	ASPETTI METODOLOGICI	5
4	L'AREA DI ANALISI: INDIVIDUAZIONE, CARATTERI PRINCIPALI E INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO	9
4.1	PREMESSA	9
4.2	INQUADRAMENTO URBANISTICO E CONDIZIONI D'USO, ATTUALI E PASSATE, DEI TERRENI	18
4.3	L'AREA DI SVILUPPO INDUSTRIALE DI CAGLIARI: PRESUPPOSTI NORMATIVI, ORIGINI ED EVOLUZIONE	19
5	INQUADRAMENTO PROGRAMMATICO	24
5.1	QUADRO GENERALE DEI DISPOSITIVI DI TUTELA	24
5.2	STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE DI SETTORE	27
5.2.1	<i>Piano Regionale di Bonifica dei siti inquinati</i>	27
5.2.2	<i>Piano Regionale di gestione dei rifiuti</i>	28
5.2.3	<i>Piano di Tutela delle Acque</i>	29
5.2.4	<i>Piano Regionale dei Trasporti</i>	32
5.3	STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE	36
5.3.1	<i>Piano Paesaggistico Regionale (PPR)</i>	36
5.3.2	<i>Piano Urbanistico Provinciale (PUP)</i>	40
5.3.2.1	Ecologie	41
5.3.2.2	Campi del progetto ambientale	44
5.3.2.3	Conclusioni	44
5.3.3	<i>Piano di Gestione (PdG) del Sito d'Importanza Comunitaria ITB040023</i>	47
5.3.4	<i>Piano Regolatore Territoriale dell'Area di Sviluppo Industriale di Cagliari</i>	52
5.4	MORFOLOGIE INSEDIATIVE: TENDENZE IN ATTO E SCENARI DI SVILUPPO NEL CONTESTO TERRITORIALE DELL'AREA DI SVILUPPO INDUSTRIALE DI CAGLIARI	54
5.4.1	<i>Insedimenti civili</i>	54
5.4.2	<i>Insedimenti industriali</i>	57
6	CARATTERISTICHE AMBIENTALI STRUTTURALI DELL'AREA DI INDAGINE	67
6.1	PREMESSA	67
6.2	DESCRIZIONE DELLE PRINCIPALI ATTIVITÀ INDUSTRIALI A RISCHIO DI INQUINAMENTO	67
6.3	ASSETTO AMBIENTALE	72
6.3.1	<i>Premessa</i>	72
6.3.2	<i>Clima e meteorologia</i>	72
6.3.2.1	Precipitazioni e Temperature	73

6.3.2.2	Anemologia	74
6.3.2.3	Qualità dell'aria.....	74
6.3.3	<i>Inquadramento geologico e geomorfologico generale</i>	76
6.3.4	<i>Assetto geologico-strutturale</i>	78
6.3.4.1	Quaternario	79
6.3.4.2	Alluvioni antiche terrazzate (Pleistocene sup.)	79
6.3.4.3	Alluvioni antiche non terrazzate e recenti terrazzate (Pleistocene sup.-Olocene)	82
6.3.4.4	<i>Glacis</i> e detriti di falda (Pleistocene)	83
6.3.4.5	Sedimenti limnici (Olocene).....	83
6.3.4.6	Panchina tirreniana (Tirreniano)	83
6.3.4.7	Alluvioni recenti e attuali (Olocene)	83
6.3.5	<i>Assetto stratigrafico locale: modello tridimensionale del sottosuolo</i>	84
6.3.6	<i>Assetto idrogeologico</i>	86
6.3.6.1	Morfologia piezometrica e regime idrodinamico	89
6.3.6.2	Parametri idrogeologici degli acquiferi.....	92
6.3.6.3	Principali pozzi ad uso acquedottistico	92
6.3.7	<i>Assetto idrografico</i>	92
6.3.8	<i>Inquadramento pedologico</i>	93
6.3.9	<i>Inquadramento geochimico</i>	94
6.3.10	<i>Caratteristiche ecologiche di pregio</i>	105
7	QUALITÀ DELLE MATRICI AMBIENTALI E STATO DI ATTUAZIONE DEGLI ADEMPIMENTI	
	IN MATERIA DI SITI CONTAMINATI.....	109
7.1	PRINCIPALI ATTIVITÀ DI INDAGINE AMBIENTALE CONDOTTE NELL'AREA DI MACCHIAREDDU	109
7.1.1	<i>Premessa generale</i>	109
7.1.2	<i>Interventi di indagine preliminare e realizzazione del sistema di monitoraggio siti inquinati – Agglomerato di Assemini</i>	110
7.1.2.1	Articolazione ed obiettivi del progetto	110
7.1.2.2	Suolo e sottosuolo.....	113
7.1.2.3	Acque sotterranee.....	120
7.1.2.3.1	Considerazioni generali sulle risultanze delle campagne di monitoraggio RAS – Anno 2009	120
7.1.2.3.2	Stato qualitativo delle acque di falda emerso dalle campagne di monitoraggio RAS – Anno 2009	125
7.1.2.4	Acque superficiali	130
7.1.2.5	Sedimenti	132
7.1.3	<i>Piani di caratterizzazione e/o monitoraggi attuati ed in corso di attuazione nel periodo 2008-2011</i>	133
7.1.3.1	Premessa	133
7.1.3.2	Syndial – Barriera idraulica di Is Campus de s'Atena (2008)	133
7.1.3.3	Power Crop S.p.A. – Progetto per Impianto a biomassa (2009).....	134
7.1.3.4	Sarda Solar S.r.l. – Progetto per Impianto fotovoltaico a terra (2009)	135
7.1.3.5	ANAS – Progetto S.S. 195 Sulcitana - Lotti 1°- 3° e opera connessa SUD (2009-2010)	136
7.1.3.6	San Salvador S.r.l.– Progetto per punto di ristoro rurale (2010).....	138
7.1.3.7	ENEL – Centrale elettrica Turbogas (2010).....	139
7.1.3.8	Terna – Elettrodotto 150 kV corrente alternata (2010-2011)	140

7.1.3.9	Syndial area esterna – Sistema di Depressione della Falda (2011)	140
7.1.3.10	Heineken – Stabilimento di produzione della birra (2011)	141
7.2	INTERVENTI DI BONIFICA – MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE/EMERGENZA REALIZZATI E/O IN FASE DI REALIZZAZIONE	142
7.3	CACIP - CAMPAGNA DI RILEVAMENTO DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE - ANNO 2012	145
7.3.1	<i>Obiettivi della campagna di misura</i>	145
7.3.2	<i>Metodologia di indagine e risultati</i>	147
8	MODELLO CONCETTUALE PRELIMINARE	149
8.1	PREMESSA	149
8.2	SORGENTI POTENZIALI DI CONTAMINAZIONE	150
8.3	PERCORSI DI MIGRAZIONE DEGLI INQUINANTI	152
8.4	POTENZIALI RECETTORI DEGLI INQUINANTI	154
8.5	SUDDIVISIONE DEL SITO IN SUB-AREE OMOGENEE	158
8.5.1	<i>Obiettivi generali</i>	158
8.5.2	<i>Aspetti metodologici per l'individuazione delle "aree di influenza"</i>	160
8.5.2.1	Individuazione e descrizione dei criteri utilizzati: aree di influenza, dai poligoni di Thiessen alla <i>cost distance analysis</i>	160
8.5.2.2	Risultati attesi	168
8.5.3	<i>Procedura operativa per l'individuazione delle "aree di influenza"</i>	170
8.5.3.1	Capisaldi	170
8.5.3.2	Raster di costi	171
8.5.4	<i>Ripartizione delle "aree di influenza" in classi di compromissione</i>	179
8.5.5	<i>Perimetrazione e descrizione delle sub-aree omogenee</i>	184
8.5.5.1	Comparto 1: Aree a destinazione industriale contraddistinte da storico utilizzo agricolo	186
8.5.5.2	Comparto 2: Piana agricola di Capoterra	187
8.5.5.3	Comparto 3: Settore mediano a destinazione industriale	188
8.5.5.4	Comparto 4: Agglomerato di edifici industriali	188
8.5.5.5	Comparto 5: Aree agricole e seminaturali nordorientali	189
8.5.5.6	Comparto 6: Aree agricole e seminaturali ad est dello stabilimento Syndial	189
8.5.5.7	Comparto 7: Aree di servizio delle saline Conti Vecchi	190
8.5.5.8	Comparto 8: Fascia infrastrutture CACIP	191
9	PIANO DI INDAGINI AMBIENTALI	192
9.1	PREMESSA	192
9.2	CRITERI DI PROGETTO DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE PER SUB-AREE OMOGENEE	192
9.2.1	<i>Densità dei punti di campionamento</i>	192
9.2.2	<i>Determinazioni analitiche</i>	196
9.2.2.1	Analisi chimiche delle matrici solide	196
9.2.2.2	Analisi chimiche delle acque	198
9.4	MODALITÀ DI REALIZZAZIONE DELLE INDAGINI	200
9.4.1	<i>Sondaggi meccanici e piezometri</i>	200
9.4.2	<i>Rilievi di campo e rilievo topografico dei piezometri</i>	203
9.4.3	<i>Pulizia e decontaminazione delle attrezzature</i>	205

9.5	CRITERI GENERALI DI CAMPIONAMENTO.....	205
9.5.1	Campionamento terreno.....	205
9.5.2	Campionamento acque di falda.....	207
9.5.3	Documentazione delle attività	209
9.5.4	Preservazione e trasporto dei campioni	210
9.6	DETERMINAZIONI ANALITICHE: SPECIFICHE TECNICHE GENERALI	212
9.7	PROCEDURE DI CARATTERIZZAZIONE DEI "CENTRI DI PERICOLO"	213
9.8	PROCEDURE DI CARATTERIZZAZIONE PER OPERE LINEARI.....	215
9.9	MODALITÀ DI RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI	215
9.10	SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO (GIS).....	216
10	POSSIBILI SCENARI DI ATTUAZIONE DELLE ATTIVITÀ DI CARATTERIZZAZIONE.....	217
	BIBLIOGRAFIA.....	219
	ALLEGATO 1: CACIP 2012 - RISULTATI ANALITICI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE SULLA QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE	223
	ALLEGATO 2: SCHEDE DATI SUB-AREE OMOGENEE SIN MACCHIAREDDU.....	224
	ALLEGATI FUORI TESTO: BOLLETTINI ANALITICI CAMPAGNA DI MONITORAGGIO ACQUE SOTTERRANEE - CACIP 2012.....	233

ELENCO DIDASCALIE TABELLE

Tabella 4-1: Inquadramento catastale del Sito di Macchiareddu	17
Tabella 6-2– Precipitazioni medie stagionali registrate nelle stazioni di Cagliari “aggregata”, Decimomannu e Capoterra nell’intervallo di anni 1922-2007 (Fonte: Nuovo Studio dell’Idrologia Superficiale della Sardegna SISS, EAF – 1992; Regione Sardegna - Assessorato LL.PP., sito internet http://www.regione.sardegna.it)	73
Tabella 6-3 – Temperature medie mensili registrate nelle stazioni di Cagliari “aggregata” e Decimomannu nell’intervallo di anni 1924÷2002 (Fonte Studio dell’Idrologia Superficiale della Sardegna EAF – 1992; Regione Sardegna - Assessorato LL.PP., sito internet http://www.regione.sardegna.it)	73
Tabella 7-2 – Contaminanti la cui concentrazione nella matrice “terreni” ha superato la CSC (All. 5, Tab. 1 - col. A) nella zona industriale CACIP di Macchiareddu	120
Tabella 7-3 - Numero e frequenza dei superamenti delle CSC per le acque sotterranee all’interno dell’area di pertinenza CACIP nella I campagna RAS (Fonte Elaborazione dati RAS)	122
Tabella 7-4 - Numero e frequenza dei superamenti delle CSC per le acque sotterranee all’interno dell’area di pertinenza CACIP nella II campagna RAS (Fonte Elaborazione dati RAS)	123
Tabella 7-5 - Numero e frequenza dei superamenti delle CSC per le acque sotterranee all’interno dell’area di pertinenza CACIP nella III campagna (Fonte Elaborazione dati RAS)	124
Tabella 7-6 - Numero e frequenza dei superamenti delle CSC per le acque sotterranee all’interno dell’area di pertinenza CACIP nella IV campagna (Fonte Elaborazione dati RAS)	125
Tabella 8-2: Pesi assegnati alle macroclassi di usi del suolo	177

ELENCO DIDASCALIE FIGURE

Figura 4.1: Originaria proposta di sub-perimetrazione di dettaglio SIN – D.M. 12 marzo 2003 (RAS 2004).....	10
Figura 4-2: Sub-perimetrazione di dettaglio SIN Sulcis-Iglesiente-Guspinese approvata (Fonte RAS D.G.R. 27/13 del 01/06/2011)	12
Figura 4-4: Inquadramento del Sito di Macchiareddu nella cartografia IGM 1:50.000	14
Figura 4-5: Quadro di unione cartografia di riferimento dell'Agglomerato Industriale di Macchiareddu.....	16
Figura 5-1: Ubicazione delle aree di interesse naturalistico.....	25
Figura 5-2: Stralcio dal PRT.....	33
Figura 5-3: Inquadramento dell'area di interesse nella rete viaria classificata secondo il PRT	35
Figura 5-4: Inquadramento del Sito di Macchiareddu nella cartografia ufficiale del P.P.R. ...	38
Figura 5-5: Perimetrazione del SIC ITB040023 “Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla”.....	48
Figura 5-6: Area di studio e siti di importanza comunitaria	49
<i>Figura 5-8: Rete stradale e centri urbani.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 5-9: L'area di studio inquadrata sulla cartografia storica dell'IGM (levata del 1897 su rilievo del 1885, scala originaria 1:25.000).....</i>	<i>58</i>
Figura 5-10: L'area di studio e la cartografia dell'IGM nell'edizione 1960 tavolette 1:25.000	59
Figura 5-11: L'area di studio e la cartografia 1:25.000 dell'IGM (edizione 1990)	60
Figura 5-12: Insediamento industriale anni '60-'70 (Elaborazioni proprie da fotointerpretazione)	62
Figura 5-13: Insediamento industriale anni '80-'90 (Elaborazioni proprie da fotointerpretazione)	63
Figura 5-14: Insediamento industriale anni '90-2011 (Elaborazioni proprie da fotointerpretazione)	64
Figura 5-15: Tasso di crescita (Elaborazioni proprie su strati ricavati da fotointerpretazione)	65
Figura 6-1 – Posizione delle stazioni di misura nell'area industriale di Macchiareddu (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna per l'anno 2010 (RAS, 2011)	75
Figura 6-2 – Percentili dei valori di inquinamento per direzione di provenienza del vento per la stazione CENAS6.....	75
Figura 6-3 – Percentili dei valori di inquinamento per direzione di provenienza del vento per la stazione CENAS8.....	76
Figura 6-4 – Alluvioni antiche affioranti in località Is Cuxinas, settore centrale dell'area di studio	81
Figura 6-5 – Alluvioni antiche visibili in un pozzo, ormai non più esistente, nella zona industriale CACIP	82
Figura 6-7 - Carta idrogeologica della piana di Capoterra (Pala, 1983).	90
Figura 6-8 – Carta delle curve isopiezometriche del settore meridionale del Campidano (CAS.MEZ., 1996).	90
Figura 6-9 – Carta delle curve isopiezometriche dell'area industriale CACIP ricostruita sulla base dei livelli misurati nella I campagna dello studio RAS (2009).	91

Figura 6-10 – Carta delle curve isopiezometriche (I campagna) dell'area industriale CACIP calcolata attraverso la modellazione idrogeologica con il codice numerico ModFlow nello studio RAS (2009).....	91
Figura 6-11 – Distribuzione delle concentrazioni di Arsenico nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Archivio Geochimico Nazionale, 2003; modificata)	96
Figura 6-12 – Distribuzione delle concentrazioni di Cadmio nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Archivio Geochimico Nazionale, 2003; modificata)	97
Figura 6-13 – Distribuzione delle concentrazioni di Cobalto nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Archivio Geochimico Nazionale, 2003; modificata)	98
Figura 6-14 – Distribuzione delle concentrazioni di Cromo nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Archivio Geochimico Nazionale, 2003; modificata)	99
Figura 6-15 – Distribuzione delle concentrazioni di Piombo nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Archivio Geochimico Nazionale, 2003; modificata)	100
Figura 6-16 – Distribuzione delle concentrazioni di Vanadio nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Archivio Geochimico Nazionale, 2003; modificata)	101
Figura 6-17 - Distribuzione delle concentrazioni di Stagno nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Cartografia geochimica ambientale e carte di intervento per l'uso del territorio del Foglio Cagliari, Sardegna meridionale - De Vivo et al., 2006)	102
Figura 6-18 - Distribuzione delle concentrazioni di Manganese nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Cartografia geochimica ambientale e carte di intervento per l'uso del territorio del Foglio Cagliari, Sardegna meridionale - De Vivo et al., 2006)	102
Figura 6-19 - Distribuzione delle concentrazioni di Ferro nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Cartografia geochimica ambientale e carte di intervento per l'uso del territorio del Foglio Cagliari, Sardegna meridionale - De Vivo et al., 2006)	103
Figura 6-20 – Stralcio della “Carta geologica e ubicazione delle mineralizzazioni del Foglio Cagliari” (De Vivo et al., 2006; modificata) con sovrapposizione dell'area industriale CACIP (contorno rosso) e del reticolo idrografico del Rio Cixerri e del Rio S. Lucia (De Vivo et al., 2006; modificata)	104
Figura 6-21 – Stralcio della “Carta metallogenica e delle georisorse della Sardegna” (Marcello et al., 2008; modificata), con sovrapposizione dell'area industriale CACIP (contorno rosso) e di parte del reticolo idrografico del Rio Cixerri e del Rio S. Lucia ...	105
Figura 6-22: Habitat prioritari (Fonte: Piano di Gestione SIC ITB040023)	107
Figura 6-23: Habitat prioritari (Fonte: Piano di Gestione SIC ITB040023)	108
Figura 8-2: esemplificazione dell'algoritmo cost distance (fonte ESRI)	163
Figura 8-3: esemplificazione dell'algoritmo cost distance (fonte ESRI)	164
Figura 8-4: esempio di successione degli step della procedura iterativa dell'algoritmo cost distance (fonte ESRI)	168
Figura 8-5: esempio di calcolo dell'algoritmo cost al location (fonte ESRI).....	168

Figura 8-6: Rappresentazione geografica dell'indice SNS	175
Figura 8-7: Rappresentazione geografica dell'indicatore correlato conducibilità K, associato al concetto di "impedenza". Ad aree a bassa conducibilità K è associato un maggior valore dell'indice.....	176
Figura 8-8: rappresentazione geografica dell'indice IPUP	178

ELENCO TAVOLE GRAFICHE

Tavola 1	Inquadramento territoriale dell'area di studio
Tavola 2	Inquadramento catastale
Tavola 3	Area di studio ed ecologie geoambientali - Rapporti geografici (Fonte PUP CA)
Tavola 4	Area di studio ed ecologie insediative - Rapporti geografici (Fonte PUP CA)
Tavola 5	Area di studio. Confronto con i livelli di criticità ecologica (Fonte PdG SIC ITB040023)
Tavola 6	Area di studio e Piano Regolatore Territoriale CACIP (VI Variante)
Tavola 7	Analisi diacronica della crescita insediativa nell'area di studio
Tavola 8	Classificazione degli usi (Tab. 1 All. 5, Tit. V, parta quarta D.Lgs. 152/06)
Tavola 9	Principali stabilimenti industriali nell'area di Macchiareddu
Tavola 9a	Principali stabilimenti industriali nell'area di Macchiareddu – Legenda
Tavola 9b	Principali stabilimenti industriali nell'area di Macchiareddu - Legenda
Tavola 10	Centri di pericolo individuabili nel Sito di Macchiareddu
Tavola 11a	Carta geologica e idrogeologica
Tavola 11b	Carta geologica e idrogeologica - Legenda
Tavola 12	Sezioni geologiche-idrogeologiche 2d
Tavola 13	Sezioni geologiche-idrogeologiche e sondaggi 3d
Tavola 14	Sezioni geologiche-idrogeologiche, sondaggi e modello geologico del sottosuolo 3d
Tavola 15	Pozzi a uso acquedottistico - potabile e piezometri RAS campionati (2012)
Tavola 16	Localizzazione punti di indagine del Progetto RAS (RAS, 2009)
Tavola 17a	Localizzazione punti di indagine dei Piani di caratterizzazione - periodo 2008-2011
Tavola 17b	Localizzazione punti di indagine dei Piani di caratterizzazione - periodo 2008-2011
Tavola 18	Terreni - Punti di campionamento ed eccedenze CSC
Tavola 19	Terreni - "Capisaldi" e relative "aree di influenza"
Tavola 20	Terreni - Categorie di compromissione composti organici
Tavola 21	Terreni - Categorie di compromissione metalli e composti inorganici
Tavola 22	Terreni - Classi di compromissione
Tavola 23	Acque sotterranee - Punti di campionamento e dati di qualità - anno 2012
Tavola 24	Acque Sott. - "Capisaldi" e relative "aree di influenza"
Tavola 25	Acque Sott. - Categorie di compromissione composti organici
Tavola 26	Acque Sott. - Categorie di compromissione metalli e composti inorganici
Tavola 27	Acque Sott. - Classi di compromissione
Tavola 28a	Perimetrazione delle sub-aree omogenee (Comparti)
Tavola 28b	Sub-aree omogenee (Comparti) e lotti attuativi della caratterizzazione
Tavola 28c	Lotti attuativi di prioritaria caratterizzazione per il CACIP
Tavola 29	Soggiacenza della falda freatica in corrispondenza delle sub-aree omogenee (Comparti)
Tavola 30	Comparto 1 - Punti di campionamento
Tavola 31	Comparto 2 - Punti di campionamento
Tavola 32	Comparto 3 - Punti di campionamento
Tavola 33a	Comparto 4 - Punti di campionamento
Tavola 33b	Comparto 4 - Punti di campionamento
Tavola 33c	Comparto 4 - Punti di campionamento
Tavola 34	Comparto 5 - Punti di campionamento
Tavola 35	Comparto 6 - Punti di campionamento
Tavola 36	Comparto 7 - Punti di campionamento
Tavola 37	Comparto 8 - Punti di campionamento

1 INTRODUZIONE

Il presente Piano di Caratterizzazione (PdC) di cui al Titolo V parte quarta del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii. ha ad oggetto l'estesa porzione dell'Area Industriale di Cagliari, di competenza del Consorzio Industriale Provinciale di Cagliari (CACIP), ricadente all'interno Sito di bonifica di Interesse Nazionale Sulcis-Iglesiente-Guspinese, come perimetrato provvisoriamente dal D.M. 12 marzo 2003 e definito in dettaglio dalla D.G.R. 27/13 del 1 giugno 2011.

L'area in oggetto, avente estensione indicativa di circa 5.600 ettari, è compresa all'interno dei territori dei Comuni di Cagliari, Capoterra, Uta e Assemini, tutti ricadenti in Provincia di Cagliari.

Il Piano, redatto in osservanza dei criteri di cui all'Allegato 2 al Titolo V della parte quarta del D.Lgs. 152/06, si propone come documento organico di riferimento per l'esecuzione delle attività di caratterizzazione da condursi, a carico di soggetti pubblici e privati, all'interno dell'ambito territoriale in esame, di seguito indicato per brevità come "Sito di Macchiareddu", dal nome della località che ha visto la nascita del primo nucleo dell'insediamento industriale.

Il PdC, in coerenza con la normativa applicabile, è volto alla ricostruzione storica delle attività svolte nel sito ed alla definizione di un Piano di indagini ambientali atto ad accertare l'eventuale stato di contaminazione del suolo, del sottosuolo e delle acque sotterranee.

Sotto questo profilo, l'analisi conoscitiva preliminare sullo stato ambientale dell'area di interesse ha assunto come riferimento centrale la significativa mole di dati e informazioni contenute nei documenti di cui al progetto promosso dall'Assessorato alla Difesa dell'Ambiente della Regione Sardegna concernente "*Interventi di indagine preliminare e realizzazione del sistema di monitoraggio siti inquinati*" relativo all'area di Assemini (settembre 2009), al quale si farà a più riprese riferimento esplicito nella trattazione che segue.

Al fine di restituire un quadro il più possibile aggiornato della situazione ambientale, i dati e le informazioni contenute nel suddetto progetto RAS sono stati integrati con le risultanze dei Piani di caratterizzazione attuati nell'area di Macchiareddu da soggetti diversi nel periodo 2008-2011, rese disponibili dal Servizio Tutela dell'Atmosfera e del Territorio della Regione Sardegna, su espressa richiesta del CACIP, nonché dallo stesso Consorzio Industriale. Ai fini della ricostruzione storica delle attività svolte nell'area di Macchiareddu, muovendo dalle conoscenze acquisite ed elaborate nel Progetto RAS, si è proceduto, inoltre, ad un approfondimento delle analisi sulle dinamiche insediative nonché di utilizzo del suolo nell'esteso arco temporale che, dalla fase ante-industriale, racchiude gli anni in corso, incrociando le informazioni acquisite dall'archivio storico del CACIP con quelle specificamente ricavate da analisi urbanistico-territoriali.

Al fine di superare alcune difficoltà interpretative circa le caratteristiche qualitative delle acque di falda nell'area di Macchiareddu, come scaturite dalla suddetta indagine RAS, nonché di poter disporre di un quadro di conoscenze il più possibile aggiornato, i dati di

qualità ambientale già disponibili sono stati integrati dalle risultanze di una specifica campagna di campionamento ed analisi delle acque sotterranee condotta su iniziativa del CACIP, nel periodo giugno-agosto 2012, in corrispondenza di n. 18 piezometri della rete di monitoraggio RAS.

Le informazioni ambientali acquisite sono state rielaborate, organizzate ed inserite all'interno di un Sistema Informativo Geografico (GIS) al fine di consentirne la consultazione. Il sistema informativo può perciò considerarsi come parte integrante del presente PdC.

Importanti elementi per la definizione delle modalità operative previste dal PdC sono tratti, oltre che dalla normativa applicabile e dalle norme di buona tecnica, dai criteri dettati dalle *“Linee Guida operative per la redazione, esecuzione e gestione dei piani di caratterizzazione ex D.M. 471/99”* di cui al *“Protocollo d’Intesa per gli interventi di risanamento dei siti di Enichem S.p.A. e Polimeri Europa S.r.l. in Regione Sardegna”* e dal *“Manuale per le indagini ambientali nei siti contaminati”* dell'APAT (2006); le procedure di caratterizzazione contenute nei predetti documenti, benché non vincolanti, hanno rappresentato un importante riferimento, in relazione agli aspetti tecnico-operativi non sviluppati in dettaglio dal D.Lgs. 152/06.

2 LIMITAZIONI

L'analisi ambientale sviluppata nel presente documento si basa su ricognizioni dirette nonché sulle risultanze delle indagini ambientali condotte nell'area di Macchiareddu contenute in documenti ufficiali predisposti a cura di soggetti pubblici e/o privati ed in possesso degli Enti competenti nonché su dati e/o informazioni resi disponibili direttamente dal Consorzio Industriale Provinciale di Cagliari. Per quanto sopra, gli scriventi non si assumono alcuna responsabilità su eventuali imprecisioni derivanti dall'inesattezza dei dati di base, sui quali non è stato effettuato alcun controllo.

Il documento si basa, inoltre, sull'applicazione di principi di buona tecnica e su valutazioni professionali scaturite dalle informazioni ambientali disponibili, avuto riguardo delle dinamiche di sviluppo e delle istanze di crescita economica del vasto territorio di interesse, come più oltre esplicitato.

Gli scriventi non intendono, inoltre, fornire alcuna garanzia, espressa o implicita, utilizzabile per qualsiasi finalità, relativa alle condizioni ambientali dell'area.

Infine, il contenuto di questo rapporto non costituisce parere legale.

3 OBIETTIVI DEL PIANO

3.1 Motivazioni

Con l'istituzione del Sito di Bonifica di Interesse Nazionale Sulcis-Iglesiente-Guspinese, perimetrato provvisoriamente ai sensi del D.M. 12/03/2003, ed a seguito delle successive proposte di sub-perimetrazione operate dalla Regione Sardegna in osservanza del suddetto D.M., è stato dato avvio ad un impegnativo processo coordinato di caratterizzazione, messa in sicurezza o bonifica ambientale di estese porzioni del territorio sudoccidentale e centroccidentale della Sardegna, principalmente riferibili alle aree minerarie dismesse ed ai grandi siti industriali di Assemini, Sarroch, Portovesme e Villacidro.

In particolare, l'inclusione dell'intera area industriale di Assemini - Macchiareddu all'interno del SIN, con la conseguente introduzione degli obblighi di preventiva caratterizzazione delle aree ai fini del loro utilizzo, si è certamente rivelata propulsiva rispetto al risanamento ambientale di significative porzioni di territorio oggetto di gravi fenomeni di contaminazione, per effetto del pregresso insediamento di lavorazioni industriali a forte rischio di inquinamento, riferibili in particolare al settore della chimica. D'altro canto, è innegabile come l'iscrizione al SIN di territori storicamente vocati ed utilizzati a fini agricoli, ancorché inclusi nel perimetro dell'area industriale, motivata dal principio di precauzione che necessariamente deve guidare l'azione amministrativa, si sia rivelata fortemente limitante rispetto alle prospettive di sviluppo socio-economico delle aree, in relazione alle risorse economiche ed alle tempistiche che le procedure di svincolo dalle limitazioni del SIN ordinariamente richiedono.

Muovendo da tali assunzioni, anche alla luce dell'aggiornamento delle informazioni ambientali scaturite dall'esecuzione di mirati studi promossi dalla Regione Sardegna (Progetto rete di monitoraggio siti industriali) nonché derivanti dall'esecuzione dei Piani di caratterizzazione attivati da soggetti pubblici e privati nel settore di interesse, si è fatta strada tra gli Enti territoriali l'opportunità di ricercare, ai fini dell'attuazione del processo di caratterizzazione nel settore di Macchiareddu, un percorso organico e coordinato che, nel rispetto delle prescrizioni imposte dalla normativa applicabile e dei principi di salvaguardia ambientale e della salute pubblica, non si contrapponga alle inalienabili esigenze di consolidamento delle realtà produttive e sviluppo socio-economico del territorio di interesse.

L'esigenza di razionalizzare le attività di indagine nel settore in esame discende, nello specifico, dalle seguenti motivazioni di carattere tecnico-economico e ambientale:

- necessità di restituire, a tutti i soggetti interessati, un quadro il più possibile definito e condiviso rispetto alle azioni da intraprendere per rispondere agli obblighi derivanti dalla presenza del SIN, al fine di assicurare la necessaria programmazione degli interventi;
- scongiurare il rischio di una eccessiva frammentazione e disorganicità dei processi di caratterizzazione, da attuarsi da parte di soggetti diversi e verosimilmente, con priorità e

- tempistiche differenti;
- importanza di ricostruire ed interpretare un quadro organico delle conoscenze ambientali (modello concettuale di area vasta) che sia propedeutico ad una ponderata progettazione delle attività di indagine nonché di riferimento per l'analisi e l'interpretazione dei risultati;
 - migliorare l'efficienza e l'efficacia della macchina amministrativa, attraverso l'auspicabile snellimento delle procedure di approvazione delle attività di indagine da condursi nei siti inclusi nel SIN;
 - razionalizzare l'impiego generale delle risorse pubbliche e private da destinare ai processi di caratterizzazione, anche attraverso la ricerca di percorsi di semplificazione tecnico-operativa delle procedure, da calibrarsi in funzione delle conoscenze ambientali già disponibili;
 - delineare orizzonti temporali e prospettive il più possibile definiti rispetto al percorso da seguire per ottenere lo svincolo delle aree dalle limitazioni del SIN, ritenendoli presupposti imprescindibili per non dissuadere l'insediamento di nuove iniziative imprenditoriali nel settore di Macchiareddu, come auspicato dalla pianificazione territoriale a diversi livelli.

Con tali assunzioni, il presente documento si propone dunque come progetto organico sovraordinato da assumere come riferimento per lo sviluppo delle attività di caratterizzazione delle matrici ambientali nel settore di Macchiareddu ai sensi del Titolo V, parte quarta del D.Lgs. 152/06.

3.2 Aspetti metodologici

Ai sensi del D.Lgs. 152/06 *“la caratterizzazione ambientale di un sito è identificabile con l'insieme delle attività che permettono di ricostruire i fenomeni di contaminazione a carico delle matrici ambientali, in modo da ottenere le informazioni di base su cui prendere decisioni realizzabili e sostenibili per la messa in sicurezza e/o bonifica del sito”*.

Per quanto sopra, la caratterizzazione di un sito contaminato è inteso come un processo articolato nelle seguenti fasi:

1. Ricostruzione storica delle attività produttive svolte sul sito.
2. Elaborazione del Modello Concettuale Preliminare del sito e predisposizione di un piano di indagini ambientali finalizzato alla definizione dello stato ambientale del suolo, del sottosuolo e delle acque sotterranee.
3. Esecuzione del Piano di indagini e delle eventuali investigazioni integrative necessarie alla luce dei primi risultati raccolti.
4. Elaborazione dei risultati delle indagini eseguite e dei dati storici raccolti e rappresentazione dello stato di contaminazione del suolo, del sottosuolo e delle acque sotterranee.

5. Elaborazione del Modello Concettuale Definitivo.
6. Laddove necessario, identificazione dei livelli di concentrazione residua accettabili, sui quali impostare gli eventuali interventi di messa in sicurezza e/o di bonifica che si rendessero necessari, calcolati mediante analisi di rischio eseguita secondo i criteri di cui in Allegato 1 al Titolo V della Parte quarta del D.Lgs. 152/06.

Il D.Lgs. 152/06 prevede che la Caratterizzazione ambientale sia avviata successivamente all'approvazione da parte delle Autorità Competenti del Piano di indagini di cui al punto 3 e debba ritenersi conclusa con l'approvazione dell'intero processo sopra riportato, al termine delle attività di cui al punto 5, nel caso di non superamento delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC), ed al termine dell'attività di cui al punto 6, qualora si riscontri un superamento delle suddette concentrazioni riconducibile a fenomeni di contaminazione di origine antropica.

Nell'ambito di tale processo, il presente documento si propone di sviluppare le prime due attività, pervenendo alla definizione di un piano di indagini da assumere come riferimento per una organica ricostruzione dello stato ambientale del vasto areale di interesse. A tal fine, lo studio è stato condotto attraverso le seguenti fasi:

- raccolta ed analisi dei dati esistenti;
- elaborazione del Modello Concettuale Preliminare;
- elaborazione del Piano di Investigazione Iniziale comprendente: indagini, campionamenti e analisi da svolgere mediante prove in sito ed analisi di laboratorio.

La prima fase ha previsto l'acquisizione e la successiva analisi delle informazioni ambientali ed urbanistico-territoriali disponibili sull'esteso settore oggetto di indagine, con particolare riferimento alle seguenti:

- sistema dei dispositivi normativi, di pianificazione e/o di tutela paesaggistico-ambientale che agiscono, a vari livelli, sul settore di Macchiareddu;
- studi, indagini e pubblicazioni contenenti dati e informazioni sugli elementi costitutivi e strutturali caratterizzanti il settore ambientale di interesse;
- dati storici sulle dinamiche insediative e di utilizzo delle aree nel comprensorio CACIP;
- stato di fatto e scenari di sviluppo delle reti infrastrutturali nell'area di Macchiareddu;
- dati di qualità ambientale scaturiti da indagini condotte da soggetti pubblici e privati nell'area di Macchiareddu, con particolare riferimento al citato Progetto della Regione Sardegna, concernente il monitoraggio delle aree industriali, nonché alle risultanze delle attività di caratterizzazione svolte nel settore in esame.

Sulla base degli elementi di conoscenza acquisiti e già disponibili, integrati da una specifica

campagna di rilevamento della qualità delle acque sotterranee condotta dal CACIP su un numero di piezometri rappresentativo della rete di monitoraggio RAS, si è proceduto all'elaborazione del modello concettuale preliminare del sito. Tale modello esamina e ricostruisce i seguenti aspetti:

- potenziali fonti di contaminazione presenti e passate;
- grado ed estensione della contaminazione;
- percorsi di migrazione dei contaminanti dalle sorgenti di contaminazione;
- potenziali bersagli della contaminazione.

Particolare attenzione è stata rivolta, in questa fase, alla definizione delle caratteristiche idrogeologiche dell'area di Macchiareddu, supportata dalla significativa mole di dati, stratigrafici e piezometrici, disponibili e di estremo interesse in ragione della specificità delle principali sorgenti primarie e secondarie di contaminazione nonché della sensibilità ambientale del recapito naturale del flusso idrogeologico (ecosistema lagunare di Santa Gilla e settore marino-costiero meridionale).

Per quanto espresso al precedente paragrafo, il piano di indagini elaborato nell'ambito del presente PdC intende configurarsi come protocollo generale, di coordinamento e riferimento, per le attività di caratterizzazione da svolgersi nell'area di Macchiareddu a cura dei soggetti interessati. Considerate la significativa estensione del sito, la sua eterogeneità ambientale, in termini di differenti condizioni storiche di utilizzo e/o di esposizione rispetto ai centri di pericolo riconosciuti, come più oltre esplicitato, ed avuto riguardo dei riscontri disponibili circa la qualità ambientale delle aree, è stata ritenuta fortemente limitante l'ipotesi di prevedere una impostazione rigida del Piano, da adottarsi in modo indistinto e sistematico sull'intera area di interesse. In tal senso, per meglio rispondere agli obiettivi di razionalizzazione delle attività di indagine più sopra richiamati, si è proposto un protocollo operativo di acquisizione dei dati ambientali calibrato su "sub-aree", o "comparti", ambientalmente omogenei, all'uopo individuati mutuando tecniche in uso alla pianificazione territoriale sulla base di una molteplicità di indicatori (cfr. par. 8.5).

In coerenza con la normativa applicabile, il Piano di indagini contiene una descrizione delle attività che dovranno condursi per la caratterizzazione ambientale delle sub-aree omogenee individuate nel sito di Macchiareddu ed include le specifiche tecniche generali per l'esecuzione delle attività (procedure di campionamento, le misure di campo, modalità di identificazione, conservazione e trasporto dei campioni, metodiche analitiche, ecc.). Tali specifiche, una volta approvate dalle Autorità Competenti, prima dell'inizio dei lavori, costituiranno il protocollo applicabile per la caratterizzazione del Sito.

A tal fine, per ciascuna "sub-area omogenea" sono stati definiti:

- la consistenza e la tipologia delle indagini da svolgere;

- il piano di campionamento di suolo, sottosuolo e acque sotterranee;
- il piano delle analisi chimico-fisiche;
- le metodologie di interpretazione e di restituzione dei risultati.

Alla luce del quadro di conoscenze scaturito dalla costruzione del modello concettuale preliminare, l'attuazione del Piano di indagini potrà consentire di:

- verificare puntualmente o escludere l'esistenza di uno stato di inquinamento di suolo, sottosuolo e acque sotterranee, ed eventualmente definire il grado, l'estensione e la geometria dell'inquinamento;
- individuare le possibili vie di dispersione e migrazione degli inquinanti dalle sorgenti verso i potenziali ricettori;
- acquisire ulteriori informazioni sulle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche dell'area al fine di sviluppare il modello concettuale definitivo del sito;
- consentire il prelievo di campioni per l'acquisizione di alcuni parametri necessari a condurre l'analisi di rischio sito specifica, qualora si rendesse necessaria;
- dettagliare i possibili "bersagli" dell'eventuale contaminazione.

4 L'AREA DI ANALISI: INDIVIDUAZIONE, CARATTERI PRINCIPALI E INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO

4.1 Premessa

L'agglomerato industriale di Macchiareddu è ubicato lungo la costa sudoccidentale della Sardegna, a circa 7 km da Cagliari e a pochi chilometri dai centri minori di Assemini, Uta e Capoterra.

L'area di interesse può essere assimilata, nella forma, ad un rettangolo i cui lati maggiori sono orientati in direzione NW-SE. I confini si attestano, a nord-ovest, sulla S.P. 2 Pedemontana "Assemini-Carbonia", a nord-est sulla confluenza del Rio Cixerri e del Flumini Mannu, ad est-sud-est sullo Stagno di Cagliari (il quale, con un'estensione complessiva degli specchi d'acqua superiore a 3500 ettari, rappresenta la più vasta zona umida della Sardegna), mentre il lato a sud-ovest vede prossimi, ma ad una maggiore distanza, i rilievi collinari che costituiscono la propaggine della dorsale del Sulcis-Iglesiente.

Sotto il profilo idrografico, il settore si contraddistingue per essere il recettore di un ampio bacino che, dal Campidano di Cagliari, si estende fino alla regione storica del Sarcidano, a buona parte dell'Iglesiente ed al Sulcis, occupando complessivamente una superficie di circa 2.332 km² (circa un decimo dell'intera superficie dell'Isola).

L'agglomerato industriale di Macchiareddu, congiuntamente con le zone industriali di Elmas e Sarroch, costituisce area di competenza per il Consorzio Industriale Provinciale di Cagliari (CACIP), regolata urbanisticamente già dal 1967 attraverso l'emanazione dello specifico Piano Regolatore Territoriale dell'Area di Sviluppo Industriale di Cagliari. L'agglomerato risulta incluso nel perimetro del Sito di bonifica di Interesse Nazionale (SIN) Sulcis-Iglesiente-Guspinese, individuato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio con D.M. n. 468 del 18/09/2001 e perimetrato successivamente con D.M. del 12/03/2003.

In osservanza del D.M. 12/03/2003 e in seguito alle richieste formulate in data 22 Ottobre 2003 durante la Conferenza dei Servizi convocata a Cagliari dal Ministero dell'Ambiente (Servizio RIBO), la Regione Sardegna aveva proceduto nel periodo 2004/2005 a presentare una proposta preliminare di perimetrazione puntuale delle aree da bonificare inserite nel contesto del citato SIN.

Come mostrato nella Figura 4-1 che riporta un dettaglio di tale prima proposta di sub-perimetrazione del SIN, risalente al 2005, l'agglomerato industriale di Macchiareddu era circondato da una fascia di rispetto dell'ampiezza di un chilometro che delimitava le aree terrestri potenzialmente soggette a fenomeni di contaminazione passiva. Tale proposta presupponeva che l'utilizzo delle aree ricadenti nell'agglomerato, unitamente alla predetta fascia di rispetto, dovesse essere subordinato all'accertamento, a seguito della caratterizzazione, della conformità dei suoli ai valori limite fissati nel D.M. 471/99 (oggi rifluito nel D.Lgs. 152/06).

Alla data di predisposizione del presente documento, è efficace la più recente delimitazione di cui alla D.G.R. 27/13 del 1 giugno 2011, che sancisce l'approvazione definitiva della sub-perimetrazione di dettaglio operata dalla RAS. Tale delimitazione ha in parte rivisitato la prima proposta di perimetrazione individuando in maniera più accurata (Figura 4-2 e Tavola 1) le aree potenzialmente interessate da fenomeni di inquinamento delle acque e del suolo con eliminazione della suddetta fascia di rispetto.

Il Sito di riferimento per il presente PdC racchiude le aree terrestri di pertinenza del CACIP individuate nella citata sub-perimetrazione approvata, ossia comprese negli elaborati cartografici del Piano Regolatore Territoriale VI variante (strumento urbanistico-programmatico dell'Agglomerato Industriale di Macchiareddu), e soggette alle sue norme tecniche di attuazione. Quanto sopra, per ovvi motivi, con esclusione delle aree interne all'agglomerato di Macchiareddu, di titolarità di soggetti diversi, per le quali risultasse approvato lo specifico Piano di Caratterizzazione in data antecedente all'approvazione del presente documento.

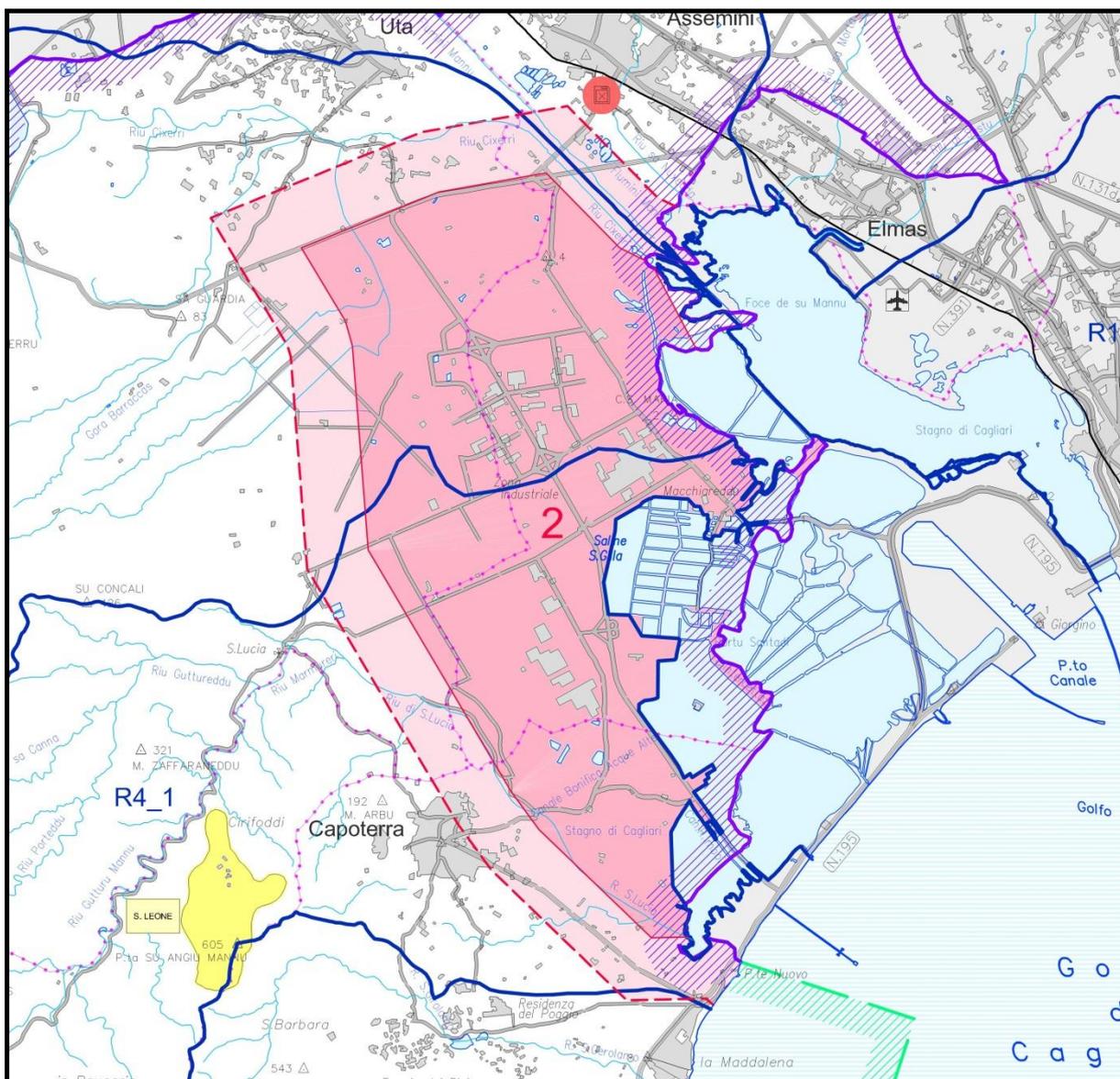


Figura 4-1: Originaria proposta di sub-perimetrazione di dettaglio SIN – D.M. 12 marzo 2003 (RAS 2004)

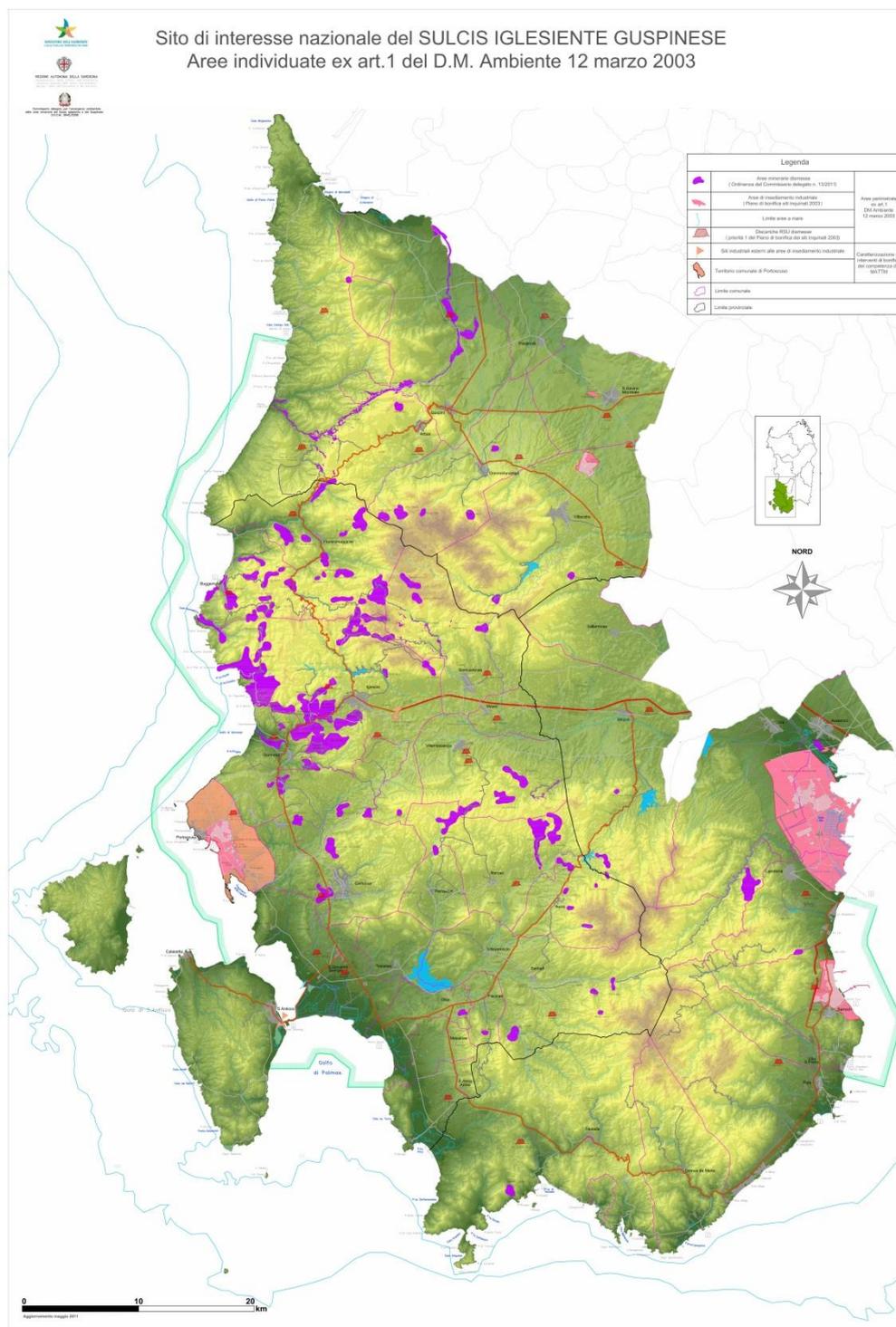


Figura 4-2: Sub-perimetrazione di dettaglio SIN Sulcis-Iglesiente-Guspinese approvata
(Fonte RAS D.G.R. 27/13 del 01/06/2011)

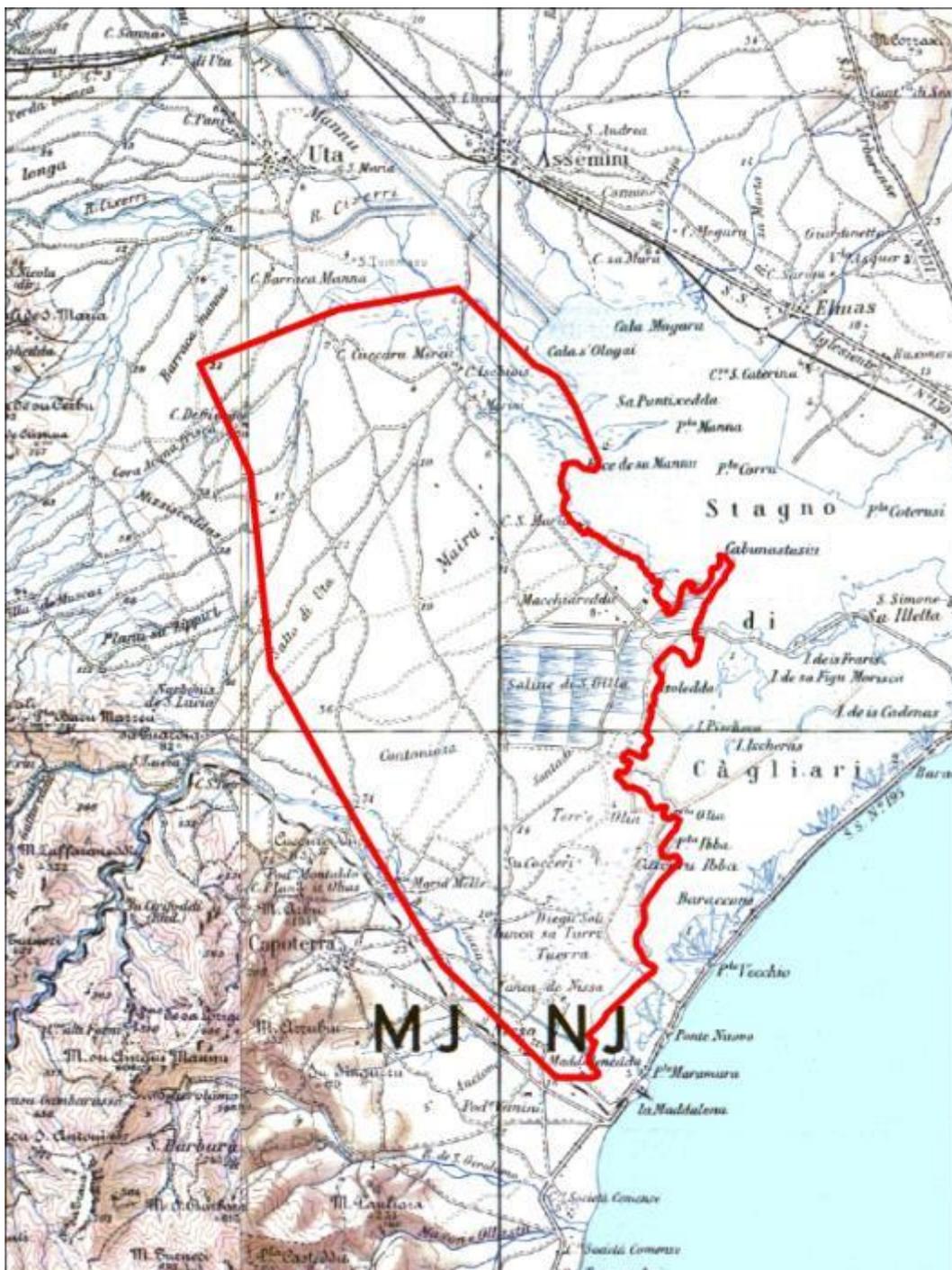


Figura 4-3: Inquadramento Sito di Macchiareddu nella cartografia IGM 1:100.000



Figura 4-4: Inquadramento del Sito di Macchiareddu nella cartografia IGM 1:50.000

Nella cartografia ufficiale, l'area è inquadrata nelle seguenti sezioni della Carta Tecnica Regionale numerica, alla scala 1:10.000:

- 557130 “Macchiareddu”;
- 566010 “Ponte Maramura”;
- 556160 “Azienda Agricola Planemesu”;
- 565040 “Capoterra”

Il Sito è altresì individuabile nei seguenti fogli della Carta Topografica d'Italia dell'Istituto Geografico Militare alla scala 1:25.000, edizione 1991:

- 556 - II “Assemini”;
- 557 - III “Cagliari”;
- 566 - IV “La Maddalena”;
- 565 - I “Capoterra”.

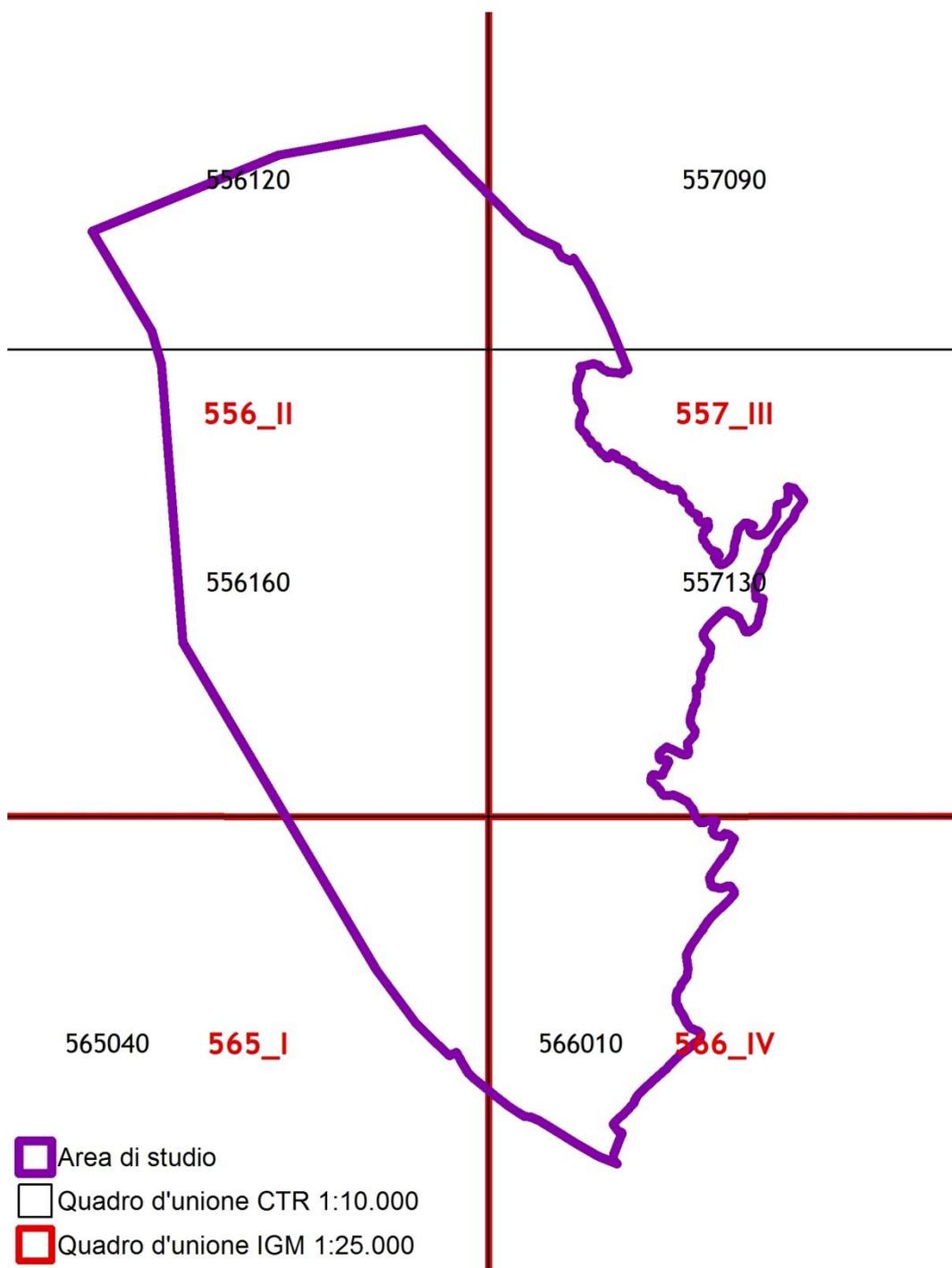


Figura 4-5: Quadro di unione cartografia di riferimento dell'Agglomerato Industriale di Macchiareddu

L'inquadramento, sintetizzato in Tabella 4-1 ed illustrato nella allegata Tavola 2, riporta la ripartizione dell'area di interesse nei vari fogli catastali dei comuni di appartenenza.

Tabella 4-1: Inquadramento catastale del Sito di Macchiareddu

Comune	Codice comune	FOGLIO	Area totale (m² catasto)
Assemini	A474	46	170313
		47	537193
		48	644506
		52	431345
		53	420974
		54	3990730
		55	2888539
		56	2106951
		57	1514286
		58	15979
		59	1124789
		60	2622982
		61	2807986
Cagliari	B354	24	2034266
Capoterra	B675	2	178351
		3	839628
		7	1120474
		14	211963
Uta	L521	26	1369364
		35	238791
		36	3020
		37	711344
		43	228365
		44	892962
		50	1889791
51	2993295		

4.2 Inquadramento urbanistico e condizioni d'uso, attuali e passate, dei terreni

Per una corretta comprensione delle dinamiche socio-economiche che caratterizzano l'area di analisi e per delineare il contesto che fa da sfondo al presente inquadramento territoriale generale, appare appropriato rileggere il complesso tema istituzionale delle Aree di Sviluppo Industriale (ASI). Sotto questo profilo è opportuno ripercorrere il percorso di evoluzione storico-normativa per definire i rapporti che le ASI intrattengono con i territori che le ospitano e le particolari sinergie che con questi si instaurano.

Il tema degli insediamenti industriali assunse importanza centrale nelle politiche nazionali quando, nel secondo dopoguerra, fu necessario affrontare in modo risoluto il problema dello sviluppo economico del Mezzogiorno; con tale prospettiva, l'attenzione degli organi di governo s'incentrò sul processo di industrializzazione, individuato come il più efficace strumento per la crescita.

Nel 1950, con la Legge n. 646, venne istituita la Cassa per il Mezzogiorno con il compito di realizzare, nelle zone depresse del Sud, una serie di opere straordinarie finalizzate a favorirne il progresso socio-economico. L'obiettivo del Legislatore fu di individuare porzioni del territorio nazionale ove promuovere una concentrazione industriale intensiva in aree di elevata suscettività, unitamente ad una concentrazione industriale minore in alcuni territori ("nuclei") di più limitata suscettività. Il modello si fonda su un principio di agglomerazione spaziale: il processo di industrializzazione venne guidato verso un modello "gravitazionale" i cui poli erano costituiti da aree di addensamento, veri e propri centri di attrazione e di sviluppo, distinti dalla loro "massa critica" e dall'entità dei processi che questa era capace di innescare e sostenere.

All'interno di tale contesto si percepì la necessità di un'organizzazione operativa più semplice ed agile di quella offerta dagli enti locali; la gestione di tali agglomerati fu quindi affidata a nuovi soggetti capaci di coordinare e dare rapido impulso ai processi di infrastrutturazione dei territori di competenza e di agevolare così l'insediamento delle industrie: i consorzi industriali. Questi nacquero ufficialmente ai sensi dell'art. 21 della Legge 634/1957 con il compito di acquisire, attrezzare e gestire le aree, di favorire l'impianto e l'esercizio delle industrie attraendo nuove attività, nonché di coordinare gli investimenti.

Il concetto dei "poli di sviluppo industriale" si materializzò con la prima definizione delle Aree di Sviluppo Industriale (ASI) che, in base alla stessa normativa, dovevano essere gestite dai consorzi appositamente istituiti. Oltre agli interventi di carattere infrastrutturale, la legislazione speciale per il mezzogiorno prevede incentivi economici e fiscali alle imprese. La stessa legge contemplava la creazione di Nuclei di Industrializzazione (NI), differenti dalle ASI per le dimensioni più contenute e per la tipologia di imprese da insediare (piccole e medie).

In seguito alla promulgazione della legge sulla Cassa del Mezzogiorno (1950), e pertanto in anticipo sul quadro nazionale, in Sardegna era stata avvertita l'esigenza di proporre nuove

leggi e nuove politiche per lo sviluppo economico regionale. Con la Legge Regionale n. 22 del 1953, "Provvidenze dirette a promuovere e favorire lo sviluppo delle attività industriali e commerciali in Sardegna", vennero introdotte le Zone Industriali di Interesse Regionale (ZIR), antesignane delle già citate ASI e NI. Con tale atto la regione Sardegna iniziava un percorso fortemente innovativo in tema di aree industriali, sul quale il Legislatore nazionale intervenne soltanto nel 1957 con la citata Legge n. 634.

Con la più recente L.R. 10/2008 sul "Riordino delle funzioni in materia di aree industriali", la Regione Sardegna ha stabilito che i Consorzi industriali provinciali, così come definiti all'art. 3, subentrino ai consorzi preesistenti. Per effetto della suddetta L.R., in ciascun ambito provinciale, la gestione delle aree industriali aventi dimensione sovracomunale è affidata ad un Consorzio, costituito ai sensi dell'articolo 32 del decreto legislativo n. 267 del 2000, fra la provincia e i comuni nel cui territorio insistono le aree interessate. Per i comuni (art. 2) viene specificato che gli stessi devono esercitare le competenze loro spettanti nel quadro degli strumenti di programmazione economica e di politica industriale regionale e provinciale e in coerenza con i rispettivi piani urbanistici comunali.

4.3 L'Area di Sviluppo Industriale di Cagliari: presupposti normativi, origini ed evoluzione

L'area industriale di Macchiareddu è una delle zone industriali più rilevanti a livello regionale. Costituita a partire dagli anni '60 del secolo scorso in seguito all'approvazione del Piano di Rinascita (Legge n° 588 del 1962), ha avuto uno sviluppo prevalentemente legato all'attività petrolchimica ed energetica; essa presenta connotati piuttosto particolari determinati dalla sua localizzazione ai margini dello Stagno di Cagliari, importante area umida al livello del Mediterraneo.

Il Consorzio per l'Area di Sviluppo Industriale di Cagliari (CASIC, oggi CACIP) è stato istituito con Decreto del Presidente della Repubblica n. 1410 del 04/11/1961, ai sensi dell'art. 21 della legge 29/07/1957 n. 634. Per effetto della legge 05/10/1991 n. 317, art. 36, 4° comma, esso divenne Ente Pubblico Economico. A seguito dell'emanazione della citata L.R. 10/2008, nel novembre 2008 il CASIC evolse nel Consorzio Industriale Provinciale di Cagliari. Il nuovo Statuto del Consorzio è a tutt'oggi in fase di approvazione e in questa fase di transizione resta in vigore lo Statuto approvato dalla Giunta della Regione Sardegna con delibera del 21 luglio 2003.

L'Area di Sviluppo Industriale si articola su tre zone di agglomerazione (Elmas, Macchiareddu e Sarroch) ed è stata una delle prime aree industriali a nascere nel meridione d'Italia in virtù della citata legge 634 del 1957.

La zona di agglomerazione industriale di Macchiareddu, oggetto del presente PdC, è destinata all'insediamento di grandi, piccole e medie industrie e attività di servizio alla produzione.

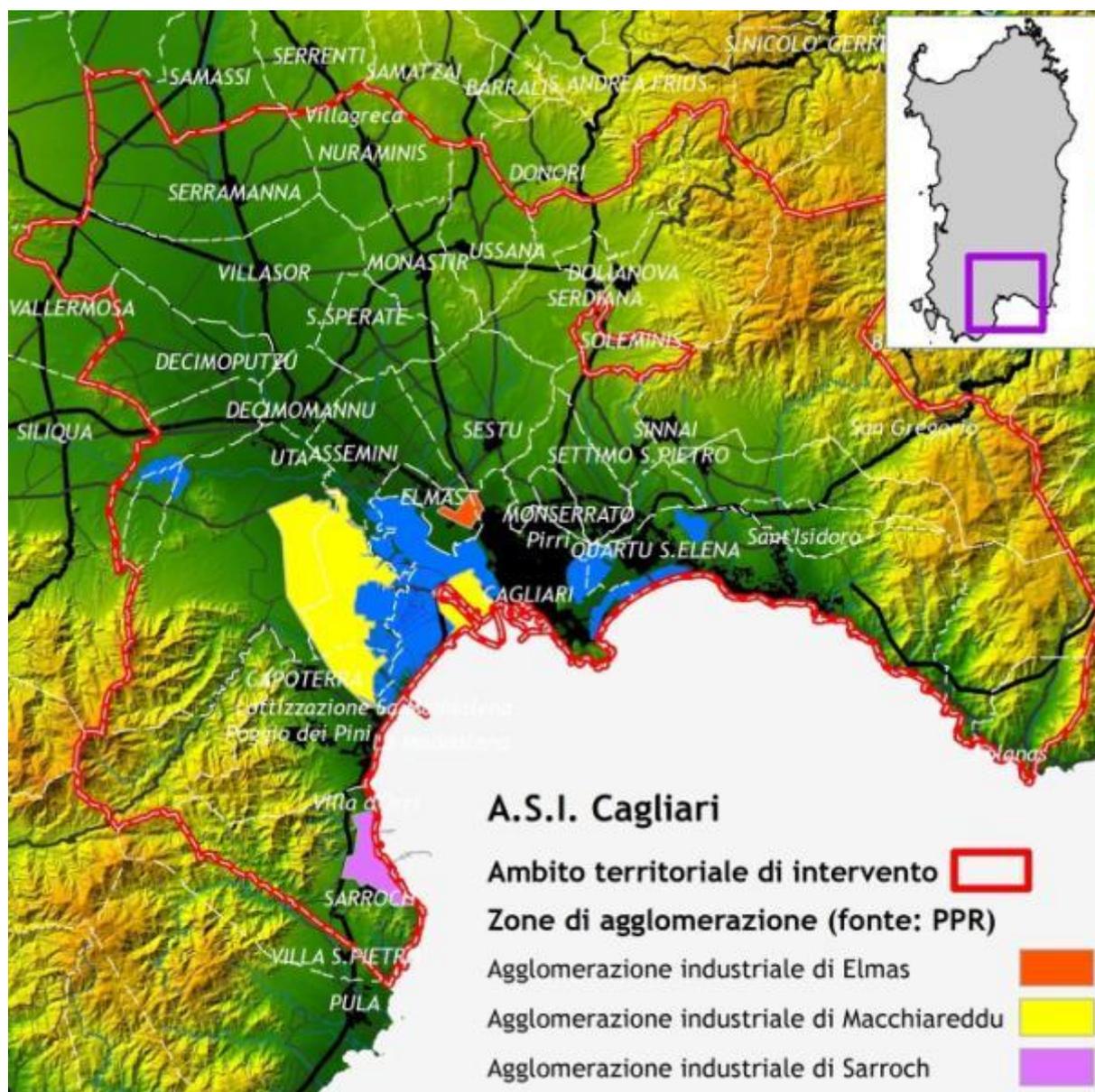


Figura 4-6: L'ambito territoriale di intervento del Consorzio Industriale Provinciale di Cagliari

Fanno parte delle aree di titolarità del CACIP, ma non formano oggetto del presente PdC, la zona di agglomerazione industriale di Elmas (estensione di 268 ettari), situata in adiacenza all'aeroporto di Cagliari-Elmas, e l'agglomerato industriale di Sarroch (estensione 754 ettari), occupati per il 90% dalla raffineria di petrolio della SARAS e dalle attività petrolchimiche e di servizio a questa collegate.

La zona di agglomerazione industriale di Macchiareddu, entro cui si colloca il Sito di riferimento per il presente PdC, si estende su un'area complessiva di 8.333 ettari e dispone di un livello infrastrutturale in grado di soddisfare le esigenze sia delle imprese già insediate sia delle imprese alla ricerca di una localizzazione industriale: oltre alle infrastrutture primarie

(reti elettriche e di telecomunicazione, reti cablate a fibra ottica, reti idriche, etc.) l'area è dotata di una piattaforma ambientale costituita da: un depuratore per il trattamento di reflui civili, reflui industriali, reflui misti e fanghi; un impianto di termodistruzione per lo smaltimento di rifiuti solidi urbani, rifiuti solidi speciali, rifiuti industriali e fanghi provenienti dall'impianto di depurazione; un impianto per lo smaltimento, con inertizzazione e procedimento chimico-fisico, di rifiuti ex tossico-nocivi; un impianto per il compostaggio della frazione organica proveniente dalla raccolta differenziata.

Il territorio dell'agglomerato non interessato direttamente dagli insediamenti industriali è caratterizzato da estese aree destinate a varie forme di agricoltura, nonché da ambiti caratterizzati da connotati semi-naturali o addirittura naturali, come ad esempio le ampie porzioni di saline e lagune soggette alla Convenzione di Ramsar che formano il complesso dello Stagno di Santa Gilla, ambito di primario pregio naturalistico. Proprio la compresenza di aree a diversa destinazione funzionale assume particolare rilievo ai fini della comprensione delle dinamiche ambientali del territorio di interesse, rappresentando un evidente elemento conflittuale delle condizioni d'uso. In tal senso, le pressioni ambientali esercitate dagli stabilimenti industriali hanno inevitabilmente riverberato i loro effetti sull'esteso sistema umido degli stagni di Santa Gilla e Capoterra.

Nonostante la presenza di ampie aree umide, che soprattutto in passato potevano rappresentare fattori limitanti all'insediamento, la tensione verso lo sviluppo in chiave industriale dell'area ad ovest di Cagliari ha profonde radici nella storia (a partire dalla colonizzazione fenicia), ma è nel primo trentennio del secolo scorso, con l'opera dell'ingegner Conti Vecchi, che tale processo assunse una veste moderna, i cui risultati sono ben riconoscibili sino all'epoca contemporanea.

Il primo insediamento industriale nacque nel 1915, sulla riva orientale della Laguna di S. Gilla: la fabbrica di cementi Portland destinata a fornire il cemento per la costruzione della diga sul fiume Tirso. Alla cementeria presto si affiancò la centrale termoelettrica di S. Gilla e successivamente lo stabilimento di fertilizzanti della Montecatini e gli impianti della Società Eser Molini. Nel 1921, dopo una vasta campagna di bonifica delle aree circostanti, fu realizzata nella parte centrale della laguna, la grande salina Conti Vecchi, tuttora in attività. Per il trasporto dei suoi prodotti si scavò nella laguna un canale industriale della profondità di 2 metri e fu realizzato un piccolo approdo chiamato Porto di San Pietro; tali opere dovevano consentire rispettivamente la navigazione e le operazioni di carico dei barconi carichi di sale. Nel 1922, il progetto per l'ampliamento del porto di Cagliari prevede la costruzione, parallelamente alla linea ferroviaria Cagliari-Olbia, di un canale navigabile destinato a congiungere la zona industriale in sviluppo sul margine di Santa Gilla con il porto di Cagliari.

Concentrando le considerazioni e le analisi al periodo del secondo dopoguerra, si può fissare nel 28 novembre 1953 il punto di partenza del percorso di genesi dell'area di sviluppo industriale di Cagliari. In tale data si costituì il Comitato Promotore per la Zona Industriale che sfruttò le possibilità e le nuove figure territoriali introdotte dalla citata L.R. 22/1953 sotto forma di Zone Industriali di Interesse Regionale. Il Consorzio per l'Area di Sviluppo

Industriale di Cagliari, come sopra riportato, fu istituito pochi anni dopo con Decreto del Presidente della Repubblica n. 1410/1961.

Sotto il profilo socio-economico ed ambientale, tralasciando i cambiamenti legati all'operazione di bonifica idraulica di cui sopra, le trasformazioni più significative si ebbero proprio dopo tale data: fu infatti il 1961 l'anno in cui la grande industria petrolchimica si insediò sulle coste cagliaritane. Nel 1962 la società Rumianca (poi Enichem e oggi Syndial) cominciò a costruire nella piana di Macchiareddu, individuata come zona ideale a fini produttivi per la disponibilità di acqua e per la estrema prossimità della salina capace di fornire il cloruro di sodio, prodotto di base per una delle principali linee di lavorazione della petrolchimica di Macchiareddu.

La politica di intervento straordinario nel Mezzogiorno veniva messa in movimento con l'impiego di ingenti mezzi finanziari, capaci di attrarre importanti investimenti nell'Isola. Le scelte industriali intraprese dal 1961 in poi hanno così determinato una radicale trasformazione dei territori di Assemini e Sarroch, passati da connotati prettamente agricoli a centri industriali di una certa consistenza fra quelli del Mezzogiorno.

Sotto il profilo della disciplina urbanistica, il passaggio chiave avvenne nel 1967, anno che vide l'approvazione del Piano Regolatore Territoriale in cui confluirono le principali linee di sviluppo previste per l'area e, dato il particolare significato culturale che veniva attribuito al progresso industriale, inteso come l'unica vera chiave di crescita, i progetti dello stato centrale per il futuro del territorio sardo.

Il boom della petrolchimica e delle infrastrutture caratterizzò lo sviluppo industriale cagliaritano tra la fine degli anni '60 e l'inizio degli anni '70 del secolo scorso. Le capacità imprenditoriali locali furono stimolate e si riversarono nel campo delle lavorazioni metalmeccaniche e di assistenza alla grande industria. La coincidenza della nascita dell'area di Macchiareddu con la costruzione degli stabilimenti della Rumianca, favorì il finanziamento delle infrastrutture di partenza. Nel 1972 entrò in attività la Fluorsid, uno degli impianti più importanti dell'area (cfr. par. 6.2).

Nella seconda metà degli anni '70 l'area industriale di Cagliari avvertì il crollo della petrolchimica, ed attorno al 1977 iniziarono a fermarsi i cantieri delle imprese addette alla costruzione dei nuovi stabilimenti. L'area di Macchiareddu passò rapidamente dall'essere considerata un'area di immensa attrattiva per l'industria, ad un luogo contrassegnato dall'abbandono, nonostante solo pochi anni prima (nel 1969) fosse iniziata la costruzione a Macchiareddu dell'impianto di potabilizzazione dell'acqua e fossero razionalizzati i collegamenti con i centri urbani limitrofi. Verso la fine degli anni '70 all'antica strada di bonifica della salina, l'unica a collegare Macchiareddu con Cagliari, si aggiunsero la strada "dorsale" che assicurò l'innesto della viabilità dell'area industriale sulla litoranea S.S. 195 e la strada "arginale", che sostituì gran parte del tracciato della strada della salina, fagocitata dai lavori del porto canale.

Negli anni '80, accanto agli stabilimenti petrolchimici si insediò nell'area industriale una varietà di aziende in comparti quali l'alimentare e l'elettronica, spesso rilevando stabilimenti

chiusi. Emerse dunque il terziario, ed il CASIC, nel prendere atto di queste trasformazioni, incentrò i propri interventi nella revisione della ricettività degli agglomerati esistenti e nella messa a punto di strumenti capaci di agevolare l'insediamento delle attività artigianali nelle apposite zone comunali.

Nacquero in questa fase le grandi infrastrutture consortili: è del 1983 l'inaugurazione dell'impianto di depurazione delle acque reflue industriali, mentre nel 1985 vennero avviati i lavori per la costruzione del Centro Servizi di Macchiareddu, sede operativa e funzionale del Consorzio.

Nell'agglomerato, in corrispondenza della c.d. Piattaforma polifunzionale di trattamento, si insediò successivamente un impianto di smaltimento di rifiuti solidi urbani ed industriali, incentrato sul funzionamento di impianti di termovalorizzazione e di trattamento chimico-fisico.

Attualmente l'agglomerato industriale di Macchiareddu si caratterizza per la presenza di attività industriali, situate principalmente a cavallo della cosiddetta dorsale consortile, molto diversificate tra loro, ovvero: petrolchimica, agricoltura, industria della trasformazione, terziario, edilizia, ecc. Ciò che conferisce il più alto valore aggiunto alla Zona di agglomerazione di Macchiareddu è la dotazione di un importante sbocco sulle direttrici dei traffici marittimi rappresentato dal Porto Canale. La sua stretta integrazione con l'Area Industriale di Cagliari, della quale è parte integrante, i suoi rapidi collegamenti con l'area metropolitana di Cagliari e l'intero territorio della Sardegna, rendono, infatti, il sistema del Porto Canale un elemento fondamentale dell'economia di Cagliari e dell'intera regione.

5 INQUADRAMENTO PROGRAMMATICO

Nell'ottica di approfondire il quadro di conoscenze circa le dinamiche urbanistico-territoriali in atto, rispetto alle quali deve necessariamente relazionarsi il processo di attuazione degli adempimenti imposti dalla normativa sui siti contaminati, il presente PdC ha contemplato una ricognizione e una disamina degli strumenti di pianificazione, programmazione e di tutela ambientale che, a vari livelli, agiscono sull'Area di Macchiareddu. In tal senso, le informazioni ed analisi di seguito esposte possono certamente rivelarsi utili ai fini della definizione di un'eventuale scala di priorità delle operazioni di caratterizzazione, nonché significative per la stessa calibrazione delle attività di indagine da condurre sul campo e per l'identificazione del sistema di "centri di pericolo" e "bersagli" ambientali da ricomporre nel modello concettuale del sito.

5.1 Quadro generale dei dispositivi di tutela

L'area vasta di riferimento include ambiti di significativa importanza ambientale, riconducibili al sistema dello stagno di Cagliari, composto dalle zone umide delle Saline di Macchiareddu, della Laguna di Santa Gilla e dello Stagno di Capoterra. Tali ambiti formano un complesso ecosistemico riconosciuto come uno dei principali sistemi lagunari - costieri del bacino mediterraneo, nodo centrale del sistema di protezione Rete Natura 2000: l'ecosistema lagunare di Santa Gilla, in particolare, è Sito di Importanza Comunitaria ("Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla", Cod.ITB040023), Zona di Protezione Speciale (ZPS ITB044003) e Zona Umida di Importanza Internazionale (sito Ramsar).

L'elevata valenza ecologica dell'area di Santa Gilla è attestata dai seguenti dispositivi di tutela ambientale:

- Convenzione di Ramsar ai sensi della quale lo Stagno di Cagliari è stato inserito dal 1977 nella "Lista" delle Zone Umide di importanza internazionale", specialmente come habitat per gli uccelli acquatici;
- L.R. n. 31/1989, relativa all'istituzione e la gestione dei parchi, delle riserve e monumenti naturali nonché delle aree di particolare rilevanza naturalistica ed ambientale, che lo inserisce tra le riserve naturali;
- L.R. n. 23/1998 "*Norme per la protezione della fauna selvatica e per l'esercizio della caccia in Sardegna*" che istituisce nello Stagno di Cagliari un "Oasi Permanente di Protezione Faunistica e Cattura";
- Istituzione del SIC "Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di S.Gilla" codice ITB040023 –D.P.R. 357/97, in attuazione della direttiva CEE 92/43, come modificato e integrato dal DPR 120/2003;
- Istituzione della ZPS "*Stagno di Cagliari*" codice ITB044003 - Legge 157/11 febbraio 1992, in attuazione della direttiva CEE 79/409, per la biodiversità animale e vegetale.

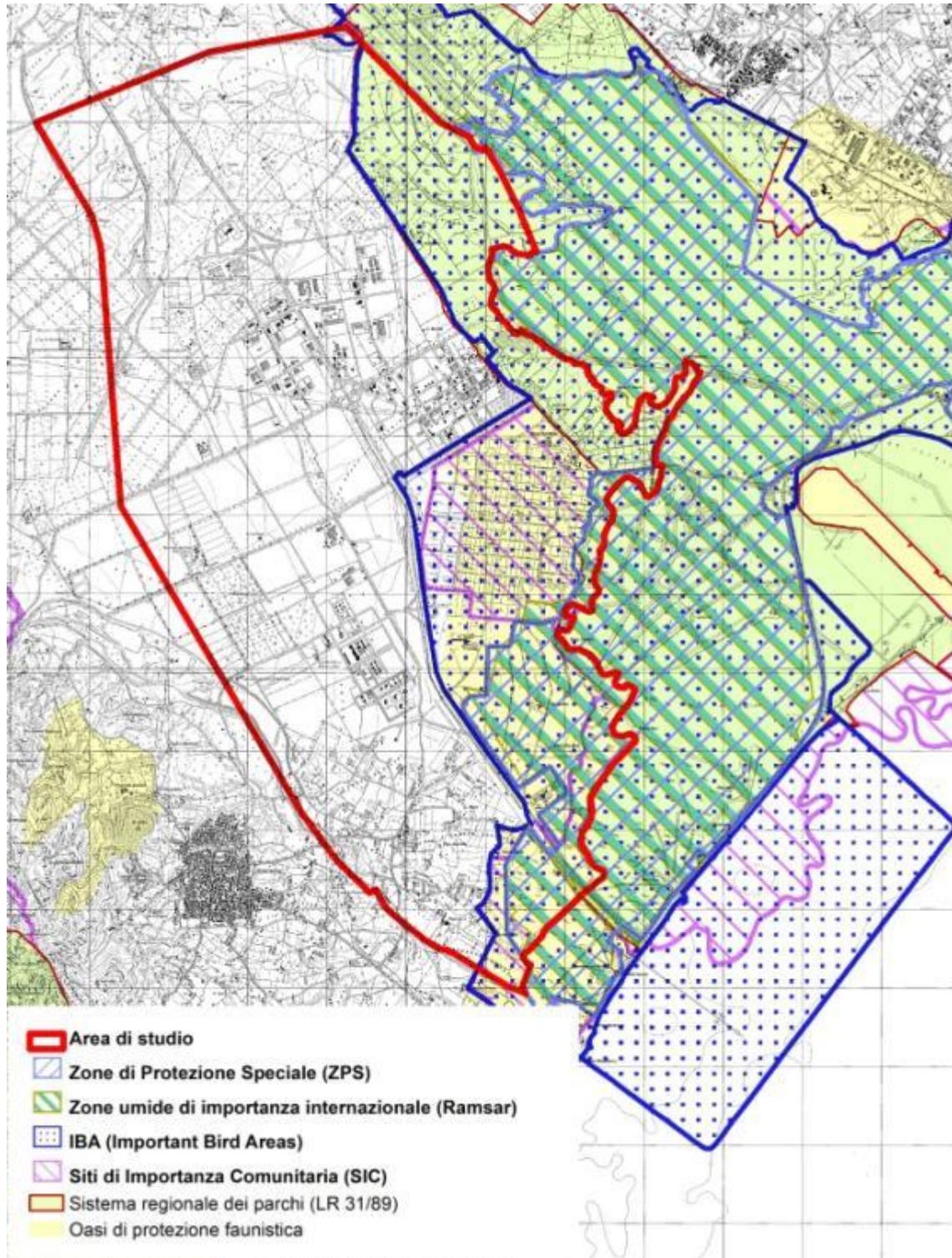


Figura 5-1: Ubicazione delle aree di interesse naturalistico.

Di seguito si riassumono i principali dati territoriali afferenti alla Laguna di Santa Gilla ed i più significativi strumenti di tutela ambientale:

- Coordinate: 39°12'N; 09°02'E
- Superficie: 2.940 ha
- Proprietà: Demaniale, privata
- Codice INFS: CA1302, CA1303, CA1304

Norme e proposte di tutela:

- Sito Ramsar: N. IT018 D.M. 01/08/77
- Sito Natura 2000: ZPS ITB040003; SIC ITB040023
- Piano Paesaggistico Regionale: Ambito 1 - Tavole 557 III, 566 IV
- Riserva Naturale: L.R. 31/1989
- Istituti venatori: Oasi di protezione faunistica e di cattura

5.2 Strumenti di pianificazione di settore

5.2.1 Piano Regionale di Bonifica dei siti inquinati

Il Piano Regionale di Bonifica dei siti inquinati è stato approvato con deliberazione della Giunta Regionale n. 43 del 5/12/03.

Fra i siti da bonificare, il Piano individua anche i due Siti di Interesse Nazionale, ovvero l'area del Sulcis - Iglesiente - Guspinese (in cui ricade il Sito di Macchiareddu) e l'area industriale di Porto Torres, perimetrati rispettivamente con i decreti del 12.03.2003 e 07.02.2003, e nei quali le procedure amministrative ed operative sono di competenza del Ministero dell'Ambiente.

Il Piano rappresenta il principale strumento per la pianificazione degli interventi di risanamento ambientale dei siti inquinati da rifiuti e da attività industriali.

Come esplicitato al capitolo 2 del Piano, la programmazione regionale in materia di bonifica dei siti inquinati si è articolata, in funzione della normativa in vigore, su quattro documenti fondamentali elaborati, direttamente o indirettamente, dalla Regione Sardegna. Essi sono:

- il primo Piano Regionale di Bonifica delle aree inquinate predisposto dalla divisione Ambiente della Società Ansaldo Industria S.p.A per conto della Regione Autonoma della Sardegna, nell'ambito del quale sono stati stabiliti i criteri e le linee guida per l'elaborazione e la predisposizione dei Piani di bonifica;
- il Piano per il disinquinamento e la riabilitazione ambientale delle aree minerarie dismesse del Sulcis – Iglesiente - Guspinese;
- il Censimento delle discariche non autorizzate in Sardegna (CEN.DI.) predisposto dall'Assessorato Regionale della Difesa dell'Ambiente;
- lo studio propedeutico per la predisposizione del Piano di gestione dei rifiuti speciali in Sardegna e l'aggiornamento del Piano di Bonifica delle aree inquinate, predisposto dal C.I.N.S.A. dell'Università di Cagliari.

L'obiettivo principale del Piano è il risanamento ambientale di aree del territorio regionale che, inquinate per effetto di attività industriali e civili, presentano situazioni di rischio sia sanitario che ambientale. È previsto che tale obiettivo venga perseguito attraverso la realizzazione di bonifiche e/o messa in sicurezza di zone contaminate, di proprietà sia privata che pubblica, secondo le priorità di intervento individuate dal Piano in base ad un insieme strutturato e aggiornato delle informazioni utili.

Il Piano di bonifica vigente contiene l'aggiornamento al dicembre 2002 del censimento delle aree contaminate rinvenute sul territorio regionale e prevede vengano redatti costanti aggiornamenti ed integrazioni sulla qualità ambientale dei siti inquinati.

Il Piano identifica il sito di Assemini - Macchiareddu come uno degli agglomerati industriali di maggiore rilievo dal punto di vista della produzione chimica, petrolchimica e metallurgica; attività, queste, che in Sardegna sono riconosciute tra le maggiori fonti di inquinamento dei

suoli e delle acque.

Il documento descrive l'area di Assemmini e le principali cause di crisi ambientale della zona industriale, individuando i principali impianti produttivi, i siti potenzialmente inquinati a rischio di incidente rilevante, i siti adibiti a discarica o stoccaggio dei rifiuti, gli stabilimenti dismessi.

Così come previsto dalla normativa, il Piano contiene una prioritizzazione degli interventi di bonifica basata sull'elaborazione di criteri di valutazione del rischio elaborati dall'APAT.

Seguendo questa impostazione vengono di seguito riportati gli interventi prescritti nell'allegato del Piano, raggruppandoli per livello di priorità ad essi attribuita, utili ai fini dell'identificazione dei "centri di pericolo" primari che possono riconoscersi nel Sito di Macchiareddu (cfr. par. 7.2).

Interventi da attivare con priorità molto elevata:

- Nello stabilimento di proprietà Enichem S.p.A. (attualmente Syndial), la bonifica dei suoli e delle acque di falda in tutta l'area dello stabilimento (ndr. intervento in itinere).

Interventi da attivare con priorità elevata:

- Per la discarica industriale di proprietà Fluorsid (esterna al Sito oggetto del presente PdC), adibita a deposito gessi, il risanamento ambientale con eventuale bonifica dei suoli contaminati e della falda.

Sono inoltre indicati dal Piano alcuni interventi già eseguiti o in attuazione:

- Per la discarica industriale dell'area esterna di proprietà Enichem S.p.A. (attualmente Syndial) viene riportato l'intervento di bonifica effettuato mediante rimozione delle terre contaminate e viene indicato l'intervento previsto di messa in sicurezza approvato nel febbraio 2000.
- Per lo stabilimento di proprietà Bridgestone Metalpha (ex Gencord) viene indicato come in corso di attuazione l'intervento di bonifica con misure di sicurezza e si indica come intervento da attivare il monitoraggio costante dello stato di compromissione della falda.

5.2.2 Piano Regionale di gestione dei rifiuti

Con Deliberazione della Giunta Regionale n. 21/59 del 8/4/2008 è stato approvato il nuovo Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti – sezione rifiuti urbani (art. 199 del D.Lgs. n. 152/2006) ed il Rapporto Ambientale per la procedura di VAS (art. 13 del D.Lgs. n. 4/2008).

Precedentemente erano stati approvati dalla Giunta Regionale le seguenti sezioni che completavano il disegno dell'originario Piano del 1998:

- Piano dei rifiuti speciali approvato con Deliberazione di Giunta Regionale n. 13/34 del 30/04/02;
- Piano Regionale di gestione degli imballaggi e dei rifiuti di imballaggio approvato con Deliberazione di Giunta Regionale n. 29/13 del 29.8.2002;

- Piano di bonifica dei siti inquinati approvato con Deliberazione di Giunta Regionale n. 45/34 del 5.12.2003;
- Programma per la riduzione dei rifiuti biodegradabili da collocare in discarica approvato con Deliberazione di Giunta Regionale n. 22/50 del 13.5.2004.

Con riferimento all'assetto infrastrutturale del settore di Studio, il Piano riconosce la piattaforma di trattamento rifiuti del CACIP quale la principale infrastruttura a servizio del sub ambito A1 di Cagliari; ad essa confluiscono i rifiuti urbani della maggior parte dei Comuni del sub ambito. Si evidenzia, peraltro, come ad oggi il sub-ambito non disponga di una discarica di servizio all'impianto del CACIP. A tale fine è stato individuato, di concerto con gli Enti preposti, un sito della superficie di circa 20 ettari ubicato in Comune di Uta, nella porzione nordoccidentale dell'agglomerato di Macchiareddu.

Nelle more della realizzazione della discarica di servizio al sistema di smaltimento CACIP, le eccedenze dei rifiuti, anche nel caso di fermate programmate e straordinarie degli impianti, vengono conferite al sistema di trattamento/smaltimento di Villacidro, mentre le scorie e le ceneri vengono conferite alle discariche private per rifiuti speciali della Ecoserdiana a Sordiana (CA) e della Ecodump a Carbonia (CI).

La piattaforma CACIP, inoltre, soddisfa gran parte della domanda di trattamento chimico-fisico dei rifiuti speciali a livello regionale. La stessa piattaforma assolve, in particolare, alle esigenze di inertizzazione delle ceneri leggere prodotte dall'inceneritore per rifiuti urbani nonché di alcune tipologie di rifiuti industriali pericolosi.

Così come previsto nella proposta di organizzazione a regime del sistema di raccolta e impiantistico, per il sub-ambito provinciale di Cagliari è stato attivato un impianto di stabilizzazione per il trattamento della frazione organica da selezione meccanica del CACIP e per la produzione di compost di qualità.

5.2.3 Piano di Tutela delle Acque

Con Deliberazione della Giunta Regionale n. 14/16 del 4 aprile 2006 la Regione Autonoma della Sardegna, in attuazione dell'art. 44 del D.Lgs. 11 maggio 1999 n. 152 (ora abrogato e confluito nella Parte terza del Codice Ambientale) e dell'art. 2 della L.R. luglio 2000, n. 14, ha approvato, su proposta dell'Assessore della Difesa dell'Ambiente, il Piano di Tutela delle Acque (PTA).

Il PTA è lo strumento mediante il quale vengono individuati gli obiettivi di qualità ambientale dei corpi idrici e le linee di intervento volte a garantire il loro raggiungimento o mantenimento.

La principale finalità del PTA è quella di fungere da strumento conoscitivo, programmatico, dinamico attraverso azioni di monitoraggio, per la programmazione e l'individuazione di interventi, misure, vincoli, finalizzati alla tutela integrata degli aspetti quantitativi e qualitativi della risorsa idrica.

Il PTA, oltre agli interventi volti a garantire il raggiungimento o il mantenimento degli obiettivi,

le misure necessarie alla tutela qualitativa e quantitativa del sistema idrico, contiene: i risultati dell'attività conoscitiva; l'individuazione degli obiettivi ambientali e per specifica destinazione; l'elenco dei corpi idrici a specifica destinazione e delle aree richiedenti specifiche misure di prevenzione dall'inquinamento e di risanamento; le misure di tutela qualitative e quantitative tra loro integrate e coordinate per bacino idrografico; il programma di attuazione e verifica dell'efficacia degli interventi previsti.

Il Piano suddivide il territorio Regionale in Unità Idrografiche Omogenee (UIO) costituite da uno o più bacini idrografici limitrofi. I corpi idrici sono distinti in 5 categorie: corsi d'acqua, naturali e artificiali; laghi, naturali e artificiali; acque di transizione; acque marino-costiere; acque sotterranee.

La zona industriale di Assemini è compresa nella UIO denominata "1- Flumini Mannu - Cixerri". Tale unità è la più estesa tra tutte con i suoi 3.566 km² di superficie e comprende, oltre ai bacini principali del Flumini Mannu e del Rio Cixerri, una serie di bacini minori costieri della costa meridionale della Sardegna, che si sviluppano lungo il Golfo di Cagliari, da Capo Spartivento a ovest, a Capo Carbonara, a est.

Nella UIO del Flumini Mannu – Cixerri, alla quale appartiene il Sito in esame, sono individuati dal Piano numerosi centri di pericolo di carattere puntuale, quali gli insediamenti industriali di Elmas, Assemini - Macchiareddu, Sarroch, Iglesias, Villacidro. Tra i centri di pericolo puntuali si annoverano le discariche autorizzate e gli inceneritori.

Gli obiettivi da raggiungere nell'ambito della UIO si individuano nel raggiungimento degli obiettivi di qualità posti dal D.Lgs. 152//06 relativamente alle acque superficiali, mentre per le acque marino-costiere l'obiettivo primario è quello di realizzare una rete di monitoraggio che ne consenta il controllo qualitativo.

Per quanto concerne la tutela dei corpi idrici significativi e i relativi obiettivi di qualità fissati dal Piano, si evidenzia che nell'area oggetto d'indagine ricadono diverse tipologie di corpi idrici significativi, ascrivibili ai corsi d'acqua (Flumini Mannu e Rio Cixerri), alle acque di transizione (Stagno di Cagliari – Laguna di S. Gilla) ed alle acque sotterranee (Acquifero Detrico Alluvionale Plio-Quaternario del Campidano). Tra i Corpi idrici a specifica destinazione, in particolare per la vita dei molluschi, rientra lo Stagno di Cagliari (acque di transizione).

Per tali corpi idrici significativi il Piano prevede i seguenti obiettivi specifici:

Flumini Mannu

Conseguimento dello stato ambientale di "SUFFICIENTE" al 2008 e di "BUONO" al 2016. Le criticità significative sono date dai parametri COD, NO₃, P, per cui l'obiettivo specifico consiste nel portare entro il 2008 tali parametri in corrispondenza del Livello 3 e, entro il 2016, in corrispondenza del Livello 2.

Rio Cixerri

"Conseguimento dello stato ambientale di "BUONO" al 2016, mantenimento dello stato

“SUFFICIENTE” al 2008. L'unico inquinante che presenta criticità significative, da attribuire in prevalenza al comparto civile, è il COD, per cui l'obiettivo specifico consiste nel portare entro il 2008 tale parametro in corrispondenza del Livello 3 e, entro il 2016, in corrispondenza del Livello 2, tramite interventi sul comparto sopra menzionato.

Acque di transizione:

“Lo stato conoscitivo attuale sulle acque di transizione della Sardegna derivante dal monitoraggio eseguito ai sensi del D.Lgs. 152/992 non consente di evidenziare delle criticità e quindi di definire compiutamente degli obiettivi per la loro qualità ambientale. Tuttavia sulla base dello stato conoscitivo derivante da studi e monitoraggi pregressi per alcuni stagni possono definirsi degli obiettivi meno generici: per lo stagno di Santa Gilla l'obiettivo sarà dato dal controllo dei carichi di nutrienti, che non dovranno superare quelli rilevati nell'ambito di studi pregressi. In particolare, dovrà garantirsi un adeguato apporto di acque dolci allo stagno che eviti un ulteriore incremento della salinità delle acque”.

La fase conoscitiva individua chiaramente lo Stagno di Cagliari come uno dei più importanti sistemi umidi non solo della Sardegna ma dell'intero Mediterraneo, la cui morfologia attuale è l'esito di una serie di modifiche effettuate dall'uomo negli ultimi due secoli, con una serie di opere di bonifica e di canalizzazioni.

L'area di riferimento per il piano è tutta l'area drenata dallo Stagno di Santa Gilla: questa comprende i bacini idrografici del Flumini Mannu, del Cixerri, del Rio di Santa Lucia, del Rio di Sestu che complessivamente hanno una superficie prossima ai 270.000 ettari.

L'area stagnale, notevolmente fragile dal punto di vista ambientale e in relazione con un contesto così ampio, è stata oggetto nel passato di numerosi fenomeni di inquinamento tra i quali si citano:

- l'inquinamento da idrocarburi, mercurio e altre sostanze tossiche accertato negli anni '60;
- un'epidemia di colera, che determinò la chiusura alla pesca della laguna nel 1974;
- la rilevazione di concentrazioni di mercurio pari a 4,67 mg/l per chilogrammo di pesce nel 1976.

Negli anni immediatamente successivi iniziarono i primi studi per il risanamento e l'area venne inserita tra le zone umide di importanza internazionale ai sensi della Convenzione di Ramsar (1977); solo dopo una serie di interventi di bonifica lo stagno venne nuovamente considerato idoneo per la pesca nel 1994.

Il Sito di riferimento per il presente PdC ricade interamente nell'Area sensibile 1 (Stagno di Santa Gilla), per cui l'art. 26, recante Misure per la tutela delle aree sensibili, definisce in linea generale alcune categorie di attività che vengono indicate come prioritarie in tali zone:

- regolamentazione e controllo degli scarichi;
- completamento ed adeguamento dei relativi scarichi ai limiti del Decreto degli schemi fognario-depurativi individuati negli strumenti di pianificazione Regionali ed aggiornati nel

presente PTA;

- divieto di scarichi diretti e deviazione a valle dei laghi degli scarichi presenti;
- divieto di utilizzo delle fasce riparie per pascolo di bestiame;
- abbattimento di Azoto e di Fosforo per gli scarichi puntuali indiretti in corpo idrico afferenti ad invaso.

5.2.4 Piano Regionale dei Trasporti

Il Piano Regionale dei Trasporti (PRT) della Regione Sardegna, la cui proposta definitiva è stata approvata con deliberazione n. 66/23 del 27 novembre 2008, è ad oggi vigente e costituisce lo strumento di pianificazione di medio e lungo termine per la politica regionale nei settori della mobilità aerea, marittima, viaria e ferroviaria.

Riguardo al quadro nazionale di riferimento, il PRT è predisposto in coerenza con gli obiettivi del Piano Generale dei Trasporti (2001) e con gli altri documenti programmatici che fanno riferimento al Quadro Comunitario di Sostegno FSE 2007-2013 e al quadro strategico delineato dagli ultimi Accordi di Programma Quadro - Viabilità e Mobilità - stipulati.

Il PRT ha come oggetto sia i vari settori della mobilità privata come quello aereo, marittimo, viario e ferroviario sia il trasporto pubblico locale con particolare riguardo alle aree metropolitane di Cagliari e Sassari.

Quello che più interessa in questa sede è delineare il quadro strategico infrastrutturale per la viabilità riguardo all'area di studio, in quanto capace di orientare le dinamiche urbanistico-insediative.



Figura 5-2: Stralcio dal PRT

Il PRT, rispetto allo stato attuale del sistema viario nel suo complesso, con particolare riferimento alla rete viaria fondamentale e di I livello regionale, evidenzia la necessità e definisce i primi sforzi necessari per il compiersi dell'ampio processo di adeguamento e ammodernamento indirizzato in particolare verso due obiettivi principali:

- il completamento e la riqualificazione degli archi del corridoio plurimodale Sardegna-Continente (rete fondamentale-asse insulare) per l'integrazione con le reti nazionale ed europea;
- il consolidamento dell'attuale dotazione infrastrutturale che esalti e renda più netta la funzione reticolare (di macro e micro-accessibilità) del sistema dei collegamenti e delle relazioni con i nodi di interscambio con l'esterno.

Nel PRT la rete stradale di livello fondamentale della Regione Sardegna risulta individuata dagli assi costituiti dalla SS 131 e SS 131 DCN, dalla SS 130, dalla SS 291, dalla SS 125 e dalla SS 133, dalla SS 389 e dalla SS 198 nonché dal percorso “SS 195 – Dorsale Casic - Nuova circonvallazione esterna di Cagliari” di preminente interesse per l’assetto infrastrutturale del Sito in esame.

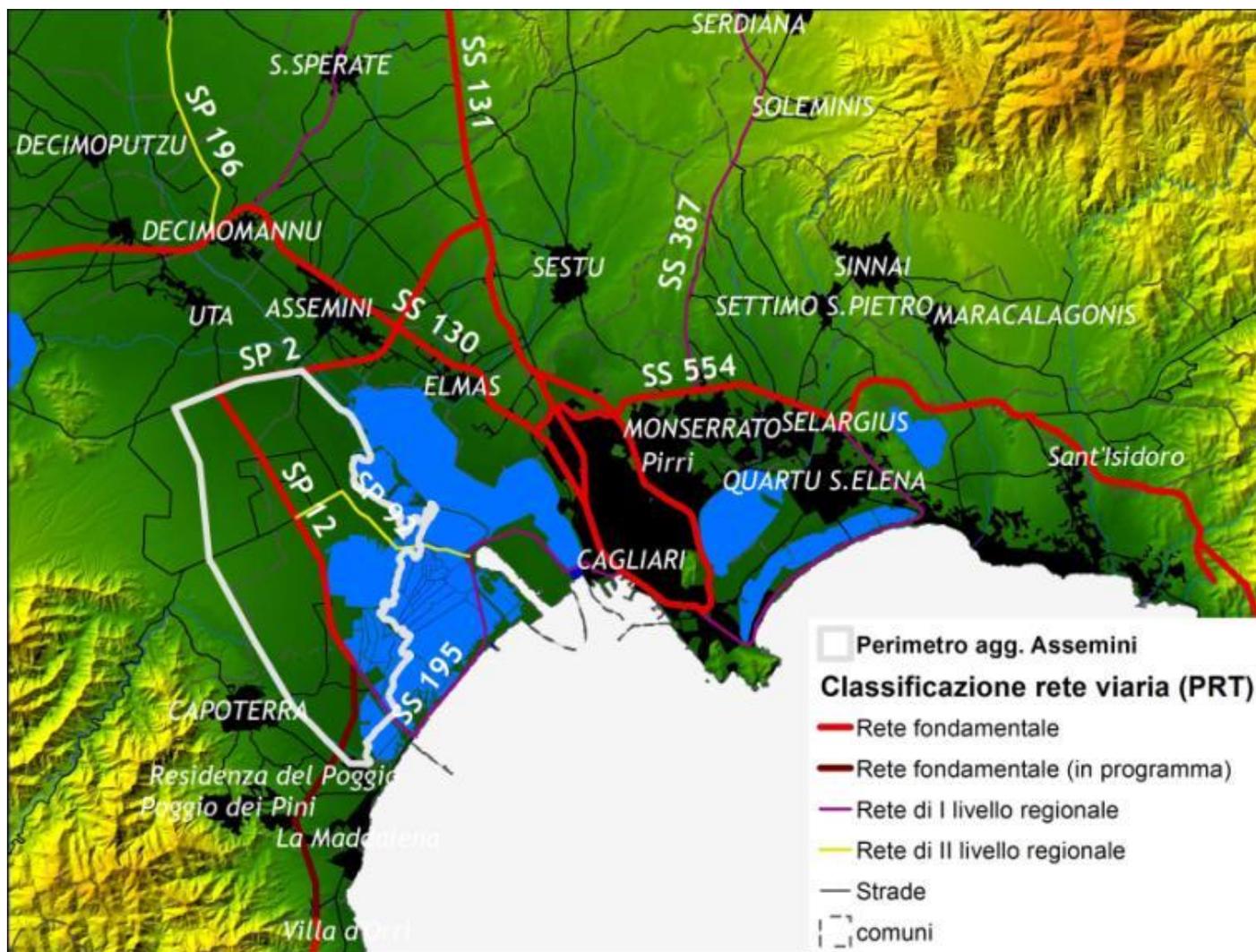


Figura 5-3: Inquadramento dell'area di interesse nella rete viaria classificata secondo il PRT

Per il completamento di questo livello infrastrutturale il PRT, relativamente al contesto in esame, propone che si intervenga su:

- l'itinerario di livello fondamentale Cagliari-Capoterra-Pula, per il quale è già disponibile il finanziamento per l'esecuzione del tronco tra Cagliari e Pula con caratteristiche di strada tipo B a carreggiate separate (eccezion fatta per l'attraversamento dello Stagno di Santa Gilla). All'interno dell'intervento ricade anche la viabilità CACIP (ex CASIC) realizzata negli anni '90 che viene riqualificata. Per la prosecuzione, da Pula sino a Domus de Maria, si ipotizza l'adeguamento in sede mediante interventi di messa in sicurezza. Questo itinerario risulta di particolare importanza sia per le località attraversate (insediamenti residenziali di Capoterra, industriali di Macchiareddu e Sarroch, turistici di Pula e Domus de Maria) che per i rilevanti flussi transitanti (Area Vasta cagliaritana, industriali-commerciali-turistici) con valori consistenti sia nel periodo invernale che in quello estivo;
- la nuova circonvallazione di Cagliari, di cui è stata realizzata la prima parte nel tratto da Flumini di Quartu sino all'attuale SS 554. Sono stati, inoltre, programmati anche interventi sulla vecchia SS 554, per l'eliminazione di intersezioni a raso, e per il collegamento SS 131 bivio Sestu e la SS 130 per l'aeroporto. Si tratta di un'arteria di particolare importanza per l'Area Vasta cagliaritana e per la stessa città di Cagliari, in quanto consente di collegare i due versanti costieri (orientale di Villasimius ed occidentale verso Pula), recuperando lungo il suo sviluppo importanti fasce funzionali produttive di tipo industriale (Macchiareddu), commerciali (Sestu) e residenziali, oltre che intercettando le principali direttrici in uscita/entrata da Cagliari (SS 195, SS 130, SS 131, SS 387, nuova SS 125 e provinciale per Villasimius);
- l'itinerario Cagliari-Iglesias-SS130-Carbonia: composto dalla SS130, dall'itinerario SP 85 e SP 2 Pedemontana; gli interventi più urgenti sono quelli tra Iglesias e Carbonia.

5.3 Strumenti di pianificazione territoriale

5.3.1 Piano Paesaggistico Regionale (PPR)

Il Piano Paesaggistico Regionale è entrato in vigore a decorrere dalla pubblicazione sul Bollettino Regionale, BURAS anno 58° n. 30 dell'8 settembre 2006. Il piano è stato approvato in via definitiva con Decreto del Presidente della Regione n. 82 del 7 settembre 2006, limitatamente al 1° ambito omogeneo-Area Costiera, in ottemperanza a quanto disposto dall'articolo 11 della L.R. 22 dicembre 1989, n. 45, modificato dal comma 1 dell'articolo 2 della L.R. 25/11/2004, n. 8.

Attraverso il Piano Paesaggistico Regionale (PPR), la Regione riconosce i caratteri, le tipologie, le forme e gli innumerevoli punti di vista del paesaggio sardo, costituito dalle interazioni della naturalità, della storia e della cultura delle popolazioni locali, intese come elementi fondamentali per lo sviluppo, ne disciplina la tutela e ne promuove la

valorizzazione.

Il PPR si configura come “piano urbanistico-territoriale con specifica considerazione dei valori paesaggistici.” In questo senso il PPR viene assunto, nella sua valenza urbanistica, come strumento sovraordinato della pianificazione del territorio, con i suoi contenuti descrittivi, prescrittivi e propositivi (art. 143, comma 3, del Codice e art. 2, comma 2, delle NTA). La Regione, quindi, nell’esercizio della sua competenza legislativa primaria in materia di urbanistica, definisce ed approva il PPR, che, oltre agli obiettivi ed alle funzioni che gli sono conferiti dal Codice, diventa la cornice ed il quadro programmatico della pianificazione del territorio regionale.

Il PPR si applica, nella sua attuale stesura, solamente agli ambiti di paesaggio costieri, individuati nella cartografia del PPR, secondo l’articolazione in assetto ambientale, assetto storico-culturale e assetto insediativo. Per gli ambiti di paesaggio costieri, che sono estremamente importanti per la Sardegna poiché costituiscono un’importante risorsa potenziale di sviluppo economico legato al turismo connesso al mare ed alle aree costiere, il PPR detta una disciplina transitoria rigidamente conservativa, e un futuro approccio alla pianificazione ed alla gestione delle zone marine e costiere basato su una prassi concertativa tra Comuni costieri, Province e Regione.

Peraltro, i beni paesaggistici ed i beni identitari individuati e tipizzati dal PPR, pur nei limiti delle raccomandazioni sancite da alcune sentenze di Tribunale Amministrativo Regionale, sono comunque soggetti alla disciplina del Piano, indipendentemente dalla loro localizzazione o meno negli ambiti di paesaggio costiero (art. 4, comma 5 NTA). Ciò, in ogni caso, nei limiti dei disposti degli artt. 134, 136 e ss. del D.Lgs. 42/04.

Il PPR, quindi, disciplina i processi di trasformazione fisica e l’uso del territorio con lo scopo di:

- preservare, tutelare, valorizzare e tramandare alle generazioni future l’identità ambientale, storica, culturale e insediativa del territorio sardo;
- proteggere e tutelare il paesaggio culturale e naturale e la relativa biodiversità;
- assicurare la salvaguardia del territorio e promuoverne forme di sviluppo sostenibile, al fine di conservarne e migliorarne la qualità.

L’analisi territoriale svolta dal PPR è articolata secondo tre assetti: ambientale, storico-culturale e insediativo, per ciascuno dei quali sono stati individuati i beni paesaggistici, i beni identitari e le componenti di paesaggio, e la relativa disciplina generale, costituita da indirizzi e prescrizioni.

Il dispositivo spaziale generale del Piano Paesaggistico Regionale fonda le sue basi nell’individuazione sul territorio regionale costiero di ventisette ambiti di paesaggio. Questi costituiscono “la figura spaziale di riferimento della qualità delle differenze del paesaggio ambiente del territorio regionale insita nella sua struttura ambientale che è articolabile nelle componenti naturali, storico-culturali e insediative”.

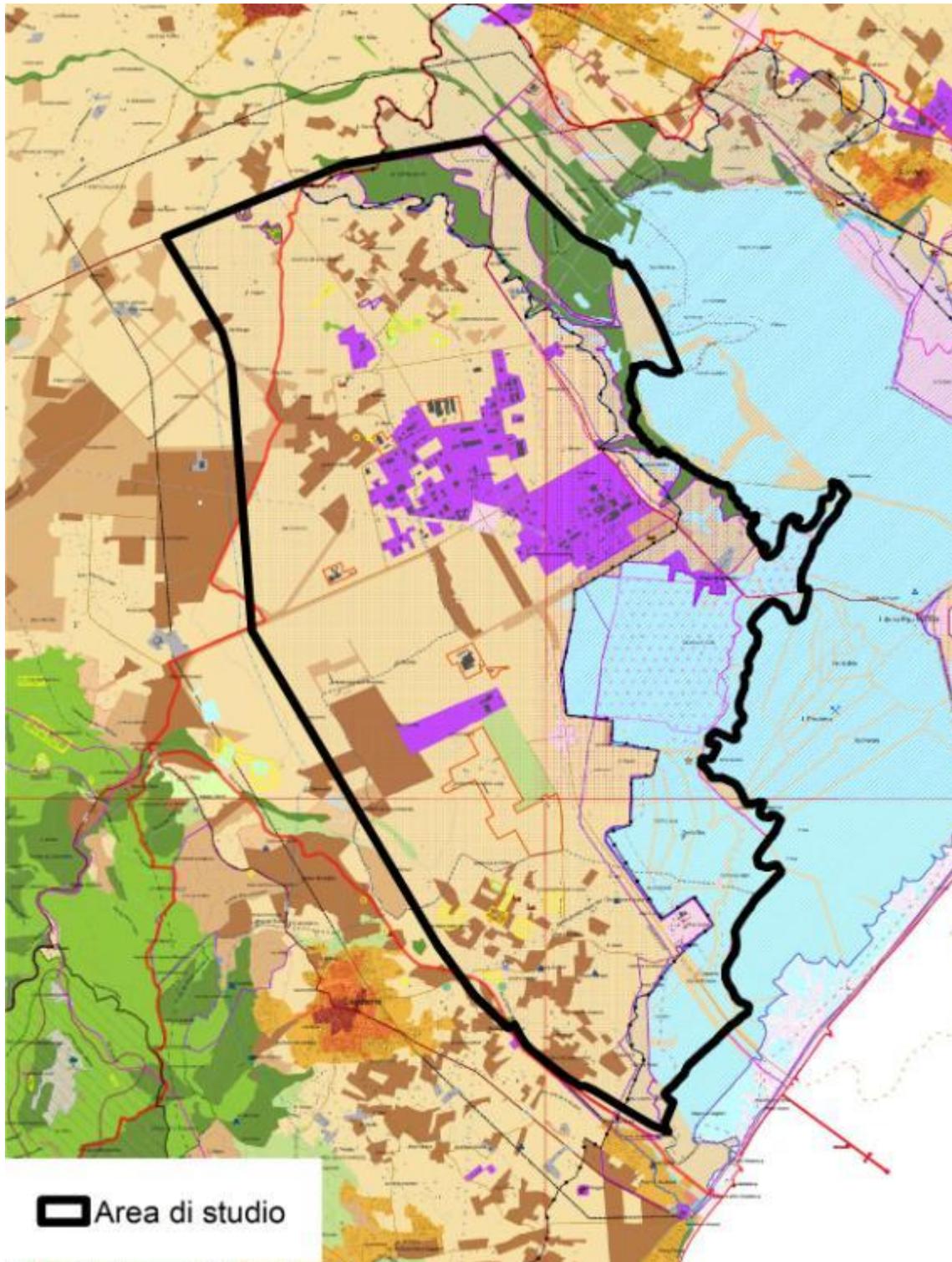


Figura 5-4: Inquadramento del Sito di Macchiareddu nella cartografia ufficiale del P.P.R.

L'area di Macchiareddu, classificata come “grande area industriale”, appartiene agli “insediamenti produttivi a carattere industriale, artigianale e commerciale” definiti nell’art. 92 delle NTA e disciplinate dagli artt. 93 e 94 delle medesime. Il Sito di interesse per il presente

PdC si inserisce in un contesto territoriale dal significativo valore sia ecologico-naturalistico che industriale ed economico, e instaura, per questo motivo, un insieme particolarmente complesso di relazioni con le entità individuate dal PPR.

Il Piano, nella sua analisi del paesaggio sardo, muove dalla considerazione che il paesaggio è il risultato della sintesi tra elementi naturali e lasciati dell'azione dell'uomo (preistorica, storica e attuale) e, vista la complessità del tema, è esclusivamente a fini strumentali che, si cerca di "disarticolare" l'argomento in diversi "sotto-sistemi" (ambientale, storico-culturale, insediativo) la cui composizione determina l'assetto del territorio. Ciò motiva l'impostazione del PPR di riferirsi alle tre categorie tassonomico-interpretative che prendono forma nei dei diversi "assetti" nei quali tali sistemi si concretano: ambientale, storico-culturale, insediativo.

Ai fini di una più efficace analisi delle interazioni tra il Sito in esame e il quadro programmatico e normativo dato dal PPR appare utile seguire il medesimo approccio e procedere in una trattazione disgiunta per assetto.

Riguardo all'assetto ambientale l'area di studio presenta interazioni geografiche con le seguenti categorie di beni paesaggistici, tipizzati e individuati nella cartografia del PPR di cui all'art. 5 e nella tabella in allegato 2, ai sensi del decreto legislativo 22 gennaio 2004 n. 42, come modificato dal decreto legislativo 24 marzo 2006, n. 157:

- Fascia costiera, così come perimetrata nella cartografia del PPR di cui all'art. 5: il sito in esame ricade in parte nella fascia costiera. Questa, così come perimetrata nella cartografia del PPR, *"rientra nella categoria dei beni paesaggistici d'insieme ed è considerata risorsa strategica fondamentale per lo sviluppo sostenibile del territorio sardo, che necessita di pianificazione e gestione integrata"*. La Fascia costiera costituisce un ambito di particolare interesse dato che, per definizione, tali compendi *"sono caratterizzati da un contesto territoriale i cui elementi costitutivi sono inscindibilmente interrelati e la preminenza dei valori ambientali è esposta a fattori di rischio che possono compromettere l'equilibrio dei rapporti tra habitat naturale e presenza antropica"*. In tali aree l'art. 20 delle NTA definisce puntualmente gli interventi non ammissibili, che localmente costituiscono vincolo anche all'interno dell'area in studio.
- Zone umide, laghi naturali ed invasi artificiali e territori contermini compresi in una fascia della profondità di 300 metri dalla linea di battigia, anche per i territori elevati sui laghi.

Elementi strutturanti dell'assetto ambientale del PPR sono, oltre che i beni paesaggistici, le componenti di paesaggio anch'esse articolate in categorie ed elementi costitutivi. L'area in esame include essenzialmente tre categorie:

- componenti di paesaggio con valenza ambientale limitatamente alle aree naturali e subnaturali (artt. 22, 23, 24 NTA), aree seminaturali (artt. 25, 26 e 27 NTA) e ad utilizzazione agroforestale (artt. 28, 29, 30 NTA);

- aree di interesse naturalistico istituzionalmente tutelate di cui agli artt. 33, 34, 35, 36, 37 delle NTA del PPR;
- aree di recupero ambientale di cui agli artt. 38, 39, 40 delle NTA del PPR

In sintesi:

	Categorie	Elementi costitutivi
Componenti di paesaggio con valenza ambientale	Aree naturali e subnaturali	
	Aree seminaturali	
	Aree ad utilizzazione agroforestale	
Aree di interesse naturalistico istituzionalmente tutelate	Aree tutelate di rilevanza comunitaria e internazionale (Ramsar)	SIC ITB040023
		ZPS ITB044003
	Sistema regionale dei parchi e delle riserve ex LR 31/89	Riserva Naturale "Santa Gilla"
	Altre aree tutelate	Oasi di protezione faunistica
Aree di recupero ambientale	Anagrafe dei siti inquinati D.Lgs. 22/97 e D.M. 471/99	Siti inquinati

La precedente analisi ha un carattere eminentemente geografico e va considerato che non formano oggetto del presente PdC le aree umide e le saline, se non come possibili bersagli dei fenomeni di contaminazione.

5.3.2 Piano Urbanistico Provinciale (PUP)

Il Piano Urbanistico Provinciale di Cagliari, predisposto ai sensi dell'art. 16 della L.R. 45/1989 ("Norme per l'uso e la tutela del territorio", e successive modifiche e integrazioni), ha valore di Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PUP/PTC), ai sensi dell'art. 15 della L. 142/1990, ed è stato approvato dalla Giunta Provinciale con Deliberazione C.P. n. 133 del 19/12/2002. È vigente dal 19/02/2004, data della sua pubblicazione sul BURAS.

Il PUP/PTC rappresenta il quadro di riferimento per l'elaborazione ed il coordinamento della pianificazione comunale. Il piano assume una serie di direttrici di politica territoriale, che servono come indirizzo ed orientamento delle pratiche progettuali, dei processi di pianificazione e di gestione del territorio.

Le Norme di Attuazione del Piano Paesaggistico regionale (PPR), approvato con Deliberazione G.R. n. 36/7 del 05/09/2006, impongono ai Comuni e alle Province di adeguare i propri strumenti di pianificazione alla normativa paesaggistica introdotta dal PPR, e uno dei temi principali che la pianificazione regionale ha affidato alle province riguarda proprio gli insediamenti industriali e il tessuto produttivo. L'art.106 comma 1 punti 9 e 10 delle NTA del PPR affida all'Ente provinciale i compiti specifici di "*coordinare le iniziative comunali finalizzate alla localizzazione dei distretti produttivi*" e "*individuare gli ambiti per la pianificazione dei nuovi insediamenti industriali...*".

Per tali motivi il PUP/PTC risulta certamente di interesse nel presente PdC, in chiave di lettura e interpretazione degli scenari insediativi tendenziali per l'area in esame, sia dal punto di vista industriale che civile, al fine di restituire una appropriata ricostruzione del modello concettuale del Sito.

L'impronta del PUP/PTC della Provincia di Cagliari, per quanto attiene alle linee di sviluppo per il quadro insediativo civile, sono fortemente connotate dai paradigmi culturali del "progetto ambientale" fondati sul principio dell'integrazione tra dinamiche antropiche e ambientali e sostenute da un approccio non normativo. Tale strumento urbanistico non possiede in generale valore cogente ma eminentemente programmatico e il suo dispositivo spaziale rappresenta il quadro di riferimento per l'elaborazione ed il coordinamento della pianificazione comunale e per l'elaborazione della pianificazione di settore di competenza della Provincia.

Il Piano Urbanistico Provinciale si articola sostanzialmente nell'individuazione dei seguenti quattro titoli:

- le *geografie*, che rappresentano il riferimento di base della costruzione del sistema informativo territoriale della provincia di Cagliari;
- le *ecologie* (insediative, geo-ambientali, agrarie-forestali, del patrimonio culturale) che individuano porzioni del territorio con un sistema complesso di relazioni tra processi ambientali, insediativi, agrario-forestali e del patrimonio culturale;
- i *sistemi di organizzazione dello spazio*, che descrivono le linee guida per la gestione dei servizi e dei beni pubblici;
- i *campi del progetto ambientale* che indicano aree territoriali caratterizzate da risorse, problemi e potenzialità comuni cui si riconosce una precisa rilevanza in ordine al progetto del territorio.

L'indagine dello strumento urbanistico ai fini delle considerazioni utili al presente PdC si concentrerà sull'analisi delle ecologie e dei campi del progetto ambientale, di particolare interesse al fine di restituire un quadro rappresentativo delle dinamiche e dei processi ambientali che caratterizzano il settore di studio.

5.3.2.1 Ecologie

Le ecologie possono essere considerate il nucleo centrale del dispositivo spaziale del

PUP/PTC e sono suddivise in due categorie: elementari o complesse¹.

Le ecologie contribuiscono ad indirizzare gli interventi progettuali sul territorio coerentemente con i processi ambientali ed insediativi in atto. Questo avviene attraverso una descrizione normativa incentrata sulle potenziali conseguenze delle azioni di trasformazione senza la prescrizione di usi consentiti o di destinazioni funzionali. Le ecologie, da un lato descrivono l'ambito territoriale e le sue più significative dinamiche, dall'altro evidenziano le criticità che possono derivare dalla assenza di specifiche attenzioni ai processi (ambientali, insediativi, ecc.) su cui si regge il funzionamento di un dato ambito territoriale. Le ecologie individuate dal PUP/PTC sono articolate in Ecologie geo-ambientali, Ecologie insediative, Ecologie agrario-forestali, Ecologie del patrimonio culturale e, insieme alle componenti elementari, fanno parte della Normativa di Coordinamento degli Usi.

Le considerazioni qui svolte si limiteranno ai due principali insiemi di ecologie : le ecologie geoambientali e le ecologie insediative.

Le ecologie geo-ambientali di riferimento per l'area di interesse sono (Tavola 3):

Ecologia della piana di Capoterra e del bacino idrografico del Rio Santa Lucia (225):

Le ecologie elementari componenti la suddetta ecologia complessa e ricadenti nel sito di interesse sono:

- 22501. Conoide alluvionale antica del Rio Santa Lucia
- 22504. Piana olocenica-attuale del Rio Santa Lucia
- 22505. Conoide alluvionale recente del Rio Santa Lucia

Ecologia del sistema costiero dello Stagno di Cagliari (226):

Le ecologie elementari componenti la suddetta ecologia complessa e ricadenti nel sito di interesse sono:

- 22603. Complesso stagnale e saliniero occidentale dello Stagno di Cagliari
- 22605. Vasche salanti delle saline Conti Vecchi
- 22607. Sistema perilagunare settentrionale di Santa Gilla
- 22610. Bacini dei fanghi di dragaggio tra *Grogastu* e *Cabunastasiu*

¹ Le ecologie elementari sono definite e perimetrare secondo criteri geologici, idrogeologici, geomorfologici, idrologici, idrobiologici, pedologici, botanici, di uso del suolo (aree agricole, urbanizzate, industriali), storici e culturali, attraverso il riconoscimento della dimensione spaziale dei processi ambientali rilevanti. Ogni ecologia corrisponde ad una porzione di territorio che individua un sistema complesso di relazioni tra processi ambientali, insediativi, agrario-forestali e del patrimonio culturale. Le ecologie complesse, invece, raggruppano sistemi di "ecologie elementari" cui viene riconosciuta una valenza associativa ed a cui corrispondono progetti di integrazione e gestione di risorse e processi che ne qualificano i caratteri unitari specifici. Le Ecologie complesse descrivono il funzionamento e l'interazione del sistema delle "Ecologie elementari", rappresentano l'elemento trainante dei processi ambientali e individuano i rapporti funzionali tra elementi caratterizzanti il paesaggio

Le ecologie insediative di riferimento per l'area di interesse sono (Tavola 4):

Ecologia dei processi insediativi residenziali e della infrastrutturazione industriale nelle piane di Sarroch e di Capoterra (121):

Le ecologie elementari componenti la suddetta ecologia complessa e ricadenti nel sito di interesse sono:

- 12102. I processi della diffusione insediativa e serricola di Uta, dalle sponde del Cixerri verso l'ambito delle conoidi alluvionali del Monte Arcosu
- 12103. L'organizzazione strutturata del territorio agricolo di Uta ai margini dell'area di sviluppo industriale del CACIP
- 12104. I processi di utilizzazione mista agricola-industriale del territorio infrastrutturato dell'area industriale del CACIP
- 12105. Processi legati ad attività agricole ed estrattive pedemontane sul Rio S. Lucia, sull'imboccatura della valle del *Rio Gutturu Mannu*
- 12106. La diffusione e la concentrazione degli impianti serricoli sui suoli delle alluvioni recenti della conoide del Rio S. Lucia.

Ecologia insediativa dei processi di infrastrutturazione ambientale del sistema lagunare di Santa Gilla (130):

Le ecologie elementari componenti la suddetta ecologia complessa e ricadenti nel sito di interesse sono:

- 13001. Gli ambiti agricoli e dell'organizzazione infrastrutturale sulla sponda destra del Rio Cixerri
- 13002. Le aree del sistema perilagunare settentrionale di Santa Gilla
- 13003. Le aree interessate dagli interventi di bonifica idraulica degli immissari Rio Fluminimannu, Rio Cixerri
- 13007. L'ambito territoriale dei bacini di fanghi di dragaggio e gli insediamenti in prossimità di Punta San Pietro
- 13008. Gli ambiti territoriali del complesso delle saline di S. Gilla
- 13015. L'organizzazione insediativa delle strutture di servizio delle saline Conti Vecchi.

5.3.2.2 Campi del progetto ambientale

I campi del progetto ambientale, sono porzioni di territorio caratterizzate da risorse, problemi e potenzialità comuni cui si riconosce una precisa rilevanza riguardo al progetto del territorio. Essi sono individuati tramite una prima rappresentazione spaziale di problemi comuni. Il processo progettuale necessario per affrontarli è orientato da una serie di linee guida che emergono dalle geografie, ma che devono essere approfonditi e precisati per i singoli campi. Hanno come finalità la conclusione di accordi di campo su specifici ambiti o campi problematici che coinvolgono i Comuni o altri Enti territoriali interessati.

L'area di studio ricade nel campo delle aree di sviluppo industriale compreso tra i campi della pianificazione degli insediamenti industriali e artigianali (inserito tra le varianti al PUP/PTC). Il campo è caratterizzato da processi ben precisi; infatti il sistema degli insediamenti industriali e artigianali si presenta fortemente polarizzato, in riferimento all'armatura urbana del territorio, e i forti carichi insediativi industriali generano problemi di tipo ambientale, principalmente legati all'inquinamento e alla gestione delle zone umide e della fascia costiera, e di accessibilità, in seguito alla congestione dei collegamenti, soprattutto quelli costieri.

Il PUP/PTC riconosce le Aree di sviluppo industriale, e la loro articolazione interna, come ambito di pertinenza del Piano Territoriale di Coordinamento del Consorzio CACIP, proponendo però un modello di cooperazione tra gli attori principali.

Viene infatti individuata una prima ipotesi di procedura utile per affrontare in modo cooperativo, la pianificazione, la programmazione e la progettazione territoriale utilizzando i materiali del PUP, del PPR, del PTC del CACIP e dei PUC vigenti o in fase di elaborazione.

5.3.2.3 Conclusioni

I rapporti tra la Provincia di Cagliari e l'Area di Sviluppo Industriale di Cagliari sono molto articolati: la Provincia è membro del direttivo del consorzio CACIP che definisce l'assetto del territorio di sua competenza attraverso il Piano Regolatore Territoriale, ma è nel contempo chiamata al suo ruolo di coordinamento che si esplica nella redazione del PUP/PTC, e i due strumenti urbanistici si trovano nel medesimo "livello gerarchico". Infatti il Piano Regolatore Territoriale ha lo stesso *status* giuridico e gli stessi effetti di un piano territoriale di coordinamento secondo l'art. 51 del TU 6 marzo 1978, n. 218.

Va specificato che le aree per gli insediamenti industriali ricadono nella competenza dei consorzi industriali, e questi, ai sensi del DPR 218 del 6 marzo 1978, possono essere costituiti da comuni, province, camera di commercio e altri enti interessati. La normativa citata definisce i consorzi Enti di diritto pubblico, sottoposti alla vigilanza e tutela delle Regioni. La precedente legge n. 616 del 1977 all'art. 65 aveva attribuito alle regioni le funzioni amministrative in ordine all'assetto dei consorzi per le aree e i nuclei di sviluppo industriale. Con la legge 317/91 art. 36 comma 4, i Consorzi Industriali sono stati trasformati in Enti Pubblici Economici dotati di maggiore autonomia ma pur sempre sottoposti al

controllo economico finanziario della Regione.

In generale, quindi, si può affermare che le linee programmatiche del consorzio CACIP seguano un percorso parallelo a quello delineato del PUP/PTC.

L'Amministrazione provinciale prendendo come riferimento concettuale le precedenti considerazioni coerentemente con il quadro normativo vigente e, in particolare, con gli indirizzi del PPR, interpreta il tema dell'insediamento delle attività produttive secondo i seguenti livelli:

- attività commerciali, artigianali di servizio e laboratoriali, uffici professionali, attività ricreative, per i quali è auspicabile che permangano all'interno dei centri abitati;
- attività di piccola industria, artigianali e di servizio ed eventualmente anche commerciali, insediabili in aree PIP tecnologicamente ed ecologicamente attrezzate, di iniziativa sovracomunale esterne ai centri abitati;
- attività industriali medie e grandi, comprese le attività insalubri, da ubicarsi nelle grandi aree industriali attrezzate gestite dai Consorzi Industriali (quali l'area di studio).

Gli obiettivi dell'amministrazione provinciale sono la riduzione del consumo di territorio e il miglioramento dei livelli di qualità nella tutela della salute, della sicurezza e dell'ambiente. Questi obiettivi verranno raggiunti evitando la dispersione e la polverizzazione degli insediamenti produttivi sul territorio seguendo un criterio di agglomerazione finalizzato anche alla realizzazione di economie di scala e alla copertura con servizi e infrastrutture capaci di garantire gli standard richiesti.

Il PUP propone che le attività di pianificazione, organizzazione e gestione delle aree produttive sovracomunali nonché le scelte insediative e infrastrutturali siano promosse mediante l'applicazione della procedura di cooperazione intercomunale e interistituzionale che ha il compito di strutturare un percorso per la definizione e attuazione degli obiettivi generali del PUP. La procedura proposta è strutturata sulla base del modello di cooperazione proposto dal PUP/PTC.

L'individuazione degli ambiti per la pianificazione e localizzazione di nuovi insediamenti industriali e artigianali da parte del piano provinciale assume la seguente direzione programmatica per l'Area di Sviluppo Industriale di Cagliari: definire una strategia di sviluppo produttivo, mediante il coinvolgimento degli enti interessati e degli operatori locali, che dovrà considerare l'attuale dotazione infrastrutturale, il fabbisogno pregresso e futuro l'eventuale sotto articolazione dell'ambito stesso.

La proposta di variante al Piano Provinciale individua gli ambiti sovracomunali per la pianificazione e localizzazione di nuovi insediamenti industriali e artigianali, coerentemente con gli ambiti territoriali ottimali di cui alla LR 12 del 2005. Per ogni ambito territoriale sovracomunale individuato le attività inerenti la pianificazione, organizzazione e gestione delle aree produttive nonché le scelte insediative e infrastrutturali saranno strutturate

attraverso procedure di cooperazione intercomunale e interistituzionale sulla base del modello di cooperazione proposto dal PUP/PTC;

La Variante in adeguamento al PPR individua le seguenti azioni:

- Individuazione e riconoscimento di ambiti territoriali sovracomunali entro cui il dimensionamento, la localizzazione, l'organizzazione e la gestione degli insediamenti produttivi dovrà avvenire in forma coordinata tra più Comuni: uno di questi è proprio il compendio dell'ASI di Cagliari.
- Definizione per ogni ambito territoriale di una strategia di sviluppo produttivo, attraverso il coinvolgimento degli enti interessati e degli operatori locali, mediante opportuni accordi territoriali finalizzati al coordinamento delle scelte insediative e infrastrutturali, delle forme gestionali e organizzative ed a garantire una equa redistribuzione e compensazione dei vantaggi e degli svantaggi derivanti dalle scelte localizzative.

5.3.3 Piano di Gestione (PdG) del Sito d'Importanza Comunitaria ITB040023

Con le Direttive comunitarie "Uccelli" (Dir. 79/409/CEE) e "Habitat" (Dir. 92/43/CEE), il Consiglio dei Ministri dell'Unione Europea ha inteso perseguire la progressiva realizzazione di un sistema coordinato e coerente di aree destinate al mantenimento della biodiversità all'interno del territorio dell'Unione: la Rete Natura 2000. Tale insieme di aree, di specifica valenza ambientale e naturalistica, è individuato, ai sensi della Direttiva "Habitat" (art. 3), dall'insieme dei siti denominati ZPS (Zone di Protezione Speciale) e SIC (Siti di Importanza Comunitaria).

Obiettivo prioritario della Direttiva Habitat è quello di garantire il mantenimento in uno "stato di conservazione soddisfacente" gli habitat e/o le specie di interesse comunitario, in riferimento alle quali quel dato SIC e/o ZPS è stato individuato; lo strumento programmatico che risponde a tale obiettivo è il Piano di Gestione di cui all'art. 6 della direttiva "Habitat".

La peculiarità di tali piani, visto il loro obiettivo specifico, è quella di considerare in modo comprensivo le caratteristiche ecologiche, socio-economiche, territoriali e amministrative di ciascun sito, definendo e regolando gli usi compatibili, anche in modo cogente rispetto alla pianificazione urbanistica di livello comunale, in funzione del mantenimento, per gli habitat e le specie di interesse comunitario, di "un livello di conservazione soddisfacente" (Direttiva Habitat art.6).

Il Piano di Gestione è quindi uno strumento pianificatorio complesso, strutturato ed articolato con lo scopo precipuo di definire e sostenere le tesi cardine che deve proporre: le strategie di gestione come risposta alle minacce individuate per le specie e gli habitat comunitari. Quindi oltre ad una caratterizzazione del sito dal punto di vista biotico, abiotico e programmatico, il piano mira a definire il sistema specifico di criticità e minacce che, relazionato con gli obiettivi necessari alla conservazione e all'integrazione degli usi antropici nelle politiche di gestione, produce le strategie da seguire che si concretizzano in articolati sistemi di interventi.

In questa sede le informazioni più importanti che il documento può fornire sono quelle relative non tanto alle singole azioni o strategie di gestione, quanto piuttosto alla complessa analisi a monte di queste tesa alla definizione delle minacce. In tal senso, l'analisi di tali minacce potrà contribuire alla definizione dei bersagli ambientali che il modello concettuale del presente piano dovrà considerare.

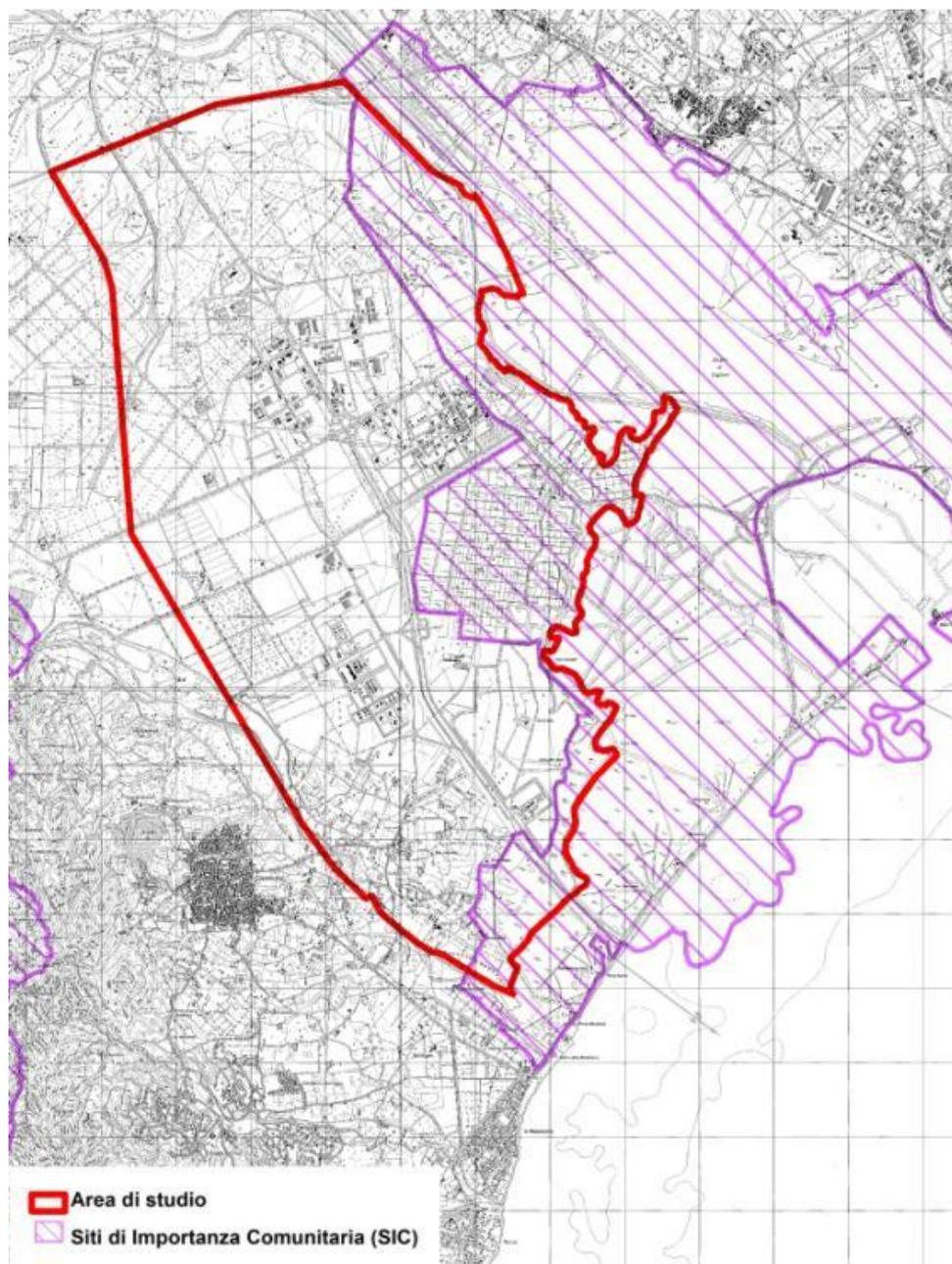


Figura 5-5: Perimetrazione del SIC ITB040023 “Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla”.

Il sito (SICITB040023 “Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla”) ha un suo Piano di Gestione finanziato dalla Commissione della Comunità Europea e dalla R.A.S. approvato dai Comuni di Assemini, Cagliari, Capoterra ed Elmas.

Il PdG del SIC ITB040023 “Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla” si muove in coerenza e continuità con il Piano di Gestione dello Stagno di Cagliari per la tutela della Z.P.S., redatto nell’ambito del Progetto Life-Natura 1996 “Gilia”.

La suddivisione dell’area in unità ambientali, adottata in sede di Progetto Gilia, ha infatti rappresentato la base per la sua sub-articolazione, che realizza una più puntuale

corrispondenza fra rilievi faunistici e unità territoriali consentendo un più proficuo utilizzo dei dati raccolti per le finalità di gestione dell'area.



Figura 5-6: Area di studio e siti di importanza comunitaria

Tra le informazioni che il PdG porge, ai fini del presente PdC, è di interesse il sistema utilizzato per l'individuazione dettagliata e la metodologia di classificazione delle minacce capaci di incidere sullo stato di conservazione di specie e habitat, articolata su ciascuna sub-unità territoriale (unità minima del piano). A seguito di una disamina approfondita delle minacce ed ai fini della definizione delle priorità degli interventi da attuare nell'ambito della gestione integrata dell'area, il PdG valuta l'incidenza reale o potenziale, nelle diverse unità e sub-unità ambientali, di ogni singola minaccia nei confronti di ciascuno degli elementi ambientali considerati.

Le minacce individuate sono state pertanto esplorate singolarmente, evidenziandone la rispettiva incidenza potenziale o reale sui singoli elementi ambientali, e globalmente, considerando la sommatoria delle minacce che insistono su ciascuna unità e sub-unità ambientale dell'area. La valutazione dell'incidenza di ciascuna minaccia è espressa attraverso una scala ordinale che attribuisce "pesi" differenti alle interferenze sulle specie ed a quelle sugli habitat.

I valori numerici dell'indice sintetico calcolato per ciascuna minaccia, e in relazione allo stato

ambientale di ciascuna sub-unità, sono stati raggruppati in quattro classi corrispondenti a quarti del valore massimo, definendo così altrettante classi di incidenza²: incidenza bassa, media, alta e molto alta (Tavola 5).

La particolare natura del piano in studio impone, in ogni caso, di leggere in modo critico tra le minacce che il Piano di gestione individua per definire quelle che possono essere esclusivamente collegate all'inquinamento prodotto dalle attività industriali oggetto del presente studio.

Delle trentatré minacce individuate, la sola di interesse per il presente PdC si riferisce alla *Minaccia 3 – Inquinamento industriale da idrocarburi, metalli pesanti e altri eventuali contaminanti*. Il prospetto seguente mostra quali sub-unità ambientali siano interessate dalla minaccia 3 (Figura 5-7).

<i>Minaccia 3 – Inquinamento industriale da idrocarburi, metalli pesanti e altri eventuali contaminanti</i>		
Elementi ambientali maggiormente interessati	Unità ambientali interessate	Conseguenze
Lagune costiere (codice 11.50)	Laguna aperta: D1, D2	3A – Inquinamento del suolo, del sottosuolo, dei corpi idrici superficiali e sotterranei 3B – Possibili fenomeni di bioaccumulo lungo la rete trofica
	Laguna aperta: D3	3C – Possibili conseguenze sullo sfruttamento economico delle risorse lagunari
Popolamento ornitico nidificante, svernante e migratore	Bacini evaporanti: B4 Laguna aperta: D1, D2 Canale e vasca di Porto San Pietro: H1, H2, H3 Area delle foci: I5, I6	3B – Possibili fenomeni di bioaccumulo lungo la rete trofica
<i>Aphanius fasciatus</i>	Laguna aperta: D1, D2 Stagno di Capoterra: A1	3B – Possibili fenomeni di bioaccumulo lungo la rete trofica
Ambiti perilagunari	Fasce parastagnali: N9, N10	3A – Inquinamento del suolo, del sottosuolo, dei corpi idrici superficiali e sotterranei

² Il valore massimo calcolato è 100 quindi: incidenza bassa nell'intervallo 0÷25; incidenza media nell'intervallo 26÷50; incidenza alta nell'intervallo 51÷75; incidenza molto alta valori nell'intervallo 76÷100.

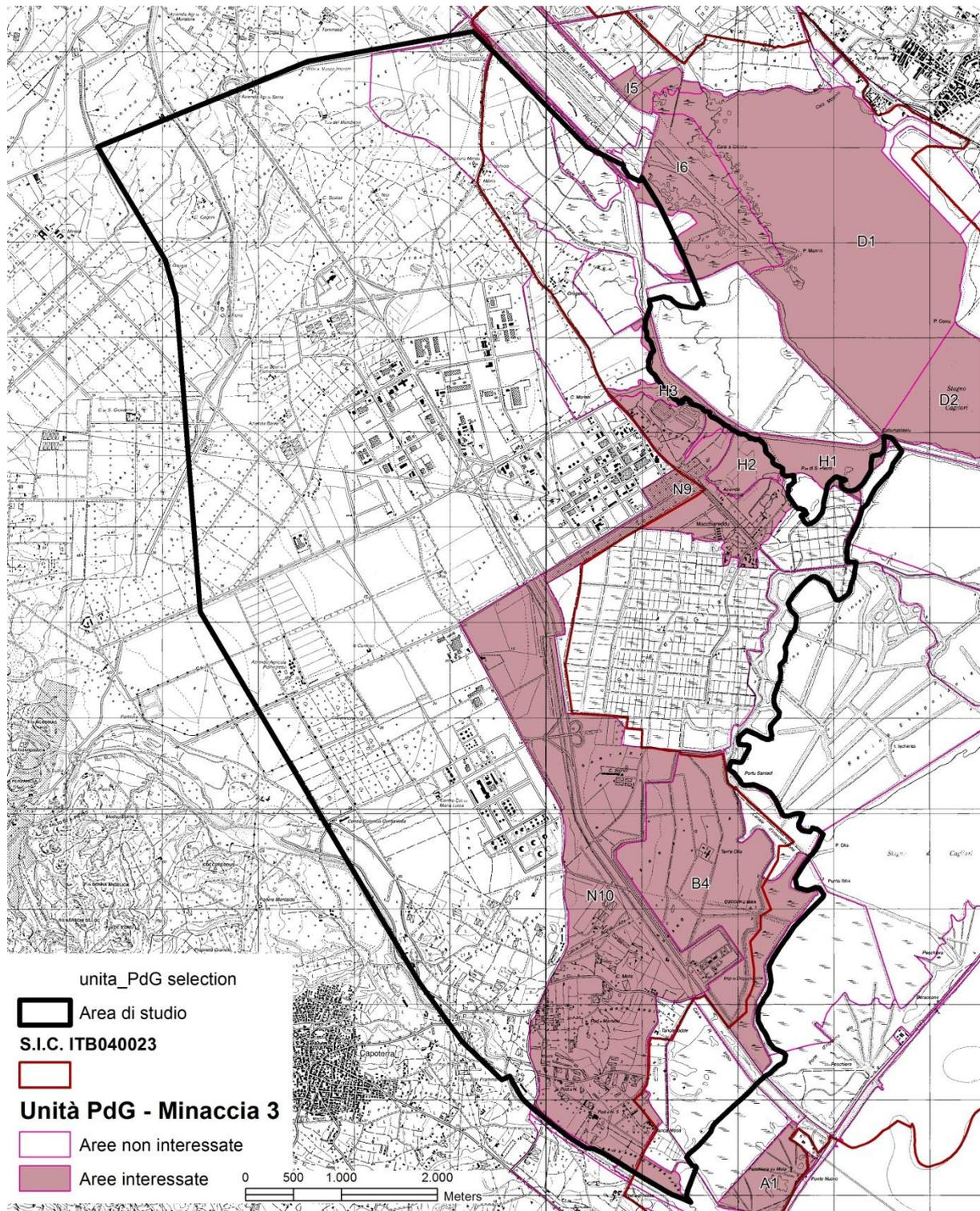


Figura 5-7 - Unità ambientali interessate dalla Minaccia 3 di cui al Piano di gestione del SIC ITB040023

Si può concludere che le sub-unità elencate saranno necessariamente da inserire tra i bersagli ambientali specifici nel modello concettuale.

5.3.4 Piano Regolatore Territoriale dell'Area di Sviluppo Industriale di Cagliari

Il Consorzio Industriale Provinciale di Cagliari, che sovrintende all'omonima Area di Sviluppo Industriale (ASI), è uno dei primi Consorzi industriali sorti nell'Italia meridionale e uno dei più longevi, con i suoi quasi cinquant'anni di attività.

L'organizzazione spaziale delle Aree di Sviluppo Industriale (ASI) è il risultato di un rilevante progetto di coordinamento territoriale tra gli enti partecipanti al Consorzio che si concretizza nel Piano Regolatore Territoriale di coordinamento (ad oggi alla sua sesta variante) recante la disciplina dell'assetto infrastrutturale e urbanistico dell'area CACIP.

Dal punto di vista geografico-spaziale l'articolazione territoriale dell'ASI si esplica attraverso due entità: un "Ambito territoriale di intervento" coincidente con l'unione dei territori dei comuni facenti parte del Consorzio⁴ e tre zone di agglomerazione funzionale, Elmas, Macchiareddu e Sarroch (Figura 4-6) destinati a diventare le aree fulcro dello sviluppo dell'area:

- l'agglomerato di Assemini - Macchiareddu (8.333 ha, di cui 3.500 ha ricadenti nel territorio di Assemini) riservato all'insediamento di grandi e medie industrie;
- l'agglomerato di Elmas (268 ha) riservato all'insediamento di piccole industrie di servizio;
- l'agglomerato di Sarroch (oltre 735 ha) riservato alle industrie petrolifere.

Nella prima fase di attività, il Consorzio Industriale ha rivolto principalmente la sua attenzione all'agglomerato di Assemini - Macchiareddu. Il primo insediamento industriale risale al 1962 con la nascita della Rumianca. A Sarroch la Saras si è insediata nel 1965, si è ampliata l'anno dopo per completare l'insediamento nel 1971. Nel 1997 il Consorzio si è dotato del Piano Regolatore Territoriale dell'Area di Sviluppo Industriale di Cagliari.

Come accennato le varianti alle previsioni del Piano Regolatore dell'ASI sono state sinora sei (l'ultima approvata in data 06/09/2001, con la determinazione n. 231/PT dell'Assessorato agli EE. LL., Finanze e Urbanistica della Regione Autonoma della Sardegna). L'evoluzione del P.R.T. appare orientata a dare impulso alle iniziative volte alla salvaguardia dei siti più sensibili dal punto di vista ambientale, naturalistico e storico.

La caratteristica peculiare dello strumento pianificatorio con cui i Consorzi regolano e definiscono l'assetto dei territori di loro competenza, il Piano Regolatore Territoriale, è di certo il fatto che questo abbia lo stesso *status* giuridico e gli stessi effetti di un piano territoriale di coordinamento secondo l'art.51 del TU 6 marzo 1978, n. 218. Da tale valenza di strumento sovraordinato agli strumenti comunali discende l'obbligatorietà, per i Comuni il cui territorio ricada entro il perimetro delle Zone di Agglomerazione, di uniformare i rispettivi strumenti urbanistici generali (nonché gli eventuali piani regolatori intercomunali) secondo

⁴ Questi sono: Cagliari, Assemini, Capoterra, Decimomannu, Decimoputzu, Dolianova, Elmas, Maracalagonis, Monastir, Monserrato, Nuraminis, Quartu Sant'Elena, Quartucciu, San Sperate, Sarroch, Selargius, Serdiana, Serramanna, Sestu, Settimo San Pietro, Sinnai, Ussana, Uta, Villasor, Villaspeciosa.

quanto prescritto nell'articolo 6 comma 2 della Legge Urbanistica Nazionale 1150/1942, adottando apposite varianti ai propri strumenti urbanistici.

Tale impostazione, seppur limitando in modo ormai anacronistico la capacità pianificatoria e la gestione territoriale degli enti locali, garantisce che all'interno delle ASI non si producano commistioni di destinazioni d'uso difficilmente conciliabili, come quelle residenziali e quelle strettamente industriali, per le quali l'ASI rappresenta la localizzazione ideale.

Sotto il profilo edificatorio, negli Agglomerati industriali, la concessione alla costruzione di impianti industriali e di servizi è rilasciata dalle competenti amministrazioni comunali solo dopo l'approvazione del relativo progetto da parte del CACIP. Negli Agglomerati industriali di Macchiareddu, Elmas e Sarroch, possono insediarsi attività industriali, artigiane, e di servizio, secondo le destinazioni di zona prescritte nella cartografia del Piano Regolatore dell'Area, nel rispetto delle relative norme d'attuazione (Tavola 6).

Il Consorzio, sentito il competente Assessorato regionale, determina con proprio regolamento, le misure che le industrie e gli altri insediamenti devono osservare per evitare che immissioni, scarichi, esalazioni, rumori, e simili, provochino modificazioni dei luoghi, danni o fastidi, nel rispetto della normativa vigente.

Tutte le opere da realizzarsi negli Agglomerati sottoposti alla disciplina del Piano regolatore dell'Area di sviluppo industriale devono essere preventivamente approvate dal Comitato direttivo del Consorzio o da un apposito organismo da esso espresso. L'approvazione è rilasciata in seguito all'esame dei progetti esecutivi generali, di tutte le opere d'impianto e sistemazione degli stabilimenti industriali e delle costruzioni annesse. Devono, anche, essere indicati i fabbisogni idrici ed energetici, i dati relativi agli scarichi di acque industriali, l'ammontare degli investimenti, il numero d'addetti.

Dall'analisi dello strumento pianificatorio dell'Agglomerato industriale di Macchiareddu possono estrapolarsi alcune informazioni estremamente significative per il presente PdC: la precisa delimitazione delle aree oggetto dello stesso PdC (cfr par. 4.1) nonché il criterio guida per la definizione di quali aree siano da ricondursi alle fattispecie di cui alle colonne A o B della Tabella 1 (destinazione d'uso dei siti) di cui all'Allegato 5 alla parte quarta del D.Lgs. 152/2006.

Nel presente PdC, infatti, si è previsto di ricondurre come aree di cui alla Tab. 1 colonna B (adibite ad usi commerciali e industriali) le aree che il PRT destina ad "attività connesse alla manipolazione delle merci" e "attività industriali"; per negazione appartengono alla colonna A tutte quelle non riconducibili a tali categorie⁵ (Tavola 8).

⁵Si evidenzia che gli usi strettamente a "verde pubblico, privato e residenziale" sono chiaramente incompatibili con le prescrizioni del PRT e con la zonizzazione dell'Agglomerato Industriale di Macchiareddu

5.4 Morfologie insediative: tendenze in atto e scenari di sviluppo nel contesto territoriale dell'Area di Sviluppo Industriale di Cagliari

5.4.1 Insedimenti civili

La disamina delle dinamiche dei processi insediativi impone una circostanziata analisi sia delle politiche implementate dagli enti locali che dello strumento urbanistico dell'Area di Sviluppo Industriale.

Come precedentemente analizzato il Piano regolatore territoriale dell'area di sviluppo industriale possiede lo status di piano territoriale di coordinamento e come tale risulta sovraordinato agli strumenti urbanistici comunali, in modo addirittura più vincolante rispetto a ciò che accade con un piano provinciale. Infatti il PRT costituisce variante per gli strumenti comunali e impone quindi delle linee di evoluzione ben precise alle porzioni di territorio di ciascun comune che risultino ricadenti nel perimetro delle pertinenze delle singole zone di agglomerazione.

Tali considerazioni mirano a rimarcare l'assoluta incompatibilità di evoluzioni insediative civili entro le pertinenze del CACIP. Ai fini del presente studio è di notevole interesse analizzare, in una visione proiettata all'individuazione di potenziali scenari di rischio correlabili con fenomeni di contaminazione delle matrici ambientali, le principali dinamiche che concorrono all'evoluzione dell'insediamento e le più caratteristiche morfologie insediative che ne scaturiscono.

Le porzioni di territori comunali comprese nel Sito di Macchiareddu, come scaturito dalla perimetrazione di dettaglio del 2011, si riferiscono ai centri di Assemini, Cagliari, Capoterra, Elmas, Uta. Ciascuno mostra peculiari processi insediativi che si manifestano con particolari morfologie già evidenziate nel piano urbanistico della provincia di Cagliari:

- Processi di diffusione dell'insediamento mediante localizzazione di nuclei insediativi residenziali (Capoterra): Questi processi sono rappresentati da un particolare comportamento della diffusione insediativa rispondente a processi che esprimono scelte selettive legate alla localizzazione di insediamenti a carattere strutturato. Il territorio, in questo caso, è interessato da processi insediativi in cui la consistenza dell'insediamento diffuso si esprime attraverso la presenza dei nuclei insediativi compatti degli impianti di lottizzazione, che producono un modello territoriale della diffusione differente rispetto a quello della polverizzazione insediativa degli edifici isolati, legati a funzioni residenziali e produttive.
- Processi di concentrazione dell'insediamento come saldatura fra insediamenti in relazione a corridoi infrastrutturali (Elmas e Assemini): La presenza di alcuni corridoi infrastrutturali rappresentati da assi infrastrutturali di comunicazione, di assi viari a rilevanza locale o sovralocale, di linee ferroviarie, costituisce un fattore significativo che orienta i processi di relazione fra gli insediamenti, condizionandone le dinamiche di espansione legate alla localizzazione di residenze o di ambiti produttivi. I processi dell'espansione degli insediamenti si sviluppano riconoscendo selettivamente tali

direzioni preferenziali.

- Processi di organizzazione dell'insediamento intorno a elementi infrastrutturali o ambientali (Uta e Assemini): Sono in pratica processi di autocontenimento dell'insediamento in relazione alla presenza di elementi ambientali e infrastrutturali. La presenza di condizionamenti offerti dalla struttura ambientale ed infrastrutturale definisce originariamente i fattori della localizzazione e della caratterizzazione territoriale degli insediamenti, stabilendo successivamente alcuni limiti significativi che le strutture insediative riconoscono nei processi dell'espansione dell'urbanizzato. La presenza di corridoi fluviali infrastrutturati, di assi viari e ferroviari, che intersecano lo schema idrografico, rappresentano una griglia territoriale che guida i processi insediativi verso direzioni specifiche, mettendo in evidenza l'esistenza del condizionamento ambientale.

In sintesi si può affermare che le tendenze in atto per l'insediamento sono quelle di strutturarsi lungo i confini dell'area di studio addensandosi, pur senza spinte centripete, in accordo con le dinamiche esaminate che prevedono: un rafforzamento del tessuto residenziale attraverso nuclei strutturati (lottizzazioni) nella direttrice della S.P. 91, una classica coalescenza lungo le direttrici viarie di connessione lungo la SS 131 e la risposta pedissequa ai vincoli ambientali e infrastrutturali (Figura 5-8).

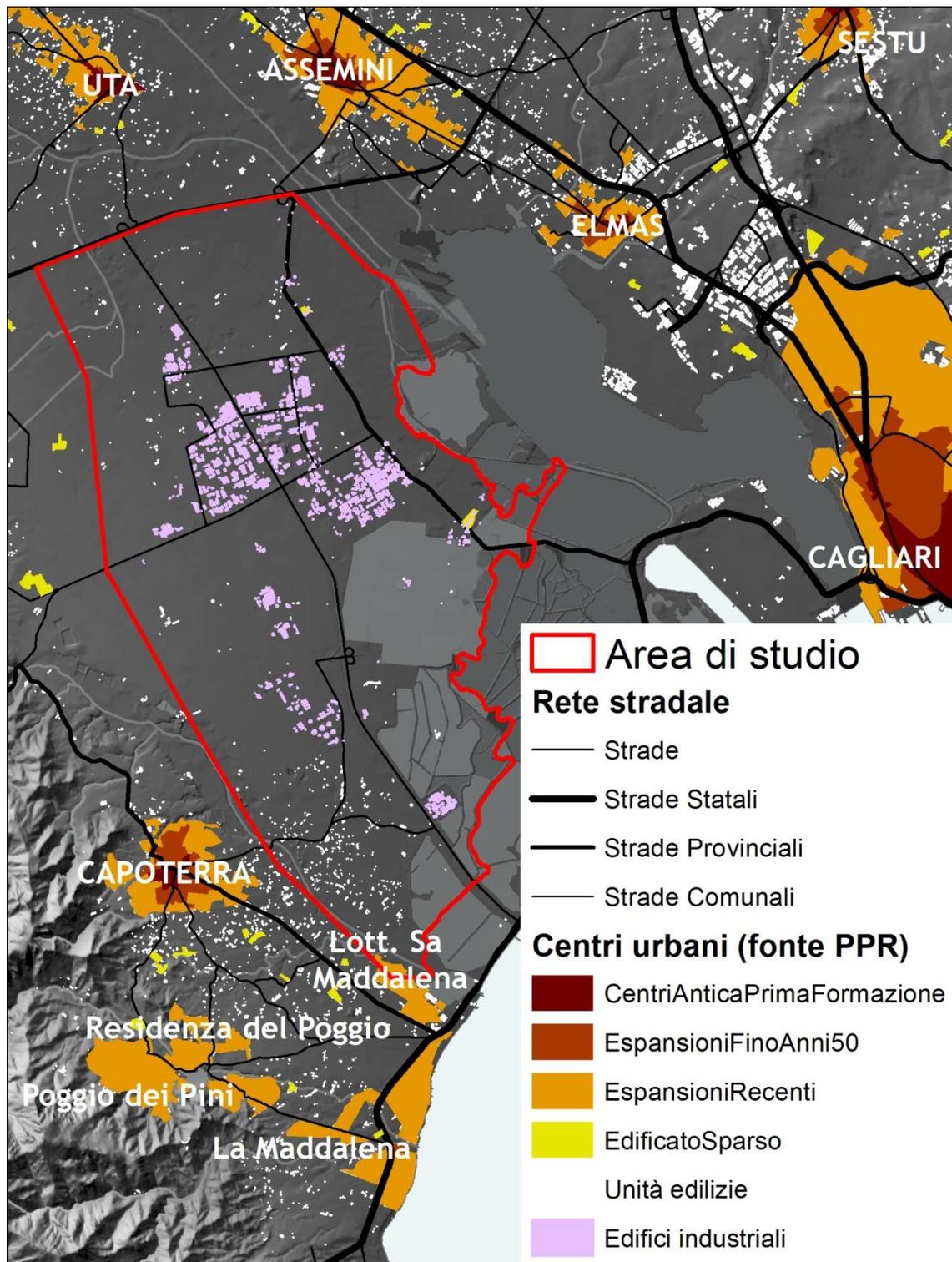


Figura 5-8: Rete stradale e centri urbani

5.4.2 Insedimenti industriali

Il percorso storico che ha visto la nascita e lo sviluppo dell'ASI di Cagliari si estende in un arco temporale di oltre 50 anni e risulta estremamente articolato; per tali ragioni ricostruire nel dettaglio le dinamiche di utilizzo ed espansione del Sito di Macchiareddu appare oltremodo complesso. D'altro canto non può disconoscersi come l'individuazione dei processi dominanti e la definizione le linee tendenziali in atto per l'areale di riferimento rappresentino aspetti di interesse per le finalità del presente PdC.

Sotto questo profilo, appare utile focalizzare l'analisi sulla successione diacronica degli usi dell'area in studio e delle attività che vi hanno trovato la loro localizzazione.

Il percorso produttivo dell'area può, in senso generale, farsi cominciare con la bonifica della laguna di Santa Gilla proposta dall'Ing. Conti Vecchi nel 1919 contestualmente all'apertura dell'attività saliniera. Pochi anni dopo il Ministro dei lavori pubblici, il Ministro del tesoro, il Ministro delle finanze, il Ministro dell'industria e del commercio firmavano il documento di *“Approvazione di una convenzione con la ditta Ing. Conti Vecchi riguardante l'esercizio delle opere di bonifica e l'utilizzazione industriale dello stagno di S. Gilla presso Cagliari”*. Il contenuto del documento si articola su una relazione tecnica e sul testo presentato dai proponenti con allegato testo della Convenzione fra il Ministero dei lavori pubblici e l'ingegner Luigi Conti Vecchi. Il documento acquisì l'approvazione parlamentare nella seduta del 6 agosto 1921 innescando un processo di ampie e radicali trasformazioni dell'area.

Per effetto di tale provvedimento, nei primi decenni del novecento si assistette quindi ad una razionalizzazione dello sfruttamento agricolo nell'area con la realizzazione delle canalizzazioni di bonifica e la contestuale apertura di una rete di piste organizzate in una maglia regolare di penetrazione agraria e di collegamento tra i numerosi insediamenti coloniali sorti.

L'evoluzione verso una prima embrionale forma di organizzazione produttiva alla scala territoriale è ben visibile nelle immagini di cui alle fig. 5.11 e Fig. 5.12 e Fig. 5.13: la prima rappresenta l'area di studio così come cartografata nell'edizione dell'IGM di fine ottocento; la seconda l'edizione degli anni '60 della medesima base cartografica; la terza (1990) ha invece il compito di mostrare come l'insediamento industriale si sia sviluppato entro i “binari” definiti dall'assetto pregresso del territorio.

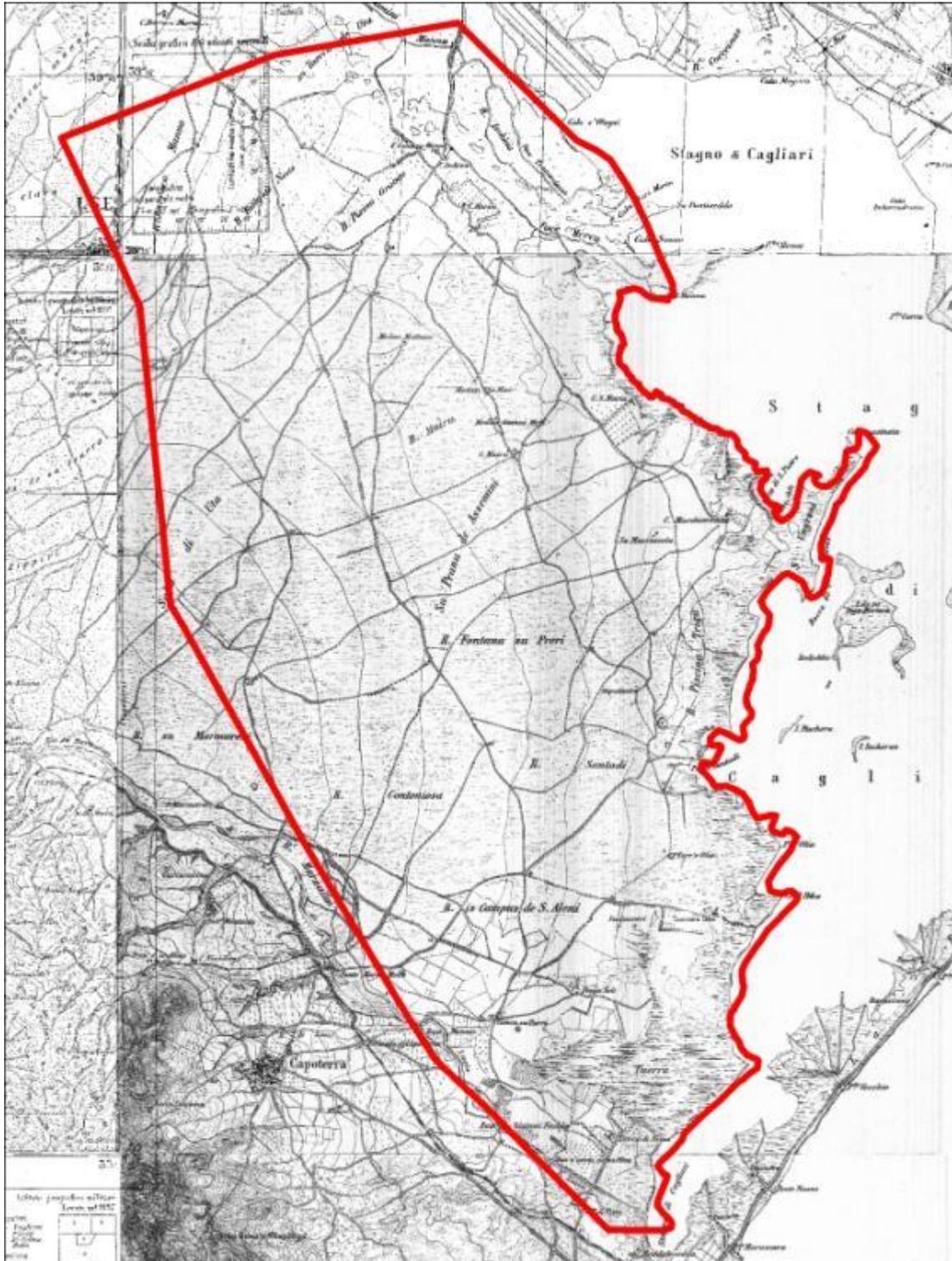


Figura 5-9: L'area di studio inquadrata sulla cartografia storica dell'IGM (levata del 1897 su rilievo del 1885, scala originaria 1:25.000)



Figura 5-10: L'area di studio e la cartografia dell'IGM nell'edizione 1960 tavolette 1:25.000

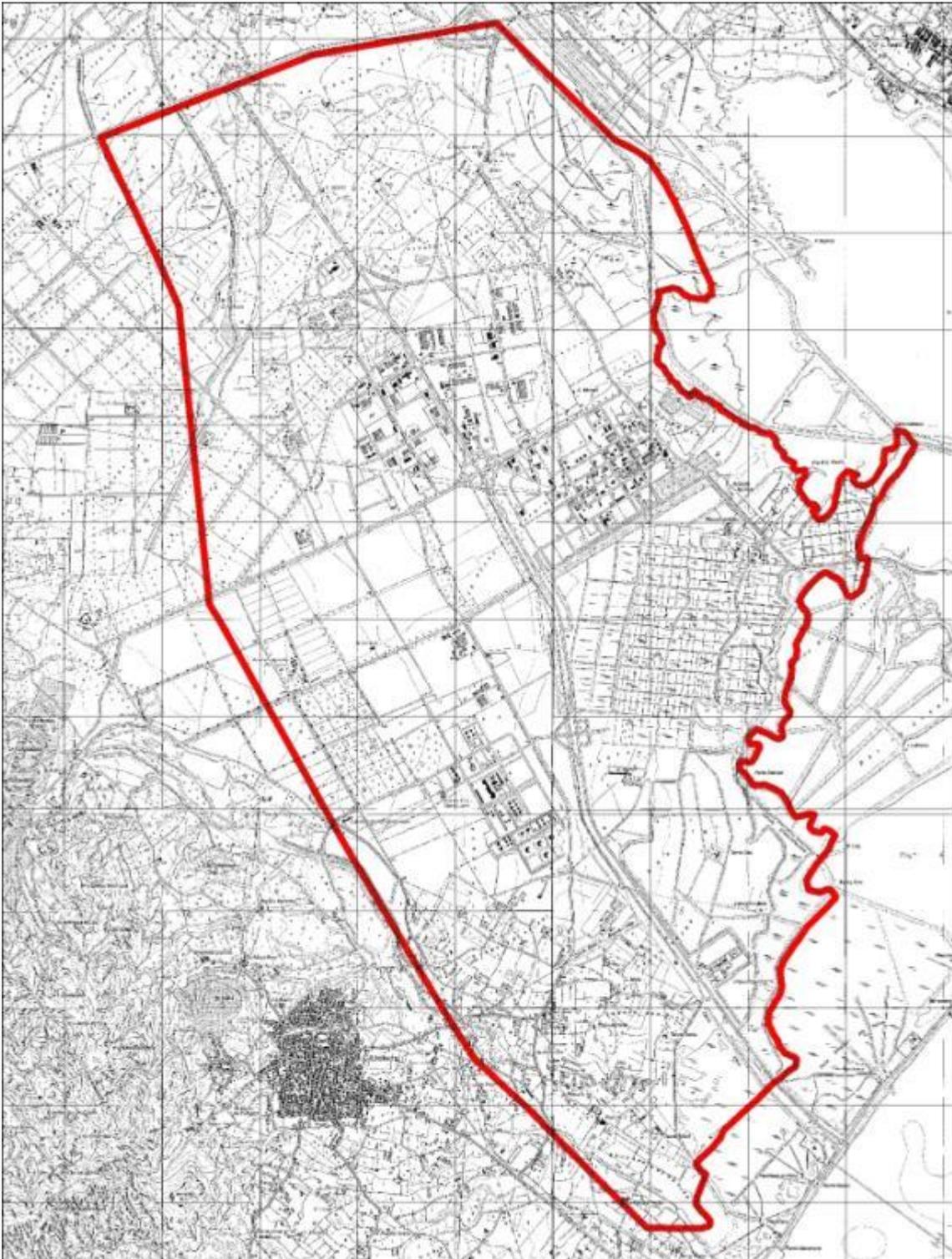


Figura 5-11: L'area di studio e la cartografia 1:25.000 dell'IGM (edizione 1990)

La cartografia storica mostra in modo evidente come le operazioni di bonifica concomitanti alla realizzazione delle saline abbiano disegnato la morfologia del sedime sul quale si è impostato il successivo assetto produttivo industriale. In tal senso, la trasformazione più evidente, conservata a tutt'oggi, è la razionalizzazione e geometrizzazione della rete delle infrastrutture viarie: se in data antecedente alle opere di bonifica l'impianto era plasmato sulla morfologia del territorio, successivamente si riscontra chiaramente come le strade assumano quella caratteristica di regolarità geometrica e ortogonalità che caratterizza tipicamente l'impianto viario dei territori bonificati.

Proprio la lettura dell'evoluzione della rete viaria e l'analisi diacronica degli usi e delle trasformazioni antropiche⁶, consentono di individuare le principali dinamiche guida per l'insediamento industriale.

Come accennato in precedenza, le prime 47 attività pioniere (prevalentemente legate all'industria petrolchimica) si impostarono in un territorio in cui l'accessibilità, caratteristica guida per il fenomeno insediativo, era affidata a poche strade di rango elevato (la via principale di accesso era la S.P. 92) e ad un consistente numero di sterrate di penetrazione agraria organizzate in una maglia rigidamente geometrica. Se le prime determinarono la localizzazione degli impianti pionieri le seconde ne definirono la forma e l'orientamento principale.

L'immagine riportata in fig. 5.14 rappresenta l'insediamento industriale nella sua fase iniziale intorno agli anni '70 e mostra chiaramente come proprio la maglia viaria ne abbia orientato la morfologia. Le immagini successive (fig. 5.15 e fig. 5.16), che completano l'analisi diacronica, attestano come due siano stati i fattori guida per le dinamiche insediative industriali: la vicinanza alle infrastrutture viarie e la contiguità ad altri insediamenti industriali.

Ciò configura un fenomeno di agglomerazione "gravitazionale" in cui gli attrattori sono rappresentati dalle strade e dai lotti già occupati. Le motivazioni di tali dinamiche sono più che mai semplici e intelligibili essendo legate ai due grandi criteri dell'accessibilità (per lo scambio delle merci e l'approvvigionamento delle materie prime) e di economia (nei costi di infrastrutturazione per il mantenimento di un appetibile prezzo di vendita del lotto).

⁶ Le analisi sono state condotte attraverso la consultazione delle ortofotocarte disponibili sul webgis della Regione Sardegna e sul Portale Cartografico Nazionale nei seguenti orizzonti temporali: 1954, 1977, 1988/1989, 1994/1996, 2000, 2003, 2006.

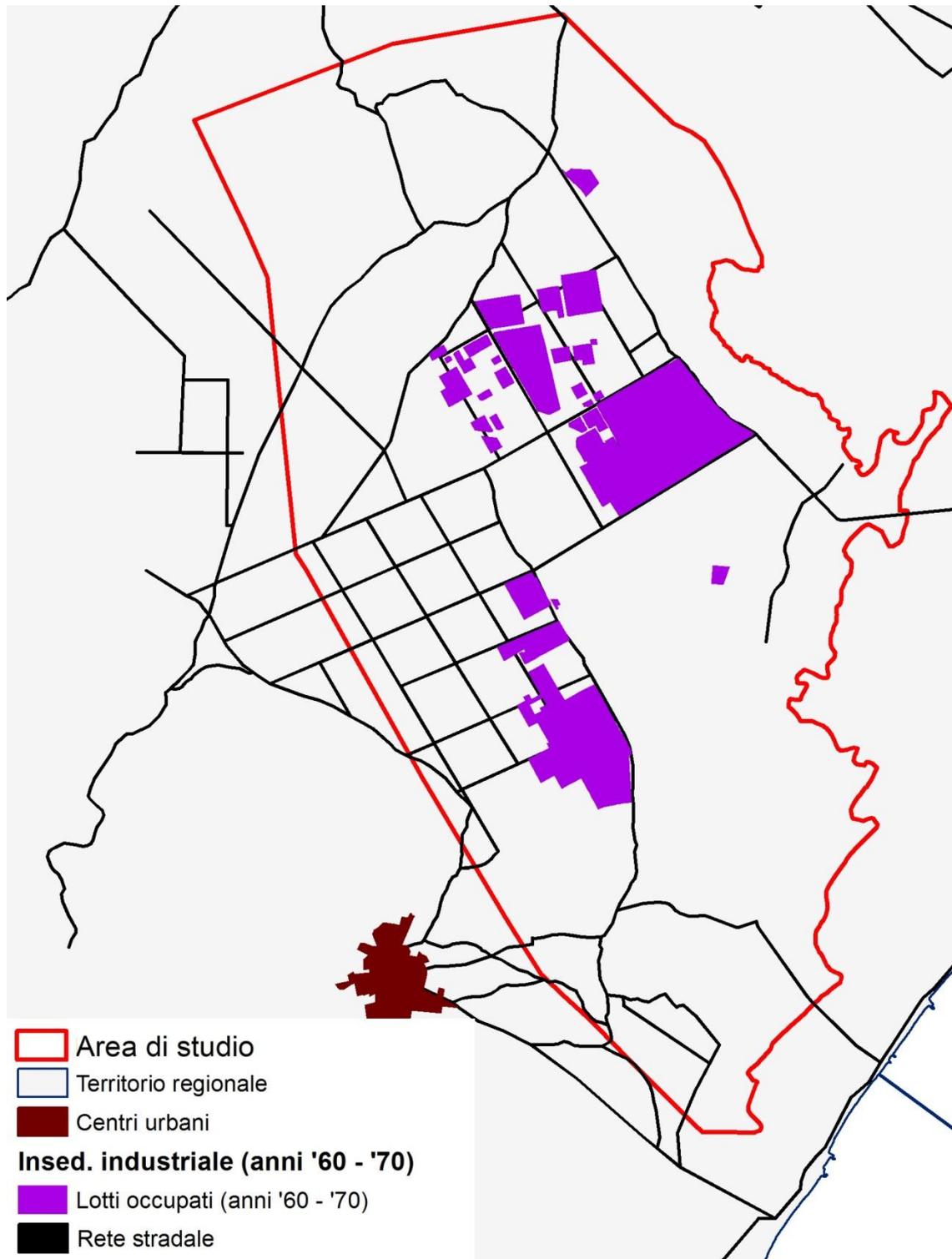


Figura 5-12: Insediamento industriale anni '60-'70 (Elaborazioni proprie da fotointerpretazione)

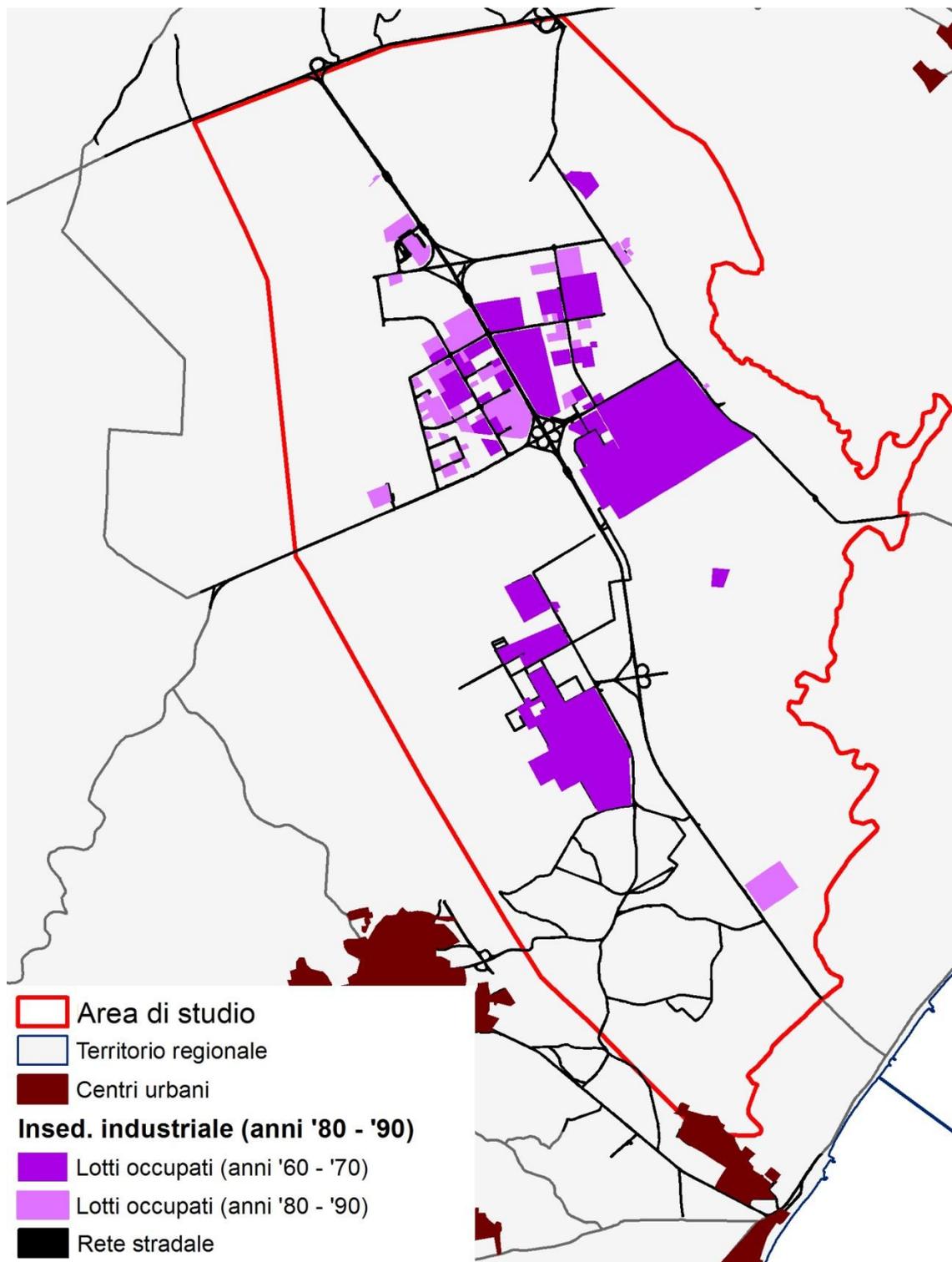


Figura 5-13: Insediamento industriale anni '80-'90 (Elaborazioni proprie da fotointerpretazione)

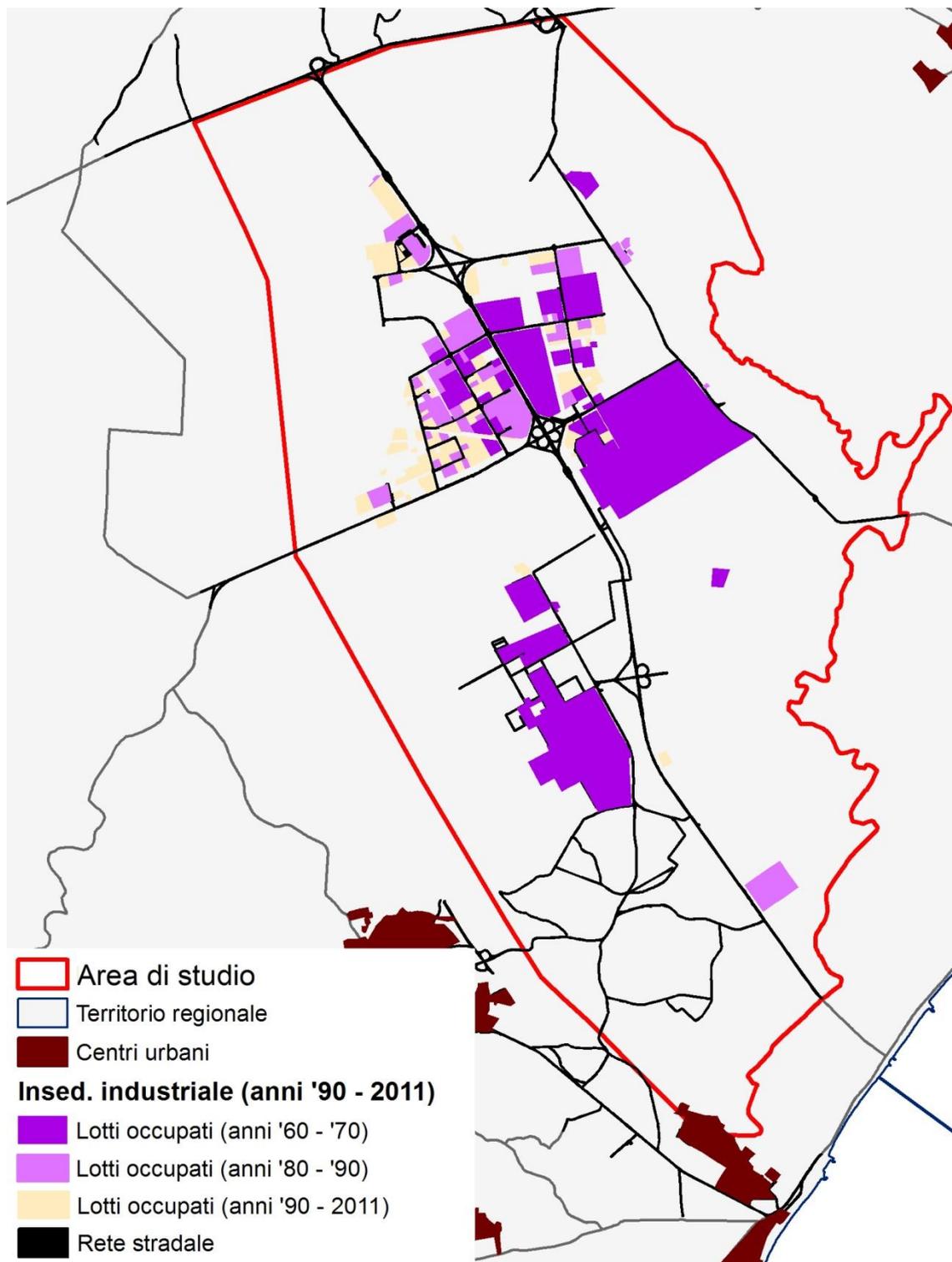


Figura 5-14: Insedimento industriale anni '90-2011 (Elaborazioni proprie da fotointerpretazione)

In linea con le tendenze nazionali e internazionali, l'industria petrolchimica fu il motore trainante dello sviluppo dell'area almeno sino alla fine degli anni '70 del secolo scorso quando la crisi mondiale legata al prezzo del greggio e il cosiddetto "risveglio ambientale" produssero un sostanziale cambiamento di approccio verso tali attività produttive.

Per contro, il piano per lo sviluppo industriale del Mezzogiorno elaborato nei primi anni '60 incarnava la convinzione che l'unica chiave di sviluppo e benessere per l'Isola fosse l'industrializzazione, da raggiungersi attraverso interventi estesi e concentrati, confidando nella capacità di questa trascinare verso una prospettiva di futuro differente, ambiti territoriali condannati a quell'immobilismo culturale, sociale ed economico attribuito alle tradizionali pratiche dell'agricoltura e della pastorizia.

Con il mutare degli scenari internazionali si assistette ad una importante flessione nel tasso di sviluppo insediativo dell'agglomerato, così come mostrato nel grafico in Figura 5-15, che riporta in ordinate i valori cumulativi percentuali dell'occupazione di superfici per insediamenti produttivi sul totale delle aree a disposizione del Consorzio per le attività industriali.

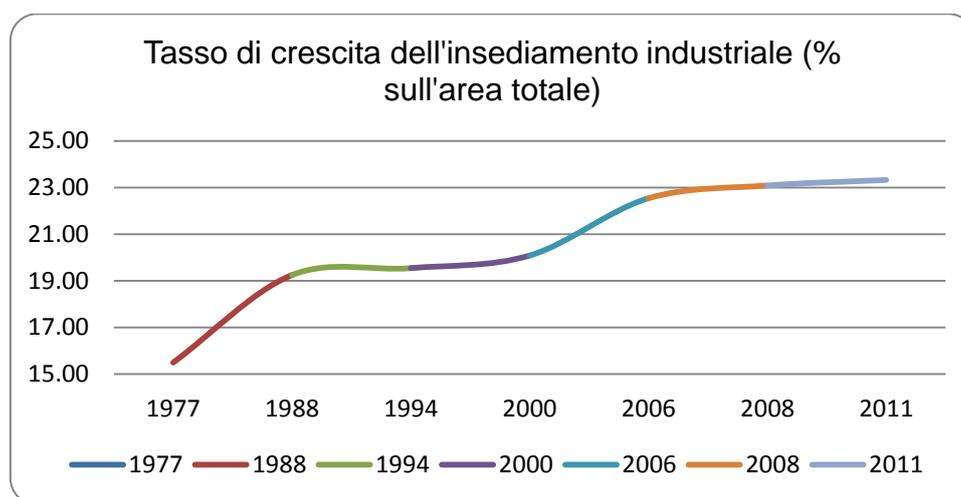


Figura 5-15: Tasso di crescita (Elaborazioni proprie su strati ricavati da fotointerpretazione)

Si precisa come il grafico tenga conto soltanto delle superfici trasformate interessate da processi "schiettamente" insediativi prescindendo dalle più recenti assegnazioni di lotti che, di fatto, prefigurano anch'esse reali dinamiche insediative, ancorché non manifestino ancora un effetto diretto sul territorio.

Le attuali tendenze di sviluppo in atto nell'area di Macchiareddu sono marcatamente correlabili al mercato delle energie rinnovabili, fortemente sostenuto dalla programmazione di settore, nazionale e internazionale, nonché da significativi incentivi economici. L'allegata Tavola 7 mostra come, in linea con i criteri guida dell'espansione individuati, il settore compreso tra la Strada Dorsale Consortile e la porzione ovest della Strada Seconda sia quello in cui si concentrano le più recenti o future iniziative. Sotto questo profilo si segnala come su un'area interessata da nuove

assegnazioni, avente superficie di circa 420 ettari, ben 320 (circa il 72%) siano destinati alla produzione elettrica da fonti rinnovabili. Sul totale di nuovi lotti assegnati, inoltre, il futuro utilizzo per la produzione energetica da fonte rinnovabile interessa circa il 50% della superficie.

6 CARATTERISTICHE AMBIENTALI STRUTTURALI DELL'AREA DI INDAGINE

6.1 Premessa

Nel seguito si procederà alla descrizione delle caratteristiche strutturali delle componenti dell'ambiente, ritenute di interesse preminente ai fini della costruzione del modello concettuale del sito.

6.2 Descrizione delle principali attività industriali a rischio di inquinamento

La zona di agglomerazione industriale di Macchiareddu si estende su un'area di 8.242,03 ettari ed è destinata a grandi, piccole e medie industrie e attività di servizio alla produzione.

Al 2009, il numero degli stabilimenti produttivi era di 214 per un numero di addetti fissi di circa 4.500 ed una superficie occupata di circa 826 ha (circa 5.5 addetti/ha).

Nell'area oggetto del presente PdC sono insediate numerose industrie di varie dimensioni, nonché attività di servizio alla produzione. Sono presenti in particolare rilevanti realtà produttive che hanno avuto un significativo impatto sul territorio e sull'ambiente, le principali delle quali sono:

- Syndial S.p.A. (Ex Enichem, Ex Rumianca) - produzione e commercializzazione settore chimico e petrolchimico;
- Ecotec S.r.l. – piattaforma di trattamento di rifiuti speciali, impianto di *soil washing* per la bonifica di suoli;
- Bridgestone Metalpha Italia S.p.A. (Ex Gencord) - lavorazione e produzione di cordicelle di acciaio ottonate quali: *steel cord*, *hose wire*, cavi metallici ecc. per la realizzazione di pneumatici;
- Sanac S.p.A. - fabbricazione di mattoni refrattari;
- Fluorsid S.p.A. - produzione di derivati chimici del fluoro;
- Enel Produzione S.p.A. - centrale termoelettrica;
- Tecnocasic S.c.p.A – piattaforma di trattamento rifiuti.

La mappa d'insieme dell'assetto degli insediamenti industriali relativo all'intero agglomerato di Assemini è riportata Tavola 9.

Nell'area circostante la Laguna di Santa Gilla è da segnalare la presenza, dal 1921, delle Saline Conti Vecchi, che occupano un'area di circa 2700 ettari. Le saline producono annualmente circa 320.000 tonnellate di sale di differenti tipologie, gran parte utilizzato dall'impianto cloro-soda della Syndial. Si fornisce di seguito, una breve disamina dei processi relativi ai principali impianti produttivi presenti:

Syndial

Rappresenta la realtà produttiva più importante dell'area industriale di Macchiareddu. I lotti Syndial si trovano dislocati all'interno dell'area in esame in tre zone geografiche distinte:

- l'Area Impianti di circa 160 ettari è ubicata a circa 7 km a sud dell'abitato del comune di Assemini;
- il Deposito Costiero di circa 106 ettari è ubicato a circa 2 km ad est del comune di Capoterra;
- l'Area Pontile o Radice Pontile di circa 21 ettari è ubicata sulla costa a circa 4,5 km dal comune di Capoterra, in area del Comune di Cagliari.

Le tre zone sono collegate tra loro da un sistema costituito da pensiline di carico/scarico, per la movimentazione di materie prime e prodotti, e *pipeline* (due oleodotti) mediante cui avviene il trasferimento di materie prime, prodotti e fluidi di processo.

L'Area Impianti è dotata di una rete di raccolta acque suddivisa in: rete acque meteoriche; rete fognatura oleosa; rete fognatura acida. Le acque reflue del sito sono convogliate all'impianto Trattamento Acque Reflue (TAS), con eventuale pre-trattamento effettuato nei singoli impianti. Nel TAS sono individuati due flussi principali (acque bianche e acque nere), entrambi controllati e monitorati. Le acque bianche sono convogliate nel canale di guardia dello stagno di Santa Gilla, mentre le acque nere sono inviate alla piattaforma consortile CACIP.

Attualmente gli impianti in attività sono:

- impianto cloro – soda
- impianto dicloroetano
- impianto acido cloridrico
- impianto acido solforico
- reattore OXY
- inceneritore peci
- centrale termoelettrica
- produzione acqua demineralizzata.

Gli impianti inattivi si presentano in generale in un precario stato di conservazione dovuto al lungo periodo di non utilizzo. La società Syndial ha intrapreso da alcuni anni una significativa operazione finalizzata alla riqualificazione ambientale dell'area, da attuarsi attraverso un piano di bonifica, demolizione e smaltimento degli impianti inattivi.

Ecotec

Il Gruppo Ecotec opera sin dal 1981 nel campo del trattamento di residui industriali, mediante la progettazione, costruzione e gestione di impianti per il trattamento di rifiuti e di reflui di processo, prodotti da grandi complessi industriali, petroliferi, chimici, farmaceutici ed estrattivi.

L'impianto può trattare terreni inquinati, fondali marini e altri rifiuti aventi caratteristiche fisiche e merceologiche assimilabili, mediante una tecnologia innovativa brevettata, denominata *ensolvex*, basata su di un processo di estrazione degli inquinanti con idoneo solvente (acetato di etile). La

struttura di Macchiareddu effettua un trattamento di rifiuti speciali, mirato a separarne e riutilizzarne le componenti disinquinare (limitando così le quantità da smaltire necessariamente a discarica) e a recuperare i terreni contaminati. La capacità produttiva massima dell'impianto in oggetto è di 50 t/ora equivalenti a 1200 t/giorno. La quantità annua di rifiuti trattata è comunque limitata a 102.700 t/anno. L'impianto è autorizzato ad operazioni di recupero del materiale trattato secondo le seguenti alternative:

- restituzione del terreno bonificato al sito di provenienza;
- riutilizzo del terreno in siti diversi da quello di provenienza;
- recupero e commercializzazione, anche separatamente, delle frazioni lavate derivanti dal trattamento (sassi, ghiaia, sabbia, argilla) come materia prima secondaria (per rilevati e sottofondi stradali, cementifici, produzione di conglomerati, bituminosi, cementizi, di laterizi).

Bridgestone

Nel 1996 la *Bridgestone* acquista lo stabilimento Gencord per la produzione di SC ("steel cord"), cordicelle d'acciaio per pneumatici, e anche per "hose wire", fili d'acciaio per tubi ad alta pressione. Dal principio la nuova proprietà avvia un importante piano di investimenti nella fabbrica di Macchiareddu, mirato alla costruzione di nuovi capannoni, ad una maggiore attenzione al rinnovo tecnologico, al fine di ottimizzare l'efficienza dei processi, al miglioramento della produttività e della qualità. Il processo produttivo prevede diverse fasi che vanno dalla preparazione della materia prima (pulizia del filo d'acciaio) alla cordatura (i fili d'acciaio sono cordati per ottenere lo *steel cord* richiesto), con passaggi standard che interessano, nell'ordine, la trafilatura (prima riduzione del diametro), il patentamento (riscaldamento del filo d'acciaio fino a 960° e successivo raffreddamento) l'ottonatura (il filo viene ricoperto con uno strato d'ottone, di diverso spessore, a richiesta).

Sanac

Lo stabilimento è stato realizzato intorno al 1970 con il ciclo produttivo per la fabbricazione di mattoni refrattari. Successivamente, intorno al 1976, l'impianto è stato ampliato con l'introduzione delle linee produttive di refrattari basici. Nel 1992, l'unità produttiva è stata ammodernata con l'inserimento progressivo di macchine tecnologicamente più evolute, quali le isole robotizzate.

Fluorsid

La Società produce fluoroderivati inorganici per l'industria dell'alluminio dal 1972. I prodotti principali della Fluorsid sono il fluoruro di alluminio (AlF_3) e la criolite sintetica (Na_3AlF_6) che vengono utilizzati principalmente come componenti del bagno elettrolitico nelle celle di elettrolisi delle industrie produttrici di alluminio. Il solfato di calcio (CaSO_4), derivante dalla produzione dell'acido fluoridrico, viene trattato e venduto sotto forma di pellets o di anidrite macinata:

- il gesso in pellets costituisce una valida alternativa al gesso naturale ed è impiegato nell'industria del cemento come regolatore della velocità di presa;
- l'anidrite macinata è utilizzata per sottofondi autolivellanti di pavimenti, per intonaci, pannelli e blocchi per applicazioni interne.

Centrale ENEL Turbogas

La centrale di Macchiareddu è costituita da due gruppi turbogas *FIATW - estinghouse mod. TG50* da 88 MW ciascuno, in grado di funzionare con gasolio o con distillati di petrolio leggeri, e predisposti per il funzionamento con il gas naturale. Il rendimento netto, in condizioni ISO (T0=15 °C, p0=101,3 kPa), è pari al 29%.

La centrale turbogas è funzionale a coprire le punte del diagramma di carico dei consumi elettrici, con una ridotta durata di utilizzazione annua, pari a 500-1000 ore/anno. La centrale è anche adatta ad un eventuale funzionamento continuato, ed è esercita in telecontrollo. I tempi di avviamento sono di circa 30 minuti per il passaggio da macchina ferma al pieno carico sulla rete elettrica. I due gruppi sono dotati di motori diesel di lancio di potenza unitaria di circa 2.200 kW e sono in grado di avviarsi anche senza alimentazione esterna dalla rete.

Tecnocasic S.p.A.

La Piattaforma polifunzionale di Macchiareddu è costituita da diverse tipologie impiantistiche finalizzate al trattamento/smaltimento dei rifiuti.

In particolare è presente un impianto di incenerimento rifiuti urbani, in cui sono installati due forni a griglia dimensionati cadauno per una portata di 7 t/h di rifiuti ed un impianto di incenerimento rifiuti speciali non pericolosi, costituito da un forno a tamburo rotante con portata oraria rifiuti di progetto 4,46 t/h.

Sono poi presenti un impianto di trattamento chimico fisico ed inertizzazione di rifiuti speciali non pericolosi e pericolosi, sia liquidi che solidi, ed un impianto di compostaggio di qualità della frazione organica proveniente dalla raccolta differenziata.

La piattaforma è inoltre integrata da un impianto di depurazione e trattamento reflui costituiti da rifiuti liquidi, autorizzato per una capacità produttiva di refluo trattato pari a 12.614.400 m³/anno.

La piattaforma prevede poi un deposito preliminare di rifiuti assimilati agli urbani e pneumatici da smaltirsi nel forno rotante.

Tra i futuri impianti che troveranno collocazione nel Sito merita una citazione la centrale elettrica a biomasse **Power Crop**, che ha recentemente ottenuto l'Autorizzazione Integrata Ambientale e l'Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 387/2003. Essa prevede cinque attività principali, delle quali solo una si configura come attività IPPC, mentre le altre sono propedeutiche alla preparazione di materie in ingresso o all'utilizzazione di materiali/energia in uscita. Le principali sezioni impiantistiche della centrale sono:

1. Sezione biomasse lignocellulosiche
2. Sezione frantoio
3. Sezione oli vegetali
4. Sezione biogas
5. Sezione compostaggio

Nell'area industriale sono localizzati i seguenti impianti soggetti alla normativa IPPC e dunque al rilascio di Autorizzazione Integrata Ambientale (Tabella 6-1):

Tabella 6-1: Impianti soggetti ad AIA presenti nell'agglomerato

Azienda	Comune	Campo di attività
Agrolip Sarda srl	Uta	Impianto trattamento scarti animali
Air Liquide Italia service srl	Assemini	Impianto chimico
Cacip - Tecnocasic	Capoterra	Imp. Trattamento rifiuti
Cartiera di Cagliari	Cagliari	Cartiera
Ecobonifiche srl	Assemini	Imp. Trattamento rif. liq
Ecotec Gestione Impianti srl	Assemini	Imp. Trattamento rifiuti
Enel Produzione spa - Itg Assemini	Assemini	Prod. energia elettrica
Fluorsid spa	Assemini	Impianto chimico
Papiro Sarda srl	Assemini	Cartiera
Power Crop	Assemini	Prod. energia elettrica
Sanac SpA	Assemini	Produzione laterizi
Syndial SpA	Assemini	Impianto chimico
Valriso SpA	Uta	Impianto macellazione e trat. scarti animali

6.3 Assetto ambientale

6.3.1 Premessa

Quanto di seguito esposto racchiude una descrizione degli aspetti generali climatico-meteorologici e di qualità dell'aria, l'inquadramento geologico-idrogeologico generale e, localmente, di dettaglio, l'illustrazione dell'assetto idrografico e pedologico nonché l'individuazione e descrizione delle unità ecosistemiche naturali di interesse.

Con particolare riferimento alla ricostruzione dell'assetto geologico-idrogeologico, di particolare interesse per il presente PdC, si evidenzia come la stessa sia stata incentrata sui dati stratigrafici acquisiti nell'ambito del Progetto RAS (2009) integrati da quelli disponibili raccolti durante l'esecuzione delle indagini previste dai piani di caratterizzazione attuati in data posteriore al 2008.

La significativa mole di dati ha consentito di pervenire, a mezzo di software specialistico, alla costruzione di un modello litologico tridimensionale atto a rappresentare in modo efficace il complesso idrogeologico multistrato che caratterizza l'area di Macchiareddu, formato dagli strati *acquiferi* e dagli *aquiclude* e *aquitard*. Nella porzione superiore del complesso circola la falda d'acqua libera che rappresenta il principale bersaglio dei potenziali fenomeni di contaminazione, oggetto di indagine dello studio RAS e dei piani di caratterizzazione attuati in periodi successivi.

6.3.2 Clima e meteorologia

L'area di studio è caratterizzata da un clima temperato caldo, in cui la stagione estiva si presenta calda e secca (temperatura media annua 14.5-16-9 °C), e l'inverno è piovoso, ma con temperature non rigide, comprese tra 6 e 9.9 °C nel mese più freddo.

Per poter delineare i caratteri climatici dell'area, vengono nel seguito analizzati e descritti i principali parametri meteorologici: temperatura, piovosità e ventosità. I relativi dati sono stati desunti da:

- raccolta di elaborazioni dal titolo "Caratteristiche diffusive dell'atmosfera" pubblicata congiuntamente da ENEL e Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (SMAM);
- "Nuovo Studio dell'Idrologia Superficiale della Regione Sardegna – Nuovo SISS" (1992) elaborato dalla Regione Autonoma della Sardegna e dall'Ente Autonomo del Flumendosa (EAF), nel quale sono disponibili, per il periodo 1922 - 1992, serie storiche delle precipitazioni mensili ed annuali;
- dati di precipitazione (1993-2007) e dati di temperatura (1993-2002) forniti dal Servizio Difesa del Suolo della Regione Autonoma Sardegna – Assessorato dei Lavori Pubblici.

Nell'ambito dell'analisi della componente climatica si è ritenuto opportuno riportare una sintesi dei dati disponibili di qualità dell'aria nell'area industriale di Macchiareddu, utilizzando le elaborazioni della Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna per l'anno 2010 (RAS, 2011), relativa alle quattro stazioni di monitoraggio installate nell'area.

6.3.2.1 Precipitazioni e Temperature

L'area in esame mostra caratteri orografici omogenei comuni all'arco pedemontano cagliaritano. Questa omogeneità orografica determina possibili correlazioni con le informazioni provenienti da numerose stazioni meteorologiche vicine.

I dati riguardanti la piovosità e le temperature sono stati ricavati dalle stazioni pluviometriche di Cagliari ("aggregata"), Decimomannu e Capoterra, relativamente ad un arco complessivo temporale di 86 anni (1922-2007).

Le precipitazioni sono concentrate nel periodo metà autunno-inverno (dicembre e novembre si confermano i mesi più piovosi), mentre il periodo fine primavera-estate è caratterizzato da un'accentuata aridità. Le precipitazioni medie annuali sono comprese tra 414 e 520 mm (Tabella 6-2).

I valori di temperatura medi mensili e le medie annuali delle temperature registrate nelle stazioni di Cagliari e di Decimomannu nel periodo 1924-2002 sono riportati in Tabella 6-3. Dai dati si evince che la distribuzione delle temperature nel corso dell'anno rispetta l'andamento stagionale tipico della regione Mediterranea, con valori maggiori nei mesi estivi (luglio ed agosto) e con valori invernali non particolarmente bassi: infatti, le temperature medie annuali oscillano tra 13 e 18 °C. I valori maggiori si riscontrano in luglio e agosto (22-25 °C circa), mentre le medie mensili minori caratterizzano i mesi di gennaio e febbraio (5-11 °C).

Tabella 6-2– Precipitazioni medie stagionali registrate nelle stazioni di Cagliari "aggregata", Decimomannu e Capoterra nell'intervallo di anni 1922-2007 (Fonte: Nuovo Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna SISS, EAF – 1992; Regione Sardegna - Assessorato LL.PP., sito internet <http://www.regione.sardegna.it>)

Stazione	Quota s.l.m.	Anno (mm)	Numero osservazioni
Cagliari "aggregata"	7	413,9	86
Decimomannu	15	495,4	71
Capoterra	54	519,8	86

Tabella 6-3 – Temperature medie mensili registrate nelle stazioni di Cagliari "aggregata" e Decimomannu nell'intervallo di anni 1924÷2002 (Fonte Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna EAF – 1992; Regione Sardegna - Assessorato LL.PP., sito internet <http://www.regione.sardegna.it>)

Stazione	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media
Cagliari "aggregata"	10,6	11	12,6	14,9	18,4	22,5	25,3	25,5	23,1	19,3	15	11,8	17,6
Decimomannu	5.0	5.4	7.7	10.3	14.2	18.7	22.4	22.4	19.0	14.2	9.6	6.2	12.9

6.3.2.2 Anemologia

Le informazioni sugli aspetti anemologici sono state ricavate dalla raccolta di elaborazioni effettuate nell'ambito della collaborazione tra ENEL e Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare con riferimento ai dati rilevati nella stazione di dell'aeroporto di Cagliari-Elmas (stazione meteorologica A.M. 560), per la quale sono disponibili i dati relativi al periodo di osservazione da gennaio 1951 a dicembre 1991.

Nell'arco di un periodo annuale risultano dominanti i venti del quadrante di NW (corrispondenti al 30% delle frequenze sul complesso per le direzioni di provenienza dai 292,5° ai 337,5°), caratterizzati da velocità in prevalenza moderate (tra 5 e 12 nodi). Tale direzione è nettamente prevalente, poiché è quella del caratteristico vento sinottico che investe la Sardegna sulla costa occidentale.

Si registra inoltre un secondo massimo relativo per venti da N; le frequenze corrispondono a circa il 13% del totale per le direzioni di provenienza comprese tra 337,5° e 22,5°. Si rileva inoltre che i venti da S e SE, collegati alle situazioni di bel tempo estivo, quando spira brezza verso i rilievi più vicini, si presentano con una frequenza non trascurabile pari all'11%.

Le calme di vento sono significative e rappresentano circa il 20% delle rilevazioni per la stazione di Cagliari e prevalgono in inverno (26%) e in autunno (25%).

L'andamento nelle varie stagioni ripete quello rilevato durante l'anno con prevalenza dei venti da NW, che si presentano con frequenze comprese tra il 34% della stagione invernale e il 28% della stagione autunnale. Nella stagione estiva, le correnti da sud di brezza costituiscono il secondo massimo relativo con frequenza del 17%.

6.3.2.3 Qualità dell'aria

La Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna per l'anno 2010 (RAS, 2011), basata sui dati provenienti dalla rete di monitoraggio regionale gestita dall'ARPAS e dalla rete del comune di Cagliari, evidenzia nell'area industriale di Macchiareddu, ove sono presenti quattro stazioni di misura, si è superata la soglia di allarme del parametro SO₂, oltre a vari superamenti dei limiti, che non eccedono tuttavia il numero massimo consentito dalla normativa. Rispetto al 2009, in cui furono registrati i superamenti delle polveri fini (PM10), ozono ed NO₂, si è osservato un miglioramento relativo a PM10 e ozono, con riduzione del numero dei superamenti dei limiti, mentre si è registrato un netto peggioramento per quanto concerne il biossido di zolfo (SO₂) col superamento perfino della soglia d'allarme nella stazione CENAS8.

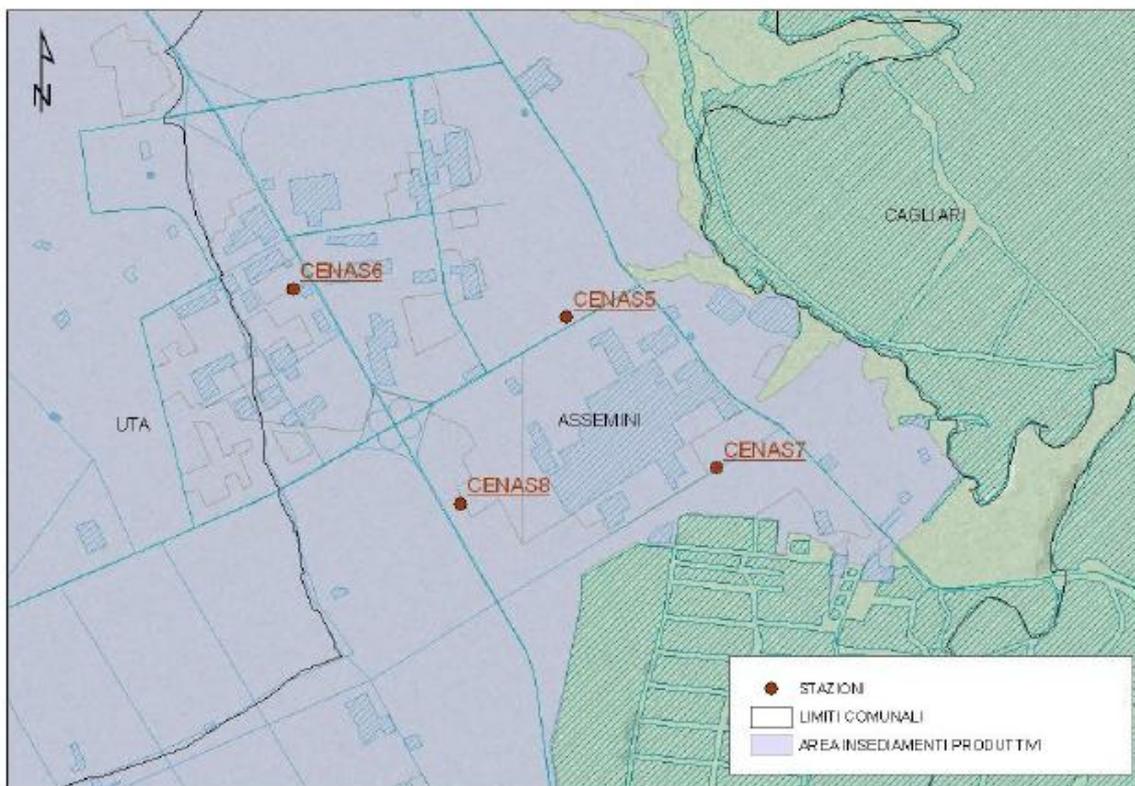


Figura 6-1 – Posizione delle stazioni di misura nell’area industriale di Macchiareddu (fonte: Relazione annuale sulla qualità dell’aria in Sardegna per l’anno 2010 (RAS, 2011))

Sulla base dell’analisi della direzione di provenienza del vento nell’area industriale, si deduce che i valori più elevati sono attribuibili interamente all’area industriale, ma in particolare modo alle fonti emissive ricadenti nell’asse che unisce le postazioni CENAS6 e CENAS8, tenendo conto della posizione delle stazioni (Figura 6-1) e della rosa dei venti della zona (frequenza dei venti per direzione di provenienza, misurata nella stazione CENAS6), che indicano una predominanza dei venti di maestrale e di scirocco (Figura 6-2-Figura 6-3).

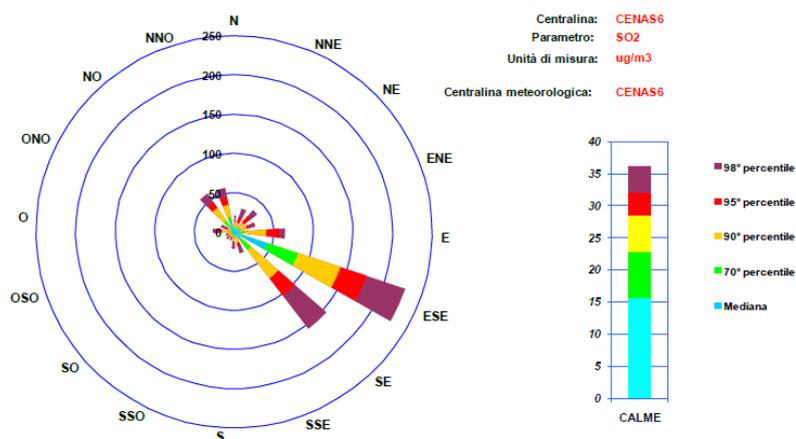


Figura 6-2 – Percentili dei valori di inquinamento per direzione di provenienza del vento per la stazione CENAS6

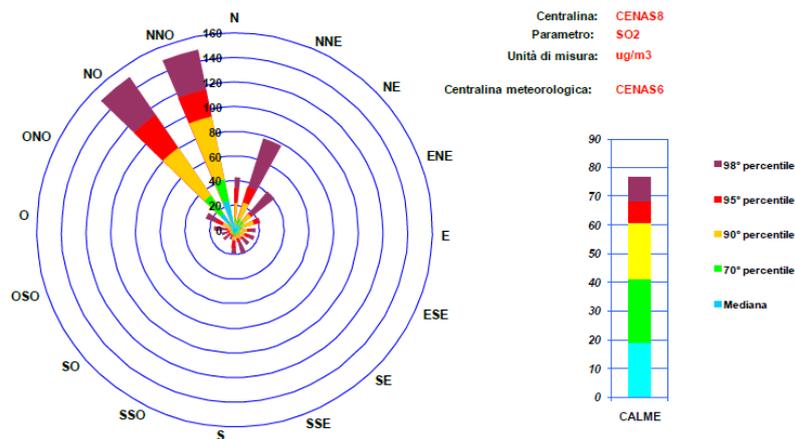


Figura 6-3 – Percentili dei valori di inquinamento per direzione di provenienza del vento per la stazione CENAS8

6.3.3 Inquadramento geologico e geomorfologico generale

L'agglomerato di Macchiareddu occupa una vasta area di oltre 8000 ettari, sviluppantesi secondo una direzione prevalente nord-ovest – sudest, all'interno della porzione sud-occidentale della pianura del Campidano meridionale compresa tra gli abitati di Assemmini, Uta e Capoterra. Tale settore di pianura è delimitato dal margine dei rilievi del massiccio del Sulcis (Monti di Capoterra) a sud-ovest, il Golfo di Cagliari a sud e il bacino dello stagno di Santa Gilla ad est. L'andamento morfologico del settore di pianura del Campidano meridionale in esame è subpianeggiante o moderatamente ondulato e degrada verso est con uno sviluppo altimetrico da circa 60 m s.l.m. verso il livello del mare, con una pendenza media dell'1-2%. Il settore in esame è solcato, a nord, dal Rio Cixerri e dal Flumini Mannu e, a sud, dal Rio Santa Lucia.

La piana, di formazione alluvionale-deltizia, è il risultato del colmamento della porzione meridionale del Graben del Campidano, ampia fossa tettonica formatasi nel Pliocene medio-superiore (Cherchi *et al.*, 1978), delimitata a ovest dalla faglia di importanza regionale del Graben, con direzione NW-SE; a causa di tale faglia, la transizione morfologica tra i rilievi e le facies alluvionali che colmano il Graben campidanese è evidenziata da una brusca rottura di pendio dalle pendici dei massicci cristallini alla pianura, con conseguente passaggio da una morfologia aspra ed accidentata ad una morfologia di tipo pianeggiante. Non si ravvisano indizi circa movimenti neotettonici del Graben del Campidano, che è considerata classicamente una fossa tettonica con attività plio-pleistocenica: infatti, il bordo occidentale del Campidano si presenta in genere fortemente sovralluvionato (Cherchi *et al.*, 1978).

Nell'area in studio, la valle tettonica è limitata ad est dallo Stagno di Santa Gilla, ad ovest e sudovest dal massiccio del Sulcis (monti di Capoterra).

Le aree dello Stagno di Santa Gilla sono soggette a continue variazioni delle linee di costa. La genesi dello stagno è legata da una parte all'apporto detritico fluviale che ha progressivamente colmato il bacino marino in regressione, dall'altra dalla formazione di un cordone litoraneo al

marginale del bacino che costituisce una barriera fisica tra le acque interne e quelle del mare. Inoltre, dalla seconda metà del secolo scorso sono stati compiuti diversi e importanti interventi atti ad assicurare una maggiore disponibilità di superfici, in modo tale da poter ospitare gli insediamenti industriali, che hanno modificato i limiti delle aree emerse e delle aree umide. Tra gli interventi più significativi: opere di colmata per ampliare le aree emerse, confinamento di bacini per produzione di sale (saline), dragaggio dei canali, apertura di bocche di comunicazione tra il bacino lagunare ed il mare.

I margini occidentali di questo settore del *Graben* sono rappresentati dai rilievi, caratterizzati da forme accidentate e quote elevate e costituiti da rocce cristalline di tipo metamorfico (Arenarie di San Vito (pre-Ordoviciano medio), successione terrigena metamorfosata, rappresentata da metarenarie micacee, scisti cornubianitici arenacei più o meno silicizzati a grana minuta, scisti neri, quarziti. Tale complesso scistoso-arenaceo è intensamente tettonizzato e interessato dalle intrusioni granitiche erciniche, affioranti nei margini sudoccidentali. Le cornubianiti sono osservabili a *Serra Scabbias* (m 107), a *Punta de s'Ormu* (m 265) e a *Punta s'Acqua Ferru* (m 291), nonché in tutta la zona circostante alla miniera di magnetite di S. Leone. Lembi di scisti neri sono visibili in prossimità dell'attuale ingresso della miniera, presso *Narboni Silloc* e *Punta Donna Angelica*, oltre che nell'alveo del Rio Santa Lucia, in prossimità di Partitore (Pala, 1983).

Le formazioni granitiche, attraversate da rari filoni di quarzo, affiorano a *M. Arbu* (m 192), *Sa Cruxedda* (m 146), *M. Arrubiu* (m 348) e *Punta Tingiosa* (m 561), a ovest e a sud delle zone metamorfiche.

A ovest di Capoterra, affiorano anche formazioni terziarie quali la *Formazione del Cixerri*, rappresentata da argille siltose di colore giallo-rosso-violaceo e arenarie grigie e rossastre a grana grossolana, vicino alla chiesetta di Santa Lucia e lungo l'alveo del fiume omonimo (Pecorini e Pomesano Cherchi, 1969; Barca *et al.*, 1973), e andesiti oligoceniche, affioranti poco estesamente nell'alveo del Rio Santa Lucia.

Nelle aree pedemontane di raccordo tra i rilievi e la piana si estendono i depositi detritici dei *glacis* di accumulo e dei detriti di falda, potenti qualche decina di metri, reinciati e terrazzati. Costituiti da materiale clastico grossolano, a elementi spigolosi e solo debolmente smussati, di dimensioni in media da centimetriche a decimetriche, con abbondante matrice argilloso-ferruginosa arrossata, tali formazioni si depositarono per azione del ruscellamento diffuso in condizioni climatiche fredde e umide corrispondenti ai periodi glaciali del Pleistocene.

Superata la zona pedemontana, la piana risulta costituita perlopiù dai depositi delle antiche grandi conoidi alluvionali del Rio Santa Lucia e del Rio Cixerri, costituite da alluvioni ciottolose arrotondate in matrice limoso-argillosa e sabbiosa, depostesi anch'esse nel Quaternario antico, ferrettizzate e terrazzate e interdigitate tra loro in maniera complessa. La maggiore impronta del modellamento nell'area è data proprio dai processi fluviali, dal momento che nel bacino del Campidano i depositi di pianura e di conoide alluvionale, più o meno terrazzati, sono quelli maggiormente rappresentati.

Il reticolo fluviale è di tipo sub-dendritico con andamento generale NO-SE ed è rappresentato da tre corsi d'acqua a regime permanente (il Rio Santa Lucia, il Rio Cixerri e il Flumini Mannu) e da

numerosi corsi d'acqua a regime temporaneo, per la cui descrizione si rimanda al paragrafo 6.3.7 "Assetto idrografico".

6.3.4 Assetto geologico-strutturale

La tettonica che interessò la parte meridionale della microplacca sardo-corsa condizionò in modo determinante la deposizione delle formazioni geologiche affioranti e l'attuale configurazione geologica e morfologica della piana compresa tra Assemini, Uta e Capoterra. In un passato geologico "recente", in particolare durante il Pliocene superiore -Pleistocene, i movimenti distensivi connessi con l'apertura del bacino sud-tirrenico causarono uno sprofondamento dell'antica *Fossa Sarda* (fossa tettonica che si estendeva dal Golfo dell'Asinara al Golfo di Cagliari), determinando un ulteriore abbassamento da Cagliari a Oristano con conseguente formazione del *Graben* del Campidano.

In particolare, l'origine del *Graben* del Campidano è legata al regime transtensivo che portò allo sviluppo di strutture tettoniche attivate a partire dall'Eocene fino al Miocene. Durante tale periodo venne a crearsi un bacino marino in trasgressione, con conseguente deposizione di successioni sedimentarie marine. Successivamente, il *Graben* fu colmato da centinaia di metri di depositi continentali di origine fluviale e lacustre di età pliocenica – quaternaria. Questi ultimi derivarono prevalentemente dall'intensa erosione delle precedenti successioni mioceniche e in parte plioceniche inferiori (*Formazione di Samassi*, Pecorini e Pomesano Cerchi, 1969).

La fossa del Campidano, estesa per 85 km circa, corrisponde pertanto a una depressione tettonica colmata da sedimenti di origine colluviale e alluviale di età dal Pliocene al Quaternario, il cui rigetto perdurato durante l'attività tettonica pliocenica è stimato in 500 metri, sulla base degli spessori dei sedimenti sintettonici della *Formazione di Samassi*, attraversata dai sondaggi profondi realizzati nel Campidano meridionale presso Villasor (Pecorini e Pomesano Cherchi, 1969) e settentrionale presso Oristano (Pomesano Cherchi, 1971).

La parte superiore della *F. di Samassi*, dominata da clasti di scisti silicizzati o metamorfici, quarzo, granito, porfidi e altre rocce paleozoiche, passa con ogni probabilità al Quaternario antico, che è notoriamente rappresentato nel Campidano da coltri alluvionali ciottolose (*Alluvioni antiche terrazzate*, Montaldo, 1959a; 1959b). L'ultima fase di sedimentazione (Pleistocene e attuale) vide infatti il susseguirsi di ambienti fluviali, lacustri e marini che portarono all'alternarsi di depositi ghiaiosi, sabbiosi e argillosi. Lo spessore di tale copertura prevalentemente alluvionale è considerevole: oltre 200 m nella perforazione n° 56 della CAS.MEZ. (1996). Tuttavia, in tale serie pleistocenica si distinguono soprattutto una parte superiore con uno sviluppo maggiore degli strati sabbiosi e ghiaiosi e una parte inferiore prevalentemente argillosa e impermeabile con qualche livello sabbioso-ghiaioso permeato da acque salmastre. Il complesso ghiaioso-argilloso superiore diventa progressivamente prevalentemente argilloso. Il riempimento plio-quaternario poggia ai margini della piana su formazioni più antiche affioranti nei rilievi di bordura siti a ovest della piana campidanese, costituiti dalle formazioni scistose - arenacee paleozoiche.

La piana è dunque dominata dalle formazioni sedimentarie quaternarie, prevalentemente di

ambiente continentale e subordinatamente marino, descritte di seguito.

6.3.4.1 Quaternario

Il Quaternario, sia continentale sia marino, rappresenta la formazione predominante nella piana e altresì il complesso geologico e idrogeologico su cui insiste il sito in oggetto. Esso è rappresentato da formazioni pleistoceniche e oloceniche.

In particolare, il “Quaternario antico” *Auct.* (Pleistocene) è rappresentato principalmente dalle cosiddette “Alluvioni antiche” *Auct.*, diffuse in tutta l'isola, ma in particolare nella piana del Campidano. Si tratta prevalentemente di sedimenti fluviali di conoide e di piana alluvionale, depositi durante le fasi climatiche freddo-aride e reinciisi e terrazzati in condizioni caldo-umide. A questi vanno pure associati detriti di versante, riconducibili anch'essi ai sistemi morfoclimatici di tipo periglaciale.

Lungo la costa spesso affiorano sedimenti litorali del Tirreniano (“Panchina Tirreniana a Strombus”, *Auct.*) (Ulzega e Ozer, 1982). Le analisi sulla racemizzazione degli amminoacidi e le datazioni radiometriche U/Th effettuate su questi depositi danno un'età variabile tra 138.000 e 90.000 anni (Ulzega, 1995).

L'Olocene è rappresentato soprattutto da depositi ghiaioso-sabbiosi di fondovalle e delle piane alluvionali, dalle sabbie e ghiaie delle spiagge e da depositi limoso-argillosi delle lagune e degli stagni costieri.

Nell'area di studio i depositi quaternari sono rappresentati fondamentalmente da sedimenti fluviali di sistema di conoide e di piana alluvionale.

Sulla base del criterio morfo-stratigrafico e pedo-stratigrafico e della fotointerpretazione, sul foglio geologico in scala 1:50000 “Assemini” i rilevatori (Funedda *et al.*, 2009) hanno distinto due principali unità deposizionali separate da un'importante superficie di erosione, corrispondente a una fase di incisione e terrazzamento: il *sintema di Portovesme* (PVM), attribuito al Pleistocene superiore, e i depositi olocenici. Il *sintema di Portovesme* è rappresentato da depositi di piana alluvionale pedogenizzati e terrazzati, che passano lateralmente a depositi di conoide alluvionale e detritici di versante. I depositi olocenici comprendono varie facies corrispondenti ai vari ambienti deposizionali (depositi eolici, di spiaggia, alluvionali, ecc.).

Nella successione dei depositi quaternari, partendo da quelli più antichi, si individuano i seguenti tipi: le alluvioni antiche terrazzate, le alluvioni ciottolose antiche non terrazzate (più recenti rispetto alle precedenti), i *glacis* e i detriti di falda, la “Panchina” tirreniana, le alluvioni ciottolose attuali.

6.3.4.2 Alluvioni antiche terrazzate (Pleistocene sup.)

Sono rappresentate da depositi terrazzati formati in ambiente fluvio-deltizio, di colore bruno-rossastro, costituiti da ciottoli subarrotondati eterometrici di scisto, porfido, granito, con granulometria variabile da 10 ai 50÷60 cm, in una matrice sabbioso - limoso - argillosa con

colorazione rossastra.

In tali depositi eterometrici e poligenici, non è riconoscibile una successione ciclica, ma piuttosto l'alternarsi casuale di livelli grossolani ciottolosi a matrice sabbioso-argillosa, ghiaia sabbiosa e sabbia limosa. Sono ben costipati e molto arrossati; la colorazione rossastra ha un'origine post-deposizionale, essendo il risultato di reazioni diagenetiche in cui i minerali (biotite e orneblenda) sono stati alterati parzialmente, mentre altri sono rivestiti da ematite prodotta dall'alterazione idrica superficiale o per circolazione freatica. Tali alluvioni, di solito ben cementate, hanno una potenza massima deducibile di circa 200 metri (Ciabatti *et al.*, 1994/95; Caboi *et al.*, 1982) e si estendono a nord del Rio Santa Lucia.

La natura poligenica dei ciottoli riflette la varietà litologica del bacino di alimentazione dell'area che comprende le formazioni paleozoiche del Sulcis Iglesiente, quelle fluvio-deltizie oligoceniche del Cixerri e quelle marnoso-calcaree mioceniche del Campidano orientale. La loro formazione avvenne in un ambiente fluviale – deltizio, ove la dinamica dei fiumi era regolata dalle variazioni climatiche quaternarie che favorirono l'alternarsi di fasi ora di erosione ora di deposizione degli alvei, e quindi la costituzione di terrazzi fluviali. I terrazzi più antichi (30÷60 m) appartengono al Pleistocene inferiore- medio e si rinvengono a partire dalle colline paleozoiche a contatto con una fascia di detrito di falda che le orla, estendendosi sin quasi al mare e a nord fino alla zona di Santa Lucia.

I depositi alluvionali antichi sono ben visibili nella zona industriale oggetto del presente studio, in località *Is Cuxinas*, dove furono effettuati gli scavi per le fondazioni degli aerogeneratori attualmente presenti in quell'area (Figura 6-4) ed erano ben esposti a ovest di tale località in uno scavo profondo 5.20 metri (Figura 6-5).

Nel nuovo foglio geologico 1:50.000 "Assemini", le alluvioni antiche *Auct.* terrazzate vengono comprese nel *subsistema di Portoscuso* (PVM_{2a}), costituito prevalentemente da ghiaie grossolane, sino alla taglia dei blocchi, a spigoli subangolosi e subarrotondati. I sedimenti più fini, rappresentati da sabbie grossolane, sono sempre subordinati e si presentano in lenti o livelli intercalati a quelli ghiaiosi. Questi sedimenti sono stati deposti da corsi d'acqua a canali intrecciati. Nei pressi dei versanti, in alcune località come nella parte apicale della conoide del Rio Gutturreddu, sono presenti lenti di ghiaie con clasti angolosi e subangolosi, che indicano, oltre a un limitato trasporto, anche la contemporanea presenza di processi di degradazione fisica, verosimilmente crioclastici, sui versanti limitrofi. La base del deposito in questione, frequentemente modellata sulla formazione del Cixerri, è netta e raramente solcata da paleoalvei. Questa superficie di erosione su roccia indica che prima della fase di generale aggradazione delle conoidi alluvionali, credibilmente verificatasi durante l'ultimo massimo glaciale, i versanti erano stati modellati da estesi *pediment/glacis* di erosione. I *pediment* sono morfologie tipiche degli ambienti aridi e subaridi e indicano che, mentre i versanti sono interessati da un arretramento parallelo, ai piedi degli stessi si ha un equilibrio tra processi di accumulo e di erosione con predominanza delle dinamiche di trasporto tramite dilavamento areale. Per le conoidi di Uta, si stimano potenze fino a 40 metri (Funedda *et al.*, 2009).



Figura 6-4 – Alluvioni antiche affioranti in località Is Cuxinas, settore centrale dell'area di studio



Figura 6-5 – Alluvioni antiche visibili in un pozzo, ormai non più esistente, nella zona industriale CACIP

6.3.4.3 Alluvioni antiche non terrazzate e recenti terrazzate (Pleistocene sup.-Olocene)

Le alluvioni antiche non terrazzate sono depositi litologicamente simili a quelli precedenti, in quanto costituiti da ciottoli ben arrotondati poligenici ed eterometrici, ma in essi la componente sabbioso-argillosa non presenta arrossamento e soltanto localmente risulta addensata. La loro potenza visibile varia da 1 a 10 m, ma presumibilmente arriva a 50÷60 m. Si tratta prevalentemente di depositi di pianura alluvionale, che mostrano passaggi progressivi a quelli di conoide alluvionale. Ricoprono le alluvioni antiche terrazzate e occupano l'area del sito in studio verso nord fino al Rio Cixerri e la fascia areale che va dal Rio Santa Lucia in prossimità dei rilievi a ovest, fino alla laguna a est. Il limite tra tali depositi recenti e quelli più antichi è piuttosto netto a nord dell'abitato di Capoterra, in quanto qui è ben evidente un terrazzo inciso nelle alluvioni antiche alto in certi punti 5÷6 m, mentre già in prossimità del paese e procedendo verso sud, esso

non è più visibile. Il contatto con le alluvioni recenti è desumibile soltanto dal grado di arrossamento. Tali alluvioni sono certamente pre-tirreniane, dal momento che nella zona di *Is Arridelis*, in prossimità delle sponde della laguna di Santa Gilla, si trovano al di sotto della *Panchina tirreniana* (Pala, 1983).

Le alluvioni terrazzate oloceniche ricoprono estesamente i sedimenti del *sintema di Portovesme* e giacciono sotto i depositi alluvionali attuali. Si tratta di ghiaie a stratificazione incrociata concava deposte all'interno di canali bassi e poco continui, alternate a ghiaie a stratificazione piano-parallela (Pedemontana bivio Uta).

6.3.4.4 *Glacis* e detriti di falda (Pleistocene)

I *glacis* di accumulo sono presenti lungo le fasce che orlano i rilievi paleozoici e sono depositati ad opera dei corsi d'acqua. I più antichi giacciono sotto le alluvioni terrazzate e si presentano assai costipati e cementati, con clasti di granito e/o scisto con matrice argillosa. La potenza si aggira intorno ai 4-5 metri per quanto riguarda i termini più antichi mentre è dell'ordine del metro per i terreni più recenti (Ciabatti *et al.*, 1994/95).

I detriti di falda sono i depositi accumulati per gravità che orlano i rilievi paleozoici e sono costituiti da clasti angolosi di granito e scisto.

6.3.4.5 Sedimenti limnici (Olocene)

I depositi palustri, localizzati ai bordi e sul fondo della laguna di Santa Gilla (Cagliari), sono legati all'evoluzione attuale di quest'ultima. Si tratta di limi sabbiosi, sciolti, con tracce di elementi torbosi e rari livelli di sabbie fini ricche di sostanza organica; di colore grigio-scuro, contengono una notevole quantità di gusci di organismi; hanno un'età recente, dall'Olocene all'attuale (Pala, 1983). L'esiguo areale di affioramento, nonché la spinta antropizzazione di quest'area, non permettono osservazioni dettagliate, né di definirne lo spessore (Funedda *et al.*, 2009). Hanno uno spessore di circa 10 metri (Ciabatti *et al.*, 1994/95).

6.3.4.6 Panchina tirreniana (Tirreniano)

Si tratta di un deposito di spiaggia costituito da un'arenaria conglomeratica fossilifera più o meno cementata, i cui limitati affioramenti sono presenti presso lo stagno di Cagliari e a bassissima profondità sotto la piattaforma polifunzionale Tecnocasic.

6.3.4.7 Alluvioni recenti e attuali (Olocene)

L'area di studio è solcata da tre fiumi principali: il Flumini Mannu, che drena la parte centrale del Campidano; il Cixerri, che drena la valle omonima; il Rio Santa Lucia, che drena i rilievi paleozoici a ovest della piana di Assemini-Uta. A questi corsi d'acqua si raccordano numerosi affluenti minori, di solito a carattere fortemente torrentizio. In generale, i corsi d'acqua principali sono regimati e si presentano delimitati da argini artificiali o canalizzati.

Le alluvioni attuali deposte da questi corsi d'acqua, comprese quelle localizzate ai lati degli argini artificiali, e dunque appartenenti al tracciato fluviale originario prima degli interventi di regimazione,

sono generalmente grossolane e solo localmente sono presenti intercalazioni di lenti e livelli sottili di sabbia. Si rinvencono nell'alveo attuale dei corsi d'acqua e sono costituiti da ciottoli con matrice sabbioso-argillosa di dimensioni variabili.

I sedimenti fini aumentano notevolmente verso la costa del Golfo di Cagliari, mentre avvicinandosi ai versanti i sedimenti all'interno degli alvei possono essere anche molto grossolani con ciottoli e blocchi. Spesso, allo sbocco delle valli che drenano i rilievi, i corsi d'acqua incidono le conoidi alluvionali dando luogo a scarpate anche di vari metri di altezza (*Rio Isca di Assemini*).

6.3.5 Assetto stratigrafico locale: modello tridimensionale del sottosuolo

Tramite l'analisi e l'elaborazione delle stratigrafie dei sondaggi eseguiti dalla RAS nell'ambito del Progetto per la costruzione della rete di monitoraggio nel sito industriale di Assemini – Macchiareddu (2009), nonché di quelle scaturite dall'attuazione di alcuni piani di caratterizzazione condotti da soggetti privati in data successiva al 2008, si è proceduto alla costruzione di un modello tridimensionale del sottosuolo che ha consentito di meglio comprendere la geometria spaziale degli strati ghiaioso-ciottolosi-sabbiosi e degli strati limo-argillosi formanti un complesso idrogeologico multistrato.

Il modello è stato ottenuto attraverso l'interpolazione con algoritmo di tipo IDW, con maglia orizzontale di 50 metri e verticale di 2 metri, tra la superficie topografica del modello digitale del terreno e la profondità massima di tutti i sondaggi disponibili (quota -30 m s.l.m.). Nella rappresentazione grafica del modello (Tavola 14) gli strati sabbioso-ghiaiosi-ciottolosi (formanti i livelli *acquiferi*) sono rappresentati in colore giallo; gli strati limosi (formanti i livelli *aquitard*) in colore rosa e gli strati argillosi e limoso-argillosi (costituenti i livelli *aquiclude*) in colore rosso.

La rappresentazione tridimensionale ottenuta evidenzia la geometria del complesso idrogeologico superiore in cui agli strati acquiferi si intercalano a strati a bassa permeabilità (*aquiclude* e *aquitard*), privi di continuità almeno nei primi 20-30 metri di profondità e formanti livelli continui e più potenti nella parte orientale dell'area, verso lo stagno di Santa Gilla. Lo sviluppo degli strati alluvionali è visibile anche attraverso una rappresentazione tridimensionale nonché tramite sezioni geologiche bidimensionali ottenute dal modello tridimensionale (Tavole 12, 13 e 14).

Le stratigrafie evidenziano che, dopo una copertura superficiale rappresentata localmente da materiale di riporto, di spessore pari a qualche metro, è presente un pacco sedimentario in cui si ha una prevalenza di termini ghiaiosi-ciottolosi, spesso immersi in matrice sabbioso-limosa nella parte superiore, seguiti inferiormente da strati metrici di sabbie medio-grossolane, intervallate da strati più sottili di sabbie fini; localmente, in queste formazioni si intercalano strati limosi o argillosi, che tuttavia non sono dotati di continuità laterale, per i primi 20-30 metri, soprattutto nella parte occidentale dell'area industriale.

A partire dai 25 metri di profondità inizia una prevalenza di sedimenti argillosi e limosi che, almeno in alcune parti del sito, risultano dotati di continuità laterale. In particolare, nel settore occidentale verso i rilievi di Capoterra, ove tale livello appare assente o dotato di scarsa continuità laterale, i materiali grossolani raggiungono spessori di almeno 40 metri; nella parte orientale verso il cuore

dell'insediamento industriale e l'area Syndial, lo strato di argilla tende ad ispessirsi e ad acquisire caratteri di continuità laterale, con presenza di argille fluvio- lacustri e litoranee molto ricche di frammenti conchigliari verso lo stagno di Santa Gilla.

Al margine nord-occidentale della zona industriale (in prossimità dell'area di impianto fotovoltaico Sarda Solar S.r.l.), è localmente presente uno strato in facies argilloso-limoso continuo (di spessore non determinabile) a una profondità compresa tra circa 16 e 24 metri (2 ÷ -5 m s.l.m.), che presumibilmente confina localmente l'acquifero sottostante quello superficiale (sezione geologica C-C' – Tavole 11a e 12). A una distanza di 750 metri a nord-est dal sito Sarda Solar, anche il sondaggio del piezometro di monitoraggio RAS ASPz8 mette in evidenza la presenza di strati argilloso-limosi alle medesime quote rispetto al livello del mare, ma evidenzia una maggiore variabilità e un'alternanza continua e monotona di strati sabbioso-ghiaiosi e di strati argilloso-limosi fino a 32 metri di profondità (-19,65 m s.l.m.); le stratigrafie dei più prossimi sondaggi RAS ubicati a sud-est del sito Sarda Solar evidenziano invece la presenza di un pacco sabbioso-ghiaioso in matrice limosa privo di intercalazioni argillose per almeno 25 metri di profondità (ASPz96-53: 0/-5 m s.l.m.).

Esaminando la porzione centrale della zona industriale, i sondaggi del sito Power Crop SpA mostrano la presenza di sabbie limoso-ghiaiose-ciottolose per tutta la profondità massima indagata (27 metri p.c. = -9.35 m s.l.m.), senza intercalazioni limoso-argillose, tranne che in un punto (PP6) per un metro di spessore. In questo settore, anche gli altri sondaggi limitrofi della RAS (ASPz59, 62 63, 65) non presentano strati a bassa permeabilità fino a circa -3 m s.l.m.

I sondaggi RAS realizzati più a sud-est del sito Power Crop, profondi fino a 32 metri p.c. (-6.86 m s.l.m.), mostrano la presenza di uno strato argilloso-limoso tra -11 e -13 m s.l.m. alla base del pacco sabbioso-ghiaioso-ciottoloso. Lo strato poco permeabile è presente più o meno alla stessa quota assoluta, tra -10.3 e -13.9 m s.l.m., anche nella parte meridionale della zona industriale, a ovest della Piattaforma polifunzionale di trattamento Tecnocasic (ASPz98, 22, 42, 10); qui sono presenti anche altri livelli argilloso-limosi a profondità variabili tra -16 e -28 m s.l.m.

Il sottosuolo dell'agglomerato industriale, a NW dello stabilimento Syndial, presenta un pacco sabbioso-ghiaioso pressoché privo di intercalazioni argilloso-limose fino a un intervallo di quota di circa 1.5/-1.3 m s.l.m. (ASPz45-41); oltre, tali intercalazioni poco permeabili si ritrovano più frequentemente nell'intervallo di quote -11.2 ÷ -19.2 m s.l.m (ASPz47, 54, 60).

Infine, verso oriente, in prossimità della laguna di Santa Gilla, gli strati argilloso-limosi sono molto frequenti e molto potenti, superando talora nel complesso gli spessori degli strati sabbioso-ghiaiosi.

6.3.6 Assetto idrogeologico

Per effetto del manifestarsi ciclico di ambienti di sedimentazione diversificati, il sottosuolo e i terreni dell'area industriale di Macchiareddu sono costituiti da materiali alluvionali estremamente eterogenei, costituenti un unico sistema acquifero caratterizzato da un'alternanza caotica di livelli di varia natura, da ghiaiosi ad argillosi, di età plio-pleistocenica e recente, più o meno costipati e cementati e aventi quindi permeabilità variabile.

Ciabatti e Pilia (2004) suddividono il sottosuolo in due complessi idrogeologici:

- a) *Complesso idrogeologico alluvionale superiore*, impostato nei depositi fluviali olocenici e caratterizzato da un grado di permeabilità per porosità da media a bassa, in relazione alla presenza diffusa di livelli ghiaioso-sabbiosi, intercalati a orizzonti di limi e argille, aventi spessori di qualche decina di metri. Lo spessore raggiunge valori massimi di circa 200 m nel settore sud-occidentale della piana e si assottiglia nel settore orientale della stessa. Il complesso ha alla base livelli prevalentemente fini che si localizzano principalmente tra i 40 ed i 100 m.
- b) *Complesso idrogeologico alluvionale inferiore*, impostato prevalentemente nei depositi fluvio-lacustri pleistocenici-olocenici e subordinatamente in quelli litorali. Si tratta di un acquifero multistrato, con potenza massima di circa 300 m nel settore sudoccidentale della piana.

Poiché, dunque, il sottosuolo risulta caratterizzato da un grado di permeabilità da medio a basso per porosità dovuto all'alternanza di livelli ghiaioso-sabbiosi (aventi spessori discreti), a livelli limoso-argillosi e argillosi (con spessori locali variabili, fino ad un massimo di qualche decina di metri), la circolazione idrica è fortemente influenzata dalla differente permeabilità sia orizzontale che verticale dei vari livelli.

Il *complesso idrogeologico alluvionale superiore*, che costituisce l'acquifero di interesse precipuo ai fini del presente lavoro, ed è quello che è stato oggetto di indagine diretta da parte della RAS e dei vari piani di caratterizzazione attuati dal 2008 fino ad oggi, può essere schematizzato come un acquifero multifalda, caratterizzato da un'ampia variabilità degli orizzonti che lo costituiscono, in cui si possono distinguere una falda superficiale freatica e una falda profonda confinata multistrato. Il grado di confinamento di questa seconda falda è molto variabile, in funzione della continuità locale degli orizzonti argilloso-limosi e delle modalità costruttive dei pozzi presenti nell'area, spesso realizzati con filtri che non garantiscono l'isolamento idraulico tra i due corpi idrici. Di conseguenza, a scala regionale, spesso i carichi idraulici associati alle due falde sopra descritte tendono a coincidere.

Lo spessore e l'andamento del complesso alluvionale superiore sono stati determinati da parte del CAS.MEZ (1986) attraverso prospezioni geoelettriche appoggiate a misure di taratura in corrispondenza di perforazioni. In particolare, CAS.MEZ. mette in evidenza una vasta zona di conoidi (spessore del complesso superiore prevalentemente sabbioso-ghiaioso

da 50 m a oltre 150 m) che si estende al piede degli affioramenti paleozoici lungo il margine orientale del Campidano. Sono distinte inoltre l'antica conoide del Cixerri e quella del Rio Santa Lucia (Figura 6-6). Oltre tale profondità il complesso diventa progressivamente più argilloso e, il più delle volte, sterile.

Tra le alluvioni antiche, quelle terrazzate sono caratterizzate da bassa permeabilità per porosità, essendo molto argillose e molto costipate; quelle non terrazzate, invece, presentano un minor grado di costipazione ed una matrice più sabbiosa, e pertanto hanno una permeabilità medio-alta per porosità (Pala, 1983).

Nell'area di studio, come già anticipato, le formazioni alluvionali quaternarie rappresentano acquiferi di tipo multistrato, in cui gli strati ghiaioso-ciottoloso-sabbiosi sono sede di una circolazione idrica sotterranea e sono separati da lenti o strati più francamente limoso-argillosi che confinano i primi e mettono le falde in pressione ivi circolanti. Dallo studio geologico-stratigrafico appare chiaro, come già esposto nel paragrafo 6.3.5 relativo all'assetto stratigrafico locale del sito, che si è in presenza di un acquifero alluvionale multistrato costituito da alternanze di livelli sabbioso-ghiaiosi molto permeabili separati da strati argilloso-limosi impermeabili o semi-permeabili (*aquiclude* e/o *aquitard*) appartenenti alla parte superiore più permeabile del complesso alluvionale multistrato pleistocenico che colma la fossa del Campidano (CAS.MEZ., 1986). In tale copertura, le falde circolano negli strati sabbioso-ghiaiosi, con matrice sabbioso-limoso-argillosa, tenute in pressione dagli strati argilloso-limosi che li separano.

In particolare, le formazioni prevalentemente sabbioso-ghiaiose, presenti per almeno 15-25 metri di profondità dal piano di campagna, anche se localmente vi si intercalano strati limo-argillosi di ridotta estensione laterale, costituiscono un acquifero freatico poggiate su uno strato argilloso o limoso (*aquiclude* o *aquitard*), praticamente assente nella parte occidentale verso i monti di Capoterra, dove si configura la presenza di un unico sistema acquifero con permeabilità differenziata tra gli strati più superficiali (in collegamento orizzontale con l'acquifero freatico nell'altra zona) e quelli più profondi. Invece, i sottostanti livelli sabbioso-ghiaiosi formano acquiferi semiconfinati e confinati.

Pala (1983) metteva già in evidenza nel suo studio la presenza di uno strato argilloso che separa in generale due falde, una superficiale e una profonda, verso est rispetto alla piana di Capoterra; l'ipotesi che fosse presente un'unica falda è stata confermata dalle stratigrafie dei sondaggi eseguiti dalla RAS. Considerato che i due acquiferi sono separati da un livello argilloso che assume carattere di continuità solo verso lo Stagno di Cagliari, la variabilità orizzontale e laterale dei litotipi e le interconnessioni delle falde dovute a pozzi multifiltro fanno sì che, alla scala della porzione SIN di Macchiareddu, i due acquiferi formino un unico corpo acquifero con una parte superficiale, potente mediamente 25 m, a falda libera ed una sottostante a falda semiconfinata e con permeabilità relativa più bassa. L'acquifero confinato/semiconfinato presente oltre i 25 metri di profondità, nella porzione orientale del sito, è suddiviso da diversi strati di materiale poco permeabile che possono localmente separare e confinare l'acquifero in diversi livelli confinati. Questi livelli non sono continui alla

scala del sito di indagine (RAS, 2009).

La piezometria delle due parti (acquifero freatico e acquifero confinato) tende dunque a coincidere e la circolazione sotterranea è riconducibile dunque a un unico sistema, in cui le falde sovrapposte possono essere considerate isolate tra loro soltanto localmente, per cui esistono interscambi e orizzontalmente e verticalmente. D'altronde, già CAS.MEZ. (1986) sottolineava nel suo studio che sebbene siano presenti più falde con livelli piezometrici talvolta leggermente diversi, sono stati accertati altresì collegamenti orizzontali e verticali più o meno ravvicinati tra i vari acquiferi, i quali appaiono quindi interdipendenti.

Alla base di tutto il complesso idrogeologico è presente un potente strato di argilla compreso indicativamente a una profondità compresa tra i 40 ed i 100 m e oltre (dati di letteratura).

Sotto il profilo della permeabilità, le alluvioni ghiaiose antiche sono spesso costipate e addensate da un cemento argilloso che riduce notevolmente la permeabilità nella parte alta delle conoidi. La permeabilità appare più elevata invece nella parte basale delle stesse. Nel complesso sono caratterizzate da una permeabilità medio-bassa; le alluvioni antiche e recenti non terrazzate invece presentano una permeabilità medio-alta (Pala, 1983).

Le indagini geognostiche e idrogeologiche effettuate nell'ambito del Progetto RAS unitamente a quelle condotte nell'ambito di alcuni piani di caratterizzazione messi in atto nell'area dopo il 2008, hanno permesso di caratterizzare in dettaglio gli acquiferi del *complesso idrogeologico alluvionale superiore* presenti fino a una quota di -30 metri s.l.m., caratterizzato dalla circolazione della falda libera (Tavola 14).

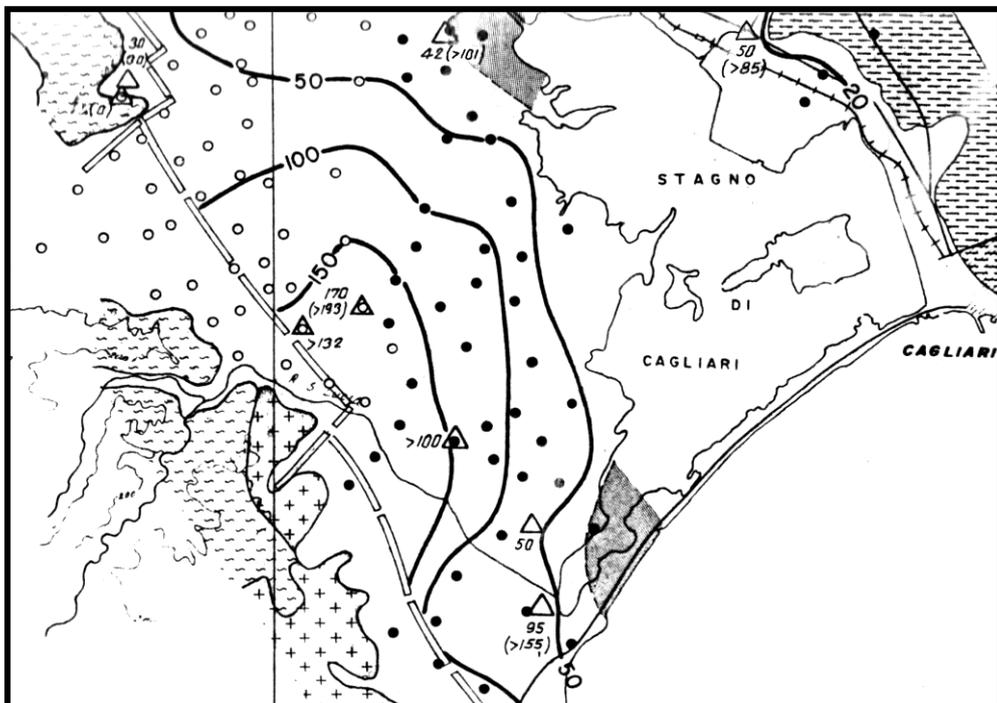


Figura 6-6 – Carta delle isopache del complesso alluvionale sabbioso-ghiaioso-argilloso superiore nell'area di interesse

6.3.6.1 Morfologia piezometrica e regime idrodinamico

Nell'area industriale, la falda superficiale presenta direzione di deflusso da ovest verso est, con recapito verso la laguna di Santa Gilla, e verso il mare a sud (Pala, 1983, Figura 6-7). Anche CAS.MEZ. (1996) mette in evidenza il deflusso della falda profonda verso il Golfo di Cagliari nel sud del Campidano; nella fattispecie, la direzione di deflusso è W-E, dai rilievi paleozoici verso lo stagno di Santa Gilla, con quote piezometriche dai 10 m in prossimità dei rilievi paleozoici (Figura 6-8).

In base a quanto emerso nell'ambito del Progetto RAS (2009), si evidenzia che il deflusso, pur presentando la direzione generale da ovest verso est, risulta localmente deviato dall'emungimento dei pozzi ad uso industriale e irriguo (Figura 6-9). Il gradiente idraulico nella porzione pianeggiante dell'area varia dal 5 al 9‰. L'asse di drenaggio principale della falda coincide, per buona parte della sua estensione con l'alveo del Flumini Mannu. La soggiacenza della falda diminuisce spostandosi in direzione dello stagno e del Golfo di Cagliari fino ad arrivare a pochissimi metri dal piano campagna.

Rispetto alla direzione di flusso della falda superficiale nota a livello regionale e delineata da Pala (1983), visibile in Figura 6-7, lo studio RAS (2009) ha evidenziato una maggiore complessità del campo di moto attraverso una modellazione idrogeologica secondo il codice numerico Modflow (Figura 6-10). Lo studio citato ha ricostruito nell'area la morfologia piezometrica, rilevando la presenza di alti e bassi piezometrici in alcune aree, collegati presumibilmente più che a variazioni repentine della conducibilità idraulica, a fenomeni locali di ricarica di origine antropica, come scarichi non collettati o perdite localizzate dalle reti fognarie. I bassi piezometrici appaiono invece in forte relazione con la presenza nell'area di studio di emungimenti diffusi, alcuni dei quali caratterizzati da portate anche rilevanti e non tutti noti, e con l'esistenza di probabili significative variazioni dei valori di permeabilità dell'acquifero freatico, da mettersi in relazione anche alla presenza di importanti conoidi alluvionali, che terminano nell'area dove si osservano i valori anomali e che potrebbero quindi influenzare la piezometria locale.

L'alimentazione del sistema acquifero deriva secondo il citato studio RAS da:

- acque di infiltrazione nella rete di fratture e faglie del massiccio paleozoico dei monti di Capoterra, stimate in 15 milioni di m³/anno;
- acque di infiltrazione dal ruscellamento superficiale e da flussi di sub-alveo del Rio Mannu, tra gli abitati di Serramanna e Monastir, in corrispondenza della conoide del Rio Mannu di S. Sperate, stimate in 12 milioni di m³/anno;
- acque di infiltrazione efficace (pioggia e acqua di irrigazione), stimate in 43 milioni di m³/anno.

Le perdite del bilancio idrico della falda in studio sono ascrivibili principalmente agli emungimenti dei pozzi, stimati nel 2002 in 65 milioni di m³/anno (Ciabatti e Pilia, 2004).

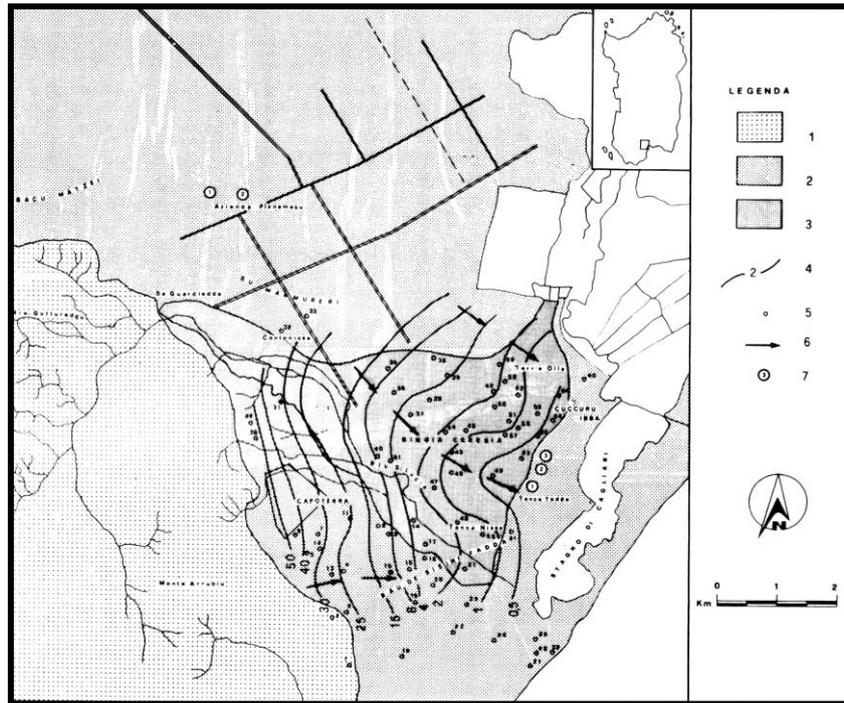


Figura 6-7 - Carta idrogeologica della piana di Capoterra (Pala, 1983).

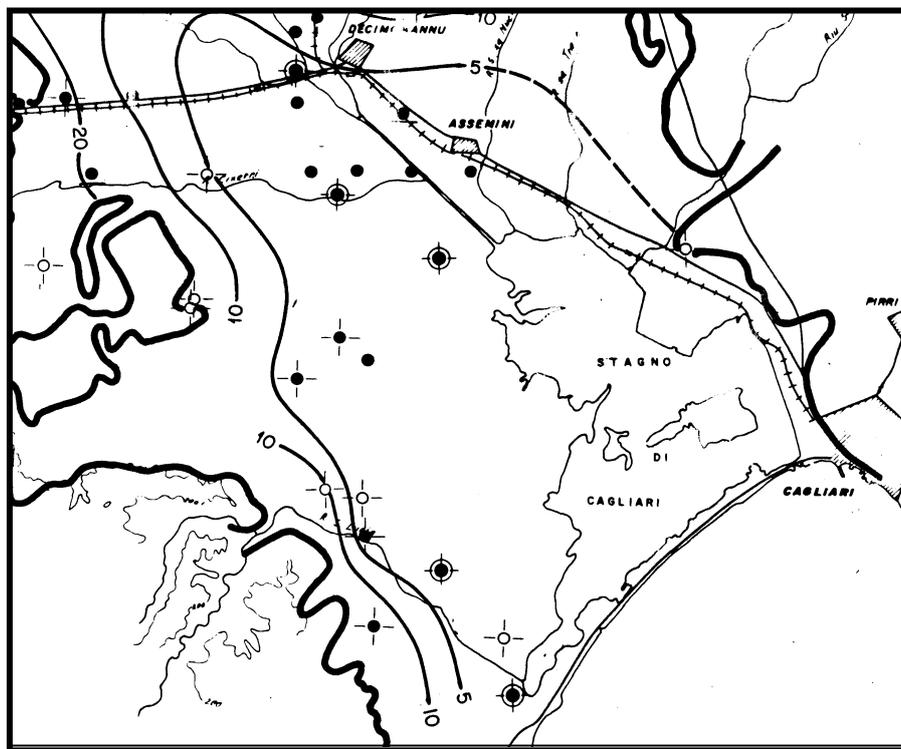


Figura 6-8 - Carta delle curve isopiezometriche del settore meridionale del Campidano (CAS.MEZ., 1996).



Figura 6-9 – Carta delle curve isopiezometriche dell'area industriale CACIP ricostruita sulla base dei livelli misurati nella I campagna dello studio RAS (2009).

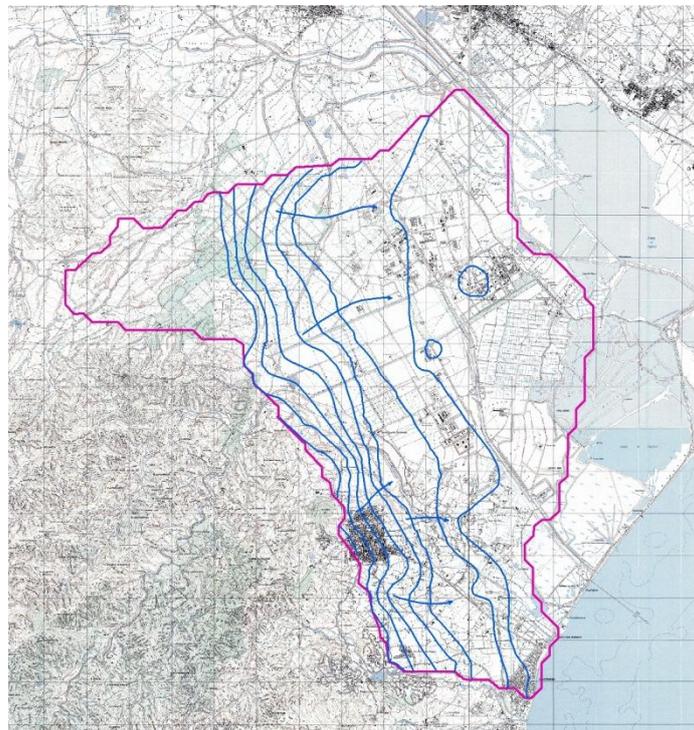


Figura 6-10 – Carta delle curve isopiezometriche (I campagna) dell'area industriale CACIP calcolata attraverso la modellazione idrogeologica con il codice numerico ModFlow nello studio RAS (2009).

6.3.6.2 Parametri idrogeologici degli acquiferi

Studi pregressi effettuati nell'area di indagine hanno evidenziato che l'intervallo di variazione della permeabilità è compreso tra 5×10^{-7} m/s e 3.28×10^{-4} m/s, in ragione della presenza più o meno diffusa di livelli litologici a diversa granulometria, e quindi velocità di deflusso altrettanto variabili. Questo dato appare coerente sia con un campo di moto complesso sia con effetti sulla piezometrica elevati, in aree limitate, in caso di pompaggi od emungimenti.

La Trasmissività risulta compresa nell'intervallo tra 8×10^{-5} m²/s e 2.5×10^{-2} m²/s. In particolare, le trasmissività più elevate sono state riscontrate alla confluenza del Rio Mannu di S. Sperate con il Flumini Mannu e il Rio Cixerri, nel settore compreso tra gli abitati di Uta, Assemini e Decimomannu (Ciabatti e Pilia, 2004).

6.3.6.3 Principali pozzi ad uso acquedottistico

In base alle informazioni contenute nel Progetto RAS, i pozzi ad uso acquedottistico e potabile sono presenti principalmente nelle aree meridionali del sito d'indagine e ricadono all'interno dell'area industriale nelle località *Su Bau Mannu* e *Tanca Sa Turri* nel Comune di Capoterra. Tali pozzi raggiungono rispettivamente profondità di circa 90 e 30 m da p.c. e forniscono portate superiori a 5 l/s. Sempre in questo settore meridionale dell'area di studio, ma al di fuori dell'area industriale, sono ubicati ulteriori pozzi ad uso potabile che raggiungono profondità di circa 80 m da p.c., nelle località *Sa Maddalenedda*, *Podere S. Giuseppe* e *La Maddalena spiaggia*.

6.3.7 Assetto idrografico

La piana meridionale del Campidano è attraversata per quasi tutta la sua estensione dal Flumini Mannu e ricade all'interno dei bacini idrografici dei tre corsi d'acqua principali: il Flumini Mannu, il Rio Cixerri e il Rio Santa Lucia. Il ricettore finale del Flumini Mannu e del Rio Cixerri è lo Stagno di Santa Gilla, mentre il Rio Santa Lucia sfocia nello stagno di Capoterra in prossimità della località La Maddalena.

Nel dettaglio, il Flumini Mannu, uno dei più importanti corsi d'acqua della Sardegna, è caratterizzato da deflussi permanenti, variabili in funzione della piovosità, e da una portata media pari a circa 8 m³/s. Il fiume nasce nell'altopiano del Sarcidano in Provincia di Nuoro, riceve più a valle gli apporti degli affluenti della Giara di Gesturi nella Marmilla e attraversa infine la piana alluvionale del Campidano con orientamento meridiano e un percorso dell'asta idraulica principale pari a 93 km circa che drena un bacino idrografico esteso circa 1.517 km². La maggior parte del corso dell'asta principale del fiume si sviluppa su terreno pianeggiante e di natura alluvionale della piana del Campidano, per cui i deflussi sono determinati in buona parte dalla porzione del bacino idrografico non pianeggiante. Il regime idraulico del Flumini Mannu, come quello del Rio Cixerri, è inoltre significativamente influenzato dall'effetto delle opere d'invaso, di presa e di regimazione che caratterizzano il

suo corso e che rendono non semplice la previsione degli apporti idrici alla foce.

Il Rio Cixerri nasce nel versante settentrionale del massiccio del Sulcis a sud di Iglesias e scorre lungo la valle del Cixerri, confluendo poi nella piana del Campidano dopo avere oltrepassato la soglia di Siliqua. Prima di gettarsi nello stagno, dopo un percorso principale di circa 51 km, riceve lungo il suo corso l'apporto di numerosi affluenti che drenano il versante meridionale del massiccio dell'Iglesiente e quello settentrionale del massiccio del Sulcis, per un bacino idrografico complessivo di 535 km². Esso presenta un regime tipicamente torrentizio ed è canalizzato nell'ultimo tratto in prossimità dello Stagno di Santa Gilla, ove si riversa insieme al Flumini Mannu che gli scorre parallelamente e del quale in passato era un affluente. Infatti, sino a metà del '900 il Rio Cixerri confluiva nel Flumini Mannu, pochi chilometri a monte del bacino stagionale; importanti interventi di sistemazione, realizzati a difesa delle piene che colpivano i centri urbani prossimi ai due corsi d'acqua, condussero a regolarizzare e arginare i tratti terminali di deflusso e a separare le loro immissioni nello Stagno di Santa Gilla. Attualmente i tratti terminali dei due corsi d'acqua sono rettilinei e paralleli e sono contenuti in arginature dimensionate per portate di piena.

Il Rio Santa Lucia nasce dai rilievi metamorfici e granitici a ovest di Capoterra ad una quota di 575 m s.l.m. con un andamento a tratti meandriiforme. Nella zona "alta" del bacino presenta una pendenza media del 40%, che passa al 18% nella fascia altimetrica inferiore ai 400 m; mentre la zona pianeggiante, partendo da altezze di circa 60 m, degrada verso il mare con pendenze del 2÷4%. Il limite tra questi settori è netto, essendo costituito, com'è noto, dalla faglia occidentale del *Graben* campidanese; proprio in corrispondenza di essa il tracciato dell'alveo del Rio S. Lucia devia ad angolo retto passando da una direzione NE-SW (Rio Gutturu Mannu) a quella tipicamente campidanese NW-SE. L'alveo di tale corso d'acqua presenta numerosi terrazzi fluviali, formati durante le variazioni eustatiche del livello del mare durante il Quaternario. Sfocia al termine di un tratto, incanalato artificialmente a partire dall'abitato di Capoterra, nello stagno di Capoterra in prossimità della località La Maddalena, dopo un percorso di 25 km e un bacino di alimentazione di 102 km². Lo stagno di Capoterra, ricettore finale del Rio Santa Lucia, è caratterizzato da scambi molto contenuti con l'ambiente marino, dipendenti sia dagli apporti idrici del bacino del Rio Santa Lucia che dalle condizioni idrodinamiche (marea, correnti e moto ondoso locali).

6.3.8 Inquadramento pedologico

I suoli dell'area industriale del CACIP si sviluppano su substrati costituiti da alluvioni antiche. Nella Carta dei Suoli della Sardegna (Aru *et al.*, 1991), l'area CACIP ricade nell'unità pedologica 35, relativa alle aree urbanizzate e alle principali infrastrutture; in realtà, i suoli presenti, in particolare laddove non sono state realizzate trasformazioni antropiche con rimaneggiamento dei suoli e riporto superficiale di materiale, possono più propriamente ricondursi all'unità pedologica 26. L'unità 26, che caratterizza un'ampia parte delle aree di pianura della Sardegna e si riscontra sui substrati quaternari antichi, è data in prevalenza da *Typic*, *Aquic* e *Ultic Palexeralfs*, contraddistinti da un'evoluzione dei suoli molto spinta, con

formazione di profili A-Bt-C e A-Btg-Cg, ossia con orizzonti argillici ben evidenziati. Questi sono a tratti ben cementati per la presenza di ferro, alluminio e silice in relazione alla maggiore o minore età del suolo stesso. Nonostante l'abbondanza di scheletro, tali suoli presentano difetti più o meno rilevanti di drenaggio, che costituiscono una delle principali limitazioni all'uso agricolo. La permeabilità è condizionata infatti dall'illuviazione di materiali argilliformi, dalla cementazione e talora dall'eccesso di sodio nel complesso di scambio. I suoli di questa unità sono profondi (spessore > 1,5 m) e presentano un'attitudine alle colture erbacee e, nelle aree più drenate, alle colture arboree anche irrigue (Nota illustrativa alla Carta dei Suoli della Sardegna, Aru *et al.*, 1991).

6.3.9 Inquadramento geochimico

Quanto segue si basa principalmente sui dati relativi alla carta metallogenica della Sardegna di Marcello *et al.* (2003) e sulla cartografia geochimica di De Vivo *et al.* (2006); entrambi gli studi si basano prevalentemente sui dati delle analisi di campioni di sedimenti fluviali e in misura minore di campioni di suoli e rocce (oltre 36000 raccolti con frequenza di 2.2 campioni/km²). I risultati relativi ad alcuni elementi sono stati registrati nell'Archivio Geochimico Nazionale.

La storia metallogenica della Sardegna si è sviluppata attraverso 7 periodi metallogenici, collegati con differenti momenti dell'evoluzione geologica della regione.

Sotto il profilo geologico, l'area di Cagliari è schematizzabile in due grandi blocchi paleozoici affioranti, separati dalla porzione meridionale del *graben* del Campidano.

I due grandi blocchi paleozoici sono rappresentati da:

1. batolite granitico del Sarrabus, al cui confine settentrionale si trova il lembo più meridionale della "Zona a Falde interne", formata da metamorfiti paleozoiche. In queste ultime sono presenti importanti mineralizzazioni appartenenti al terzo e quarto periodo metallogenico (sistema filoniano del "Filone Argentifero"; mineralizzazioni ad antimonio con tracce di oro lungo la "linea Villasalto"; barite, fluorite e solfuri con rara arsenopirite aurifera (Bacu Locci); skarn mineralizzati con solfuri misti (Bacu Locci, Corr'e Cerbu);
2. la Zona Esterna della catena ercinica, localizzata nell'area dell'Iglesiente – Sulcis, nella quale le formazioni più recenti sono date da metasedimenti prevalentemente arenacei con alcune intrusioni granitiche di tipo leucogranitico.

Il settore meridionale del *graben* campidanese è formato da arenarie e calcari miocenici; questi ultimi affiorano tra i sedimenti quaternari. Nella parte occidentale della fossa tettonica, si estende la fossa del Cixerri, prevalentemente riempita da alluvioni recenti e da una formazione clastica continentale terziaria (Formazione del Cixerri); tra tali formazioni emergono blocchi paleozoici di metasedimenti, vulcaniti calcaree oligo-mioceniche con letti vulcanoclastici. In tale contesto, si presentano importanti mineralizzazioni di rame, con

un importante contenuto in oro (7° periodo metallogenico) nei blocchi di Monte Idda (Siliqua) e in quello di Sarroch.

La sezione occidentale dell'area del "foglio" di Cagliari è contraddistinta dalla presenza di importanti mineralizzazioni, oggetto nei secoli passati della ben nota attività mineraria dell'Iglesiente-Sulcis.

Le mineralizzazioni principali qui riconosciute sono, dal basso verso, l'alto rappresentate da:

- Pb-Zn-Ba, collegate alla piattaforma carbonatica cambriana;
- Barite, ossidi di ferro, piombo, solfuri e ossidi di zinco, lungo la discordanza sarda cambriano-ordoviciana;
- filoni mineralizzati con Pb, Zn, Ag e F;
- Mo, nella parte orientale dei graniti (Monte Arcosu, ecc.);
- Skarn con solfuri misti e ferro (San Leone, Monte Nieddu).

Marcello *et al.* (2003) hanno mappato la distribuzione dei sei principali elementi (As, Cd, Co, Cr, Pb, V) nell'area del foglio Cagliari (Archivio Geochimico Nazionale), coprendo anche quasi tutta l'area industriale CACIP.

Per quanto attiene all'**Arsenico**, gli alti valori identificano chiaramente la base del Gruppo di Gonnese (Iglesiente), in cui l'As è essenzialmente collegato con la pirite presente nelle mineralizzazioni lungo gli strati della formazione carbonatica cambriana. Esiste anche un legame stretto tra gli alti valori registrati e le rocce vulcaniche calcocalcine oligo-mioceniche nella parte occidentale dell'isola di S. Pietro e a nord di Santadi. Una distribuzione di valori relativamente bassi (<12 ppm) appare prevalentemente nei sedimenti quaternari del Campidano. Nell'area di interesse CACIP e zone limitrofe, l'Arsenico presenta una concentrazione compresa tra circa 45.88 e 12.35 ppm; in particolare, le più elevate concentrazioni sono state riscontrate nella parte meridionale dell'area industriale, a est del Rio S. Lucia di Capoterra (Figura 6-11).

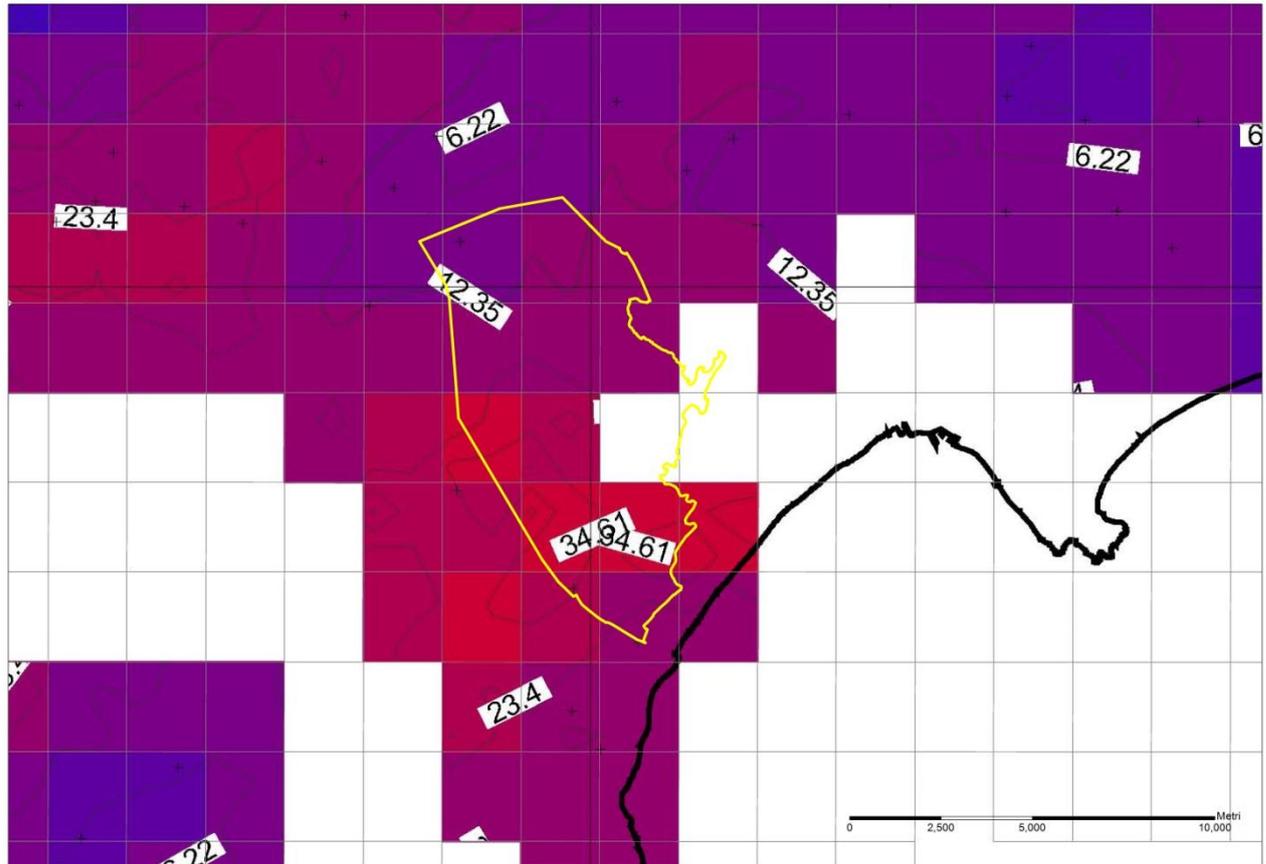


Figura 6-11 – Distribuzione delle concentrazioni di Arsenico nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Archivio Geochimico Nazionale, 2003; modificata)

La distribuzione del **Cadmio** è strettamente correlabile alla litologia, essendo il marker essenziale dei Gruppi di Gonnese e di Nebida. In particolare, il valore più alto distingue il Gruppo di Gonnese e alti valori di Cd sono associati con quelli di zinco e sono indicativi di mineralizzazioni a sfalerite lungo strato, che contraddistinguono le rocce carbonatiche del Gruppo di Gonnese. Alti valori a ovest di Monte Arcosu, in prossimità di Narcao, sembrano collegati con l'attività della miniera di Rosas. Nell'area del CACIP e zone limitrofe, le concentrazioni di Cd risultano comprese indicativamente tra 0.74 e 77.41 ppm, con picco massimo nella parte settentrionale dell'area, in prossimità delle foci dei corsi d'acqua principali (Cixerri e Mannu) e dei corsi d'acqua provenienti dai rilievi di Capoterra (Figura 6-12).

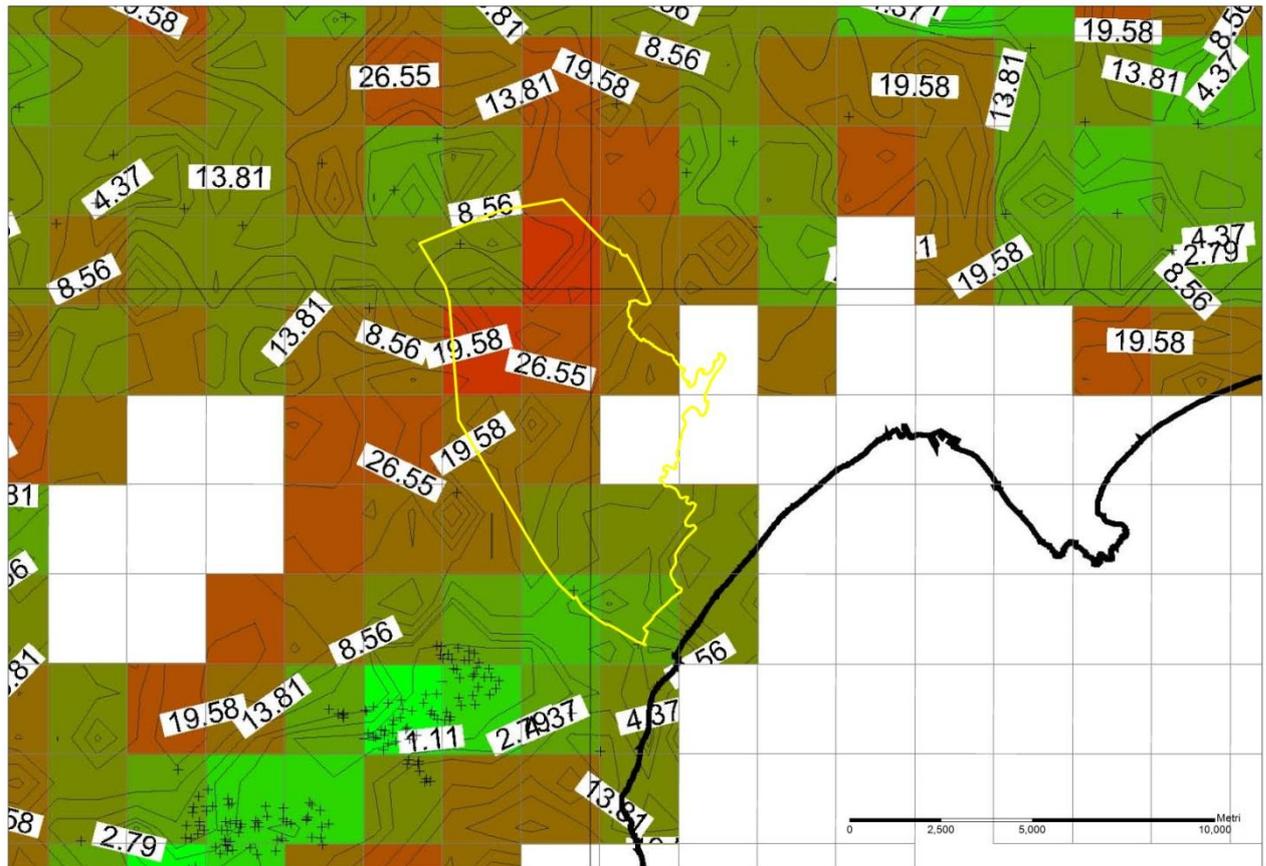


Figura 6-12 – Distribuzione delle concentrazioni di Cadmio nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Archivio Geochimico Nazionale, 2003; modificata)

Il **Cobalto** si distribuisce in modo netto in corrispondenza di determinate litologie, come le metavulcaniti alcaline mafiche, intercalate con metarenarie, quarziti e argilliti della formazione delle Arenarie di S. Vito nel Sarrabus. Nell'Iglesiente, gli alti valori di Co sono probabilmente connessi con alcune litologie affioranti, quali la piega S-E di Monte Arcosu, in cui il Co è collegato con le metavulcaniti mafiche e le metatufiti, intercalate con metasiltiti e metarenarie ordoviciane. Nell'area del CACIP e zone limitrofe, le concentrazioni di Cd risultano comprese indicativamente tra 5.56 e 20.35 ppm, con le massime concentrazioni nell'area centro-occidentale (Figura 6-13).

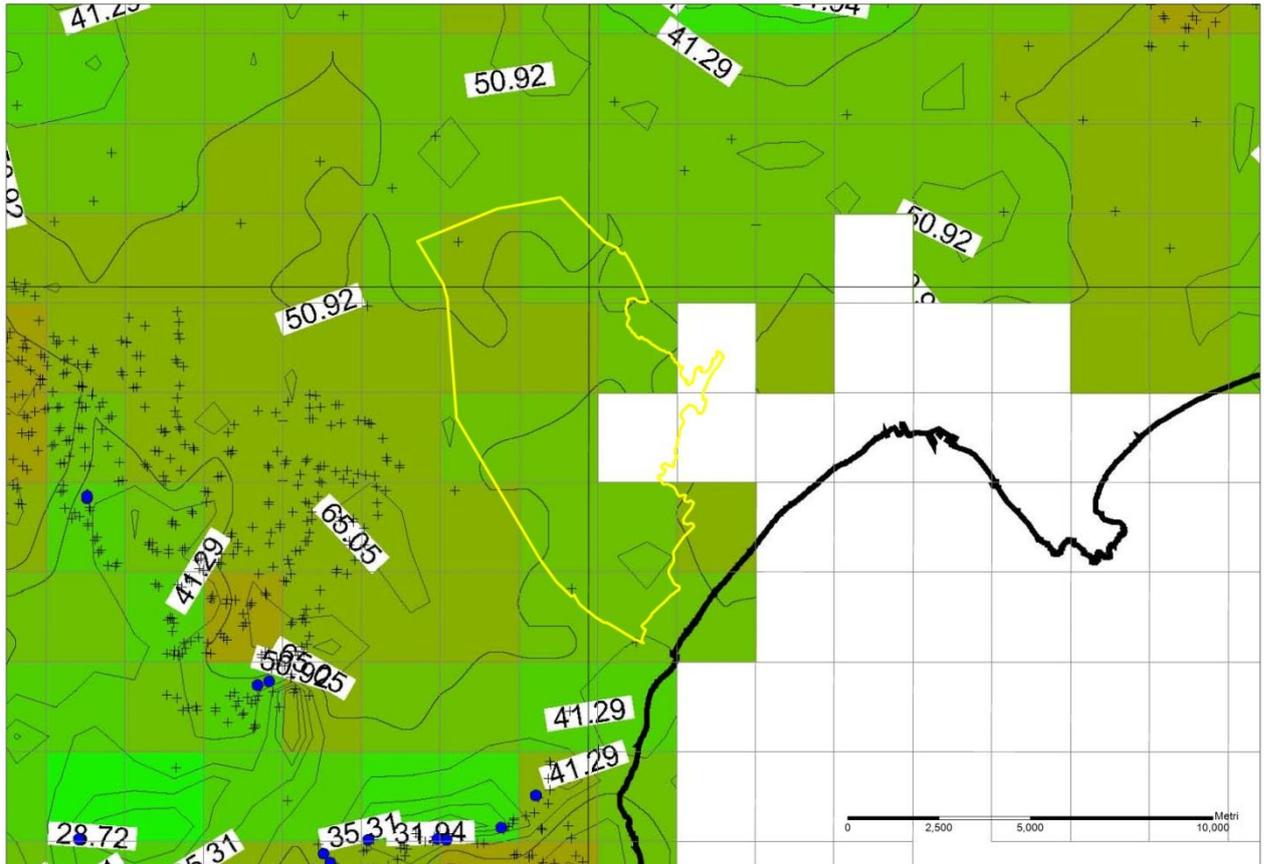


Figura 6-14 – Distribuzione delle concentrazioni di Cromo nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Archivio Geochimico Nazionale, 2003; modificata)

Il **Piombo** presenta alti valori (>1146 ppm) nell'Iglesiente, ove rappresenta un marker litologico dell'intera sequenza pre- e medio-Ordoviciano. Oltre a essere correlato con la litologia, il metallo è presente in corrispondenza delle aree minerarie. Elevati valori sono registrati anche a ovest di Monte Arcosu, per via delle discariche della Miniera di Rosas, mentre gli alti valori di Decimomannu, più a nord, sembrano collegati con l'impianto di Assemini, dove i minerali di fluorite e galena venivano trattati (Nuova Mineraria Silius di Assemini). Le concentrazioni massime di Pb sono comprese tra 79.52 e 141.72 ppm, nella porzione settentrionale dell'area industriale CACIP e nella zona della foce del Flumini Mannu e dell'abitato di Assemini (Figura 6-15).

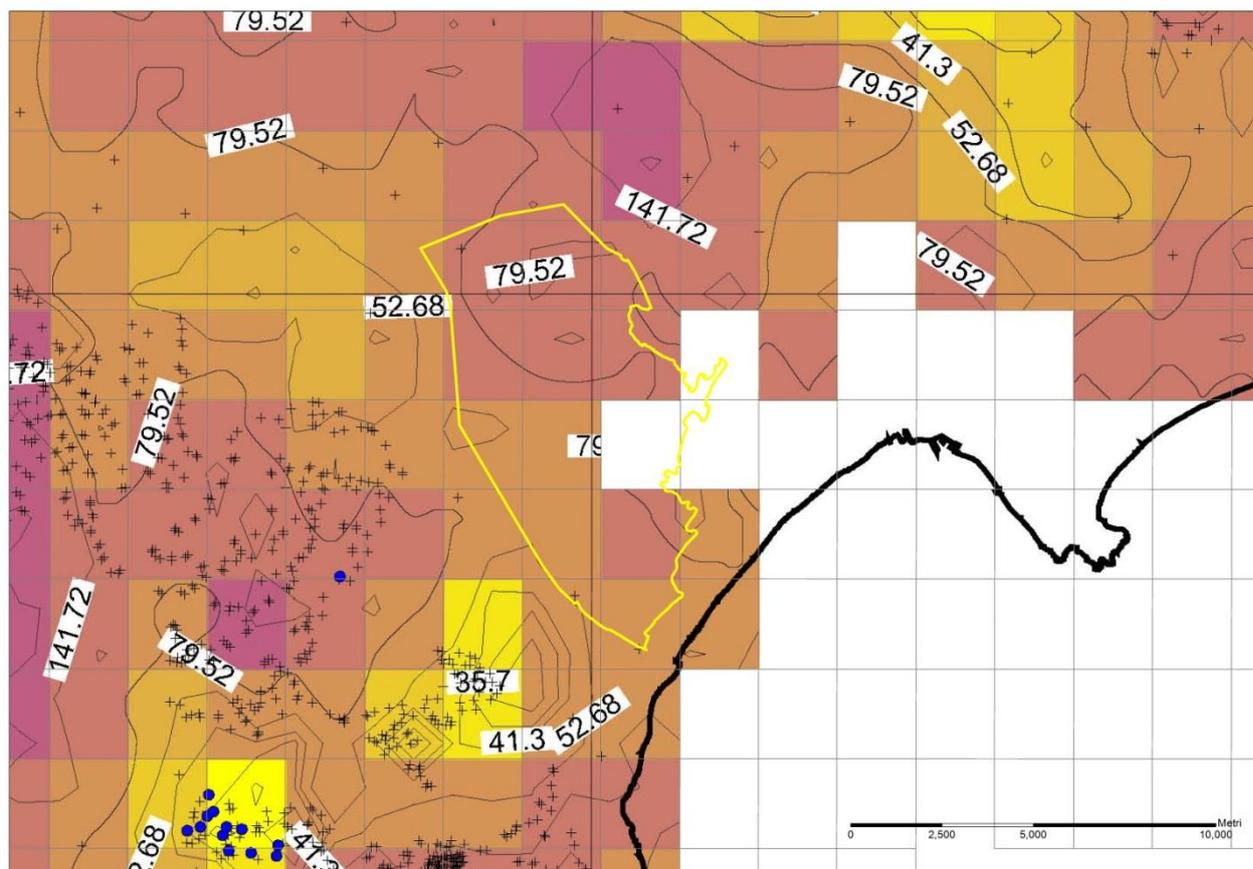


Figura 6-15 – Distribuzione delle concentrazioni di Piombo nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Archivio Geochimico Nazionale, 2003; modificata)

Il **Vanadio** presenta le sue più elevate concentrazioni in corrispondenza delle litologie vulcaniche calcocaline oligo-mioceniche, mentre nelle formazioni sedimentarie del Campidano presenta valori < 50 ppm. Nell'area CACIP e zone limitrofe, i valori si attestano al massimo nell'intervallo 74.56 – 97.21 ppm, prevalentemente nella porzione meridionale dell'area industriale (Figura 6-16).

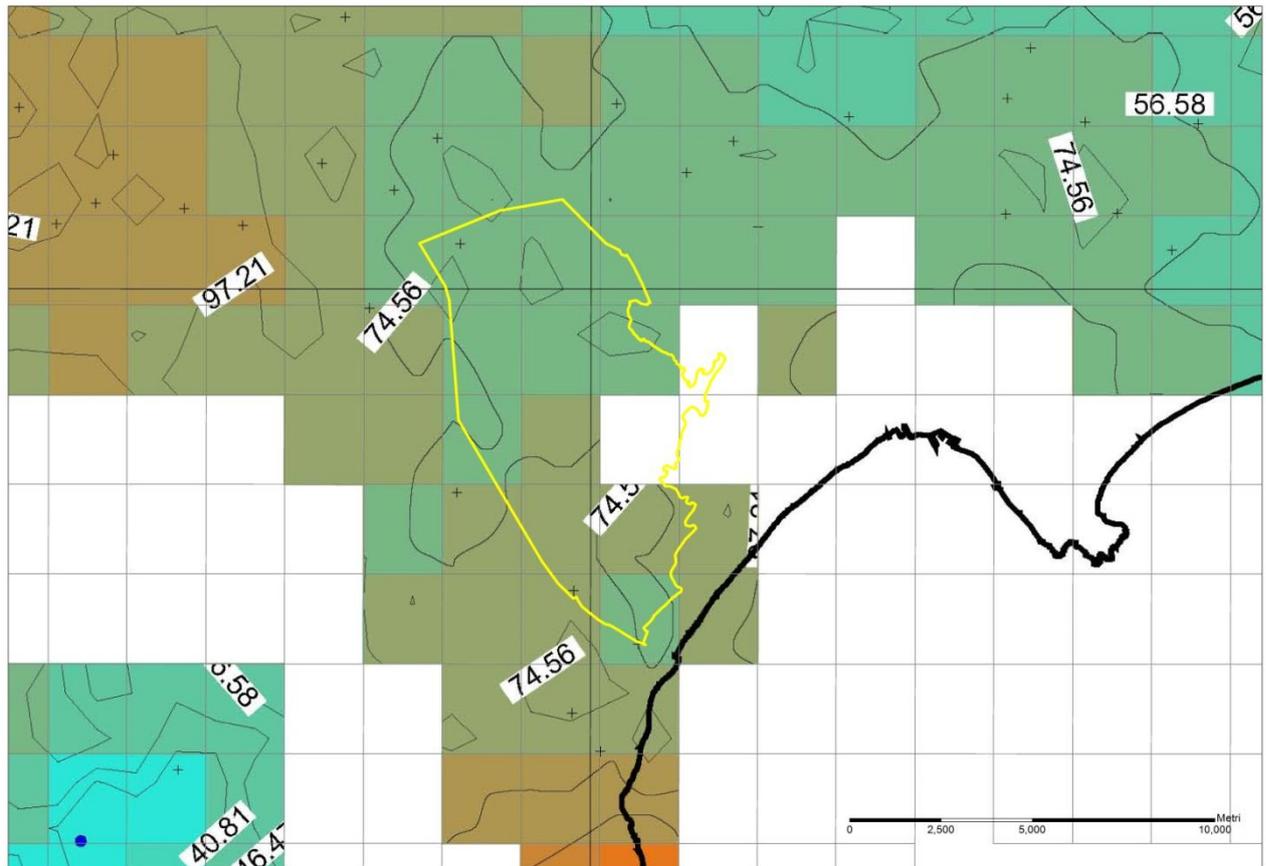


Figura 6-16 – Distribuzione delle concentrazioni di Vanadio nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Archivio Geochimico Nazionale, 2003; modificata)

Per la ricostruzione della distribuzione di ulteriori elementi di interesse, quali lo **Stagno**, il **Manganese** e il **Ferro**, si è fatto riferimento alla Cartografia geochimica ambientale del Foglio Cagliari di De Vivo *et al.* (2006), elaborata sempre sulla base dei dati geochimici dei sedimenti fluviali, che però copre soltanto le parti periferiche della zona industriale CACIP.

Nell'areale di studio, tutti e tre gli elementi in questione presentano i valori più elevati di concentrazione in corrispondenza dei rilievi metamorfici e granitici e nelle alluvioni del Rio S. Lucia, a nord-ovest di Capoterra (Figura 6-17, Figura 6-18, Figura 6-19).

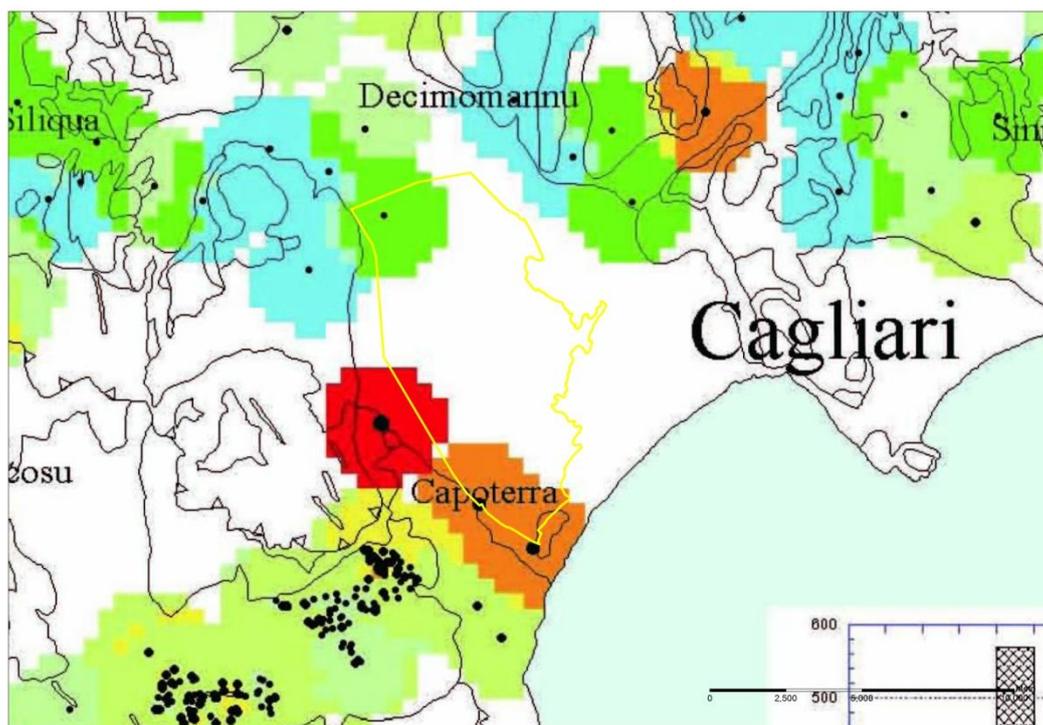


Figura 6-17 - Distribuzione delle concentrazioni di Stagno nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Cartografia geochimica ambientale e carte di intervento per l'uso del territorio del Foglio Cagliari, Sardegna meridionale - De Vivo et al., 2006)

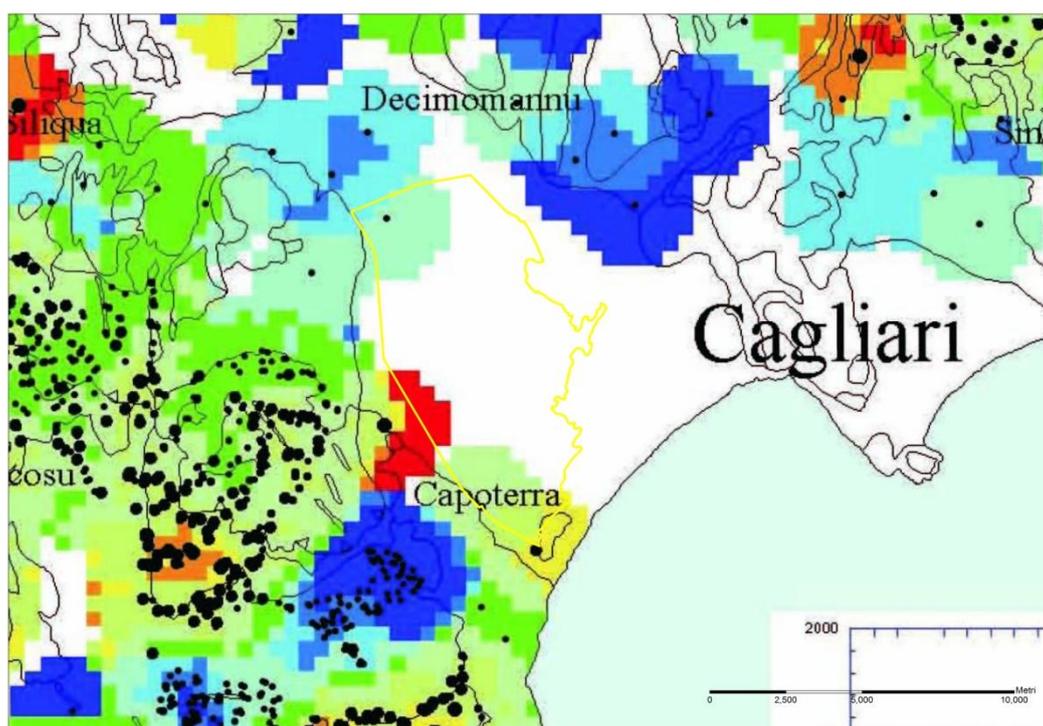


Figura 6-18 - Distribuzione delle concentrazioni di Manganese nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Cartografia geochimica ambientale e carte di intervento per l'uso del territorio del Foglio Cagliari, Sardegna meridionale - De Vivo et al., 2006)

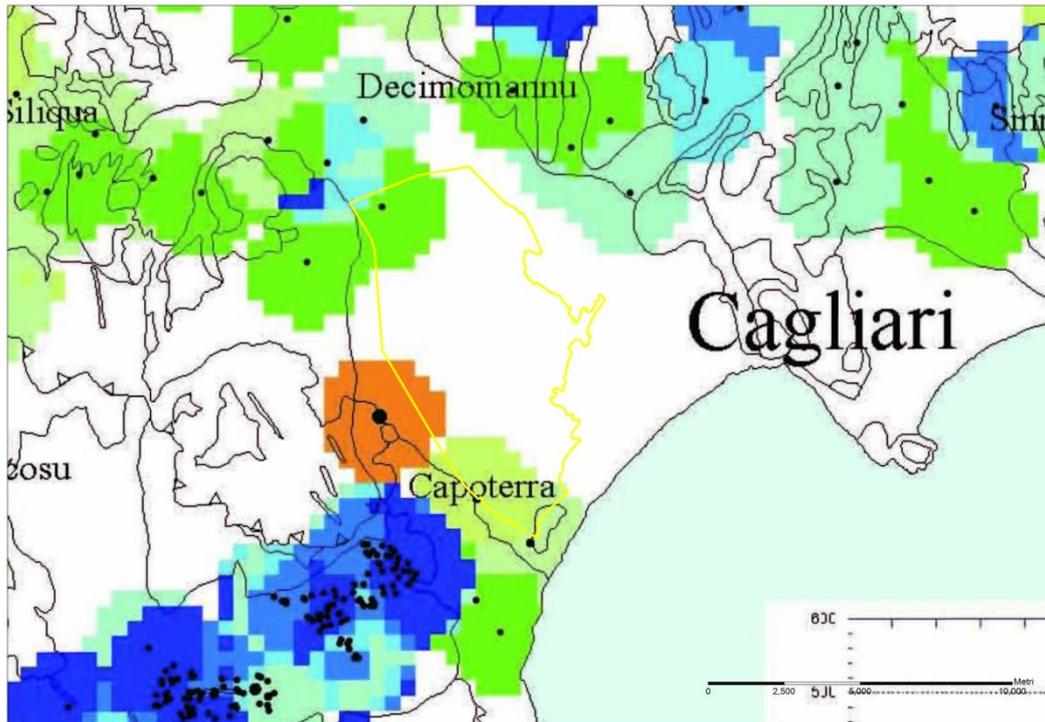


Figura 6-19 - Distribuzione delle concentrazioni di Ferro nei sedimenti fluviali nell'area SIN di pertinenza CACIP (evidenziata con contorno giallo) (fonte: Cartografia geochemica ambientale e carte di intervento per l'uso del territorio del Foglio Cagliari, Sardegna meridionale - De Vivo et al., 2006)

Con riferimento alla litologia, i valori da mediamente alti ad alti (>12 ppm – percentile 90) dello Stagno caratterizzano, nel Sarrabus, nel Sulcis e nell'Iglesiente, gli affioramenti di corpi intrusivi del Complesso plutonico del Carbonifero Superiore, o delle aree immediatamente a contatto. Per tali circostanze, come concluso nell'ambito del Progetto RAS, è plausibile che gli elevati tenori di Stagno riscontrati nel Sito di Macchiareddu (cfr. par. 0) possano attribuirsi al fondo naturale, per via della presenza di depositi alluvionali sotto forma di conoidi alluvionali derivanti dalla deposizione del materiale di smantellamento dei rilievi granitici a ovest di Capoterra, ad opera del Rio Santa Lucia.

Con riferimento ai dati della "Carta geologica e ubicazione delle mineralizzazioni" (De Vivo et al., 2006) e della Carta metallogenica e delle Georisorse della Sardegna (Marcello et al., 2008), per le finalità del presente PdC è di interesse notare nell'ambito del bacino idrografico drenato dal Rio Santa Lucia, sono presenti mineralizzazioni a Cu-Pb-Zn (n° 37: Monte Crostone) e a U-Th (n. 38-39: Arcu Su Linnarbu e Gutturu Lurdagu), ubicate a W e SW di Capoterra. Nello stesso bacino idrografico sono inoltre presenti anche mineralizzazioni a Fe (n. 27: Conca Corrogas) e Mo-Zn-Cu-Pb (n. 26: Monte Arcosu), e di Zn-Pb-Cu (n. 24: Rosas), sempre a W di Capoterra. Mineralizzazioni di Cu>Au (Siliqua) si rinvenivano, invece, nel bacino drenato dal Rio Cixerri (Figura 6-20, Figura 6-21). Considerato che il Rio Cixerri, insieme al Rio Santa Lucia, drena le acque di tutto il bacino metallifero del Sulcis-Iglesiente, non può escludersi che anche la presenza di metalli, quali Fe, Mn, Al, Pb e Zn, riscontrabili in

concentrazioni elevate nel settore di Macchiareddu (nelle acque sotterranee e/o nei terreni), sia in parte correlabile con la composizione chimico-mineralogica naturale delle alluvioni quaternarie affioranti. Per evidenti ragioni, ogni valutazione in merito è comunque da rimandarsi all'esecuzione di uno studio specifico che, per alcuni metalli o metalloidi, pervenga alla definizione di "valori di fondo" secondo quanto previsto dal protocollo APAT & ISS (2006).

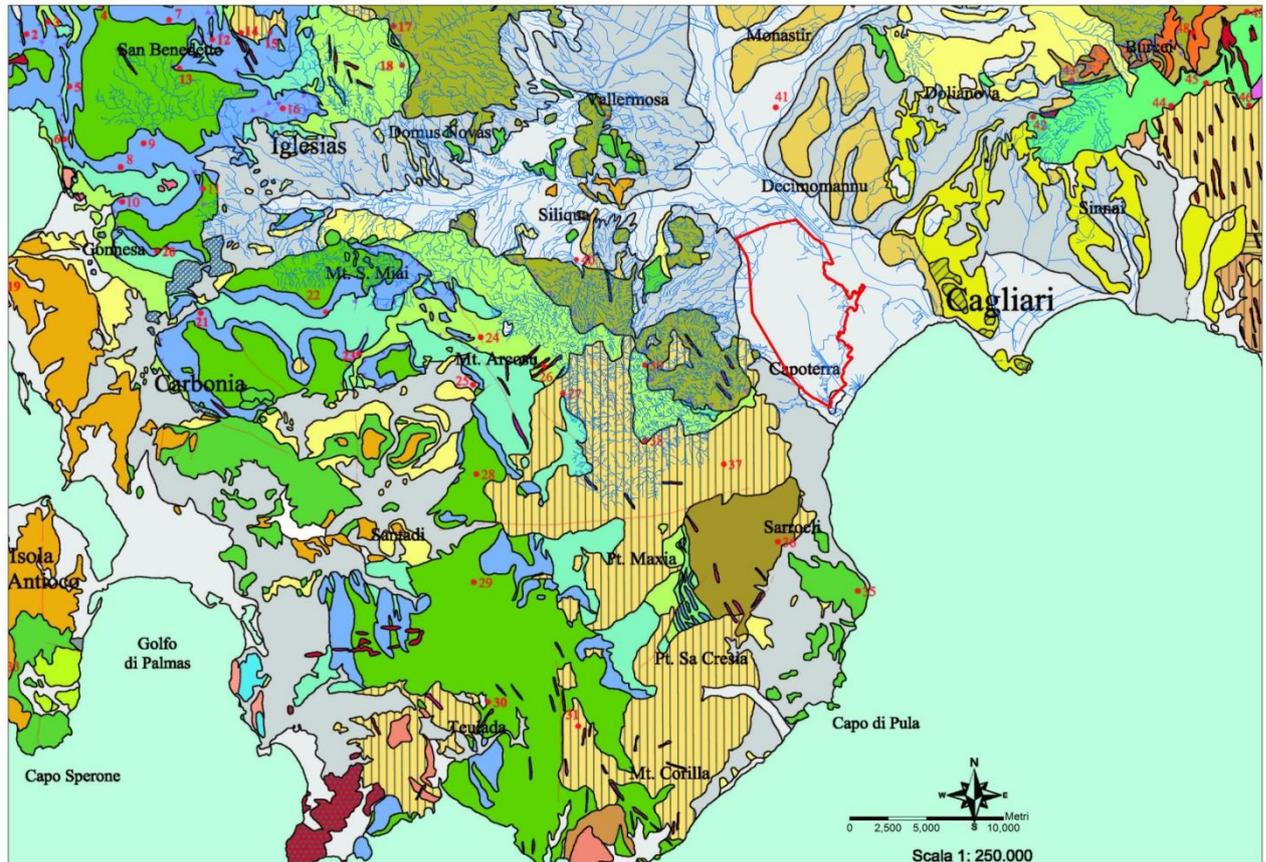


Figura 6-20 – Stralcio della “Carta geologica e ubicazione delle mineralizzazioni del Foglio Cagliari” (De Vivo et al., 2006; modificata) con sovrapposizione dell’area industriale CACIP (contorno rosso) e del reticolo idrografico del Rio Cixerri e del Rio S. Lucia (De Vivo et al., 2006; modificata)



Figura 6-21 – Stralcio della “Carta metallogenica e delle georisorse della Sardegna” (Marcello et al., 2008; modificata), con sovrapposizione dell’area industriale CACIP (contorno rosso) e di parte del reticolo idrografico del Rio Cixerri e del Rio S. Lucia

6.3.10 Caratteristiche ecologiche di pregio

L’agglomerato industriale di Macchiareddu risulta contiguo, ed anche localmente sovrapposto nei suoi margini orientali, all’esteso complesso ecosistemico dello Stagno di Cagliari, situato ad est dell’area industriale (Tavola 1).

La genesi del sistema ecologico è da ricondurre alle variazioni del livello del mare che hanno determinato, in successive fasi evolutive, la chiusura di un ampio golfo ad opera di barre sabbiose emerse dal fondo del mare, l’ultima delle quali è rappresentata dall’attuale cordone di La Playa, esteso circa 9 km, la cui emersione è da riferire alla trasgressione versiliana (6500 anni fa).

Il bacino imbrifero che alimenta il deflusso di acque dolci verso la laguna è molto ampio, e abbraccia una vasta regione che comprende il bacino del Flumini Mannu e quello del Rio Cixerri, per una superficie totale di 2.242 km². Il Flumini Mannu, che rappresenta il tributario più importante della laguna, drena estese regioni dell’Iglesiente, del Sarcidano, della Marmilla e della Trexenta per poi sfociare nel settore nord-orientale della stessa, quello più propriamente detto Stagno di Cagliari. Il Rio Cixerri si origina invece dai rilievi dell’Iglesiente

e prosegue verso oriente fino alla confluenza con la laguna.

Questi importanti corsi d'acqua recapitano in laguna significative quantità di materiali fini che si distribuiscono e depositano sui fondali.

Lo scambio principale delle acque dolci fluviali con quelle marine è assicurato principalmente dall'apertura de "La Scafa" che consente un discreto ricambio delle acque del bacino. Il ricambio idrico avviene anche in minor misura attraverso quel che resta delle antiche bocche a mare della laguna che si aprono lungo il cordone di La Playa, oggi in gran parte soggette ad occlusione ad opera di depositi sabbiosi. Le bocche a mare costituivano le porte d'ingresso alle grandi vasche di evaporazione delle saline di Macchiareddu, che si sviluppano a nord-ovest dello stagno. Gli intensi fenomeni di degrado ed inquinamento legati all'attività industriale, che ha riversato per decenni gli scarichi di lavorazione nelle acque della laguna, ne hanno modificato notevolmente le caratteristiche chimico-fisiche e biologiche.

La zona umida in esame rappresenta dunque un ecosistema estremamente complesso e dinamico la cui stabilità ed efficienza in termini ecologici e ambientali risultano principalmente basate sul delicato bilanciamento tra afflussi idrici, solidi e nutritivi provenienti dall'entroterra, scambi di materia, organismi viventi ed energia con il mare e con il limitrofo sistema di spiaggia.

La posizione geografica, al centro di importanti rotte migratorie, e l'elevata produzione primaria, rendono la zona umida uno dei siti chiave per la conservazione di numerose specie di uccelli acquatici che vi trovano condizioni ottimali nelle varie fasi del loro ciclo biologico, come la nidificazione, le migrazioni e lo svernamento.

Il complesso stagnale ha subito nel tempo l'effetto di profonde modificazioni del proprio assetto fisico-morfologico, dettate dalle istanze di sviluppo industriale, infrastrutturale ed urbanistico subite dal territorio.

Malgrado l'intensità delle pressioni antropiche esercitate sul sistema, il valore ecologico dello Stagno di Cagliari è comunque da considerarsi molto elevato e tali connotati di pregio ambientale sono attestati dai numerosi provvedimenti legislativi di tutela che interessano lo Stagno di Cagliari, già elencati al paragrafo 5.1.

Lo Stagno di Cagliari costituisce un'entità ambientale di grande complessità sia sotto il profilo strutturale che funzionale. Vi sono rappresentati diversi tipi di habitat, naturali, seminaturali o artificiali, sia terrestri che acquatici, caratterizzati da un'elevata varietà di associazioni vegetali e quindi da una notevole biodiversità anche in termini di popolamenti animali.

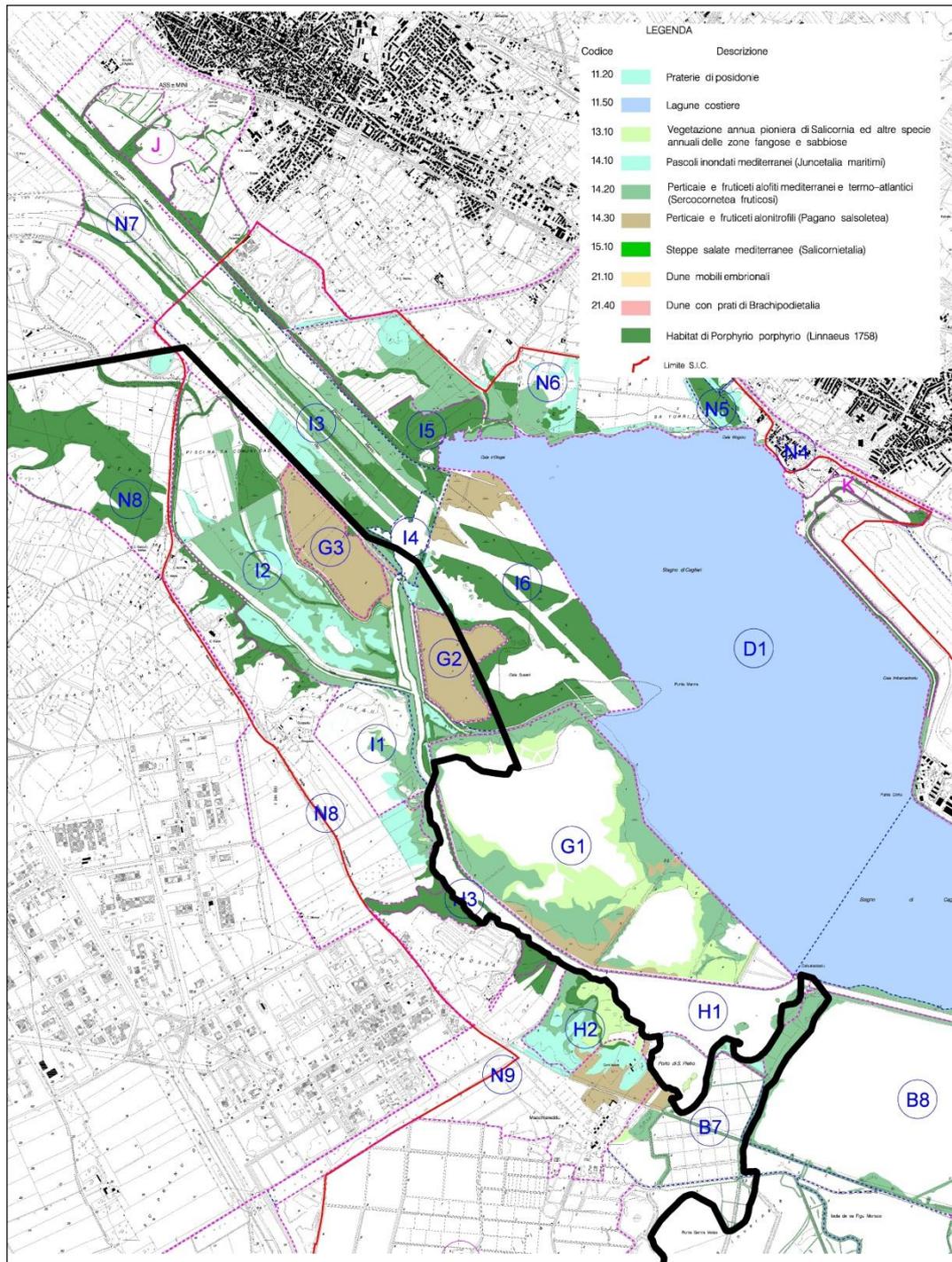


Figura 6-22: Habitat prioritari (Fonte: Piano di Gestione SIC ITB040023)

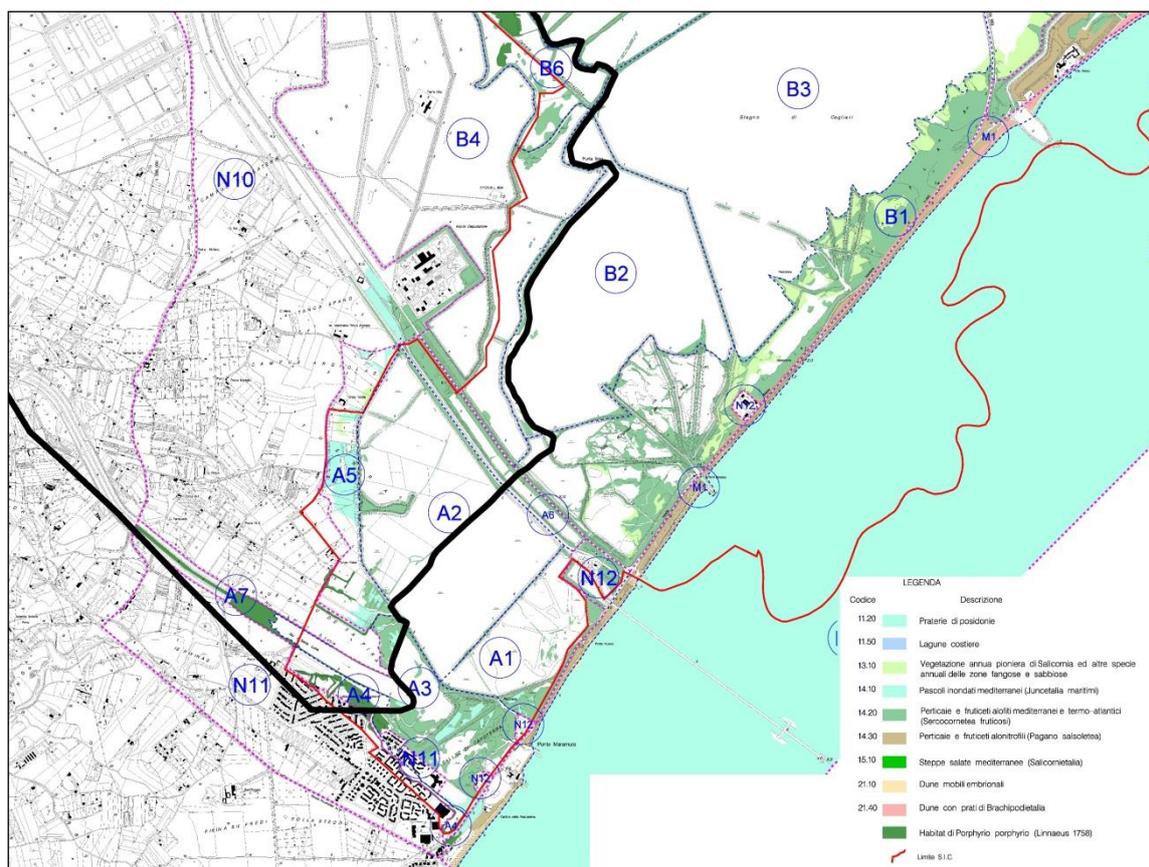


Figura 6-23: Habitat prioritari (Fonte: Piano di Gestione SIC ITB040023)

Inoltre, la peculiare caratterizzazione insediativa e produttiva del contesto territoriale è all'origine delle complesse problematiche concernenti la gestione e la conservazione delle risorse naturali di interesse comunitario.

A discapito delle significative pressioni antropiche, il Piano di gestione del SIC ITB040023 attesta la presenza di numerose forme associative della vegetazione spontanea che configurano in alcuni casi habitat di interesse comunitario.

7 QUALITÀ DELLE MATRICI AMBIENTALI E STATO DI ATTUAZIONE DEGLI ADEMPIMENTI IN MATERIA DI SITI CONTAMINATI

7.1 Principali attività di indagine ambientale condotte nell'area di Macchiareddu

7.1.1 Premessa generale

Il principale documento che affronta in modo organico e rappresentativo, anche sotto il profilo dell'estensione territoriale, il tema della qualità delle matrici ambientali nell'area di Macchiareddu è certamente il citato progetto promosso dalla Regione Sardegna nell'ambito del POR Sardegna 2000-2006 – Asse I – Misura 1.7 – Azione C “*Interventi di Indagine Preliminare e Realizzazione del Sistema di Monitoraggio Siti Inquinati: Aree Industriali di Assemini, Sarroch, Ottana e Porto Torres*”. Il progetto investe un'area di indagine più estesa di quella oggetto del presente Piano di Caratterizzazione, che si limita invece alle aree terrestri di competenza del CACIP, ricomprese nella sub-perimetrazione di dettaglio del Sito di bonifica Interesse Nazionale.

Ulteriori elementi conoscitivi circa lo stato ambientale dell'area di Macchiareddu, rispetto a quanto emerso dall'attuazione del Progetto RAS, possono formularsi con riferimento alle più recenti attività di caratterizzazione eseguite da soggetti diversi nel periodo 2008-2011 all'interno delle aree di specifica competenza (cfr. par. 7.1.3), ricomprese entro superfici ben definite dell'area CACIP.

Proprio muovendo dall'analisi comparata dei dati acquisiti nell'ambito del Progetto RAS e di quelli scaturiti dall'attuazione dei predetti Piani di caratterizzazione, con l'intento di verificare l'evoluzione dello stato qualitativo delle acque di falda nel periodo 2008-2012 e rimuovere alcune incertezze interpretative circa l'origine e le dinamiche della contaminazione delle acque sotterranee, il CACIP ha ritenuto opportuno procedere ad una nuova campagna di campionamento ed analisi delle acque di falda, condotta su n. 20 piezometri della rete di monitoraggio RAS nel periodo giugno-luglio 2012.

Con tali premesse, le informazioni concernenti la qualità delle matrici ambientali scaturite dal Progetto RAS, integrate ed interpretate alla luce di quanto emerso dall'attuazione dei citati PdC e della recente campagna CACIP sulle acque di falda, hanno consentito di definire ed articolare una proposta di pianificazione e prioritizzazione delle indagini di dettaglio formanti oggetto del presente PdC, così come previste dal D.Lgs. 152/2006 e dalle relative linee guida d'attuazione elaborate da ISPRA.

In tal senso, ai fini del presente PdC, le aree in cui alla data di predisposizione del presente documento non si abbia avuta evidenza di superamenti delle CSC per le matrici terreni ed acque sotterranee saranno considerate come potenzialmente non contaminate. Tale assunzione, pur con i limiti di attendibilità che discendono dalla rappresentatività delle informazioni al momento disponibili, come più oltre esplicitato (cfr par. 9.5), ha consentito di delineare un percorso di caratterizzazione semplificato per alcune porzioni significative

dell'area di Macchiareddu, eventualmente affinabile laddove le assunzioni di base non fossero confermate dalle indagini sito-specifiche.

7.1.2 Interventi di indagine preliminare e realizzazione del sistema di monitoraggio siti inquinati – Agglomerato di Assemini

7.1.2.1 Articolazione ed obiettivi del progetto

Come più sopra evidenziato, nel 2008 il sito industriale di Macchiareddu è stato oggetto di indagine ambientale nell'ambito del progetto promosso dalla Regione Autonoma della Sardegna denominato “*Interventi di indagine preliminare e realizzazione del sistema di monitoraggio siti inquinati: aree industriali di Assemini, Sarroch, Ottana e Porto Torres*” (2009).

I confini dell'area di interesse per il predetto progetto coincidono con i limiti della prima sub-perimetrazione di dettaglio del SIN, proposta dalla Regione Sardegna nel 2004 in osservanza del D.M. 12/03/2003, e comprendente le aree terrestri potenzialmente oggetto di contaminazione passiva entro un buffer di 1 km dall'agglomerato industriale.

Il progetto RAS si è articolato nelle seguenti attività di indagine ed elaborazione principali:

- Fase 1: ricognizione ed analisi della documentazione messa a disposizione dall'Amministrazione Regionale;
- Fase 2: aggiornamento ed integrazione della suddetta documentazione;
- Fase 3: indagine preliminare delle varie matrici ambientali (suolo, acque sotterranee, acque e sedimenti fluviali), realizzazione della rete di monitoraggio e test di verifica;
- Fase 4: modellazione del flusso idrico sotterraneo dei siti industriali monitorati e del trasporto advettivo degli inquinanti.

Le risultanze delle attività riferite alle prime due fasi si sono tradotte in una “*Relazione sulla caratterizzazione ambientale*” che, unitamente al complesso delle informazioni acquisite nel corso delle fasi stesse, ha rappresentato la base conoscitiva per lo sviluppo delle attività successive previste dal progetto, ed in particolare:

- la redazione del Piano d'Indagine;
- l'impostazione del modello del flusso idrico sotterraneo del sito industriale;
- l'impostazione del sistema GIS di supporto all'intero progetto;
- l'impostazione delle attività di elaborazione dei risultati del Piano d'Indagine ed in particolare delle attività propedeutiche all'Analisi di Rischio sito-specifica.

Lo stato conoscitivo dell'ambiente, ricostruito e descritto nella Relazione di Caratterizzazione Ambientale, è stato dunque alla base della progettazione della rete di monitoraggio realizzata; in particolare, quest'ultima è stata concepita per assicurare il prelievo delle matrici

ambientali in accordo con quanto scaturito dal modello concettuale preliminare elaborato e dai risultati della valutazione preliminare del rischio (analisi di rischio ambientale di tipo concettuale).

Più specificamente, l'obiettivo fondamentale della rete di monitoraggio è stato quello di *valutare l'impatto ambientale potenzialmente generato dagli insediamenti industriali e dagli ulteriori centri di pericolo individuati per il sito di Macchiareddu sulle matrici suolo, sottosuolo, acque sotterranee, acque e sedimenti fluviali nelle aree limitrofe agli stessi stabilimenti industriali*. Con riferimento al modello concettuale preliminare elaborato, *l'ubicazione delle stazioni di monitoraggio ha inoltre tenuto conto della necessità di acquisire informazioni circa il potenziale impatto indotto dal Sito sui bersagli ambientali, di seguito individuati: stagno di Santa Gilla, stagno di Capoterra, area marina antistante la radice pontile della Syndial, i fiumi Riu Cixerri e Flumini Mannu (tratto terminale), Rio Santa Lucia, l'abitato di Assemini, l'abitato di Capoterra e la zona agricola meridionale*.

In dettaglio gli aspetti presi in esame ai fini della progettazione della rete di monitoraggio RAS, con particolare riferimento all'ubicazione dei piezometri e dei punti di controllo della qualità delle acque e dei sedimenti fluviali, hanno riguardato:

- caratteristiche geologiche ed idrogeologiche del sito;
- caratteristiche basilari del sistema idrologico;
- localizzazione e tipologia dei centri di pericolo principali;
- stato della contaminazione desunto dai dati pregressi disponibili;
- lacune conoscitive, in riferimento sia allo stato di qualità delle matrici ambientali di interesse che agli aspetti idrogeologici;
- vie principali di migrazione dei contaminanti significativi;
- bersagli ambientali individuati;
- criticità ambientali riscontrate nell'area, con particolare riguardo agli sversamenti conclamati di sostanze inquinanti;
- reti di monitoraggio esistenti, in particolare per quanto concerne la rete delle acque superficiali gestita dalla Regione Autonoma Sardegna.

Oltre agli elementi cardine costituenti la rete di monitoraggio (piezometri e stazioni fluviali), il Progetto RAS ha previsto l'esecuzione di indagini integrative sulla matrice suolo, ed in particolare:

- esecuzione di sondaggi superficiali o scavi;
- prelievo di campioni superficiali di suolo;
- identificazione di un sottoinsieme di campioni superficiali di suolo (topsoil) sui quali

eseguire analisi di diossine, furani ed amianto.

Inoltre, il Progetto è corredato da due studi specifici: il primo finalizzato all'accertamento delle concentrazioni di fondo di metalli e metalloidi nel sito di Macchiareddu, condotto tramite analisi radiochimiche e geochimico mineralogiche dei sedimenti dello Stagno di Santa Gilla e del Golfo di Cagliari; il secondo è consistito in indagini ecotossicologiche e misure di bioaccumulo su campioni di sedimento, acque e biota prelevati nell'area dello Stagno di Santa Gilla.

Operativamente, il Piano d'indagini del sito di Assemini ha previsto l'esecuzione di quattro campagne di monitoraggio della qualità delle acque sotterranee, condotte nel 2008. I punti di campionamento delle matrici ambientali si riferiscono a: n. 112 stazioni di monitoraggio delle acque sotterranee; n. 20 scavi o sondaggi superficiali; n. 45 prelievi superficiali; n.11 stazioni di monitoraggio delle acque e dei sedimenti fluviali (Tavola 16).

Per valutare l'eventuale ricaduta di inquinanti prodotti ed emessi in atmosfera dalle attività industriali, in n. 18 campioni superficiali prelevati alla profondità 0-10 cm durante l'esecuzione dei citati piezometri, sondaggi superficiali, scavi o prelievi manuali, sono stati determinati i contenuti in diossine, furani e amianto.

L'ubicazione dei sondaggi da attrezzare a piezometro ha, inoltre, tenuto conto dei seguenti criteri, ulteriori rispetto a quelli prettamente geologici ed idrogeologici:

- localizzazione all'esterno degli stabilimenti industriali;
- localizzazione a monte e a valle idrogeologico dei centri di pericolo, al fine di acquisire informazioni sull'impatto ambientale potenzialmente determinato dagli stessi, in particolare nell'aree limitrofe agli stabilimenti industriali.

In relazione al secondo criterio, l'indagine è stata intensificata a ridosso dei centri di pericolo più significativi, alcuni dei quali esterni rispetto al Sito oggetto del presente PdC (CdP esteri al sito: discarica gessi della Fluorsid, Nuova Mineraria Silius, radice pontile oleodotto Syndial; CdP interni al Sito: Bridgestone Metalpha, impianti della Fluorsid, Sanac Vesuvius, Ineos - ex-E.V.C., Syndial – area impianti, Syndial – area esterna, deposito costiero della Syndial, oleodotti di collegamento tra l'area impianti della Syndial e la radice pontile);

- Ubicazione di punti d'indagine a valle di sistemi di MISE e MISIP, con lo scopo di valutare l'efficienza degli stessi;
- Ubicazione di punti d'indagine a monte idrogeologico dell'agglomerato industriale e della perimetrazione del Sito d'Interesse Nazionale al fine di ricavare informazioni circa i valori di bianco ambientale sito-specifici;
- Ubicazione di punti di indagine a ridosso dei principali bersagli ambientali individuati, con particolare riferimento allo Stagno di Santa Gilla, e nelle aree limitrofe agli stabilimenti industriali al fine di valutare l'impatto potenziale sugli stessi indotto dalle attività produttive del sito;

- Assicurare l'acquisizione di dati utili ai fini dell'elaborazione del modello idrogeologico di flusso e trasporto.

L'individuazione dei piezometri da installare, in prima e seconda falda dell'acquifero indifferenziato, è stata definita anche in funzione della necessità di indagare i rapporti tra i due sistemi. Parte dei piezometri di seconda falda sono pertanto posizionati in prossimità a punti di monitoraggio della prima falda.

Per i campioni prelevati è stato analizzato un ampio spettro di parametri, comprensivo sia di inquinanti organici che inorganici. I risultati delle analisi chimiche sono stati confrontati con le concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) stabilite dal D.Lgs.152/06, come esplicitato nel seguito.

7.1.2.2 Suolo e sottosuolo

Nell'ambito del Progetto RAS, lo stato di qualità del suolo e sottosuolo del sito di Macchiareddu è stato descritto sulla base delle elaborazioni dei dati chimici relativi a un totale di 554 campioni prelevati durante le attività di campo nell'anno 2008. I dati sono relativi a un ampio spettro di parametri chimici, comprensivo sia di inquinanti inorganici che organici.

La base dati è riferita a campioni di terreno provenienti da diverse tipologie di prelievo, in particolare sono stati acquisiti i seguenti campioni:

- n. 449 campioni derivanti da 112 sondaggi attrezzati a piezometro;
- n. 60 campioni derivanti da 20 scavi superficiali (profondità 3 metri);
- n. 45 campioni derivanti da 45 prelievi superficiali (topsoil) rappresentativi dei primi 10 cm di suolo.

I risultati delle analisi chimiche di ogni campione sono stati confrontati con le concentrazioni soglia di contaminazione dei suoli (CSC) stabilite dal D.Lgs 152/2006 (Tabella 1 dell'allegato 5 al Titolo V, parte quarta). Nella normativa in vigore le CSC per i suoli sono definite in relazione alla specifica destinazione d'uso del sito da bonificare e sono distinte in CSC relative a siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) e CSC relative a siti ad uso commerciale e industriale (colonna B). Per i parametri per i quali non fosse prevista una CSC dalla normativa il documento RAS ha fatto riferimento alle indicazioni fornite da APAT (*"Limiti delle sostanze non comprese nell'Allegato 5 al Titolo V D.Lgs 152/06"*, revisione giugno 2006).

L'entità della potenziale contaminazione del suolo e sottosuolo è stata valutata in base al numero e alla frequenza dei superamenti delle CSC in riferimento a differenti livelli di profondità.

Al fine di stimare l'estensione areale della potenziale contaminazione del suolo e sottosuolo sono state elaborate, per il suolo superficiale (0.00-1.00 m) e quello profondo (> 1.00 m), specifiche mappe ottenute con il metodo dei poligoni di Thiessen, che permette di

suddividere geometricamente lo spazio in zone di influenza relative ad ogni punto d'indagine.

L'analisi generale dei dati raccolti ha evidenziato la presenza di un ampio spettro di parametri che superano le concentrazioni soglia di contaminazione stabilite dalla normativa (D.Lgs. 152/2006), ancorché, relativamente al Sito che forma oggetto del presente PdC, dette eccedenze possano comunque riferirsi a porzioni territoriali circoscritte.

La potenziale contaminazione è principalmente riferibile alla classe dei *contaminanti inorganici* (piombo, zinco, cadmio, arsenico, berillio, tallio e selenio) e secondariamente a quelle degli *organici* (idrocarburi pesanti, alifatici clorurati cancerogeni e non, IPA, clorofenoli, diossine e furani). Le aree interessate dalla potenziale contaminazione sono prevalentemente a destinazione d'uso verde pubblico, privato e residenziale o a queste assimilabili. Le zone limitrofe agli stabilimenti industriali a destinazione d'uso commerciale e industriale non presentano eccedenze delle CSC ad esclusione di qualche caso. In tal senso, i punti di campionamento, esterni agli stabilimenti industriali, riconducibili alla colonna B (Siti ad uso commerciale e industriale) hanno presentato solo tre superamenti relativi all'arsenico (topsoil), al cobalto (profondità 14.7-15.00 m) e al cloruro di vinile nello strato 14.5-15.00 m.

Al riguardo corre l'obbligo di rimarcare come l'area oggetto indagine, ai fini del progetto RAS, abbia incluso il limite delle aree terrestri potenzialmente esposte a fenomeni di contaminazione passiva entro 1 km dal sito industriale, esterne al Sito oggetto del presente PdC. In tali aree, a prevalente destinazione agricola, il riscontro della potenziale contaminazione ha fatto riferimento a CSC più restrittive rispetto a quelle proprie delle aree a destinazione industriale, manifestando conseguentemente una maggiore frequenza dei "fuori limite".

Si evidenzia, inoltre, come, ai fini dell'interpretazione dei risultati analitici rispetto ai limiti normativi e della costruzione del modello concettuale operati nell'ambito del progetto RAS, talune aree urbanisticamente inquadrare come a destinazione produttiva all'interno del P.R.T. CACIP (zone localizzate ad est del Deposito Costiero Syndial e a sud delle saline) siano state ricondotte ad aree a destinazione verde agricolo speciale di rispetto.

Di conseguenza, la rappresentazione della potenziale contaminazione dei suoli superficiali e profondi attraverso i poligoni di Thiessen (RAS, 2009) è stata modificata, ai fini del presente PdC, sulla base delle effettive perimetrazioni urbanistiche di "aree agricole" e "aree produttive" e della più recente sub-perimetrazione di dettaglio del Sito che forma oggetto del presente Piano.

Focalizzando dunque l'attenzione sulle sole aree incluse nel Sito di Macchiareddu di competenza CACIP, ricadenti all'interno della approvata sub-perimetrazione di dettaglio del SIN, in base alle risultanze delle attività di indagine condotte sulla matrice terreni nell'ambito del Progetto RAS, possono formularsi le considerazioni che seguono.

Aree a destinazione produttiva (CSC Tab. 1 Colonna B)

Su un totale di campioni prelevati, riferibili alla Tab. 1 Colonna B, pari a 324, unicamente tre campioni hanno fatto registrare un superamento delle CSC, con riferimento a tre soli analiti (Tabella 7-1). Più precisamente si segnalano:

- un superamento, pari a circa il doppio della CSC di riferimento, per il composto Cloruro di vinile (0.23 mg/kg a fronte di una CSC di 0.1 mg/kg) in corrispondenza del sondaggio attrezzato a piezometro ASPz27, ubicato in corrispondenza del confine dell'Area impianti Syndial;
- un lieve superamento della CSC relativamente al parametro Arsenico nel topsoil (52.2 mg/kg a fronte di una CSC di 50 mg/kg) in corrispondenza del sondaggio attrezzato a piezometro ASPz56, ubicato nel cuore dell'edificato industriale esistente;
- un lieve superamento della CSC relativamente al parametro Cobalto nel terreno profondo (275.7 mg/kg a fronte di una CSC di 250 mg/kg) in corrispondenza del sondaggio attrezzato a piezometro ASPz114, ubicato nel settore nordoccidentale dell'area industriale.

Tabella 7-1 – Contaminanti la cui concentrazione nei terreni ha superato la CSC (Tab. 1 col. B) nella zona industriale CACIP di Macchiareddu

Composto	Gruppo	Numero eccedenze CSC	Eccedenze CSC	
			% sul totale dei campioni prelevati	Terreno
Arsenico	Metalli	1	0,31	Topsoil
Cobalto	Metalli	1	0,31	> 1 m
Cloruro di vinile	Alifatici clorurati cancerogeni	1	0,31	> 1 m

Aree a verde agricolo speciale di rispetto (CSC Tab. 1 Colonna A)

Il numero complessivo di campioni di terreno, superficiale e profondo e topsoil, prelevati nell'ambito del Progetto RAS in corrispondenza di aree con destinazione "verde agricolo speciale di rispetto" è pari a 68. Prescindendo dal parametro Stagno, del quale si dirà più oltre, su un totale di campioni prelevati nei terreni superficiale e profondo pari a 45, 13 (il 30% circa) hanno fatto registrare superamenti delle CSC per almeno un parametro. Relativamente al topsoil, si registrano 14 campioni con concentrazioni superiori alle CSC per almeno un analita su un totale di 23 campioni prelevati. I 13 campioni di terreno superficiale e profondo sono tutti riferibili a 7 sondaggi attrezzati a piezometro (ASPz n), mentre quelli di topsoil riguardano sia sondaggi attrezzati a piezometro sia prelievi esclusivi di topsoil (AST n). Si esaminano nel seguito i superamenti delle CSC riscontrati per singolo analita:

Composti inorganici

- Antimonio: si registra un campione con superamento della CSC (10 mg/kg) nel topsoil (ASPz23 con 25.6 mg/kg); il sondaggio è ubicato nella zona perilagunare, ad est dell'area esterna Syndial;

- Arsenico: si registra un campione con una leggera eccedenza della CSC (20 mg/kg) nel terreno profondo (ASPz81 con 22.5 mg/kg); il sondaggio è ubicato nella zona nordorientale dell'area industriale;
- Cadmio: si segnalano n. 2 punti con superamenti della CSC (2 mg/kg), riferibili a campionamenti di topsoil (AST14 – 4.2 mg/kg e AST34 – 5.7 mg/kg);
- Mercurio: si registra un unico superamento della CSC (1 mg/kg), riferibile ad un campione di topsoil (AST22 – 1.1 mg/kg), prelevato nella zona perilagunare ad est dell'Area esterna Syndial;
- Piombo: si segnalano n. 5 punti con superamenti della CSC relativamente al topsoil con concentrazioni comprese nell'intervallo 105-756 mg/kg (CSC = 100 mg/kg) riconducibili ai punti ASPz23, ASPz3, ASPz72, AST14 e AST34. Relativamente alle profondità di indagine superiori si segnala un unico campione di terreno superficiale con concentrazione lievemente superiore alla CSC e riferibile al punto ASPz3 (119 mg/kg);
- Rame: si segnalano n. 2 punti con superamenti della CSC (120 mg/kg), riferibili al topsoil (ASPz23 con 979 mg/kg) ed al terreno profondo (ASPz22 con 212 mg/kg); entrambi i sondaggi sono ubicati nella zona perilagunare, ad est dell'area esterna Syndial;
- Tallio: si segnala un unico superamento della CSC (1 mg/kg), riferibile ad un campione di topsoil (AST34 – 3.3 mg/kg), prelevato nella zona sudoccidentale dell'area industriale;
- Zinco: si registrano n. 7 punti di campionamento che hanno fatto registrare superamenti della CSC per un totale di n. 11 campioni (n. 5 campioni di topsoil e n. 6 campioni di terreno superficiale e/o profondo). Le concentrazioni rilevate nei terreni al disotto dei primi 10 cm sono comprese nell'intervallo 183-255 mg/kg (CSC = 150 mg/kg) e sono riconducibili ai punti ASPz3, ASPz22 e ASPz13. Relativamente al topsoil (p.ti ASPz108, ASPz22, ASPz23, ASPz3, AST14, AST34) le concentrazioni risultano più elevate e ricomprese nel range 207-716 mg/kg.

Alifatici clorurati cancerogeni

- Cloruro di vinile: le eccedenze della CSC (0.01 mg/kg) si riferiscono a n. 2 campioni di terreno profondo prelevati dallo stesso sondaggio (ASPz25) con concentrazioni di 0.92 mg/kg per l'orizzonte più superficiale e 0.042 mg/kg per quello più profondo; il sondaggio è ubicato nella zona perilagunare, ad est dell'Area Esterna Syndial;
- Diclorometano: si registrano n. 2 punti con superamenti della CSC (0.1 mg/kg) riferibili ai sondaggi ASPz110 (ubicato nella piana di Capoterra, a sud del Deposito Costiero Syndial) e ASPz25 (ubicato in prossimità dell'Area Esterna Syndial) per un totale di n. 3 superamenti della CSC (n.1 nel topsoil con 0.31 mg/kg e n. 2 a profondità maggiori con concentrazioni di 0.38 mg/kg e 0.2 mg/kg).
- Triclorometano: si segnalano superamenti della CSC su un totale di 5 campioni (n. 2

topsoil e n. 3 terreno), prelevati su n. 3 punti di campionamento, con concentrazioni variabili nell'intervallo 0.12-2.99 mg/kg (CSC=0.1 mg/kg). I punti di campionamento sono riferibili a sondaggi attrezzati a piezometro: ASPz25, ubicato a est dell'Area Esterna Syndial, ASPz100 a nord dell'agglomerato industriale in prossimità della loc. Casa Marini, e ASPz81, ubicato al confine sudoccidentale dell'area industriale a est dell'abitato di Capoterra;

- 1,2 Dicloroetilene: si segnala un unico superamento della CSC (0.3 mg/kg) riferibile ad un campione di terreno profondo (ASPz25 con 2.94 mg/kg); il sondaggio è ubicato nella zona perilagunare, ad est dell'area esterna Syndial;
- Tricloroetilene: si registra un unico superamento della CSC (1 mg/kg) riferibile ad un campione di terreno profondo (ASPz25 con 3.8 mg/kg); il sondaggio è ubicato nella zona perilagunare, ad est dell'area esterna Syndial;

Alifatici clorurati non cancerogeni

- 1,1,2 Tricloroetano: l'eccedenza della CSC (0.5 mg/kg) si riferisce ad un unico campione di terreno profondo (ASPz25 con 5.04 mg/kg); il sondaggio è ubicato nella zona perilagunare, ad est dell'area esterna Syndial;

Diossine e furani

- sommatoria Diossine e Furani: si registra n. 1 superamento nel topsoil (11.96 ngI-TEQ/kgs.s. - CSC = 10 ngI-TEQ/kgs.s.) in corrispondenza del punto specificamente individuato per il campionamento di topsoil denominato AST11, ubicato a confine orientale dell'area industriale, a est dell'Area Esterna Syndial;

Idrocarburi

- Idrocarburi C>12: si segnala un unico superamento della CSC in corrispondenza del sondaggio attrezzato a piezometro denominato ASPz100 (270 mg/kg - CSC=50 mg/kg), ubicato in corrispondenza del confine sudoccidentale dell'area industriale;

Aromatici policiclici

- Relativamente a tali composti i superamenti della CSC riguardano n. 2 punti di campionamento riferibili al topsoil (n. 3 analiti che superano la CSC nello stesso campione) ed al terreno superficiale (n.1 campione). Nello specifico si segnalano lievi superamenti della CSC (0.1 mg/kg) per i seguenti composti: indenopirene (0.38 mg/kg - campione di topsoil AST14 e 0.11 mg/kg - campione di terreno superficiale (0-1 m) nel sondaggio ASPz22), Benzo(g, h, i)perilene (0.12 mg/kg - campione di topsoil AST14),

Benzo(a)pirene (0.28 mg/kg - campione di topsoil AST14).

All'interno della classe degli inorganici merita un approfondimento il parametro Stagno che presenta, in ogni strato, le più alte percentuali di superamento del limite normativo (CSC Tab. 1 col. A = 1 mg/kg), con rapporti (C-CSC)/CSC compresi tra 93% e 83%. Peraltro, la stima preliminare delle concentrazioni di "fondo ambientale" per metalli e metalloidi dell'area di Macchiareddu, condotta nell'ambito del Progetto RAS, ha evidenziato che lo stagno è presente nell'area di studio con valori di possibile fondo compresi tra 1,85 e 2,3 mg/kg s.s., circa il doppio del valore della soglia normativa. I superamenti registrati quindi sarebbero ascrivibili con elevata probabilità ad un'origine naturale e, conseguentemente, non sono stati segnalati nella precedentemente disamina, in coerenza con l'impostazione assunta nel Progetto RAS. In base alle conclusioni dello studio RAS, lo stagno si distribuisce uniformemente sul territorio con concentrazioni variabili tra 1,1 e 38 mg/kg ss senza presentare marcati gradienti di concentrazione, avvalorando così l'ipotesi di una sua origine legata alla composizione geochimica dei suoli analizzati.

I riscontri acquisiti nell'ambito del Progetto RAS indicano che l'area maggiormente interessata dai "fuori limite" nei terreni è quella a destinazione "agricola" individuabile a nord del sito d'indagine, oltre i confini della zona industriale CACIP, tra l'abitato di Assemmini e il Flumini Mannu; secondariamente, all'interno dell'ASI di Cagliari, il settore a destinazione "verde agricolo speciale di rispetto" prospiciente la Laguna di Santa Gilla, a valle dell'Area Esterna di Syndial, si distingue per la maggiore consistenza numerica dei parametri che presentano eccedenze delle CSC. Nella zona CACIP, il gruppo dei Metalli costituito da piombo, zinco, cadmio, arsenico, berillio, rame, mercurio e tallio presenta il maggior numero di superamenti delle CSC e le più elevate concentrazioni a sud dell'abitato di Assemmini, nella fascia orientale della zona industriale verso la laguna e il canale di guardia nonché nella zona sud-occidentale, a est di Capoterra. Tenori elevati di mercurio sono stati riscontrati al confine settentrionale del perimetro della zona industriale CACIP.

Elevati rapporti (C-CSC)/CSC, ma di molto inferiori a quelli registrati per lo stagno, si segnalano per zinco e piombo, ai quali seguono quelli di cadmio, rame, arsenico, antimonio, tallio e mercurio. Il rame in un campione presenta un valore di concentrazione maggiore anche della sua CSC di Tab. 1 col. B.

Nel dettaglio, la presenza del piombo nel Sito di Macchiareddu in concentrazioni superiori alla CSC di riferimento è stata rilevata prevalentemente nel topsoil, al confine settentrionale della zona industriale a ovest del Rio Cixerri (ASPz3), nella porzione sud-occidentale, a sud-ovest della piattaforma Tecnocasic, ed in quella a est dell'Area Esterna Syndial. Le più alte concentrazioni sono raggiunte a est dell'Area Esterna Syndial e nella porzione sud-occidentale della zona industriale (756 mg/kg).

Il rame e lo zinco superano le CSC di riferimento in prossimità dell'Area Esterna Syndial e

nella porzione sud-occidentale della zona industriale; in quest'ultimo settore il rame presenta una concentrazione 9 volte superiore alla CSC.

Tra i composti organici, l'indeno (1,2,3) cd-pirene (IPA), il cloruro di vinile, il diclorometano e il triclorometano (alifatici clorurati cancerogeni) sono i parametri che presentano il maggior numero di riscontri di superamento delle CSC di riferimento (rispettivamente 2, 2, 3, e 5).

In particolare, gli idrocarburi policiclici aromatici sono presenti in concentrazioni che eccedono la CSC nel topsoil a sud-est dell'area esterna Syndial e nello strato superficiale al confine sud-occidentale della zona industriale; invece, gli alifatici clorurati cancerogeni sono riscontrati in concentrazioni elevate in prossimità dell'Area Esterna Syndial nonché nella porzione nord-orientale e in quella sud-occidentale del Sito di Macchiareddu.

Gli alifatici clorurati non cancerogeni (1,2-Dicloroetilene e 1,1,2-Tricloroetano) sono localizzati in concentrazioni superiori alla CSC a sud-est dell'Area Esterna Syndial.

Gli idrocarburi pesanti sono stati rilevati in concentrazioni superiori alle CSC solo in un punto al confine sudoccidentale della zona industriale, in prossimità della strada che attraversa il Rio Santa Lucia, dunque in aree sensibilmente distanti dalla proprietà Syndial (Area Impianti e Deposito costiero) che indagini pregresse segnalavano come potenziale sorgente di questi contaminanti.

Infine, si evidenzia la presenza di un unico superamento di diossine e furani nel topsoil in prossimità del margine lagunare, a est dell'Area Esterna Syndial.

Tra gli analiti organici, il benzene e gli idrocarburi leggeri (C<12) non presentano mai superamenti dei limiti normativi nelle aree indagate, evidenziando così una probabile assenza di impatto sulle zone esterne alle proprietà Syndial (Area Impianti e Area Esterna) dove erano stati rilevati in indagini pregresse.

Si riporta in Tabella 7-2 il riepilogo dei contaminanti presenti e del relativo numero di riscontri di superamento delle CSC nelle aree CACIP destinate a "Verde agricolo speciale di rispetto".

Dall'esame della suddetta Tabella emerge in tutta evidenza come i riscontri più numerosi di superamento delle CSC in zona "verde agricolo", in rapporto al totale dei campioni sottoposti ad analisi, siano attribuibili al parametro Stagno (91% nel topsoil, 27% nel terreno superficiale e 62% in quello profondo). Frequenze significative di superamenti delle CSC devono segnalarsi anche per i metalli pesanti Zinco e Piombo con particolare riferimento al topsoil (26% e 22% rispettivamente). Per questi due parametri l'incidenza dei superamenti è sensibilmente inferiore all'aumentare della profondità di prelievo del campione con frequenza di circa il 2% delle eccedenze nel terreno superficiale. Il solo Zinco presenta eccedenze nel suolo profondo con una frequenza di circa il 9% sul totale di campioni analizzati.

Tra i parametri inorganici devono segnalarsi frequenze apprezzabili di superamento delle CSC (9% circa) nel topsoil per il Cadmio ed il Rame. Per questi due analiti, peraltro, non sono segnalati superamenti delle CSC negli orizzonti di terreno rappresentativi di profondità

maggiori di 0.10 m.

Relativamente ai composti organici va menzionata l'incidenza significativa di eccedenze riscontrate per il parametro triclorometano nei campioni di terreno profondo (9% circa).

I restanti parametri hanno fatto registrare "fuori limite" in una percentuale di campioni sottoposta ad analisi compresa tra il 2% ed il 4% circa, variabile in relazione alla profondità del campione.

Tabella 7-2 – Contaminanti la cui concentrazione nella matrice "terreni" ha superato la CSC (All. 5, Tab. 1 - col. A) nella zona industriale CACIP di Macchiareddu

Composto	Gruppo	N. eccedenze CSC	incidenza % sul totale dei campioni prelevati suddivisi per topsoil e terreno > 0.1 m	Terreno
Antimonio	Metalli	1	4,35	Topsoil
Arsenico	Metalli	1	2,22	> 1 m
Cadmio	Metalli	2	8,70	Topsoil
Mercurio	Metalli	1	4,35	Topsoil
Piombo	Metalli	5	21,74	Topsoil
Piombo	Metalli	1	2,22	0.10 - 1 m
Rame	Metalli	2	8,70	Topsoil
Stagno	Metalli	21	91,30	Topsoil
Stagno	Metalli	12	26,67	0.10 - 1 m
Stagno	Metalli	28	62,22	> 1 m
Tallio	Metalli	1	4,35	Topsoil
Zinco	Metalli	6	26,09	Topsoil
Zinco	Metalli	1	2,22	0.10 - 1 m
Zinco	Metalli	4	8,89	> 1 m
Benzoapirene	Policiclici aromatici	1	4,35	Topsoil
Benzoghiperilene	Policiclici aromatici	1	4,35	Topsoil
Indeno123cdpirene	Policiclici aromatici	1	4,35	Topsoil
Indeno123cdpirene	Policiclici aromatici	1	2,22	0.10 - 1 m
Clorurodivinile	Alifatici clorurati cancerogeni	2	4,44	> 1 m
Diclorometano	Alifatici clorurati cancerogeni	1	2,22	0.10 - 1 m
Diclorometano	Alifatici clorurati cancerogeni	2	4,44	> 1 m
Tricloroetilene	Alifatici clorurati cancerogeni	1	2,22	> 1 m
Triclorometano	Alifatici clorurati cancerogeni	1	4,35	Topsoil
Triclorometano	Alifatici clorurati cancerogeni	4	8,89	> 1 m
Dicloroetilene12	Alifatici clorurati non cancerogeni	1	2,22	> 1 m
Tricloroetano112	Alifatici clorurati non cancerogeni	1	2,22	> 1 m
Idrocarburi pesanti 12	Idrocarburi	1	2,22	0.10 - 1 m
Diossine e furani somma	Diossine e furani	1	4,35	Topsoil

7.1.2.3 Acque sotterranee

7.1.2.3.1 Considerazioni generali sulle risultanze delle campagne di monitoraggio RAS – Anno 2009

Nell'ambito del Progetto RAS, lo stato di qualità delle acque sotterranee è stato ricostruito attraverso l'analisi e l'interpretazione dei dati chimici relativi alle acque prelevate durante quattro campagne di monitoraggio, eseguite tra il mese di luglio 2008 e il mese di ottobre 2008.

I dati, a seconda della campagna, si riferiscono ad un numero variabile di campioni, compreso tra 102 e 111, per i quali è stato analizzato un ampio spettro di parametri, comprensivo sia di inquinanti inorganici che organici. Le concentrazioni risultanti dalle analisi chimiche per i vari parametri sottoposti ad analisi sono state confrontate con le concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) di cui al D.Lgs. 152/2006 Titolo V, parte quarta, integrate dalle concentrazioni suggerite da APAT per i parametri non tabellati ("Limiti

delle sostanze non comprese nell'Allegato 5 al Titolo V D.Lgs 152/06", revisione giugno 2006).

I campioni di acqua sono rappresentativi di un acquifero multifalda, caratterizzato da un'ampia variabilità degli orizzonti che lo costituiscono e che non permettono di individuare sempre chiaramente una distinzione tra falda freatica superficiale e falda profonda semi-confinata. L'analisi generale dei dati delle quattro campagne evidenzia il riscontro di un ampio spettro di parametri che superano le concentrazioni soglia di contaminazione stabilite dalla normativa (D.Lgs. 152/2006), prospettando la presenza di una consistente contaminazione delle due falde superficiali, sia per numero di parametri con eccedenze delle CSC che per gli elevati valori di concentrazione. In particolare, detti parametri appartengono alla famiglia degli inorganici (metalli e non metalli), degli idrocarburi totali, dei composti organici aromatici, degli alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni, degli alifatici alogenati cancerogeni, dei fenoli e clorofenoli e dei clorobenzeni.

Le due falde presentano parametri comuni in concentrazioni superiori ai limiti di legge, suggerendo una possibile interconnessione tra i due corpi d'acqua. Le eccedenze delle CSC sono state riscontrate diffusamente su tutta l'area oggetto di indagine.

In particolare, i riscontri acquisiti nell'ambito del Progetto RAS consentono di evidenziare due zone del Sito oggetto del presente Piano in cui la contaminazione presenterebbe le maggiori criticità.

La prima zona si trova a valle idrogeologica della proprietà Syndial, lotto Area Impianti – Area Esterna, dove la potenziale contaminazione, registrata nei piezometri che costituiscono due transetti paralleli al lato nordest della proprietà, è riferibile ai parametri appartenenti alla classe degli inorganici e ai composti organici delle famiglie degli organici aromatici, degli alifatici clorurati cancerogeni e non, dei fenoli e dei clorobenzeni.

La seconda zona, nel settore meridionale del sito, è a valle idrogeologica della proprietà Syndial, lotto Deposito Costiero, e del tratto terminale dell'oleodotto Syndial, dove le acque sotterranee evidenziano una marcata contaminazione attribuibile a numerosi parametri compresi nelle classi degli inorganici, e delle famiglie dei composti organici degli alifatici clorurati cancerogeni e non, e degli alifatici alogenati cancerogeni.

E' opportuno rilevare che, oltre alle zone menzionate, i risultati delle indagini RAS hanno evidenziato un significativo numero di superamenti delle CSC, sia di contaminanti di tipo organico che inorganico, anche in settori interni al comparto CACIP posizionati a monte idrogeologico dei centri di pericolo individuati nonché contraddistinti da uno storico uso del suolo a fini agricoli, non essendo mai stati utilizzati a fini industriali, come attestato dalle specifiche analisi territoriali svolte (cfr. par. 8.5).

Taluni superamenti delle CSC, con particolare riferimento ai composti organici, alla luce delle informazioni al momento disponibili, hanno pertanto sollevato alcuni dubbi interpretativi dovuti alla difficoltà di inquadrare i risultati acquisiti all'interno di un modello concettuale plausibile, come più oltre esplicitato.

La medesima difficoltà interpretativa concerne il riscontro di esiti contrastanti tra le quattro campagne di monitoraggio delle acque sotterranee, condotte come detto, nell'arco di appena 4 mesi, laddove si rilevano condizioni di variabilità nella sussistenza o meno di eccedenze delle CSC da una campagna all'altra per taluni parametri, o, per taluni altri, variazioni significative (anche di alcuni ordini di grandezza) in termini di entità delle concentrazioni rilevate.

In particolare sono numerose le oscillazioni rilevate tra le diverse campagne per i contaminanti di tipo organico. Nel caso degli alifatici clorurati cancerogeni, per gran parte dei composti di questa famiglia, la frequenza dei riscontri di superamento della CSC aumenta notevolmente tra la prima campagna e le successive, con un picco durante la seconda.

Di seguito si riporta un quadro riassuntivo dei principali risultati emersi dalle campagne di monitoraggio effettuate nel corso dell'indagine RAS. Il riepilogo dei "fuori limite" è riportato nelle Tabelle 7-3, 7-4, 7-5, 7-6.

Nel paragrafo 7.1.2.3.2 si procederà ad esaminare più in dettaglio le risultanze delle quattro campagne di monitoraggio delle acque di falda condotte nell'ambito del progetto RAS.

Tabella 7-3 - Numero e frequenza dei superamenti delle CSC per le acque sotterranee all'interno dell'area di pertinenza CACIP nella I campagna RAS (Fonte Elaborazione dati RAS)

Parametro	Gruppo	N° eccedenze CSC	Incidenza % sul totale dei campioni prelevati
Alluminio	Metalli	26	35,6
Arsenico	Metalli	3	4,1
Berillio	Metalli	4	5,5
Cadmio	Metalli	7	9,6
Cobalto	Metalli	2	2,7
Cromo totale	Metalli	1	1,4
Ferro	Metalli	32	43,8
Manganese	Metalli	57	78,1
Nichel	Metalli	18	24,7
Piombo	Metalli	20	27,4
Selenio	Metalli	1	1,4
Tallio	Metalli	1	1,4
Boro	Inquinanti inorganici	6	8,2
Fluoruri	Inquinanti inorganici	4	5,5
Solfati	Inquinanti inorganici	18	24,7
Benzene	Organici Aromatici	4	5,5
o,m,p xilene	Organici aromatici	2	2,7
Toluene	Organici aromatici	3	4,1
1,1-Dicloroetilene	Alifatici clorurati cancerogeni	16	21,9
1,2-Dicloroetano	Alifatici clorurati cancerogeni	15	20,5
Esaclorobutadiene	Alifatici clorurati cancerogeni	4	5,5
Sommatoria organoalogenati	Alifatici clorurati cancerogeni	12	16,4
Tetracloroetilene	Alifatici clorurati cancerogeni	13	17,8
Tricloroetilene	Alifatici clorurati cancerogeni	12	16,4
Triclorometano	Alifatici clorurati cancerogeni	12	16,4
Cloruro di Vinile	Alifatici clorurati cancerogeni	8	11,0
1,1,2-Tricloroetano	Alifatici clorurati non cancerogeni	19	26,0
1,1,2,2-Tetracloroetano	Alifatici clorurati non cancerogeni	10	13,7
1,2-Dicloroetilene (cis+tra)	Alifatici clorurati non cancerogeni	3	4,1
1,2-Dicloropropano	Alifatici clorurati non cancerogeni	3	4,1
1,2,3-Tricloropropano	Alifatici clorurati non cancerogeni	23	31,5
Bromodichlorometano	Alifatici alogenati cancerogeni	1	1,4
1,2,4,5 tetraclorobenzene	Clorobenzeni	2	2,7
1,4 diclorobenzene	Clorobenzeni	2	2,7

Tabella 7-4 - Numero e frequenza dei superamenti delle CSC per le acque sotterranee all'interno dell'area di pertinenza CACIP nella II campagna RAS (Fonte Elaborazione dati RAS)

Parametro	Gruppo	N° eccedenze CSC	Incidenza % sul totale dei campioni prelevati
Alluminio	Metalli	15	20,8
Arsenico	Metalli	1	1,4
Berillio	Metalli	1	1,4
Cadmio	Metalli	3	4,2
Cobalto	Metalli	2	2,8
Ferro	Metalli	21	29,2
Manganese	Metalli	50	69,4
Nichel	Metalli	11	15,3
Piombo	Metalli	6	8,3
Boro	Inquinanti inorganici	6	8,3
Fluoruri	Inquinanti inorganici	1	1,4
Solfati	Inquinanti inorganici	20	27,8
Benzene	Organici Aromatici	23	31,9
Toluene	Organici aromatici	7	9,7
1,1-Dicloroetilene	Alifatici clorurati cancerogeni	27	37,5
1,2-Dicloroetano	Alifatici clorurati cancerogeni	28	38,9
Esaclobutadiene	Alifatici clorurati cancerogeni	17	23,6
Sommatoria organoalogenati	Alifatici clorurati cancerogeni	28	38,9
Tetracloroetilene	Alifatici clorurati cancerogeni	30	41,7
Tricloroetilene	Alifatici clorurati cancerogeni	34	47,2
Triclorometano	Alifatici clorurati cancerogeni	29	40,3
Cloruro di Vinile	Alifatici clorurati cancerogeni	22	30,6
1,1,2-Tricloroetano	Alifatici clorurati non cancerogeni	31	43,1
1,1,2,2-Tetracloroetano	Alifatici clorurati non cancerogeni	24	33,3
1,2-Dicloroetilene (cis+tra)	Alifatici clorurati non cancerogeni	5	6,9
1,2-Dicloropropano	Alifatici clorurati non cancerogeni	2	2,8
1,2,3-Tricloropropano	Alifatici clorurati non cancerogeni	32	44,4
Bromodiclorometano	Alifatici alogenati cancerogeni	2	2,8
Dibromoclorometano	Alifatici alogenati cancerogeni	3	4,2
Tribromometano	Alifatici alogenati cancerogeni	3	4,2
1,2-Dibromoetano	Alifatici alogenati cancerogeni	1	1,4
1,2 diclorobenzene	Clorobenzeni	1	1,4
1,2,4,5 tetraclorobenzene	Clorobenzeni	2	2,8
1,4 diclorobenzene	Clorobenzeni	9	12,5
esaclorobenzene	Clorobenzeni	3	4,2
Monoclorobenzene	Clorobenzeni	1	1,4
pentaclorobenzene	Clorobenzeni	1	1,4
2,4,6-triclorofenolo	Fenoli e Clorofenoli	1	1,4
IDROCARBURI totali	Idrocarburi	1	1,4

Tabella 7-5 - Numero e frequenza dei superamenti delle CSC per le acque sotterranee all'interno dell'area di pertinenza CACIP nella III campagna (Fonte Elaborazione dati RAS)

Parametro	Gruppo	N° eccedenze CSC	Incidenza % sul totale dei campioni prelevati
Alluminio	Metalli	6	8,3
Berillio	Metalli	2	2,8
Cadmio	Metalli	4	5,6
Cobalto	Metalli	2	2,8
Ferro	Metalli	8	11,1
Manganese	Metalli	42	58,3
Mercurio	Metalli	2	2,8
Nichel	Metalli	17	23,6
Piombo	Metalli	3	4,2
Boro	Inquinanti inorganici	6	8,3
Fluoruri	Inquinanti inorganici	1	1,4
Solfati	Inquinanti inorganici	17	23,6
Benzene	Organici Aromatici	18	25,0
Toluene	Organici aromatici	2	2,8
1,1-Dicloroetilene	Alifatici clorurati cancerogeni	25	34,7
1,2-Dicloroetano	Alifatici clorurati cancerogeni	20	27,8
Clorometano	Alifatici clorurati cancerogeni	1	1,4
Esaclorobutadiene	Alifatici clorurati cancerogeni	16	22,2
Sommatoria organoalogenati	Alifatici clorurati cancerogeni	24	33,3
Tetracloroetilene	Alifatici clorurati cancerogeni	25	34,7
Tricloroetilene	Alifatici clorurati cancerogeni	27	37,5
Triclorometano	Alifatici clorurati cancerogeni	23	31,9
Cloruro di Vinile	Alifatici clorurati cancerogeni	18	25,0
1,1,2-Tricloroetano	Alifatici clorurati non cancerogeni	30	41,7
1,1,2,2-Tetracloroetano	Alifatici clorurati non cancerogeni	22	30,6
1,2-Dicloroetilene (cis+tra)	Alifatici clorurati non cancerogeni	5	6,9
1,2-Dicloropropano	Alifatici clorurati non cancerogeni	5	6,9
1,2,3-Tricloropropano	Alifatici clorurati non cancerogeni	27	37,5
Bromodichlorometano	Alifatici alogenati cancerogeni	2	2,8
Dibromoclorometano	Alifatici alogenati cancerogeni	14	19,4
Tribromometano	Alifatici alogenati cancerogeni	20	27,8
1,2-Dibromoetano	Alifatici alogenati cancerogeni	2	2,8
1,2,4,5 tetraclorobenzene	Clorobenzeni	1	1,4
1,4 diclorobenzene	Clorobenzeni	3	4,2
esaclorobenzene	Clorobenzeni	1	1,4

Tabella 7-6 - Numero e frequenza dei superamenti delle CSC per le acque sotterranee all'interno dell'area di pertinenza CACIP nella IV campagna (Fonte Elaborazione dati RAS)

Parametro	Gruppo	N° eccedenze CSC	Incidenza % sul totale dei campioni prelevati
Alluminio	Metalli	6	7,5
Berillio	Metalli	2	2,5
Cadmio	Metalli	5	6,3
Cobalto	Metalli	3	3,8
Ferro	Metalli	10	12,5
Manganese	Metalli	40	50,0
Mercurio	Metalli	2	2,5
Nichel	Metalli	17	21,3
Piombo	Metalli	3	3,8
Boro	Inquinanti inorganici	5	6,3
Fluoruri	Inquinanti inorganici	1	1,3
Solfati	Inquinanti inorganici	19	23,8
Benzene	Organici Aromatici	21	26,3
o,m,p xilene	Organici aromatici	1	1,3
Toluene	Organici aromatici	2	2,5
1,1-Dicloroetilene	Alifatici clorurati cancerogeni	33	41,3
1,2-Dicloroetano	Alifatici clorurati cancerogeni	27	33,8
Esaclorobutadiene	Alifatici clorurati cancerogeni	16	20,0
Sommatoria organoalogenati	Alifatici clorurati cancerogeni	32	40,0
Tetracloroetilene	Alifatici clorurati cancerogeni	33	41,3
Tricloroetilene	Alifatici clorurati cancerogeni	35	43,8
Triclorometano	Alifatici clorurati cancerogeni	33	41,3
Cloruro di Vinile	Alifatici clorurati cancerogeni	22	27,5
1,1,2-Tricloroetano	Alifatici clorurati non cancerogeni	36	45,0
1,1,2,2-Tetracloroetano	Alifatici clorurati non cancerogeni	32	40,0
1,2-Dicloroetilene (cis+tra)	Alifatici clorurati non cancerogeni	10	12,5
1,2-Dicloropropano	Alifatici clorurati non cancerogeni	9	11,3
1,2,3-Tricloropropano	Alifatici clorurati non cancerogeni	35	43,8
Bromodiclorometano	Alifatici alogenati cancerogeni	2	2,5
Dibromoclorometano	Alifatici alogenati cancerogeni	17	21,3
Tribromometano	Alifatici alogenati cancerogeni	24	30,0
1,2-Dibromoetano	Alifatici alogenati cancerogeni	4	5,0
1,2,4,5 tetraclorobenzene	Clorobenzeni	2	2,5
1,4 diclorobenzene	Clorobenzeni	7	8,8
esaclorobenzene	Clorobenzeni	2	2,5
Monoclorobenzene	Clorobenzeni	1	1,3

7.1.2.3.2 Stato qualitativo delle acque di falda emerso dalle campagne di monitoraggio RAS – Anno 2009

Con riferimento ai riscontri acquisiti nell'ambito delle quattro campagne di monitoraggio previste dal Progetto RAS, sintetizzati nelle precedenti Tabelle, si procederà nel seguito ad effettuare una disamina sullo stato di qualità delle acque di falda che ne è scaturito, circoscrivendo ogni valutazione quantitativa sull'entità e frequenza delle eccedenze delle CSC ai soli punti di campionamento interni al Sito di interesse per il presente PdC.

Inquinanti inorganici

Tra gli inorganici un gruppo consistente di parametri con eccedenze delle CSC, costituito da **alluminio, boro, berillio, cadmio, cobalto, ferro, manganese, nichel, piombo, solfati e fluoruri**, è sempre confermato nelle quattro campagne per la prima falda mentre per la seconda il gruppo si limita ai soli elementi ferro, manganese, nichel e ai solfati. Nella prima

campagna si registrano, inoltre, alcune eccedenze delle CSC per i parametri **selenio**, **tallio** e **arsenico**. Quest'ultimo parametro presenta un superamento della CSC anche nella seconda campagna. Nella terza e quarta campagna si segnalano n. 2 eccedenze delle CSC relativamente al **mercurio**.

Tra gli inquinanti inorganici il **manganese** e il **ferro** evidenziano superamenti diffusi in tutto il sito d'indagine con concentrazioni, medie e massime nelle quattro campagne, estremamente variabili: da valori leggermente superiori alla CSC fino a 1900 volte il valore limite di legge (CSC Tab. 2, Mn=50 µg/l; Fe=200 µg/l). Per questi parametri la localizzazione dei superamenti interessa sia l'agglomerato industriale in senso stretto che le aree ad esso esterne. All'interno dell'area di competenza CACIP, i "fuori limite" del ferro sono stati registrati con una frequenza variabile fra l'11% (III campagna) e il 44% (I campagna).

Come evidenziato nei documenti del Progetto RAS, l'omogenea distribuzione spaziale, la mancanza di una diretta correlazione con le attività produttive, il riscontro di superamenti a monte idrogeologico dei centri di pericolo individuati possono indicare l'origine naturale dei livelli di concentrazione di questi elementi, connessa alle caratteristiche geochimiche dell'acquifero indagato.

Anche l'**alluminio**, come il manganese e il ferro, ha fatto registrare diffusi superamenti del limite normativo in tutto il sito d'indagine, anche a monte idrogeologico dei maggiori insediamenti industriali, con un'incidenza percentuale dei superamenti rispetto ai campioni prelevati che passa dal 36% nella I campagna al 7,5% nella IV campagna. Nell'ambito delle quattro campagne, concentrazioni medie e massime molto elevate di alluminio (maggiori di 500 - 1000 volte la relativa CSC - 200 µg/l), sono state rilevate all'interno dell'agglomerato industriale, a valle della proprietà Fluorsid (produzione di fluoruro di alluminio e criolite) e nell'area agricola di Capoterra in località *Is Campus de S.Atena*, anch'essa interna al Sito di riferimento per il presente Piano. In base a quanto riportato nei documenti RAS, la distribuzione sostanzialmente omogenea delle concentrazioni di alluminio nel territorio conduce a ipotizzare che la presenza di tale elemento sia attribuibile principalmente alle caratteristiche geochimiche dell'acquifero e solo localmente imputabile ad un'origine antropica.

Nell'area d'indagine i **solforati** e il **boro** presentano una distribuzione simile dei superamenti dei limiti normativi, riscontrati in media sul 25% e l'8% rispettivamente dei campioni prelevati per tutte le campagne di misura. I massimi delle concentrazioni rilevate sono localizzati nei punti prospicienti la Laguna di Santa Gilla, lo stagno di Capoterra e il mare e all'interno dell'agglomerato industriale di Assemini-Macchiareddu. Nei documenti RAS, questa distribuzione sembrerebbe potersi attribuire, almeno in parte, al fenomeno di intrusione salina nell'acquifero della piana di Capoterra dalla Laguna di Santa Gilla, già evidenziato negli anni 1990 (Sciabica *et al.*, 1993; Ciabatti *et al.*, 1994).

Tra i metalli pesanti il **nicel** fa registrare il maggior numero di superamenti della CSC, con concentrazioni massime circa 10-12 volte superiori alla CSC (20 µg/l). Per tale parametro le eccedenze sono distribuite sia a monte che a valle idrogeologici dei centri di pericolo

individuati nello studio RAS. Il maggior numero di punti che hanno fatto registrare i fuori limite si registra, in ogni caso, all'interno dell'agglomerato industriale. Il valore massimo di nichel (251 µg/l) è stato riscontrato a valle idrogeologica della proprietà Syndial-Area Impianti. In media, la percentuale di campioni che hanno fatto registrare un'eccedenza del nichel è pari al 21% considerando tutte le campagne di misura.

Anche il **piombo**, come il nichel, caratterizza la qualità delle acque sotterranee con valori di concentrazione medi e massimi superiori alla CSC (10 µg/l), riscontrati sia a monte che a valle idrogeologici dei centri di pericolo. Le concentrazioni più elevate sono state rilevate nella porzione meridionale del sito d'indagine (area agricola di Capoterra in località Is Campus De S'Atena), e a monte della proprietà Syndial – lotto Deposito Costiero, dove sono risultate superiori di 32 volte la CSC. Si evidenzia, peraltro, come l'incidenza del numero dei superamenti del piombo sul totale dei campioni prelevati si riduca drasticamente tra la prima campagna e l'ultima, passando dal 27% al 4% circa.

I rari superamenti della CSC per il **cadmio**, contraddistinti da concentrazioni 3-4 volte superiori al limite tabellare (5 µg/l), sono riscontrabili in tre aree ben definite: l'agglomerato di edifici industriali, la zona a valle idrogeologica della proprietà Syndial-lotto Area Impianti e in prossimità dell'oleodotto, a monte idrogeologico della proprietà Tecnocasic, con un'incidenza percentuale delle eccedenze totale compresa tra il 4 e il 10% sul totale di campioni prelevati.

I **fluoruri** e il **berillio** hanno fatto registrare concentrazioni maggiori della relativa CSC (CSC Tab. 2: Fluoruri = 1500 µg/l e Be = 4 µg/l) in pochi punti, ubicati principalmente nell'agglomerato di edifici industriali, con un'incidenza percentuale media delle eccedenze rispettivamente del 2 e 3% circa nelle quattro campagne. In tali punti i parametri in esame si riscontrano generalmente con una concentrazione da 1 fino a 9 volte la soglia limite, con massimo in un punto a valle idrogeologica dello stabilimento Fluorsid, in cui il valore dei fluoruri risulta 220 volte superiore alla CSC.

L'**arsenico**, il **cobalto** e il **mercurio** presentano pochissimi superamenti localizzati in punti isolati e distanti tra loro. Il **cromo** si riscontra in un unico punto (I campagna) nel settore meridionale del sito d'indagine, a sud della proprietà Syndial – lotto Deposito Costiero.

Inquinanti organici

L'analisi dei composti **organici aromatici** ha evidenziato una diffusa presenza del benzene, analita che ha fatto registrare il maggior numero di superamenti della CSC (fino al n. 23 nella II campagna RAS), con valori più elevati nell'area a valle idrogeologica delle proprietà Syndial (Area Impianti e Area Esterna), così come confermato dai dati disponibili relativi ai Piani di Caratterizzazione attuati dalla Syndial. Ulteriori eccedenze della CSC per il parametro benzene sono individuate, con distribuzione disomogenea all'interno del Sito di Macchiareddu, anche in aree agricole o non interessate da attività industriali nonché in settori a monte idrogeologico dei centri di pericolo individuati.

I superamenti delle CSC attribuibili ad alcuni composti della famiglia degli aromatici (**toluene**

e **xilene**), sono ben localizzati nell'area di studio nei settori ubicati a valle idrogeologica delle proprietà Syndial, Area Impianti e Area Esterna. Nella I e nella IV campagna di misura RAS, a valle idrogeologica dell'area Impianti e dell'Area Esterna Syndial, lo xilene presenta concentrazioni da 9 a 12 volte la sua CSC (10 µg/l). Per il toluene, che presenta una concentrazione massima pari a 95 volte la CSC (15 µg/l) registrata nella II campagna, si evidenzia un aumento consistente del numero di superamenti proprio nella II campagna, durante la quale sono state rilevate eccedenze della CSC oltre che nella zona a valle idrogeologica dello stabilimento Syndial, anche nella parte nordoccidentale dell'agglomerato di edifici industriali e a nord di quest'ultimo. A tale proposito si evidenzia che le eccedenze segnalate nella porzione settentrionale dell'area di studio si riferiscono a settori che, pur facendo parte delle aree produttive del PRT CACIP, sono state storicamente interessate esclusivamente da attività di tipo agricolo.

La famiglia degli **alifatici clorurati cancerogeni** ha fatto registrare superamenti delle CSC in entrambe le falde durante tutte le campagne di monitoraggio. Tra i composti appartenenti a questa famiglia sono evidenti gruppi che mostrano una somiglianza nella geometria della distribuzione dei "fuori limite", suggerendo quindi l'ipotesi di un'origine a essi comune.

Un aspetto che merita approfondimento attiene al riscontro di superamenti diffusi delle CSC per quanto concerne numerosi composti organoclorurati (**1,1-dicloroetilene, 1,2-dicloroetano, esaclorobutadiene, tetracloroetilene il tricloroetilene, il triclorometano e cloruro di vinile**). Per tali composti, le eccedenze dei limiti normativi sono state, infatti, riscontrate nella pressoché totale interezza del sito indagato, compresi settori sensibilmente distanti dai centri di pericolo nonché a monte idrogeologico degli stessi, benché le concentrazioni più elevate siano localizzate in aree ben definite del territorio considerato.

Per il **clorometano**, appartenente allo stesso gruppo di composti, si segnala un unico superamento della CSC rilevato nella III campagna di misura.

L'area che ha fatto registrare le maggiori criticità, in termini di entità delle concentrazioni riscontrate, è localizzata a valle idrogeologica delle proprietà Syndial, Area Impianti- Area Esterna, Deposito Costiero e linea oleodotto (zona *Is Campus de s'Atena*), e dell'intero agglomerato di edifici industriali. In base alle risultanze del Progetto RAS, la contaminazione da organoclorurati sembrerebbe aver interessato anche i piezometri ubicati nelle aree con destinazione "verde agricolo", a monte idrogeologico rispetto alla porzione meridionale del sito industriale.

L'**1,2-dicloroetano, il cloruro di vinile e l'esaclorobutadiene** evidenziano tra loro una distribuzione simile delle eccedenze medie e massime delle CSC registrate nelle 4 campagne di misura, ma in ogni caso spazialmente meno estesa di quella del gruppo precedente di composti. Le aree maggiormente interessate sono risultate quelle ubicate a valle idrogeologica delle proprietà Syndial - Area Impianti - Area Esterna e Deposito Costiero. In quest'ultimo settore, l'1,2-dicloroetano raggiunge in un campione una concentrazione superiore di oltre 17000 volte la relativa CSC (3 µg/l), mentre il cloruro di vinile e l'esaclorobutadiene presentano i valori massimi a valle dell'Area Esterna Syndial,

rispettivamente oltre 9000 volte la CSC (0.5 µg/l) e 2400 volte la CSC (0.15 µg/l).

Per quanto riguarda il **clorometano**, si è registrato un unico superamento della CSC a NW dello stabilimento Syndial, in prossimità della Nuova Fiber Plast.

Dall'analisi delle distribuzioni dei "fuori limite" della **sommatoria degli organoalogenati** emerge che l'area maggiormente critica è quella ubicata a valle idrogeologica delle proprietà Syndial, Area Impianti - Area Esterna e Deposito Costiero, dove tutti i componenti della famiglia degli alifatici clorurati cancerogeni nelle acque delle due falde monitorate superano la CSC di riferimento con valori di concentrazione molto elevati, fino a 9100 volte la CSC (10 µg/l). A tale proposito, la massima concentrazione si è sempre riscontrata nel piezometro ASPz93, a valle idrogeologica del Deposito Costiero Syndial. Anche in questo caso merita attenzione la circostanza che la frequenza dei superamenti della CSC relativa alla sommatoria organoalogenati abbia fatto registrare un sensibile aumento a partire dalla II campagna di misura (16→40%).

Durante il periodo di monitoraggio tutta la famiglia degli **alifatici clorurati non cancerogeni** (ad eccezione dell'1,1-Dicloroetano) è stata sempre rilevata con concentrazioni superiori alle CSC nella prima falda; nella falda semiconfinata solo in una campagna non si sono registrati superamenti di **1,2-dicloropropano** mentre i rimanenti composti sono risultati sempre presenti. In tutte le campagne di monitoraggio RAS le maggiori incidenze dei superamenti delle CSC sono state registrate per l'**1,2,3-tricloropropano**, l'**1,1,2-tricloroetano** e l'**1,1,2,2-tetracloroetano** in entrambe le falde.

Gli alifatici clorurati non cancerogeni seguono una distribuzione simile a quanto sopra descritto per i composti cancerogeni. I numerosi "fuori limite" di 1,1,2 tricloroetano, 1,2,3 tricloropropano e 1,1,2,2 tetracloroetano presentano una distribuzione molto simile a quella del gruppo tricloroetilene, tetracloroetilene, 1,1- dicloroetilene e triclorometano. Anche per questi composti si evidenzia una loro presenza in concentrazioni superiori alla CSC, anche con valori elevati, in piezometri ubicati al di fuori dell'area interessata dalle attività industriali e a monte idrogeologico degli insediamenti stessi.

L'**1,2-dicloroetilene** supera le CSC principalmente in alcuni punti ubicati a valle idrogeologica delle proprietà Syndial, Area Impianti e Area Esterna; invece, l'**1,2-Dicloropropano** presenta concentrazioni superiori alla CSC anche a monte idrogeologico della Syndial all'interno dell'agglomerato industriale vero e proprio e in corrispondenza del margine settentrionale dell'agglomerato di edifici industriali.

Tra gli **alifatici alogenati cancerogeni**, nella prima campagna si è rilevato un solo superamento delle rispettive CSC, relativo al **bromodichlorometano**, a valle idrogeologica del Deposito Costiero Syndial. A partire dalla seconda campagna, invece, sono stati registrate eccedenze delle CSC anche per gli altri composti alogenati cancerogeni, quali il **dibromoclorometano**, il **tribromometano** e l'**1,2-dibromoetano**.

Il bromodichlorometano e l'1,2-dibromoetano presentano concentrazioni oltre la soglia normativa principalmente nei punti ubicati a valle idrogeologica delle proprietà Syndial, Area

Impianti - Area Esterna e a monte-valle idrogeologica del Deposito Costiero. Il tribromometano, invece, al disotto del limite di rilevabilità nella prima campagna, compare con n. 3 superamenti della CSC nella II campagna a sud del Deposito Costiero Syndial (nell'agro di Capoterra) e tra l'area Impianti e l'area Esterna Syndial. Nella III e IV campagna di misura, detto composto ha manifestato concentrazioni superiori alla CSC in tutta l'area industriale, anche a nord e nord-ovest dell'agglomerato di edifici industriali, ossia in aree ubicate a monte idrogeologico dei lotti Syndial.

Nella famiglia dei **fenoli e clorofenoli** si è registrato un solo "fuori limite" per il **2,4,6-triclorofenolo**, nella II campagna di misura, riferito ad un piezometro ubicato nella porzione nord-occidentale dell'agglomerato di edifici industriali. Per quanto riguarda il **fenolo**, il documento RAS ha fatto riferimento ai limiti proposti da APAT (2006), in assenza di CSC stabilite dalla normativa. Esso ha fatto registrare concentrazioni inferiori al limite in gran parte del sito d'indagine; anche per questa sostanza i superamenti della soglia di riferimento interessano gran parte dei punti ubicati a valle idrogeologica delle proprietà Syndial, Area Impianti-Area Esterna e Deposito Costiero e diversi punti nell'agglomerato di edifici industriali e nelle aree agricole a monte idrogeologico del flusso della falda. Nella porzione meridionale del Sito i superamenti della soglia APAT si registrano lungo l'oleodotto e la linea di costa, dove sono state misurate le concentrazioni massime di questo contaminante.

Relativamente alla famiglia dei **clorobenzeni**, le campagne di indagine RAS hanno evidenziato alcuni superamenti della CSC per **1,2,4,5 tetraclorobenzene** e **1,4-diclorobenzene** nella I campagna di misura. A partire dalla II campagna si è segnalata la presenza di ulteriori eccedenze delle CSC riferibili ai composti **esaclorobenzene, monoclorobenzene, pentaclorobenzene, 1,2-diclorobenzene e 1,4-diclorobenzene**. I clorobenzeni, in generale, evidenziano superamenti delle CSC nell'area a valle idrogeologica delle proprietà Syndial, Area Impianti-Area Esterna e Oleodotto Syndial, come la gran parte dei composti precedentemente esaminati. In particolare, l'1,4-diclorobenzene è costantemente presente con valori superiori alla relativa CSC durante le quattro campagne di campionamento in entrambe le falde, registrando il numero massimo di superamenti nella II campagna (12.5%).

7.1.2.4 Acque superficiali

Il Flumini Mannu e il Rio Cixerri, di interesse per il presente PdC in quanto potenziali bersagli ambientali, sono identificati come corsi d'acqua significativi dal Piano di Tutela delle Acque (RAS, 2006). Per tale ragione, nell'ambito del Progetto RAS, le concentrazioni rilevate nelle acque (sostanze microinquinanti) sono state confrontate con gli standard di qualità indicati nella Tabella 1/A dell'Allegato 1 alla Parte Terza del D.Lgs. 152/2006. Per omogeneità di trattazione lo stesso confronto è stato proposto anche in riferimento al Rio Santa Lucia, sebbene quest'ultimo non costituisca un corpo idrico significativo.

L'analisi dei parametri macrodescrittori della qualità delle acque evidenzia per il Flumini

Mannu una diminuzione delle concentrazioni dei **solidi sospesi** dalla stazione di monte a quella di valle (entrambe situate al di fuori dell'area in esame nel presente Piano), mentre i valori di **carico organico** (misurato attraverso il BOD₅ e il COD) mostrano un deciso aumento nella stessa direzione. Le concentrazioni di questi parametri rilevate nel Rio Santa Lucia e nel Riu Cixerri sono più elevate di quelle riscontrate nel Flumini Mannu.

Per quanto riguarda i **nutrienti**, azoto totale e nitriti mostrano una sostanziale costanza dei valori lungo l'asta del Flumini Mannu, mentre per i nitrati si evidenzia una sostanziale aumento delle concentrazioni tra la stazione di monte e quella di valle. Le concentrazioni di Azoto totale e nitrati rilevate nelle stazioni di valle del Rio Santa Lucia e del Riu Cixerri sono più elevate di quelle riscontrate alla foce del Flumini Mannu, mentre per i nitriti si evidenzia un confronto di segno opposto.

Tra gli analiti **inorganici** i solfati ed i cloruri mostrano valori al di sopra del limite di rilevabilità in tutte le stazioni. Lungo l'asta fluviale monitorata del Flumini Mannu i solfati e i cloruri evidenziano un incremento delle concentrazioni da monte a valle, mentre i valori dei fluoruri crollano al di sotto del limite di rilevabilità. Le concentrazioni di solfati e cloruri registrate nelle stazioni alla foce del Rio Santa Lucia e del Rio Cixerri sono molto maggiori di quelle riscontrate a valle del Flumini Mannu, evidenziando una spiccata influenza degli effetti dell'intrusione di acqua salina.

Tra i **metalli**, soltanto arsenico e cromo esavalente evidenziano dati al di sopra del limite di rilevabilità. Lungo il Flumini Mannu le concentrazioni di questi metalli sono circa costanti. La stazione più a valle sul Rio Santa Lucia mostra valori più elevati delle stazioni poste alla foce degli altri due fiumi.

Tutti gli analiti **organici** mostrano valori al di sotto dei limiti di rilevabilità in tutte le stazioni.

Le campagne di monitoraggio dei tre corsi d'acqua confermano la presenza di valori sopra il limite di rilevabilità dei parametri macrodescrittori (solidi sospesi, BOD₅, COD e nutrienti) e di alcuni inorganici (solfati, cloruri, fluoruri, arsenico e cromo VI). Tra la prima e seconda campagna di monitoraggio si registra un aumento dei valori di solidi sospesi, BOD₅ e COD, comune ai tre fiumi. Tale andamento si verifica anche per azoto totale, nitrati, solfati, cloruri e arsenico nel Rio Cixerri e Rio Santa Lucia. Il fiume Flumini Mannu evidenzia invece una tendenza opposta agli altri due fiumi per quasi tutti i parametri ad eccezione di alcuni macrodescrittori, come sopra descritto.

Ai parametri per i quali è disponibile uno standard di qualità (D.Lgs. 152/2006 Tabella 1/A dell'Allegato 1 alla Parte Terza) utilizzabile per il confronto delle concentrazioni, sono nella stragrande maggioranza dei casi associati valori al di sotto dei limiti di rilevabilità. Fanno eccezione l'arsenico, un campione per il nichel e un campione per il rame. In nessuna delle stazioni campionate si evidenziano superamenti degli standard di qualità (tabella Allegato 4), i fiumi presenti nell'area sono caratterizzati quindi da un buono stato chimico ai sensi del D.Lgs. 152/2006.

Il confronto, anch'esso orientativo, con le concentrazioni soglia di contaminazione per le

acque sotterranee (D.Lgs. 152/2006 Tabella 2 All. 5 Parte Quarta Tit. V) evidenzia soltanto un superamento nel caso dei nitriti e un superamento per i solfati nella prima campagna di monitoraggio mentre due superamenti per i solfati durante la seconda campagna.

7.1.2.5 Sedimenti

L'analisi complessiva delle granulometrie dei sedimenti campionati (Santa Lucia, Riu Cixerri e Flumini Mannu) evidenzia le variazioni tipiche degli ambienti fluviali, con un generale progressivo aumento della percentuale della frazione grossolana (ciottoli e granuli) rispetto a quella più fine (limo e argilla) procedendo dalla foce a monte. Per il bacino del Rio Santa Lucia, per il quale si sono avuti a disposizione 5 campioni di sedimento lungo l'asta fluviale, si passa da sedimenti limosi con sabbia debolmente argillosa a sedimenti caratterizzati da ciottoli con sabbia e granuli nella stazione di monte evidentemente situata in un ambiente caratterizzato da una maggiore energia dell'acqua. Analogamente, per il Riu Cixerri, per il quale si sono analizzati 4 campioni, si passa da limo sabbioso argilloso a ciottoli con sabbia granulosa o sabbia granulosa ciottolosa. Anche i due campioni di sedimento superficiale prelevati lungo il Flumini Mannu evidenziano una granulometria più fine nella stazione di foce (limo argilloso debolmente sabbioso) rispetto alla stazione posta più a monte (sabbia con limo debolmente argillosa).

Il confronto tra la granulometria dei sedimenti superficiali (0-25 cm o 0-15 cm) e la granulometria dei sedimenti dello strato sottostante (25-50 cm o 15-30 cm), disponibile per la stazione di valle del bacino S. Lucia, Riu Cixerri e Flumini Mannu, non evidenzia variazioni di entità significativa, con una lieve diminuzione della componente sabbiosa per il Riu Cixerri e un lieve aumento della frazione argillosa e limosa per gli altri due fiumi.

L'esame delle concentrazioni riferite agli analiti inorganici – metalli evidenzia nel suo complesso come le carote prelevate nelle stazioni di valle nei diversi fiumi presentino livelli di metalli totali più elevati degli altri campioni, ragionevolmente in relazione agli apporti provenienti dalle aree industriali che attraversano nella parte terminale del loro corso.

Il quadro dei superamenti che emerge dal confronto dei dati analitici con gli standard di qualità disponibili a livello normativo è molto limitato. Tra gli analiti inorganici sono da segnalare i superamenti del limite per i sedimenti (D.M.367/2003) del cadmio (3 campioni su 14), del piombo (6 campioni su 14, 2 dei quali superano anche il limite per i suoli ex D.Lgs. 152/2006 Tabella 1/A All.1 Parte Terza) e dello zinco – limite per suoli superato in 2 campioni su 14. I superamenti si riscontrano nel Flumini Mannu e nel Riu Cixerri per quanto riguarda piombo e zinco e nel Rio Cixerri e nel Rio Santa Lucia nel caso del cadmio.

Gli analiti organici non evidenziano superamenti dei limiti normativi.

7.1.3 Piani di caratterizzazione e/o monitoraggi attuati ed in corso di attuazione nel periodo 2008-2011

7.1.3.1 Premessa

Si riportano di seguito i risultati delle attività di caratterizzazione e/o monitoraggio attuate da soggetti diversi nell'area di Macchiareddu nel periodo 2008-2011, non considerate ai fini della ricostruzione della qualità ambientale del Sito scaturita dal Progetto RAS, conclusosi nel 2008.

I dati di qualità ambientale (analisi chimiche e stratigrafie) sono stati resi disponibili dall'Assessorato della Difesa dell'Ambiente – Servizio Tutela dell'Atmosfera e del Territorio su espressa richiesta del CACIP nonché, in parte, dallo stesso Consorzio, e si riferiscono alle seguenti iniziative:

- Syndial S.p.A. – Barriera idraulica di *Is Campus de s'Atena* (2008);
- Power Crop S.p.A. – Progetto per Impianto a biomassa (2009);
- Sarda Solar S.r.l. – Progetto per Impianto fotovoltaico a terra (2009);
- ANAS S.p.A. – Progetto S.S. 195 Sulcitana (2009-2010);
- San Salvador S.r.l. – Progetto per punto di ristoro rurale (2010);
- ENEL S.p.A. – Centrale elettrica Turbogas (2010);
- Terna S.p.A. – Elettrodotto 150 kV corrente alternata (2010-2011);
- Syndial S.p.A. area esterna – Sistema di Depressione della Falda (2011);
- Heineken S.p.A. – Stabilimento di produzione della birra (2011).

Alla data di predisposizione del presente documento risulta, peraltro, che ulteriori soggetti abbiano sottoposto ad approvazione piani di caratterizzazione dei quali non si dispone di informazioni circa lo stato di attuazione delle indagini.

Si sottolinea che, per quanto concerne i dati ambientali acquisiti relativi alle analisi chimiche, si sono utilizzati i dati riportati nelle tabelle di riepilogo dei parametri analizzati, allegate o inserite nelle relazioni di caratterizzazione, senza eseguire alcuna verifica circa la corrispondenza dei dati rispetto a quanto riportato nei rapporti di prova di laboratorio.

L'ubicazione dei punti di indagine dei piani di caratterizzazione di cui al precedente elenco è riportata nella Tavola 17.

7.1.3.2 Syndial – Barriera idraulica di *Is Campus de s'Atena* (2008)

Nell'ambito delle azioni di Messa In Sicurezza di Emergenza conseguenti allo sversamento di 1,2-Dicloroetano (1,2-DCA) dalla linea della *pipeline* Syndial, verificatosi nel 2005 in località *Is Campus de S'Atena*, è stato realizzato un sistema di barriera fisica delle acque di falda costituito da palancole metalliche e dall'annessa barriera idraulica.

Il sistema di emungimento è costituito da n. 8 barriere idrauliche e da n. 1 piezometro, fuori

barriera. Il sistema si compone di un totale di 104 piezometri, di cui la maggior parte profondi 8 metri p.c., mentre 4 di essi sono profondi 20 metri.

Nel periodo 1 luglio - 31 dicembre 2008 sono state effettuate n. 2 campagne trimestrali di monitoraggio. I campioni d'acqua di falda sono stati prelevati previa operazioni di spurgo dei volumi idrici minimi pari a 3÷5 volte il volume di acqua contenuta nel piezometro e successivamente alla stabilizzazione dei parametri chimico-fisici. Sui campioni tal quali è stata determinata la concentrazione di 1,2-Dicloroetano.

I risultati analitici delle due campagne di monitoraggio idrochimico delle acque di falda superficiale, eseguite nei mesi di settembre e dicembre 2008, hanno evidenziato superamenti fino a 2.700.000 volte della relativa CSC (3 µg/l).

7.1.3.3 Power Crop S.p.A. – Progetto per Impianto a biomassa (2009)

Le aree sottoposte a caratterizzazione sono ubicate nella porzione centrale del Sito di Macchiareddu e presentano un'estensione totale di circa 34 ha. I sondaggi, in numero di 34, sono stati eseguiti secondo una maglia di 100x100 m. Di questi n. 20 si attestano alla profondità di 5-6 metri e n. 14 sono stati spinti fino alla profondità di 21-27 m p.c. e attrezzati a piezometri.

Le stratigrafie dei sondaggi mostrano una ripetuta alternanza di sabbie e ghiaie con intercalazioni sabbioso-limose e presenza, tra i 20 e i 24 metri p.c., di un livello limoso nel settore centro-settentrionale dell'area investigata. I campioni di terreno dei sondaggi superficiali e i campioni di acqua di falda dei piezometri realizzati sono stati sottoposti ad analisi chimica.

Per quanto riguarda i terreni, in corrispondenza di ogni verticale d'indagine, sono stati prelevati n° 3 campioni secondo il seguente criterio:

- Campione 1: 0-1 m;
- Campione 2: in corrispondenza della frangia capillare per lo spessore di 1 m;
- Campione 3: a una profondità intermedia tra i precedenti, per lo spessore di 1 m.

Inoltre, sono stati prelevati n° 4 campioni di Topsoil.

Complessivamente sono stati acquisiti n. 106 campioni di terreno, 13 dei quali sono stati prelevati in contraddittorio con ARPAS in corrispondenza dei sondaggi SP2, SP12, PP4, PP13.

I campioni di acqua sono stati prelevati immettendoli direttamente dal tubo di mandata negli appositi contenitori. Successivamente ad ogni campionamento è stato sostituito il tubo di mandata della pompa al fine di escludere fenomeni di *cross contamination*. In contraddittorio, ARPAS ha prelevato, in doppio, n° 2 campioni d'acqua in corrispondenza dei piezometri PP4 e PP13.

I risultati hanno evidenziato che nessun parametro oggetto di analisi nei **terreni** è presente in concentrazioni superiori alle CSC (Tab. 1 col B).

Per quanto concerne le **acque di falda**, su un totale di n. 14 campioni prelevati, sono state rilevate concentrazioni superiori alle relative CSC per i seguenti parametri: ferro (3 campioni), manganese (14 campioni), alluminio (3 campioni), nitriti (4 campioni). Le analisi hanno pertanto escluso la presenza di contaminazione da composti organici di sintesi nelle matrici investigate. Detti composti si presentano generalmente in concentrazioni al di sotto del limite di rilevabilità (L.R.) sia nei terreni che nelle acque.

N. 13 campioni di terreno superficiale e/o profondo, su un totale di 102 campioni, presentano concentrazioni oltre il L.R. per gli idrocarburi pesanti (valori generali: 5-25 mg/kg; 1 campione: 117 mg/kg; L.R.= 5 mg/kg; CSC = 750 mg/kg). N. 3 campioni di acqua, su un totale di 14, presentano concentrazioni oltre il L.R. per i seguenti composti: triclorometano (valore: 0.01-0.07 µg/l; L.R.= 0.01 µg/l; CSC = 0.15 µg/l), tribromometano (valori: 0.12-0.28 µg/l; L.R.= 0.01 µg/l; CSC = 0.3 µg/l), dibromoclorometano (valori: 0.02-0.07 µg/l; L.R.= 0.01 µg/l; CSC = 0.13 µg/l), e bromodichlorometano (valore: 0.01-0.02 µg/l; L.R.= 0.01 µg/l; CSC = 0.17 µg/l).

In sintesi, relativamente ai terreni le concentrazioni di C. organici oltre i L.R. risultano al più inferiori di 6 volte la CSC (nella maggior parte dei casi: 30 volte inferiori). Relativamente alle acque, gli alifatici clorurati risultano 2 volte inferiori la CSC (triclorometano), mentre gli alifatici alogenati da circa 2 volte inferiori a valori molto prossimi alla CSC (tribromometano).

7.1.3.4 Sarda Solar S.r.l. – Progetto per Impianto fotovoltaico a terra (2009)

Le attività di caratterizzazione sono state svolte in un sito di estensione totale di circa 20 ha, ubicato al confine nordoccidentale dell'area industriale. Il piano di indagine ha previsto l'esecuzione di n. 20 sondaggi geognostici, di cui n. 10 di profondità pari a 5 m p.c. e n. 10 di profondità pari a 17-25 metri p.c., disposti secondo una maglia di 100 x 100 metri. I sondaggi profondi sono stati attrezzati a piezometri.

Le stratigrafie dei sondaggi evidenziano un ripetuto susseguirsi di strati sabbioso-ghiaiosi con intercalazioni sabbioso-limose, e la presenza tra i 17 e i 24 m da piano campagna di un livello discontinuo nettamente limoso – argilloso.

L'indagine ha previsto il prelievo di campioni di terreno e di acqua di falda.

Per quanto riguarda i terreni, in corrispondenza di ogni verticale d'indagine, sono stati prelevati n° 3 campioni secondo il seguente criterio:

- Campione 1: 0-1 m;
- Campione 2: in corrispondenza della frangia capillare per lo spessore di 1 m;
- Campione 3: a una profondità intermedia tra i precedenti, per lo spessore di 1 m.

Si è proceduto, inoltre, al prelievo di n° 2 campioni di Topsoil.

Complessivamente sono stati acquisiti n. 62 campioni di terreno, 3 dei quali sono stati prelevati in contraddittorio con ARPAS in corrispondenza dei sondaggi SB6 e MW7.

I campioni di acqua sono stati prelevati immettendoli direttamente dal tubo di mandata negli appositi contenitori. Successivamente, ad ogni campionamento, è stato sostituito il tubo di mandata della pompa al fine di escludere fenomeni di *cross contamination*. In contraddittorio, ARPA ha prelevato, in doppio, n° 1 campione di acqua in corrispondenza del piezometro MW7.

Con riferimento alle CSC di cui alla Tab. 1 col. B del D.Lgs. 152/2006, i risultati hanno evidenziato l'assenza di eccedenze nei **terreni**.

Nelle **acque di falda**, su un totale di 10 campioni, sono state rilevate concentrazioni superiori alle CSC per il Manganese (8 campioni) e i nitriti (1 campione). Anche in questo caso è stata esclusa la sussistenza di contaminazione ad opera di composti organici di sintesi.

Questi ultimi si presentano, perlopiù, in concentrazioni al di sotto del limite di rilevabilità (L.R.) sia nei terreni sia nelle acque. Unicamente il campione di acqua del piezometro MW7, su un totale di 10 campioni d'acqua di falda, presenta due parametri al di sopra del L.R.: 1,2-dicloroetano (valore: 0.2 µg/l; L.R. = 0.1 µg/l; CSC = 3 µg/l) e la sommatoria organoalogenati (valore: 0.22 µg/l; L.R. = 0.192 µg/l; CSC = 10 µg/l).

I dati sopra riportati evidenziano che, nelle acque sotterranee, l'1,2-dicloroetano presenta una concentrazione circa 4000 volte inferiore alla CSC; relativamente alla sommatoria degli alifatici alogenati, la concentrazione misurata è di 45 volte inferiore alla rispettiva CSC.

7.1.3.5 ANAS – Progetto S.S. 195 Sulcitana - Lotti 1°- 3° e opera connessa SUD (2009-2010)

Le attività di indagine si riferiscono al tracciato della nuova S.S. 195 “Sulcitana” – Tratto Cagliari-Pula, il cui inizio del processo costruttivo era previsto nell'estate del 2011. Le aree oggetto di indagine si sviluppano per una lunghezza di circa 16 km avente larghezza media di circa 70 m.

Il piano di indagine ha previsto complessivamente la realizzazione di n. 129 sondaggi a carotaggio continuo, con passo 200 metri in aree adiacenti a siti potenzialmente contaminati (profondità 10 metri) e passo 500 metri in aree lontane da questi ultimi (profondità 5 metri); dei predetti sondaggi n. 18 sono stati attrezzati a piezometro.

Di tutto il tracciato oggetto di caratterizzazione, solo il lotto 1° e la c.d. “Opera connessa Sud” sono compresi parzialmente nell'area di pertinenza CACIP. Pertanto, rispetto al numero complessivo di sondaggi previsto, solo n. 17 sondaggi sono stati eseguiti entro il Sito di interesse per il presente PdC, di cui n. 2 attrezzati a piezometri (Pz11 e Pz17). Di questi 17 sondaggi, n. 12 ricadono in “zona agricola verde speciale di rispetto” e i restanti 5 in zona “infrastrutture” del P.R.T. CACIP. I limiti delle CSC per i contaminanti nei terreni sono stati riferiti, pertanto, rispettivamente alla colonna A e alla colonna B della Tabella 1 dell'allegato 5

al Titolo V, parte quarta del D. Lgs. 152/2006.

Il piano di caratterizzazione ha previsto il prelievo di campioni di terreno e di acqua di falda.

Per quanto riguarda i terreni, in corrispondenza di ogni verticale d'indagine, sono stati in generale prelevati n° 3 campioni secondo il seguente criterio:

- Campione 1: 0-1 m;
- Campione 2: a fondo foro;
- Campione 3: a una profondità intermedia tra i precedenti.

In alcuni sondaggi, a seguito del rinvenimento della falda superficiale a debole profondità, sono stati prelevati solo 2 campioni (P29, Pz11, Pz17, Pz24, S2, S21). Il topsoil è stato campionato in corrispondenza dei due sondaggi attrezzati a piezometro (Pz11 e Pz17).

Riguardo ai terreni superficiali e profondi in zona agricola, con riferimento alle CSC di cui alla Tab. 1 col. A del D.Lgs. 152/2006, i risultati hanno evidenziato il superamento dei limiti per lo stagno in tutti e 12 i sondaggi (totale campioni: 32), dello zinco per n. 1 sondaggio (P13: n. 1 campione), dell'arsenico per n. 2 campioni (P19: n. 2 campioni) e degli idrocarburi pesanti (C>12) per n. 3 sondaggi (P13; P16: n. 2 campioni; P20). Per contro, relativamente ai campioni riferibili alle CSC di cui alla Tab. 1 colonna B, solo in uno (P8) è stato rilevato il superamento di un analita (arsenico).

Nelle **acque di falda**, sono state rilevate concentrazioni superiori alle CSC per i solfati (Pz11 e Pz17) e il triclorometano (Pz11).

Prescindendo dai campioni di terreno e di acqua che presentano eccedenze delle CSC, i composti organici si presentano generalmente con concentrazioni al di sotto del limite di rilevabilità (L.R.) sia nei terreni che nelle acque. Su n. 48 campioni di terreno prelevati nell'area industriale CACIP, presentano concentrazioni di C. organici superiori al L.R. n. 4 campioni per gli idrocarburi pesanti (valori: 13-48 mg/kg; L.R. = 5 mg/kg; CSC = 50 mg/kg – colonna A), n. 1 per gli idrocarburi leggeri (valore: 1.2 mg/kg; L.R. = 2 mg/kg; CSC = 10 mg/kg) e n. 2 per quanto concerne benzo(k)fuorantene (valori: 0.0103-0.0104 mg/kg; L.R. = 0.01 mg/kg; CSC = 0.5 mg/kg) e sommatoria IPA (valori: 0.0103-0.0104 mg/kg; L.R. = 0.01 mg/kg; CSC = 10 mg/kg). Relativamente alle acque sotterranee, uno dei due piezometri presenti in area industriale CACIP (Pz11) ha fatto registrare i seguenti composti con concentrazioni superiori al L.R.: tricloroetilene (valore: 0.24 µg/l; L.R.= 0.1µg/l; CSC: 1.5 µg/l), tetracloroetilene (valore: 0.84 µg/l; L.R.= 0.1 µg/l; CSC: 1.1 µg/l), sommatoria organoalogenati (valore: 2.36 µg/l, L.R.= 0.192µg/l; CSC = 10 µg/l), dibromoclorometano (valore: 0.11 µg/l, L.R.= 0.01µg/l; CSC = 0.13 µg/l) e bromodichlorometano (valore: 0.17 µg/l; L.R.=0.01 µg/l; CSC = 0.17 µg/l).

Dai dati più sopra riportati emerge che, per quanto concerne i terreni, le concentrazioni di C. organici che superano i L.R. sono prossime alle CSC unicamente per gli idrocarburi pesanti. Relativamente alle acque sotterranee, invece, due composti alifatici alogenati e un clorurato presentano concentrazioni uguali alla CSC (bromodichlorometano) o prossima (dibromoclorometano e tetracloroetilene).

7.1.3.6 San Salvador S.r.l.– Progetto per punto di ristoro rurale (2010)

L'area oggetto di indagine, sita nel Comune di Capoterra in località *Is Campus de S'Aleni*, presenta una superficie totale pari a circa 10.000 m² e risulta ubicata in zona agricola nella cartografia del P.R.T. CACIP. Il piano ha previsto l'esecuzione di n. 4 sondaggi di profondità comprese tra 6,20 e 8 metri; 2 di questi sondaggi sono stati attrezzati a piezometro (S1 ed S4).

La stratigrafia dell'area indagata evidenzia la presenza di un primo strato di Sabbie limose con ciottoli talora decimetrici, debolmente argillose fino a circa 3 metri di profondità, seguito da uno strato di limi sabbiosi di 4-5 metri di spessore.

Per quanto riguarda i terreni, in corrispondenza di ogni verticale d'indagine, sono stati prelevati n° 3 campioni secondo il seguente criterio:

- Campione 1: 0-1 m;
- Campione 2: in corrispondenza della frangia capillare;
- Campione 3: a una profondità intermedia tra i precedenti.

Inoltre, in corrispondenza di un punto di indagine (S1), è stato effettuato anche il prelievo del topsoil. In totale sono stati prelevati n. 13 campioni di terreno. I campioni relativi al sondaggio S4 sono stati prelevati in contraddittorio con ARPAS.

Fatta eccezione per il parametro Stagno, tutti i campioni di **terreno** presentano concentrazioni dei parametri investigati inferiori alla CSC di riferimento (Tab. 1 col. A). Le **acque sotterranee** hanno fatto registrare un superamento della CSC per il Manganese, in entrambi i piezometri, per i solfati (piezometro S1) e per i nitriti (piezometro S4).

Nei terreni i composti organici si presentano sempre in concentrazioni al di sotto del limite di rilevabilità (L.R.). Per quanto riguarda i campioni di acque sotterranee, entrambi i piezometri (S1 e S4) hanno fatto registrare concentrazioni oltre il L.R. per quanto riguarda idrocarburi totali (valori: 13.2-41.7 µg/l; L.R.= 20 µg/l; CSC = 350 µg/l), triclorometano (valori: 0.017-0.073 µg/l; L.R.= 0.01 µg/l; CSC = 0.15 µg/l), 1,1-dicloroetilene (valori: 0.021-0.044 µg/l; L.R.= 0.005 µg/l; CSC = 0.05 µg/l); il piezometro S1 anche per l'esaclorobutadiene (valore: 0.012 µg/l; L.R. = 0.01 µg/l ; CSC = 0.15 µg/l) e il piezometro S4, anche per tetracloroetilene (valore: 0.012 µg/l; L.R. = 0.1 µg/l; CSC = 1.1 µg/l), pirene (valore: 0.02; L.R. = 0.001 µg/l; CSC = 50 µg/l) e tribromometano (valore: 0.011 µg/l; L.R. = 0.01 µg/l ; CSC = 0.3 µg/l).

Sintetizzando i dati precedentemente esposti, nelle acque di falda gli idrocarburi totali si presentano con valori fino a 8.3 volte inferiori alla CSC nelle concentrazioni più elevate; i composti alifatici clorurati con concentrazioni da 1.13 volte (1,1-dicloroetilene) a 92 volte (tetracloroetilene) inferiori alla CSC; gli IPA (pirene) con concentrazioni 2500 volte inferiori alla CSC e gli alifatici alogenati (tribromometano) con concentrazioni 27 volte inferiori alla CSC.

7.1.3.7 ENEL – Centrale elettrica Turbogas (2010)

L'area di pertinenza della centrale elettrica Enel Turbogas risulta ubicata su un'area estesa complessivamente 137.000 m² sita tra la Seconda Strada e l'Asse Dorsale Consortile, in area contigua allo stabilimento Syndial.

Le attività di indagine hanno previsto l'esecuzione di n. 31 sondaggi di profondità compresa tra 10 e 25 metri, distribuiti sistematicamente secondo una maglia di 50x50 m; i sondaggi più profondi (20-25 metri di profondità), in numero di 5, sono stati attrezzati a piezometro.

I campioni di terreno, per un totale di 101 campioni, sono stati prelevati a varie profondità in corrispondenza delle diverse unità litologiche. Alcuni di questi, unitamente ad alcuni campioni di acqua di falda, sono stati prelevati in contraddittorio con ARPAS.

Nei campioni di **terreno** profondo (sondaggi S20 e S23: n. 2 campioni per ciascun sondaggio) sono stati rilevati superamenti delle CSC (Tab. 1 col. B) per gli Idrocarburi C<12 e C>12. Nelle **acque di falda** sono stati riscontrati superamenti delle CSC per Manganese (in tutti e 5 i campioni), Tetracloroetilene (sondaggi S06 ed S29), e Sommatoria Organoalogenati (sondaggio S29).

Eccezion fatta per i campioni che evidenziano le segnalate eccedenze delle CSC di composti organici, questi ultimi si presentano generalmente con concentrazioni al di sotto del limite di rilevabilità (L.R.) sia nei terreni sia nelle acque. Prescindendo dai campioni che evidenziano superamenti delle CSC, n. 5 campioni di terreno su un totale di 101 presentano concentrazioni di C. organici oltre il L.R. per gli idrocarburi pesanti (L.R.= 50 mg/kg), comprese tra 51 e 109 mg/kg, pertanto fino a circa 7 volte inferiori la relativa CSC (= 750 mg/kg). Relativamente alle acque sono state evidenziate concentrazioni di C. organici oltre il L.R., come di seguito riportato:

- o,m,p – xileni (1 campione): 1.3 µg/l (L.R. = 0.1 µg/l; CSC = 10 µg/l)
- tetracloroetilene (tutti e 5 i campioni): 0.06 - 0.18 µg/l (L.R. = 0.1 µg/l; CSC = 1.1 µg/l);
- 1,2-dicloroetano (1 campione): 0.8 µg/l (L.R. = 0.3 µg/l; CSC = 3 µg/l);
- tricloroetilene (1 campione): 1.01 µg/l (L.R. = 0.15 µg/l; CSC = 1.5 µg/l);
- Sommatoria organoalogenati (4 campioni): 0.06-1.5 µg/l (L.R. = 0.192 µg/l; CSC = 10 µg/l);
- 1,2-dicloropropano (1 campione): 0.08 µg/l (L.R. = 0.02 µg/l; CSC = 0.15 µg/l);
- idrocarburi totali (1 campione): 329 µg/l (L.R. = 10 µg/l; CSC = 350 µg/l).

In generale, pertanto, per i composti alifatici clorurati le concentrazioni al di sotto della CSC che superano il limite di rilevabilità risultano 6-7 volte inferiori al limite tabellare, tranne che per il tricloroetilene e l'1,2 dicloropropano (1.4-2 volte inferiore alla CSC, rispettivamente). L'unico campione in cui si rilevano idrocarburi oltre il L.R. ha una concentrazione molto prossima alla CSC.

7.1.3.8 Terna – Elettrodotto 150 kV corrente alternata (2010-2011)

Il tracciato dell'elettrodotto 150 kV corrente alternata, in cavo interrato, che congiungerà la stazione elettrica di Cagliari Sud con la stazione elettrica di Syndial, avente lunghezza totale di 19 km, è stato oggetto di caratterizzazione dei terreni superficiali, attraverso l'esecuzione di n. 124 sondaggi di profondità di 2,5 metri p.c. e di n. 8 campionamenti di topsoil. Di questi, n. 52 sondaggi (S073-S124) sono stati eseguiti in territorio di pertinenza del CACIP; il topsoil è stato campionato in corrispondenza dei sondaggi S090, S102, S111 e S123.

Il territorio sottoposto a caratterizzazione presenta destinazioni d'uso diversificate: i sondaggi compresi tra S073 e S084 ricadono in zona verde agricolo del P.R.T. CACIP e quelli restanti, compresi tra S085 e S124, ricadono in aree a destinazione produttiva.

Nel caso specifico sono stati effettuati solo campionamenti di terreni; in corrispondenza di ogni verticale d'indagine sono stati prelevati n° 3 campioni secondo il seguente criterio:

- Campione 1: 0-1 m;
- Campione 2: al fondo foro (2.5 m p.c.);
- Campione 3: a una profondità intermedia tra i precedenti.

In totale sono stati prelevati 160 campioni di terreno, comprensivi di quelli di topsoil.

I risultati della caratterizzazione chimica evidenziano eccedenze delle CSC nei campioni di **terreno** superficiale e profondo per i soli sondaggi ubicati in zona agricola, relativamente ai parametri: Stagno (S073÷S084), Rame (S81), Zinco (S81), Idrocarburi pesanti (S74, S84).

I C. organici si presentano perlopiù con concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità (L.R.) nella matrice investigata (terreni). Fatta eccezione per i campioni che presentano superamenti delle CSC, su un totale di 156 campioni, n. 2 campioni evidenziano un superamento del L.R. per quanto riguarda benzo(b)fluorantene (valori: 0.01-0.03 mg/kg; L.R. = 0.01 mg/kg; CSC = 0.5 mg/kg – colonna A); n. 1 dei predetti campioni presenta concentrazioni superiori al L.R. anche per benzo(a)pirene (valore: 0.01 mg/kg; L.R. = 0.01 mg/kg; CSC = 0.1 mg/kg – colonna A) e benzo(a)antracene (valore: 0.01 mg/kg; L.R. = 0.01 mg/kg; CSC = 0.5 mg/kg – colonna A). Inoltre, 19 campioni ricadenti in area a destinazione produttiva presentano valori degli idrocarburi pesanti oltre il L.R. (valori: 52-477 mg/kg; L.R. = 50 mg/kg; CSC = 750 mg/kg – colonna B).

In sintesi, dunque, per quanto riguarda i terreni ricadenti in zona verde agricolo, sono presenti IPA con concentrazioni, nei casi peggiori, 10 volte inferiori alla CSC; mentre, gli idrocarburi pesanti, presenti oltre il L.R. nella zona a destinazione produttiva, raggiungono concentrazioni fino a 1.6 volte inferiori alla CSC.

7.1.3.9 Syndial area esterna – Sistema di Depressione della Falda (2011)

Nell'area esterna Syndial (discarica ex-Rumianca), è stata ultimata nel 2010 la Messa in Sicurezza Permanente attraverso la realizzazione di una cinturazione con diaframma

plastico, *capping* e sistema di depressione della falda. In particolare, all'interno dell'area cinturata, la superficie piezometrica viene depressa rispetto a quella esterna attraverso l'emungimento da n. 6 pozzi con convogliamento delle acque verso un impianto TAF interno allo stabilimento Syndial.

L'attività di monitoraggio delle **acque di falda** dei sei pozzi ivi presenti, attuata nell'anno 2011, ha evidenziato il superamento delle CSC relativamente ai seguenti parametri:

- Manganese;
- Nichel (DW2, 3, 4);
- Ferro (escluso DW2);
- Cobalto (DW3 e DW4);
- Cadmio (DW2 e DW4);
- Solfati (DW1, 5, 6);
- Arsenico (DW1 e DW6);
- Benzene;
- Etilbenzene (DW3, 4, 5, 6)
- Esaclorobutadiene;
- Cloruro di Vinile;
- Sommatoria Organoalogenati;
- 1,1-Dicloroetilene;
- 1,2-Dicloroetano;
- 1,1,2-Tricloroetano;
- 1,1,2,2-Tetracloroetano (escluso DW1);
- 1,2-Dicloroetilene (cis-trans)
- Tetracloroetilene;
- Tricloroetilene;
- Toluene;
- Triclorometano;
- Stirene (DW2, 4, 6)

7.1.3.10 Heineken – Stabilimento di produzione della birra (2011)

Nell'ambito dell'attività di caratterizzazione dello stabilimento alimentare Heineken Italia sono stati eseguiti n. 29 sondaggi di profondità variabile tra 7 e 22.50 m; di essi, 21 sondaggi, eseguiti nell'area interna, sono stati realizzati secondo maglia sistematica di 50x50 metri; i restanti 8, nell'area esterna, con una maglia di 200x200 metri. Inoltre, 4 di tali sondaggi sono stati attrezzati a piezometro.

Le stratigrafie dei sondaggi evidenziano ripetute alternanze di sabbie-ghiaie con limi sabbioso-ghiaiosi e/o argille, questi ultimi di spessore variabile.

Per quanto riguarda i terreni, in corrispondenza di ogni verticale d'indagine, sono stati

prelevati n° 3 campioni secondo il seguente criterio:

- Campione 1: 0-1 m;
- Campione 2: in corrispondenza della frangia capillare;
- Campione 3: a una profondità intermedia tra i precedenti.

In totale sono stati prelevati n. 88 campioni di terreno superficiale e profondo più n. 3 campioni di topsoil.

Con riferimento alle CSC (Tab. 1 col. B), i risultati analitici hanno evidenziato eccedenze nei **terreni** profondi campionati in n. 3 sondaggi per i seguenti parametri: Selenio, Antimonio, Arsenico (sondaggio esterno SE03); Mercurio e Selenio (sondaggi interni SI10 e SI16).

Per quanto riguarda le **acque di falda**, non sono state rilevate eccedenze rispetto alle CSC.

In generale i C. organici presentano concentrazioni sempre al di sotto del limite di rilevabilità (L.R.) sia nei terreni sia nelle acque. Nei terreni si riscontrano concentrazioni superiori al L.R. per Idrocarburi pesanti (19 campioni con valori generalmente compresi nell'intervallo: 1.72-11.37 mg/kg; 1 campione: 673.74 mg/kg; L.R.= 5 mg/kg; CSC = 750 mg/kg) e Idrocarburi leggeri (7 campioni con valori: 0.21-0.79 mg/kg; L.R.= 1 mg/kg; CSC= 250 mg/kg), su un totale di 87 campioni prelevati (3 campioni tra quelli citati presentano le concentrazioni oltre il L.R. sia per Idrocarburi pesanti sia per Idrocarburi leggeri). Pertanto, su un totale di 24 campioni per i quali gli idrocarburi (pesanti o leggeri) si presentano con concentrazione superiore al L.R., pressoché tutti registrano una concentrazione inferiore di 66 volte o più rispetto alla CSC; fa eccezione un campione per il quale il valore degli idrocarburi C>12 è prossimo alla CSC.

Per quanto riguarda le acque, su un totale di 4 campioni analizzati, 2 presentano concentrazioni oltre il L.R. per il parametro pirene (valori: 0.001-0.002 µg/l; L.R.= 0.001 µg/l; CSC = 50 µg/l), 1 campione dei quali anche per benzo(g,h,i)perilene (valore: 0.001 µg/l; L.R.= 0.001 µg/l; CSC = 0.01 µg/l), indeno-pirene (valore: 0.002 µg/l; L.R.= 0.001 µg/l; CSC = 0.1 µg/l) e sommatoria IPA (valore: 0.005 µg/l; L.R.= 0.004 µg/l; CSC = 0.1 µg/l). Pertanto, le concentrazioni massime nelle acque dei citati composti policiclici aromatici le cui concentrazioni superano i L.R. sono, nel caso peggiore, 10 volte inferiori alla CSC (benzo(g,h,i)perilene).

7.2 Interventi di bonifica – messa in sicurezza permanente/emergenza realizzati e/o in fase di realizzazione

Le informazioni di seguito riportate sono principalmente tratte dal citato Progetto della Regione Sardegna, concernente il monitoraggio ambientale del sito industriale di Macchiareddu, non essendosi potuti reperire, al momento della redazione del presente PdC, ulteriori e più aggiornati elementi di conoscenza.

Proprietà Syndial – Area impianti. Messa in sicurezza d'emergenza: barriera idraulica.

Il sistema costituito dalla barriera di 10 pozzi, ubicati sul lato orientale della proprietà, è stato approvato con Delibera del Commissario Straordinario n. 69 del 2003. Successivamente tale progetto è stato inserito nel progetto definitivo di bonifica della falda dell'area impianti, in fase di ri-progettazione alla data del 2008, in base a quanto stabilito dalla normativa vigente.

I dieci pozzi sono in funzione dal 09.12.05, in seguito all'emissione da parte del Comune di Assemini, dell'ordinanza con la quale veniva autorizzato il trattamento delle medesime acque presso il TAF provvisorio (TAF 2). La barriera risulta a regime dal 02.03.06.

A seguito dei risultati del monitoraggio, la barriera è stata integrata con ulteriori 3 pozzi di emungimento, realizzati nel maggio 2007, che non modificano la portata totale estratta ma hanno lo scopo di rendere il sistema più flessibile.

La barriera sarebbe, quindi, costituita da 13 pozzi attestati a 23 m dal p.c., nel primo strato di argilla. A ciascun pozzo è associato un piezometro di controllo, alla profondità di 10 m. La portata complessiva estratta risulta pari a 120-145 m³/h.

Dal 15.12.06 la gestione delle acque emunte e trattate nel TAF 2 non avviene più attraverso le ordinanze sindacali ma tramite provvedimento della Regione Sardegna n. 38/13 e 1964/II, che autorizza l'impianto TAF 2 ai sensi degli artt. 208 e 210 del D.Lgs 152/06. Oltre i 13 pozzi, sarebbero attivi anche 7 piezometri di spurgo che emungono 20 m³/h, attivati come misura di messa in sicurezza d'emergenza nel marzo 2004.

A seguito della prescrizione del MATTM (verbale della conferenza dei servizi decisoria del 27/03/07) finalizzata ad assicurare la verifica dell'efficacia e dell'efficienza della barriera idraulica attiva presso il confine orientale dello stabilimento, il 7-8 giugno 2007 è stata realizzata una campagna di monitoraggio freaticometrico su 90 punti. I risultati delle simulazioni effettuate e della campagna di monitoraggio evidenziano una depressione della piezometria in corrispondenza dell'asse della barriera e l'effetto di inversione del gradiente a valle idrogeologico dello stabilimento. Inoltre, dalle simulazioni effettuate, si evince che l'area di cattura dei 13 pozzi comprende l'area di stabilimento ed una fascia nel suo intorno.

Proprietà Syndial – Area esterna. Messa in sicurezza permanente: diaframma plastico +capping.

L'opera consiste in un diaframma plastico, che raggiunge profondità di oltre 40 m s.l.m.m., ed un *capping* di contenimento, integrati da una rete di drenaggio delle acque superficiali e da n. 6 pozzi di depressione della falda.

Proprietà Syndial – Is Campus de S'Atena. Messa in sicurezza d'emergenza: barriera idraulica + barriera fisica.

Nel sito di *Is Campus de S'Atena* sono attive 8 barriere idrauliche (100 pozzi in

emungimento) così costituite:

- 11 pozzi nell'area *spill*, che emungono complessivamente da 2 a 50 m³/d (media di 4,5 m³/d);
- 25 pozzi (barriera lato strada), che emungono complessivamente da 15 a 135 m³/d (media di 35 m³/d);
- 23 pozzi (barriera canale orientale), che emungono complessivamente da 2 a 6 m³/d (media di 3,5 m³/d);
- 4 pozzi (barriera salina), che emungono complessivamente da 1 a 14 m³/d (media di 5,5 m³/d);
- 13 pozzi (barriera Is Campus), che emungono complessivamente da 2 a 50 m³/d (media di 25,5 m³/d);
- 8 pozzi (barriera Ippodromo – Is Campus), che emungono complessivamente da 4 a 80 m³/d (media di 35 m³/d);
- barriera a monte delle serre Boi: due barriere gemelle, a monte idrogeologico delle serre, costituite da 8 pozzi ciascuna, che emungono complessivamente una media di 30 m³/d.

Tutti i pozzi sono spinti alla profondità di 8 m dal p.c. e fenestrati da 1 m da p.c. a 7 m da p.c., ad eccezione di 8 pozzi costituenti la barriera a monte delle serre Boi che sono spinti a 20 m da p.c. e fenestrati da 8 m a 19 m da p.c..

Le acque emunte sono convogliate ad una prima cisterna (volume 10 m³), nei pressi della *pipeline*. Dalla cisterna le acque vengono trasferite attraverso linea dedicata presente nel fascio tubiero della pipeline al serbatoio S309 del Deposito Costiero Syndial. La MISE idraulica è affiancata da una barriera fisica costituita da palancole poste a circa 19 m di profondità, immerse nelle argille limose (base dell'acquifero superficiale) e avente un'estensione lineare di circa 850 m. L'attività di infissione delle palancole ha avuto inizio il giorno 14.08.06 e termine il giorno 8.05.07.

Sono inoltre state eseguite opere di impermeabilizzazione del Canale Imboi e del Canale di Guardia della Salina.

Proprietà Syndial – Radice pontile, lato mare. Messa in sicurezza d'emergenza: barriera fisica.

L'opera è in fase di attuazione e si sviluppa lungo parte del perimetro del pontile sul lato mare, articolata in 2 settori realizzati mediante la posa di palancole metalliche raccordate da un setto di colonne cementizie realizzate con tecnica *jet-grounding*.

Proprietà Syndial – Deposito costiero. Messa in sicurezza d'emergenza: barriera idraulica

Nel luglio 2009 risulta che sia stata attivata una barriera idraulica costituita da n. 20 pozzi

(Fonte Rapporto-di-Sostenibilità-Syndial, 2009).

7.3 CACIP - Campagna di rilevamento della qualità delle acque sotterranee - Anno 2012

7.3.1 Obiettivi della campagna di misura

Con riferimento alla sola qualità delle acque di falda, l'esame comparato dei risultati analitici acquisiti nell'ambito dei piani di caratterizzazione condotti in area CACIP da soggetti diversi nel periodo 2008-2011 e di quelli scaturiti dal Progetto RAS del 2008 ha messo in luce un apprezzabile scostamento dei risultati. Detta incongruenza, unitamente alle accennate difficoltà interpretative circa la presenza di taluni composti organici di sintesi in settori posti a monte idrogeologico dei centri di pericolo, localizzati in aree significativamente distanti da questi e storicamente utilizzate a soli fini agricoli, ha reso estremamente complessa la ricostruzione di un modello concettuale plausibile e ha suggerito un approfondimento delle conoscenze, propedeutico alla definizione dei contenuti del presente PdC.

In definitiva, muovendo dall'assunto che solo un aggiornamento delle conoscenze sullo stato di qualità delle matrici ambientali avrebbe potuto orientare i criteri di definizione e stabilire le priorità di attuazione di un Piano di indagini di dettaglio, organico e coordinato, avente ad oggetto un esteso ambito territoriale come quello in esame, il CACIP ha ritenuto indispensabile procedere all'esecuzione ad una nuova campagna di campionamento ed analisi delle acque di falda, le cui risultanze potessero contribuire a sciogliere le ambiguità interpretative più sopra evidenziate.

Con tali presupposti, al solo fine di meglio chiarire le ragioni che hanno indotto il CACIP a dar seguito alla campagna di indagine del 2012, nel proseguo si farà cenno alle più significative discordanze emerse dal confronto dei dati di qualità delle acque di falda disponibili in alcuni dei settori interessati dall'attuazione dei PdC attuati nel periodo 2008-2011.

Relativamente al sito **Power Crop S.p.A.**, ubicato più a est nella zona centrale dell'area di Macchiareddu, si osserva come i risultati della campagna di caratterizzazione abbiano messo in luce la sussistenza di una potenziale contaminazione della falda ad opera dei seguenti inquinanti: alluminio, ferro, manganese e nitriti. Tali risultanze sono sensibilmente discordanti con i dati acquisiti nell'ambito del Progetto RAS, che evidenziano, viceversa, la presenza significativa di contaminanti organici di sintesi (alifatici clorurati e alogenati) sia a monte sia a valle idrogeologica dell'area Power Crop, come di seguito precisato.

Il piano di caratterizzazione della società **San Salvador S.r.l.**, relativo alla realizzazione di un punto di ristoro rurale in località *Campus de s'Aleni*, a circa 750 metri a SW dalla barriera idraulica di *Is Campus de s'Atena* (attiva per l'estrazione dalla falda del 1,2-dicloroetano fuoriuscito dall'oleodotto Syndial) in zona "verde agricolo speciale di rispetto", ha evidenziato il solo superamento delle CSC per inquinanti inorganici (manganese, nitriti e solfati).

I piezometri di monitoraggio RAS (ASPz108 e ASPz110), ubicati a monte idrogeologico dei

piezometri San Salvador, hanno evidenziato molteplici superamenti, oltre che di numerosi metalli, anche di diversi composti appartenenti al gruppo degli alifatici clorurati cancerogeni e non ed agli idrocarburi aromatici. Analogamente, anche il piezometro RAS ubicato a valle idrogeologica (ASPz72), nonché quello ubicato a SE del lotto San Salvador, ha evidenziato il superamento delle CSC per alcuni alifatici clorurati cancerogeni e non, alogenati cancerogeni, idrocarburi aromatici e metalli (manganese e ferro).

E' significativo, a tale proposito, come anche il piezometro PZ17 eseguito nell'ambito del piano di caratterizzazione **ANAS**, relativo al nuovo tracciato della SS 195, ubicato a circa 500 metri a valle idrogeologica dei piezometri San Salvador, ma assai vicino al sopra menzionato piezometro RAS ASPz72, abbia fatto registrare una contaminazione esclusivamente da solfati e non da inquinanti organici. In corrispondenza dell'ulteriore piezometro PZ11 dell'ANAS, localizzato in prossimità della piattaforma Tecnocasic, è stata invece rilevata una contaminazione, oltre che da solfati, anche da triclorometano, che risulta nella medesima concentrazione (0.15 µg/l) anche nel vicinissimo piezometro RAS ASPz42. In quest'ultimo, tuttavia, il monitoraggio RAS ha evidenziato numerose eccedenze delle CSC ad opera di ulteriori contaminanti della stessa famiglia degli organoalogenati cancerogeni (tricloroetilene, tetracloroetilene, esaclorobutadiene, cloruro di Vinile, 1,2-dicloroetano, 1,1-dicloroetilene, 1,1,2-tricloroetano, 1,1,2,2-tetracloroetano) nonché di altri composti clorurati non cancerogeni (1,1,2,2-Tetracloroetano, 1,1,2-Tricloroetano, 1,1,2-Tricloroetano, 1,2,3-Tricloropropano), con superamenti variabili da 50 a 350 volte la soglia tabellare.

Relativamente al piano di caratterizzazione dello stabilimento di produzione della birra **Heineken**, localizzato a NW del Deposito costiero Syndial, si evidenzia che i campioni d'acqua prelevati dai 4 piezometri installati non hanno evidenziato alcun superamento della CSC. Per contro in corrispondenza del piezometro di monitoraggio RAS ASPz65, localizzato a 120 metri e 150 metri rispettivamente dai piezometri Pz044 e Pz03 dell'Heineken, è stata evidenziata una contaminazione da 1,1-Dicloroetilene, 1,2-Dicloroetano (alifatici clorurati cancerogeni) 1,1,2-Tricloroetano e 1,2,3-Tricloropropano (alifatici clorurati non cancerogeni), oltre che da metalli (alluminio, ferro, manganese e piombo). Nel medesimo punto l'1,1,2-Tricloroetano ha fatto registrare una concentrazione 18 volte superiore alla CSC.

In aggiunta a quanto sopra esposto, si ritiene significativo citare le risultanze del Piano di Caratterizzazione (2006) predisposto dal Ministero di Grazia e Giustizia, relativo all'area destinata alla costruzione del nuovo Istituto Penitenziario di Uta. Le attività di indagine condotte nel sito, ubicato in località *Isca Sa Pingiada* (in prossimità del rio Murmureri), nella zona occidentale immediatamente esterna all'agglomerato di Macchiareddu, hanno fatto registrare due uniche eccedenze delle CSC nelle matrici ambientali (zinco nei terreni e ferro nelle acque di falda). Comparando tali risultati con le informazioni scaturite dal Progetto RAS si evidenziano alcuni elementi contraddittori che meriterebbero un approfondimento. Nello specifico in corrispondenza del piezometro di monitoraggio RAS (ASPz39), posto a monte idrogeologico dell'area del penitenziario, sono state registrate, esclusivamente a partire dalla II campagna di misura, numerose eccedenze delle CSC ad opera di contaminanti delle famiglie degli alifatici clorurati cancerogeni (1,1-dicloroetilene, 1,2-dicloroetano, cloruro di

vinile, tetracloroetilene, tricloroetilene, triclorometano), degli alifatici alogenati cancerogeni (dibromoclorometano) degli alifatici clorurati non cancerogeni (1,1,2-tricloroetano, 1,1,2,2-tetracloroetano), degli idrocarburi aromatici (benzene), oltre a metalli (manganese e nichel). I campioni prelevati dai più prossimi piezometri posti a valle idrogeologica del sito del penitenziario (ASPz73, ASPz90, ASPz113) presentano eccedenze delle CSC per il solo manganese.

7.3.2 Metodologia di indagine e risultati

La campagna di indagine ha previsto il campionamento di n. 18 piezometri della rete di monitoraggio della qualità delle acque sotterranee approntata nell'ambito del citato Progetto RAS del 2009. La scelta dei piezometri da campionare è stata condotta avuto riguardo dei seguenti criteri:

- opportunità di ricostruire un quadro bilanciato e spazialmente rappresentativo dell'attuale qualità delle acque sotterranee;
- acquisire un riscontro aggiornato della qualità delle acque di falda in corrispondenza dei punti di campionamento che, nell'ambito della campagna di campionamento ed analisi condotta dalla RAS, avevano fatto registrare le più significative oscillazioni di alcuni parametri chimici;
- verificare la sussistenza di potenziali situazioni di contaminazione attribuibili alla presenza, in particolare, di composti organici di sintesi in contesti posizionati a monte idrogeologico dei centri di pericolo e storicamente destinati ad attività di carattere agro-zootecnico.

A tal fine le determinazioni analitiche hanno riguardato n. 62 parametri riconducibili ai seguenti: metalli (Tab. 2 nn. da 1 a 18), inquinanti inorganici (nn. da 19 a 23), composti organici aromatici (nn. da 24 a 28), IPA (nn. da 29 a 38), alifatici clorurati cancerogeni (nn. da 39 a 47), alifatici clorurati non cancerogeni (nn. da 48 a 53), alifatici alogenati cancerogeni (nn. da 54 a 57), fenoli e clorofenoli (nn. da 69 a 72), idrocarburi totali.

La tabella riassuntiva in Allegato 1 e la Tavola 23 illustrano rispettivamente il quadro completo dei risultati analitici e l'ubicazione dei punti di campionamento.

I dati mostrano l'assenza di eccedenze delle CSC per tutti i parametri oggetto di analisi su oltre la metà dei piezometri campionati (10 su 18). Detti piezometri sono prevalentemente posizionati nella porzione centro-settentrionale del Sito di Macchiareddu (piezometri ASPZ22, ASPZ53, ASPZ37, ASPZ47, ASPZ65, ASPZ59, ASPZ62, ASPZ8, ASPZ3, ASPZ81), rappresentativi di aree storicamente destinate ad utilizzi agro-zootecnici (ASPZ8, ASPZ37, ASPZ53, ASPZ90, ASPZ81, ASPZ22) o di aree più propriamente infrastrutturate e ad utilizzo commerciale/industriale (ASPZ62, ASPZ47, ASPZ59, ASPZ65).

Le eccedenze delle CSC hanno riguardato n. 8 piezometri (ASPZ72, ASPZ42, ASPZ110, ASPZ94, ASPZ104, ASPZ90, ASPZ93, ASPZ100), tutti ubicati nella porzione meridionale del

Sito, in corrispondenza della piana agricola di Capoterra e nella fascia infrastrutturale CACIP in prossimità della strada c.d. "Dorsale Consortile" nel tratto a sud del Deposito Costiero Syndial (Tavola 23).

I fuori limite si riferiscono prevalentemente ad un set di parametri inorganici e metalli composto da Al, Fe, Mn, Solfati e Boro. Un unico piezometro (**ASPZ93**), ubicato a valle idrogeologica del deposito Costiero Syndial ed in prossimità del tracciato della stessa *pipeline* Syndial, ha fatto registrare eccedenze, anche significative, ascrivibili a più composti alifatici clorurati; ciò con riferimento a: triclorometano ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Cloruro di vinile ($1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 1,2-Dicloroetano ($502 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), tricloroetilene ($4560 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), tetracloroetilene ($123 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sommatoria organoalogenati ($5190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 1,1,2-tricloroetano ($22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Lo stesso piezometro ha, inoltre, evidenziato eccedenze delle CSC relativamente a Fe ($1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Mn ($1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Relativamente agli alifatici clorurati, un leggero superamento della CSC è stato inoltre registrato nel piezometro **ASPZ72**, a ovest della piattaforma Tecnocasic ed a monte idrogeologico rispetto a questa, relativamente al solo tetracloroetilene ($1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Focalizzando l'attenzione sui parametri inorganici e metalli, le eccedenze più significative, sia in termini di co-presenza di sostanze che in termini numerici, hanno riguardato il piezometro **ASPZ42**, ubicato poco più a sud della piattaforma Teconocasic, dove sono stati riscontrati superamenti delle soglie normative per i seguenti analiti: Cd ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Fe ($1380 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Pb ($22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Mn ($2820 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), B ($3250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Solfati ($2980 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Come accennato più sopra gli ulteriori superamenti delle soglie normative si riferiscono ad alcuni parametri inorganici e metalli riscontrati nei piezometri **ASPZ110** (B $1400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$; solfati $330 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$), **ASPZ94** (Mn $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), **ASPZ104** (Mn $454 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$; solfati $398 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$), **ASPZ100** (Al $3700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$; Fe $2200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - CSC $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Si segnala, infine, come il piezometro ASPZ94 abbia fatto registrare una concentrazione di benzo(a)antracene pari alla rispettiva CSC ($0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). I predetti "fuori limite" sui piezometri ASPZ110, ASPZ94, ASPZ104 e ASPZ100, quantunque meritevoli di attenzione ed approfondimento, possono ragionevolmente ritenersi meno significativi dei precedenti in quanto prevalentemente riconducibili a metalli e composti inorganici naturalmente presenti nelle acque sotterranee del Sito di Macchiareddu (Al, Fe e Mn e Solfati), alcuni dei quali perlopiù ubiquitari (Al, Fe e Mn).

8 MODELLO CONCETTUALE PRELIMINARE

8.1 Premessa

La ricostruzione del Modello Concettuale Preliminare è stata condotta sulla base delle informazioni raccolte nel piano, concernenti l'assetto geologico e idrogeologico, le potenziali sorgenti della contaminazione, la qualità delle matrici ambientali, i potenziali percorsi della migrazione e i potenziali bersagli.

La principale fonte di informazioni, determinante per l'elaborazione del modello concettuale preliminare, è l'indagine RAS per la realizzazione del sistema di monitoraggio siti inquinati dell'area industriale di Assemini-Macchiareddu. Pur con i limiti interpretativi circa le risultanze delle campagne analitiche sulle acque sotterranee, la ricostruzione del modello concettuale ivi riportata, è sostanzialmente condivisa nel presente Piano e viene di seguito riproposta nelle sue linee principali. Le conclusioni del modello concettuale sono state, peraltro, ricalibrate ed affinate sulla base dei più recenti riscontri acquisiti dal CACIP sulla qualità delle acque di falda.

La ricostruzione di un modello concettuale di un sito contaminato (MCS), dei suoi elementi (naturali ed antropici) e delle reciproche interazioni, si propone di esplicitare, partendo da una geometria reale, e quindi complessa, uno schema fisico teorico semplificato così strutturato:

Sorgente ⇔ Trasporto ⇔ Bersaglio

Il risultato finale di tale elaborazione, sviluppata per successivi livelli di approssimazione, si propone dunque di ricostruire i caratteri ed i legami delle tre componenti principali alla base dell'Analisi di Rischio Sito Specifica (AdR) prevista dall'art. 242 del D.Lgs. 152/06. Per la sussistenza del rischio è necessario che in un dato Sito siano presenti tutte e tre le componenti del modello concettuale e che siano attivi i collegamenti tra di esse (ossia i percorsi di migrazione dei contaminati). Da un'analisi più dettagliata discende poi la valutazione dell'accettabilità o meno del rischio risultante.

La fase di ricostruzione del contesto ambientale, finalizzata all'Analisi di Rischio, si articola in tre stadi:

1. studio preliminare dei dati disponibili propedeutico alla definizione di un modello concettuale preliminare del sito;
2. definizione ed esecuzione di un piano di investigazioni, comprendenti indagini, sopralluoghi, monitoraggi ambientali ed analisi specifiche, finalizzato a verificare e rifinire il modello preliminare;
3. sviluppo del modello concettuale definitivo del sito.

Secondo l'Allegato 2 al Titolo V, Parte quarta, del D.Lgs. 152/2006 obiettivo del modello concettuale definitivo è quello di ricostruire:

- le caratteristiche specifiche del sito in termini di stato delle potenziali fonti della contaminazione (attive, non attive, in sicurezza etc.);
- grado ed estensione della contaminazione del suolo, del sottosuolo, delle acque superficiali e sotterranee del sito e dell'ambiente da questo influenzato;
- percorsi di migrazione dalle sorgenti di contaminazione ai bersagli individuati nello scenario attuale, (siti in esercizio) o nello scenario futuro (in caso di riqualificazione dell'area).

In riferimento ai tre stadi sopra definiti, obiettivo della presente analisi è quello di sviluppare, sulla base delle informazioni raccolte e attualmente disponibili, un modello concettuale preliminare del sito, in modo da selezionare preventivamente i possibili percorsi attivi e valutare la vulnerabilità dei potenziali bersagli esistenti.

Per la definizione del modello concettuale del territorio in cui si inserisce il sito industriale di Macchiareddu, sono stati considerati ed analizzati gli aspetti territoriali ed ambientali riguardanti l'idrografia superficiale, l'assetto idrogeologico, le attività produttive e la qualità chimica di suoli, acque sotterranee e ambiente lagunare. Il modello proposto è di tipo "ambientale", in quanto considera anche elementi ambientali e territoriali tra i bersagli della contaminazione, non limitandosi unicamente ai bersagli umani come invece tipico dei modelli concettuali strettamente finalizzati all'analisi di rischio sanitario-ambientale, normalmente svolta sui siti contaminati.

Data la notevole estensione areale del sito indagato e la sua eterogeneità ambientale e insediativa, con l'intento di individuare e distinguere aree che, alla luce delle informazioni al momento disponibili, hanno manifestato un differente livello di contaminazione o, comunque, presentano una differente esposizione a fenomeni di inquinamento, si è, inoltre, ritenuto opportuno pervenire, in questa sede, all'individuazione di aree di minori dimensioni, identificate come "sub-aree omogenee". Tali sub-aree sono state individuate rispetto ad una molteplicità di indicatori di carattere ambientale ed urbanistico-insediativo. La metodologia seguita a tale scopo è descritta al paragrafo 8.5.

8.2 Sorgenti potenziali di contaminazione

Le sorgenti primarie di contaminazione identificabili nell'area sono macroscopicamente riconducibili alla presenza degli insediamenti industriali. Nel Sito di Macchiareddu sono infatti insediate rilevanti realtà produttive che hanno avuto un significativo impatto sul territorio e sull'ambiente; a tali stabilimenti deve aggiungersi una fitta rete di altre piccole e medie imprese, operanti principalmente nei settori dei servizi e del commercio.

Tra le attività produttive principali e minori presenti nel sito industriale di competenza del CACIP, sono state identificate quelle che possono costituire dei centri di pericolo. Il criterio

generale che ha orientato l'individuazione di tali centri di pericolo è basato, da un lato, sulla valutazione quali-quantitativa di alcune caratteristiche relative alle attività produttive prese in esame dall'altro sulla storia dei processi, con particolare riferimento al manifestarsi, in passato, di importanti fenomeni di contaminazione (p.e. oleodotto Syndial). Tra i fattori quali-quantitativi presi in esame si segnalano: l'estensione sul territorio degli insediamenti produttivi, la tipologia degli impianti, la tipologia dei materiali e delle sostanze utilizzate nell'ambito dei cicli produttivi, la presenza, tra le diverse tipologie di sostanze impiegate nei cicli produttivi, di potenziali contaminati pericolosi e persistenti nell'ambiente.

Con tali presupposti i centri di pericolo principali, chiaramente individuabili all'interno del Sito in esame (Tavola 10), possono ricondursi agli insediamenti produttivi prettamente di tipo industriale, quali la Bridgestone Metalpha Italia S.p.A., la Fluorsid e la Syndial (ex Enichem) nonché ad attività di possibile minor impatto, ma che per tipologia di produzione sono comunque considerate fonti potenziali di contaminazione di suolo e acque sotterranee, come le realtà produttive di INEOS, Papiro Sarda e Sanac Vesuvius.

Anche alla luce dei riscontri analitici disponibili, le famiglie di contaminanti potenzialmente attese nelle matrici ambientali sono rappresentate dai metalli, dagli idrocarburi alifatici clorurati, cancerogeni e non, dagli idrocarburi e dagli idrocarburi aromatici.

I centri di pericolo che possono disperdere nell'ambiente i metalli sono ubicati principalmente nel settore settentrionale dell'area di studio e corrispondono alle realtà produttive della Nuova Mineraria Silius (esterna al sito di Macchiareddu), della Bridgestone, della Fluorsid, della Papiro Sarda e di Syndial Area-Impianti e Area Esterna. In particolare all'interno dell'Area Impianti Syndial sono individuati come potenziali sorgenti primarie di metalli l'impianto di cloro-soda (sorgente di mercurio), gli ex impianti di produzione del polietilene a bassa ed alta densità e alcune aree adibite a deposito e scarica di materiali legati ai cicli produttivi. Nel settore meridionale del Sito si evidenzia come potenziale sorgente di metalli l'area, di proprietà CACIP, dove è ubicata la piattaforma polifunzionale di trattamento e smaltimento gestita dalla Tecnocasic S.p.A., dotata di impianti di depurazione acque reflue, trattamento rifiuti urbani e industriali e termovalorizzazione.

Le sorgenti primarie di idrocarburi sono associabili principalmente a pregresse attività di Syndial (produzione di cloruro di vinile monomero, PVC, acrilonitrile, etilene e polietilene a bassa ed alta densità) e ad aree, sempre di titolarità Syndial, adibite a deposito di materie prime (Area-Deposito Costiero) nonché a piattaforme di carico e scarico di materie prime e prodotti finiti. La Sanac-Vesuvius e Ineos sono ulteriori centri di pericolo individuati come potenziali sorgenti di idrocarburi.

Le potenziali sorgenti primarie di idrocarburi clorurati alifatici clorurati, cancerogeni e non, sono principalmente riferibili a tutte le fasi dell'intero ciclo produttivo del Dicloroetano di Syndial: produzione al trasporto attraverso l'oleodotto e stoccaggio temporaneo nell'Area Deposito Costiero. I centri di pericolo individuati come potenziale sorgente di questi contaminanti organici sono gli impianti attivi di Dicloroetano e di acido cloridrico e quelli dismessi di cloruro di vinile monomero e PVC, l'Area Esterna di Syndial, l'Area-Deposito

Costiero e quella denominata Radice Pontile. Gli idrocarburi alifatici possono potenzialmente essere rilasciati nell'ambiente non solo dai centri di pericolo di Syndial ma anche da dalle attività di Ineos e Papiro Sarda.

I centri di pericolo che possono dar origine alla dispersione di idrocarburi aromatici possono individuarsi negli impianti e nelle aree di stoccaggio dismesse dell'Area Impianti di Syndial (ciclo produttivo della Trielina e Percloroetilene), nelle vasche di scarico rifiuti dell'Area- Esterna di Syndial, nell'oleodotto Syndial e nella Sanac-Vesuvius. Ai centri di pericolo primari si aggiungono, come potenziali sorgenti di aromatici, anche le officine meccaniche.

In definitiva, sulla base della tipologia predominante dei potenziali contaminanti, è possibile individuare due insiemi di centri di pericolo principali che si contraddistinguono per essere probabili sorgenti di metalli o di composti organici di sintesi. Tutte le aree occupate da strutture Syndial possono generare una potenziale contaminazione da composti organici, in particolare da composti aromatici, alifatici clorurati, cancerogeni e non, e idrocarburi, associati talvolta a mercurio; per contro le zone di pertinenza Fluorsid, Bridgestone e Nuova Mineraria Silius (esterna al Sito di Macchiareddu) possono essere correlate principalmente ai metalli.

Oltre ai centri di pericolo primari, ai fini di una esaustiva ricostruzione del modello concettuale, sono da tenere in considerazione le matrici ambientali potenzialmente contaminate, che rappresentano sorgenti secondarie di contaminazione. Ai fini di una corretta comprensione dei fenomeni di trasporto degli inquinanti, inoltre, è necessario tener conto della presenza di sistemi volti alla prevenzione o riduzione della dispersione nell'ambiente delle sostanze inquinanti eventualmente originatesi dai predetti centri di pericolo. Le esistenti opere di messa in sicurezza di emergenza (MISE) e quelle di messa in sicurezza permanente (MISP) rappresentano esempi di tali sistemi. Una sintetica descrizione di tali interventi è riportata al paragrafo 7.2.

8.3 Percorsi di migrazione degli inquinanti

I percorsi di migrazione dei potenziali contaminanti nel sito oggetto di studio sono funzione essenzialmente delle proprietà chimico-fisiche delle sostanze considerate e del mezzo fisico in cui i contaminanti si muovono (suolo, sottosuolo, acque sotterranee, acque fluviali, sedimenti e aria).

Nel modello concettuale proposto in via preliminare, le sorgenti secondarie di contaminazione sono individuabili localmente nelle matrici suolo-sottosuolo e acque sotterranee. In generale, le vie di migrazione per gli inquinanti presenti nel suolo-sottosuolo e nelle acque sotterranee sono le seguenti:

Suolo – Sottosuolo:

- migrazione verso l'atmosfera per sollevamento di polveri;
- percolazione, processi di dissoluzione e lisciviazione verso le acque sotterranee;
- volatilizzazione nell'atmosfera (indoor e outdoor);

- volatilizzazione nel gas interstiziale.

Acque sotterranee:

- trasporto avvevivo e diffusione in falda con recapiti principali individuabili nel mare e nelle acque superficiali;
- volatilizzazione nell'atmosfera;
- volatilizzazione nel gas interstiziale.

Non tutte le vie di migrazione sopra elencate assumono la stessa importanza, in quanto estremamente sito specifiche.

Per il sito in oggetto sono identificati, nel proseguo, i percorsi di migrazione associabili alle sostanze che, sulla base dell'interpretazione dei risultati di indagini pregresse, sembrano manifestare concreta possibilità di superamento delle rispettive CSC.

Con tali presupposti, vengono più oltre individuate e descritte le principali vie di migrazione che possono trasportare i contaminanti dalle sorgenti secondarie ai bersagli.

Vie di migrazione dalla sorgente secondaria suolo (topsoil):

La contaminazione da metalli, riscontrata principalmente presso gli stabilimenti industriali ubicati nel settore centrale dell'area di studio, può potenzialmente migrare verso l'atmosfera e le acque sotterranee.

Fenomeni di migrazione verso l'atmosfera per sollevamento di polveri possono verificarsi frequentemente nel sito industriale in virtù della sua esposizione ai venti predominanti provenienti dai settori occidentale e nord occidentale, con particolare ricorrenza del maestrale (NW). Durante la stagione estiva si registrano frequenze significative dei venti dai settori orientale e sud-orientale, ovvero levante e scirocco.

La migrazione verso le acque sotterranee può avvenire attraverso processi di dissoluzione e lisciviazione dei contaminanti.

Un'ulteriore via di migrazione per i metalli è legata ai fenomeni di dilavamento superficiale, con relativa erosione del suolo, che possono verificarsi, in particolare, in concomitanza con eventi meteorici di forte intensità.

La contaminazione da composti organici (idrocarburi pesanti, alifatici clorurati cancerogeni e non, IPA), che caratterizza prevalentemente il settore centro-orientale del sito, può migrare verso altri comparti ambientali attraverso i seguenti processi:

- percolazione verso le acque sotterranee;
- volatilizzazione nell'atmosfera, soprattutto gli alifatici clorurati;
- migrazione verso l'atmosfera per sollevamento di polveri, in particolare per gli IPA.

Vie di migrazione dalla sorgente secondaria terreno superficiale e profondo:

In base ai riscontri disponibili, nel sottosuolo sono localmente individuabili sorgenti secondarie di metalli, in particolare nella porzione settentrionale del sito, e di composti organici quali gli idrocarburi pesanti e gli alifatici clorurati cancerogeni e non (diclorometano, tricloroetano).

Per i contaminanti individuati, in funzione delle loro caratteristiche fisico-chimiche, è verosimile una migrazione verso le acque sotterranee attraverso processi di percolazione, dissoluzione e lisciviazione.

La problematicità dei composti organici è amplificata, oltre che dalle loro caratteristiche di persistenza, dalle possibilità di migrazione a seguito di volatilizzazione nell'atmosfera e nei gas interstiziali.

Vie di migrazione dalla sorgente secondaria acque sotterranee:

Nelle acque sotterranee la contaminazione da metalli può migrare per trasporto in falda verso il recapito naturale del corpo idrico. Le informazioni geologiche ed idrogeologiche disponibili sul sito di Macchiareddu consentono chiaramente di individuare nella Laguna di Santa Gilla e nel mare i principali ricettori della contaminazione veicolata dalle acque di falda. Nel settore nord dell'area di studio le acque sotterranee possono, inoltre, confluire nel Flumini Mannu che, nel suo ultimo tratto, risulta un elemento drenante.

La contaminazione da composti organici (composti organici aromatici, alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni, alifatici alogenati cancerogeni) è anch'essa destinata a raggiungere i recapiti finali rappresentati dal sistema umido e dal mare. Per questi contaminanti, in particolare per gli aromatici e gli alifatici clorurati cancerogeni e non, possono verificarsi processi di migrazione dalle acque sotterranee per volatilizzazione nell'atmosfera e nei gas interstiziali.

8.4 Potenziali recettori degli inquinanti

Per completezza di analisi, in relazione ai potenziali bersagli della contaminazione, il presente documento prende in considerazione non solo ricettori umani, ma anche altri elementi ambientali che risultano esposti alla contaminazione ed ai rischi ad essa connessi.

Va comunque sottolineato, a tale proposito, che, ai fini dell'eventuale esecuzione di un'analisi di rischio sanitaria, i bersagli della contaminazione da considerare saranno esclusivamente umani.

I potenziali ricettori sono differenziati in funzione:

- della loro localizzazione: infatti nell'analisi si devono prendere in esame tutti i recettori umani compresi nell'area logica di influenza del sito potenzialmente contaminato. In tale ambito, si definiscono bersagli *on-site* quelli posti in corrispondenza della sorgente di

contaminazione, e bersagli *off-site* quelli posti ad una certa distanza da questa.

- della destinazione d'uso del suolo; le tipologie di uso del suolo, sono differenziate in:
 - industriale/commerciale, a cui corrispondono bersagli esclusivamente adulti;
 - residenziale, a cui corrispondono bersagli umani sia adulti che bambini;
 - ricreativo, a cui corrispondono bersagli umani sia adulti che bambini.

Nello scenario di esposizione Commerciale/Industriale gli individui esposti al maggior rischio di contaminazione sono i lavoratori presenti nel sito, i quali risulterebbero esposti alla contaminazione con frequenza praticamente giornaliera. Svolgendo attività fisiche impegnative i lavoratori presenti in sito saranno maggiormente esposti a determinate vie di migrazione.

Uno scenario di esposizione è residenziale quando al suo interno sono presenti delle abitazioni che sono, o potranno essere, abitate. In tal caso, i residenti sono in frequente contatto con gli inquinanti presenti, l'assunzione di sostanze inquinanti è giornaliera e a lungo termine con possibilità quindi di generare elevati rischi di esposizione.

Con l'accezione di destinazione d'uso ricreativo si intende definire un qualsiasi terreno con presenza saltuaria e temporalmente limitata di persone che svolgono una qualunque attività esterna.

Al fine di localizzare correttamente i bersagli, sono state reperite specifiche informazioni riguardanti l'area oggetto di indagine, relative in particolare a:

- l'uso del sito attuale e la destinazione d'uso prevista dallo strumento urbanistico;
- l'uso del suolo nell'intorno del sito (residenziale, industriale, commerciale, ricreativo);
- la presenza di pozzi ad uso idropotabile;
- la distribuzione della popolazione residente e delle altre attività antropiche.

E' opportuno specificare che, qualora i risultati delle indagini previste dal presente Piano, rivelassero la necessità di da seguito ad un'analisi di rischio sito specifica, il calcolo della Concentrazione Soglia di Rischio (CSR) e quindi la definizione degli obiettivi di bonifica (da effettuare mediante l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio in modalità inversa) dovrà essere effettuato in funzione della sorgente di contaminazione, del bersaglio considerato, ma soprattutto delle vie di migrazione che vengono attivate, tenuto conto della specificità dell'area, e che potranno, pertanto, variare in considerazione dell'eterogeneità delle caratteristiche ambientali del Sito che forma oggetto del presente Piano.

Relativamente ai bersagli di tipo ambientale, il più rilevante è certamente lo **Stagno di Santa Gilla**. Il sistema stagnale è distinguibile in tre settori: settentrionale, centrale e meridionale.

Il settore settentrionale, posto allo sbocco dei principali corsi d'acqua confluenti nella Laguna di Santa Gilla (Flumini Mannu e Rio Cixerri), è un bersaglio della contaminazione chimica

proveniente dalle sorgenti secondarie e dai centri di pericolo posti all'estremo nord dell'area di studio. In questo settore possono depositarsi, per i venti predominanti occidentali – nordoccidentali, le polveri potenzialmente contaminate da metalli sollevate dal suolo e le particelle di suolo potenzialmente inquinato trasportate per fenomeni di ruscellamento superficiale; inoltre detto settore stagnale è recapito dei sedimenti potenzialmente contaminati da piombo e zinco trasportati dai corsi d'acqua Flumini Mannu e Rio Cixerri. A tali flussi di contaminanti si aggiunge la potenziale contaminazione dell'acqua di falda drenata dai corsi d'acqua sopra citati.

Il settore centrale dello Stagno di Santa Gilla è esposto alla contaminazione che caratterizza l'agglomerato industriale di Macchiareddu, sede di importanti centri di pericolo primari come l'Area Impianti ed Esterna di Syndial, contigui al margine lagunare. Le sorgenti secondarie di contaminazione, per questo bersaglio, sono rappresentate dalle acque di falda, contraddistinte da elevate concentrazioni di composti organici, e localmente dal suolo-sottosuolo. Le vie dirette di contaminazione per questo bersaglio sono costituite dal recapito finale in Laguna delle acque di falda inquinate, dalla deposizione di polveri a seguito del sollevamento dal suolo per i venti predominanti (occidentali – nord occidentali) e dal trasporto per ruscellamento di particelle di suolo potenzialmente contaminate.

Il settore meridionale dello stagno è il bersaglio ambientale dei centri di pericolo principali ubicati e allineati lungo il suo margine occidentale. Le sorgenti secondarie di contaminazione sono rappresentate da suoli e acque sotterranee. Le vie dirette di contaminazione per questo bersaglio sono le stesse del settore centrale.

Nell'ambito del bersaglio ambientale "Stagno di Santa Gilla" si possono individuare nelle comunità di organismi bentonici i recettori principalmente esposti all'inquinamento dei sedimenti.

Ulteriore bersaglio ambientale di significativa importanza è lo **stagno di Capoterra**, ubicato nell'estrema porzione meridionale del Sito di studio. Si tratta di una importante zona umida, separata dal mare da un cordone litorale, facente parte dell'articolato complesso lagunare di Santa Gilla. Lo stagno è un bersaglio diretto dei centri di pericolo che lo delimitano a nord est (Oleodotto e Radice Pontile di Syndial).

Elementi di rischio diretti sono rappresentati dai potenziali sversamenti di materie prime o prodotti finiti che potrebbero verificarsi dai sopra citati centri di pericolo. Dalle sorgenti secondarie, individuate nel settore meridionale del sito in esame, la potenziale contaminazione può giungere a questo bersaglio attraverso il trasporto delle acque di falda che recapitano nello stagno e con la deposizione di polveri a seguito del sollevamento dal suolo per i venti predominanti (occidentali – nordoccidentali). Il Rio Santa Lucia contribuisce all'apporto di potenziale di contaminazione attraverso il trasporto di sedimenti potenzialmente contaminati da cadmio.

Tra i potenziali bersagli ambientali va annoverato certamente il **Flumini Mannu**, che rappresenta il più importante corso d'acqua della Sardegna meridionale. Per l'acquifero sedimentario plio-pleistocenico del Campidano il corso d'acqua risulta un elemento

alimentante nella parte più settentrionale (conoide) e drenante nel tratto successivo.

La contaminazione può giungere al fiume per fenomeni di ruscellamento superficiale sui suoli potenzialmente contaminati.

La riscontrata presenza di potenziale contaminazione di piombo e zinco nei sedimenti fluviali è testimonianza dell'attuarsi del processo fisico sopra citato, il cui effetto è principalmente attribuibile, peraltro, a centri di pericolo esterni al Sito in esame.

Le medesime considerazioni possono esprimersi per il **Rio Cixerri**.

Il **Rio Santa Lucia**, corso d'acqua a carattere prevalentemente stagionale, ha origine dai rilievi ad ovest di Capoterra e correndo in direzione nord-ovest – sud-est giunge a riversare le sue acque nello stagno di Capoterra, dove confluisce a termine di un tratto incanalato artificialmente a partire dall'abitato di Capoterra. Dalle sorgenti secondarie di potenziale contaminazione, individuate nel settore meridionale del sito in esame, le vie di migrazione che possono essere attive si riferiscono alla ricaduta di polveri sollevate dai venti predominati e ai fenomeni di ruscellamento superficiale sui suoli.

Dalle indagini idrogeologiche disponibili il Rio Santa Lucia non risulta essere un elemento drenante della falda che quindi, sebbene contaminata, non è da considerarsi sorgente per questo bersaglio.

Le **aree agricole**, classificate dal PRT CACIP come “verde agricolo speciale di rispetto”, sono presenti in una porzione del territorio del SIN oggetto della più recente sub-perimetrazione di dettaglio da parte della Regione Sardegna, pari al 10,6% dell'area totale, e sono dunque considerate come bersagli rilevanti. Dalla sorgente secondaria suolo la potenziale contaminazione può migrare nelle aree appartenenti alla zona agricola per trasporto e successiva deposizione di polveri da parte dei venti. Dalla sorgente secondaria acque di falda la contaminazione può essere dispersa sui suoli agricoli attraverso l'utilizzo di pozzi irrigui presenti in quest'area.

Preso atto della presenza di **pozzi ad uso idropotabile** nel settore in esame (cfr. par. 6.3.6.3), anche in base alle risultanze delle campagne di indagine attuate nell'ambito del Progetto RAS, gli stessi debbono necessariamente ascrivere tra i potenziali bersagli ambientali. Peraltro la più recente campagna di indagine condotta dal CACIP (cfr. par. 7.3) sembrerebbe escludere la sussistenza di potenziali fenomeni di contaminazione delle acque sotterranee in tale ambito dell'area industriale.

In particolare si segnala come, in prossimità dei pozzi di loc. *Tanca Sa Turri*, precisamente a una distanza di circa 50 metri e 115 metri a NE rispettivamente da un pozzo ad uso idropotabile privato e da uno ad uso acquedottistico, un punto della rete di monitoraggio RAS (piezometro ASPz22), caratterizzato da una profondità simile a quella dei pozzi a uso idropotabile, non abbia fatto registrare alcun superamento delle CSC. Per l'ubicazione dei pozzi a uso idropotabile, si veda l'allegata Tavola 15

8.5 Suddivisione del Sito in sub-aree omogenee

8.5.1 Obiettivi generali

In continuità con l'approccio metodologico adottato nell'ambito del Progetto della Regione Sardegna concernente il monitoraggio dei siti inquinati, e nella prospettiva di orientare i criteri di pianificazione ed attuazione delle indagini ambientali di dettaglio nel sito di Macchiareddu, il presente PdC ha come obiettivo primario l'individuazione e la partizione dell'area di studio in sub-aree, o "comparti", che possano ragionevolmente ritenersi omogenei sotto il profilo ambientale ed urbanistico-insediativo; ciò al fine di suggerire una specifica calibrazione del piano di indagini per specifica porzione territoriale, in armonia con i più generali obiettivi di razionalizzazione delle attività di caratterizzazione citati in premessa (cfr. cap. 3).

In tal senso, traendo spunto dalle considerazioni suggerite dal documento "*Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati*" (APAT, 2008), la seguente analisi ha assunto come informazione centrale le risultanze delle campagne di indagine delle matrici ambientali, condotte secondo i canoni del Titolo V - parte quarta del D.Lgs. 152/06, affinando il concetto di "poligoni di influenza" introdotto nel citato manuale APAT, legato all'uso dei poligoni di Voronoi. Quanto sopra, avuto riguardo della eterogeneità delle componenti strutturali dell'ambiente (in senso esteso) e delle variegate condizioni d'uso che lo caratterizzano.

Il successivo processo di contestualizzazione delle regioni di spazio scaturite dalle procedure di analisi territoriale più oltre descritte, mira in modo principale a produrre un risultato "pianificatorio" immediatamente fruibile e dotato di un chiaro significato geografico, capace di rispecchiare le caratteristiche ambientali dei luoghi; questo risultato non si sarebbe, evidentemente, potuto ottenere mediante l'applicazione pedissequa dei risultati ricavati da metodi analitici, per quanto raffinati.

Stante la complessità del sito di analisi, in cui coesistono realtà ambientali e insediative molto differenti tra loro, spesso in condizioni geografiche di estrema prossimità, si è ritenuto, infatti, di non poter affidare ad un semplice algoritmo di regionalizzazione (come ad esempio la partizione dell'area in poligoni di Thiessen) il compito di definire le suddette sub-aree. Le tecniche di regionalizzazione sono state intese, per contro, come strumento interpretativo indispensabile ad un'analisi geografica sintetica e trasversale rispetto alle molteplici informazioni riguardanti le principali caratteristiche geo-ambientali dell'area di studio. Tali informazioni di base hanno riguardato le caratteristiche dei terreni in funzione delle litologie presenti, le direzioni di deflusso in falda, la persistenza degli usi del suolo nel tempo e, su tutte, le tipologie di contaminanti e le concentrazioni in cui essi sono stati riscontrati nelle matrici ambientali.

Operativamente, per giungere alla perimetrazione delle sub-aree omogenee, il primo passo è stato suddividere l'area di studio in "aree di influenza" attraverso la scelta di opportuni "capisaldi" geometrici cui attribuire, secondo il principio della minima distanza, porzioni di territorio di cui si sono successivamente valutate le caratteristiche quantitative e qualitative di contaminazione ad esse ascrivibili.

A tali fini, nell'assumere l'impostazione metodologica generale adottata nel citato Progetto RAS, si è ritenuto utile prevedere un affinamento delle tecniche di regionalizzazione dell'area di studio, utilizzando procedure di *raster analysis*, capaci di dare conto di parte della complessità dei fenomeni in gioco, raffinando il concetto di "distanza" e superando alcune delle limitazioni di criteri operativi meramente geometrici (cfr. paragrafo 8.5.2).

Gli strati informativi così generati hanno guidato la successiva fase di contestualizzazione dei risultati sul territorio, rivelandosi un efficace strumento capace di fornire una "lettura" qualitativa dei fenomeni di contaminazione su base geografica. A tale scopo, le numerose informazioni a disposizione sono state sintetizzate in opportuni indici (cfr. par. 8.5.2) appartenenti sostanzialmente a tre famiglie: la prima tiene conto delle proprietà strutturali del territorio in esame, la seconda della stratificazione diacronica degli usi e la terza, e più importante, delle caratteristiche di qualità dell'ambiente, in funzione dei livelli di potenziale contaminazione riscontrati.

Gli indici appartenenti alle prime due famiglie hanno consentito di giungere, separatamente per la matrice acque sotterranee e per la matrice terreni, al risultato di due partizioni dell'area di studio, mentre la terza famiglia, sintetizzata da un indice opportunamente individuato (cfr. paragrafo 8.5.4), ha permesso la classificazione delle aree di influenza di ciascuna partizione secondo una categoria di "compromissione", definita in funzione delle evidenze analitiche evidenziate nelle campagne di indagine effettuate.

La perimetrazione delle sub-aree omogenee ha rappresentato il passo successivo alla classificazione delle "aree di influenza" dei capisaldi geometrici, operata sia per la matrice terreni che per la matrice acque sotterranee. Tale fase è il risultato di un processo di analisi che, partendo dalle evidenze mostrate dall'elaborazione e dalla classificazione delle aree di influenza, racchiude informazioni e considerazioni di carattere geologico e strutturale dei luoghi, la stratificazione dei processi produttivi nel tempo, la conoscenza diretta del territorio in esame e l'analisi delle previsioni degli strumenti pianificatori.

Con tali presupposti, il processo di individuazione delle "aree di influenza" prima e delle "sub-aree omogenee" poi, di seguito proposto, è consistito in un'analisi incrociata di numerosi indicatori ambientali, ritenuti significativi ai fini di rappresentare l'esposizione di un sito a potenziali processi di contaminazione, o il suo grado di compromissione in relazione a tali fenomeni, configurandosi come fase propedeutica ad una progettazione calibrata e sito-specifica delle attività di indagine di dettaglio.

8.5.2 Aspetti metodologici per l'individuazione delle "aree di influenza"

8.5.2.1 Individuazione e descrizione dei criteri utilizzati¹²: aree di influenza, dai poligoni di Thiessen alla *cost distance analysis*

La metodologia di analisi, di seguito descritta in dettaglio, condivide i presupposti concettuali più generali sui quali basarsi per costruire le "aree di influenza" dei citati capisaldi spaziali, mentre si discosta da questi nei fondamenti teorici che la ispirano dal punto di vista operativo.

Il metodo usato dal citato studio RAS per l'individuazione delle sub-aree omogenee si fonda infatti sulla procedura di regionalizzazione tramite la delimitazione dei poligoni di Thiessen. Questi furono introdotti dal meteorologo americano Alfred H. Thiessen che sviluppò un metodo per stimare le condizioni climatiche medie in aree estese partendo dai dati forniti da un insieme di stazioni meteorologiche¹⁶.

Thiessen utilizzò, rendendolo operativo nel suo campo disciplinare, un concetto introdotto per la prima volta dal matematico russo George Voronoi, da cui la sostanziale intercambiabilità delle due denominazioni "poligoni di Thiessen" o "poligoni di Voronoi".

Una delle più accreditate definizioni presenti in letteratura è la seguente:

*"The formal definition of Thiessen polygons derives from topological relationships between points in a two dimensional (2D) space. Given a set of two or more distinct points in the Euclidean plane, we associate all locations in that space with the closest member of the point set with respect to Euclidean distance. The result is a division (tessellation) of the plane into a set of the regions associated with members of the point set. We call this tessellation the planar ordinary Voronoi diagram generated by the point set. The regions associated with each point are called ordinary Voronoi polygons (Thiessen polygons)."*¹⁷

Il fine di una simile suddivisione topologica è essenzialmente rispondere all'esigenza di definire, dato un insieme di punti in uno spazio continuo, quali porzioni dello spazio possono essere considerati di "pertinenza" di ciascun punto, in funzione di un dato fenomeno o processo, risultando più vicini ad esso che agli altri punti dell'insieme dato.

Le proprietà fondamentali che un poligono chiuso deve possedere per poter essere definito un poligono di Voronoi sono quindi due:

- Contenere uno e un solo punto dello strato informativo in input;
- Essere il luogo dei punti più vicini al corrispondente punto dell'insieme dato in input rispetto a qualunque altro punto dello spazio.

¹²Le immagini presenti nel paragrafo sono tratte dal sito ufficiale di supporto della ESRI (<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html>), dalla sezione dedicata al comando "cost distance". Nonostante le elaborazioni siano state condotte con il software Arcgis9.1 si è scelto di riportare le immagini relative al medesimo tool inserite nel nuovo manuale utente per la versione 10 per la maggiore chiarezza nel tracciare il percorso iterativo.

¹⁶ Per la precisione Thiessen utilizzò l'area del singolo poligono come "peso" per la corrispondente stazione nella determinazione delle precipitazioni medie nell'intera area di studio.

¹⁷Mu, 2009. "Thiessen Polygon", in Kitchin R. and Thrift N. (a cura di) International Encyclopedia of Human Geography (Vol. II, pp.231-236)

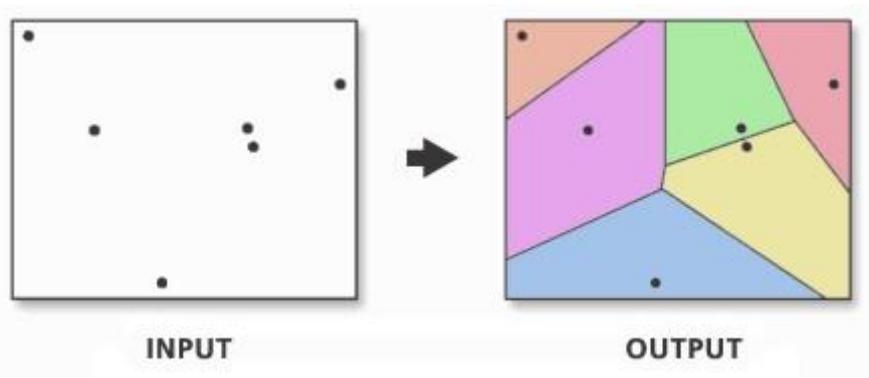


Figura 8-1: esempio di delimitazione di poligoni di Thiessen (fonte: ESRI)

Lo strumento dei poligoni di Voronoi presenta, se letto in funzione degli scopi del presente PdC, due limiti significativi relativi alle due entità in input: uno legato alle caratteristiche dello spazio relazionale e l'altro a quelle proprie dell'insieme dei punti.

Infatti lo spazio di riferimento è, nella definizione ordinaria, uno spazio astratto (euclideo, bidimensionale, neutro rispetto ai vari fenomeni, isotropo e piano) che mal si addice alla modellizzazione di processi legati a dinamiche complesse (come la potenziale attitudine di un sito a manifestare o trasferire fenomeni di contaminazione); inoltre, l'insieme dei punti è composto, sempre nella definizione ordinaria di poligono di Voronoi, da punti geometrici, privi per definizione di ogni caratteristica o attributo eccettuata la posizione nello spazio.

Risulta di sicuro interesse per gli scopi del presente studio il tentativo di superamento del principale tra i due limiti della metodologia, sopra evidenziati, conseguibile attraverso la costruzione di una procedura capace di tener conto della struttura e delle caratteristiche più rilevanti dello spazio, che la procedura di Thiessen si propone di suddividere in modo acritico. Si ritiene opportuno, in tal senso, affinare le considerazioni sul concetto chiave della trattazione di Voronoi (la distanza) attraverso l'implementazione di procedure basate sui concetti della *cost distance analysis*.

Questa tipologia di analisi ambientali ha nel concetto di "costo" il suo valore aggiunto, infatti il concetto di distanza non è più semplicemente legato a fattori geometrici ma contiene in sé anche informazioni complesse relative proprio a fenomeni dinamici attraverso quel particolare contesto ambientale: in una matrice "ostile" lo spostamento tra due punti avverrà con più "fatica" rispetto alla medesima situazione geografica riferita ad una matrice favorevole a tale fenomeno.

Il metodo utilizzato per queste analisi ha come fulcro il concetto di "costo di attraversamento" o "impedenza" delle matrici ambientali, che utilizzato per queste analisi è da intendersi come equipollente ad un "onere di transito".

Ragionando in senso operativo, in riferimento quindi all'ambiente software che è stato

utilizzato per le elaborazioni (ArcGIS 9.1), lo strumento più idoneo per il passaggio più sopra descritto è apparso essere il *tool* “*cost allocation*”. Questo algoritmo basa i suoi risultati su un altro algoritmo con cui condivide, infatti, la medesima procedura iterativa del *tool* “*cost distance*”; e il risultato che l'algoritmo produce è un raster in cui a ciascuna cella è assegnato il “costo” cumulativo per raggiungerla calcolato a partire dalla cella sorgente più vicina, al quale si aggiunge l'assegnazione di ogni cella alla sorgente più vicina secondo la valutazione della distanza pesata appena citata.

Il concetto di “costo” o impedenza delle matrici ambientali utilizzato per queste analisi (“onere di transito”), è assimilabile teoricamente ad un dispendio energetico, volto alla percorrenza sul territorio, che si rivelerà tanto maggiore quanto più sono avverse al moto le condizioni del mezzo in considerazione (lo spazio da attraversare).

Il primo algoritmo modella le celle elementari che compongono il raster dei costi secondo una rappresentazione nodo-connesione mutuata dalla teoria dei grafi: il centro geometrico di ciascuna cella è considerato un nodo e ogni nodo è connesso con gli altri otto nodi adiacenti mediante quattro connessioni nelle direzioni cardinali e altre quattro lungo le bisettrici a queste. Ogni connessione ha associato un valore di “impedenza” che è derivato sia dal costo associato a ciascuna cella (il valore del raster) sia dalla direzione del movimento attraverso le celle, quindi dall'insieme delle celle precedentemente attraversate, da cui il concetto di costo cumulativo. L'impedenza può rappresentare molteplici caratteristiche, a seconda del fenomeno modellizzato, ma la sua valutazione produce, come risultato dell'algoritmo, il calcolo di distanze pesate con il costo di attraversamento cumulativo, dando così conto di fenomeni dinamici in spazi bidimensionali non isotropi.

Il “costo” è così valutato in funzione del movimento attraverso le celle: il costo per cella è dato dalla dimensione della cella moltiplicato per il suo valore valutato dal raster dei costi.

Scendendo più in dettaglio, il costo di attraversamento tra due nodi adiacenti dipende, oltre che dalle caratteristiche appena enunciate, anche dalla disposizione reciproca dei nodi nello spazio.

Per i nodi adiacenti lungo le direzioni cardinali il costo per passare dall'una all'altra è calcolato come una media dei costi delle due celle secondo la formula:

$$C_{xy} = \frac{C_x + C_y}{2}$$

Con C_x = valore di impedenza della cella x; C_y = valore di impedenza della cella y; C_{xy} = costo totale del passaggio in direzione cardinale tra le celle x e y (valore dell'impedenza della connessione tra le due).

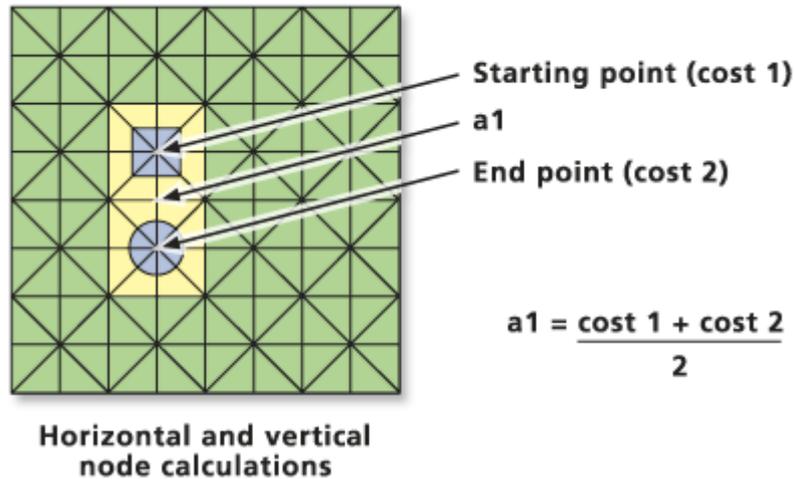
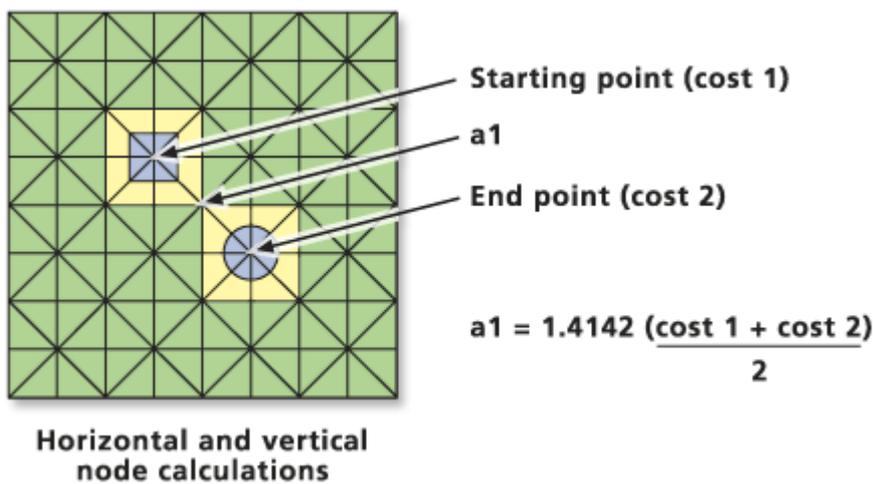


Figura 8-2: esemplificazione dell' algoritmo cost distance (fonte ESRI)

Per i nodi adiacenti secondo le bisettrici alle direzioni cardinali il valore di costo è valutato secondo il medesimo calcolo ma si tiene in considerazione l'incremento della distanza da percorrere per passare da una cella all'altra inserendo il fattore 1,414 (valore della diagonale di un quadrato di lato unitario, quindi valore della diagonale della generica cella in uno spazio in cui la dimensione delle celle è presa come unità di misura della distanza).



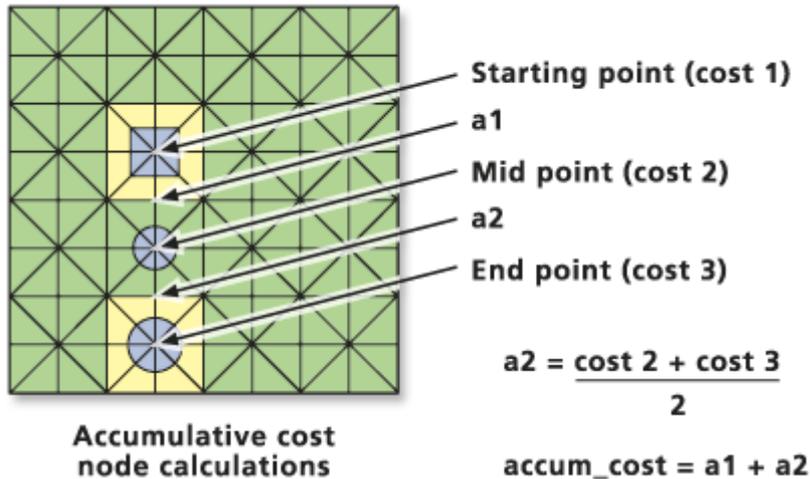
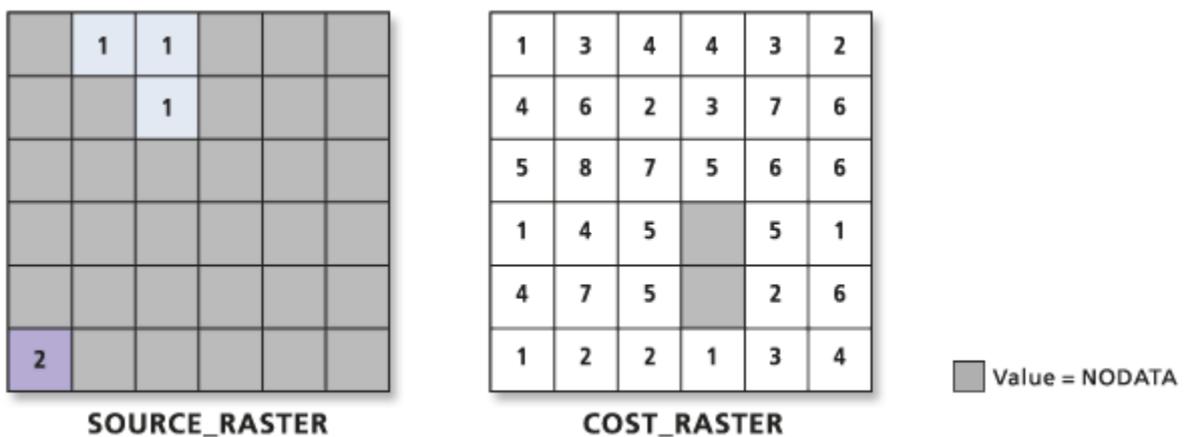


Figura 8-3: esemplificazione dell' algoritmo cost distance (fonte ESRI)

Il processo iterativo procede ripetendo i passi precedentemente descritti¹⁸; in ciascuna iterazione l'obiettivo è individuare le celle di minimo costo che diventano le celle sorgente per l'iterazione successiva.

Viene così calcolato il costo delle celle adiacenti e scelto il valore minimo. La seconda iterazione assumerà come celle sorgente non più quelle di origine ma quelle raggiunte con il minimo costo dopo il primo movimento rappresentato dalla prima iterazione, e così di seguito. Un esempio illustrativo, tratto dal manuale utente del software Arcgis 10, è più sotto riportato.



¹⁸ Nella prima iterazione alle celle sorgente viene assegnato il valore zero poiché in teoria non vi è nessun costo per ritornarvi.

2.0	0	0	4.0		
4.5	4.0	0	2.5		
	7.1	4.5	4.9		
2.5	5.7				
0	1.5				

INPUT_RASTER

Active accumulative cost cell list

1.5 2.0 2.5 2.5 4.0 4.0 4.5 4.5
4.9 5.7 7.1

- Value = NODATA
- Cells on active cost list
- Source cell

2.0	0	0	4.0		
4.5	4.0	0	2.5		
	7.1	4.5	4.9		
2.5	5.7	6.4			
0	1.5	3.5			

INPUT_RASTER

Active accumulative cost cell list

1.5 2.0 2.5 2.5 4.0 4.0 4.5 4.5
4.9 5.7 7.1

- Value = NODATA
- Cells on active cost list
- Source cell
- Allocated cells to cost distance
- New neighborhood cells to be added to active list

2.0	0	0	4.0		
4.5	4.0	0	2.5		
	7.1	4.5	4.9		
2.5	5.7	6.4			
0	1.5	3.5			

INPUT_RASTER

Active accumulative cost cell list

2.0 2.5 2.5 3.5 4.0 4.0 4.5 4.5
4.9 5.7 6.4 7.1

- Value = NODATA
- Cells on active cost list
- Source cell
- Allocated cells to cost distance

2.0	0	0	4.0	6.7	
4.5	4.0	0	2.5	7.5	
11.0	7.1	4.5	4.9	8.9	
5.0	7.5	10.5		10.6	
2.5	5.7	6.4			
0	1.5	3.5	5.0		

INPUT_RASTER

Active accumulative cost cell list							
4.9	5.0	5.0	5.7	6.4	6.7	7.1	7.5
7.5	8.9	10.5	11.0				

- Value = NODATA
- Cells on active cost list
- Source cell
- Allocated cells to cost distance
- New neighborhood cells to be added to active list

2.0	0	0	4.0	6.7	
4.5	4.0	0	2.5	7.5	
8.0	7.1	4.5	4.9	8.9	
5.0	7.5	10.5		10.6	
2.5	5.7	6.4		7.1	
0	1.5	5.5	5.0	7.0	

INPUT_RASTER

Active accumulative cost cell list							
5.0	5.0	5.7	6.4	6.7	7.1	7.5	
7.5	8.9	10.5	10.6	11.0			

- Value = NODATA
- Cells on active cost list
- Source cell
- Allocated cells to cost distance
- New neighborhood cells to be added to active list

2.0	0	0	4.0	6.7	9.2
4.5	4.0	0	2.5	7.5	13.1
8.0	7.1	4.5	4.9	8.9	
5.0	7.5	10.5		10.6	9.2
2.5	5.7	6.4		7.1	11.1
0	1.5	5.5	5.0	7.0	10.5

INPUT_RASTER

Active accumulative cost cell list							
7.1	7.1	7.5	7.5	8.0	8.9	9.2	
10.5	10.5	10.6	11.0	11.1			

- Value = NODATA
- Cells on active cost list
- Source cell
- Allocated cells to cost distance
- New neighborhood cells to be added to active list

2.0	0	0	4.0	6.7	9.2
4.5	4.0	0	2.5	7.5	13.1
8.0	7.1	4.5	4.9	8.9	14.5
5.0	7.5	10.5		10.6	9.2
2.5	5.7	6.4		7.1	11.1
0	1.5	3.5	5.0	7.0	10.5

INPUT_RASTER

Active accumulative cost cell list					
7.5	7.5	8.0	8.9	9.2	9.2
10.5	10.5	10.6	11.0	11.1	

- Value = NODATA
- Cells on active cost list
- Source cell
- Allocated cells to cost distance
- New neighborhood cells to be added to active list

2.0	0	0	4.0	6.7	9.2
4.5	4.0	0	2.5	7.5	13.5
8.0	7.1	4.5	4.9	8.9	14.5
5.0	7.5	10.5		10.6	9.2
2.5	5.7	6.4		7.1	11.1
0	1.5	3.5	5.0	7.0	10.5

INPUT_RASTER

Active accumulative cost cell list					
9.2	9.2	10.5	10.5	10.6	11.1
13.1	14.5				

- Value = NODATA
- Cells on active cost list
- Source cell
- Allocated cells to cost distance

2.0	0	0	4.0	6.7	9.2
4.5	4.0	0	2.5	7.5	13.1
8.0	7.1	4.5	4.9	8.9	12.7
5.0	7.5	10.5		10.6	9.2
2.5	5.7	6.4		7.1	11.1
0	1.5	3.5	5.0	7.0	10.5

INPUT_RASTER

Active accumulative cost cell list					
10.5	10.5	10.6	11.0	11.1	12.7

- Value = NODATA
- Cells on active cost list
- Source cell
- Allocated cells to cost distance

2.0	0	0	4.0	6.7	9.2
4.5	4.0	0	2.5	7.5	13.5
8.0	7.1	4.5	4.9	8.9	14.5
5.0	7.5	10.5		10.6	9.2
2.5	5.7	6.4		7.1	11.1
0	1.5	3.5	5.0	7.0	10.5

Cost distance output values

Figura 8-4: esempio di successione degli step della procedura iterativa dell' algoritmo cost distance (fonte ESRI)

Una volta effettuato questo calcolo il risultato dell' algoritmo di "cost allocation" identifica la sorgente più vicina, nel senso testé descritto, cui ogni cella può essere assegnata. Concettualmente il risultato è identico a ciò che si ottiene ragionando con i poligoni di Thiessen nella loro definizione canonica, con la significativa differenza che il concetto di distanza è qui valutato in funzione dell' "impedenza" che l' ambiente circostante le sorgenti geometriche offre al (teorico) allontanamento da queste: la vicinanza è espressa in termini di minimo costo cumulativo di spostamento.

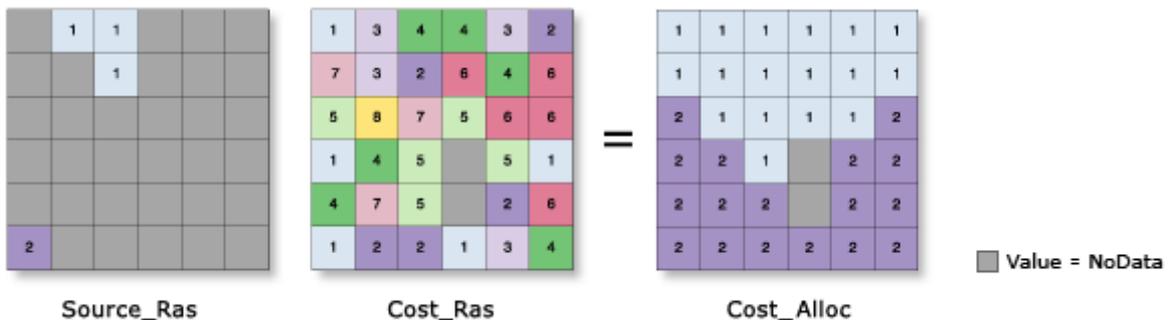


Figura 8-5: esempio di calcolo dell' algoritmo cost allocation (fonte ESRI)

8.5.2.2 Risultati attesi

Per il raggiungimento delle finalità più sopra esposte, il procedimento indicato consente un affinamento dello strumento dei poligoni di Thiessen ricalcolandoli con gli strumenti dell' analisi raster secondo una modellizzazione non più basata sull' ipotesi latente di isotropia dell' ambiente fisico ma considerandone la sua anisotropia, in termini di attitudine a manifestare, o trasferire, fenomeni di contaminazione.

Operativamente, applicando l'algoritmo descritto ai punti scelti come capisaldi senza introdurre un raster dei costi si ri-otterrebbero i poligoni di Thiessen; al contrario, definendo tale raster (intendendo così la modellizzazione di uno spazio di relazione per gli inquinati non isotropo) si ottiene un raster di output capace di porgere in modo chiaro le nuove porzioni territoriali concettualmente equivalenti ai poligoni di Thiessen ma valutati in uno spazio bidimensionale anisotropo.

Ai fini del presente PdC, considerando l'intento di superare la delimitazione di aree di influenza con il metodo geometrico dei poligoni di Thiessen, la caratteristica che si è scelto di modellizzare è, in senso esteso, la "vulnerabilità" rappresentata in pratica dalla capacità dell'area in esame di favorire potenziali fenomeni di migrazione degli inquinanti.

I due indicatori scelti a tale scopo, anche sulla base dei dati a disposizione, sono lo spessore dello strato non saturo e la conducibilità idraulica, che, racchiusi in un indice sintetico specificamente strutturato, rendono conto, in modo semplificato, della caratteristica ricercata. La "vulnerabilità" è stata quindi intesa come "esposizione" dell'acquifero alla migrazione dei contaminanti in falda (tanto maggiore quanto più è sottile lo strato non saturo) e capacità di spostamento dell'acqua sotterranea nel mezzo saturo (tanto maggiore quanto più è alta la conducibilità idraulica).

La "vulnerabilità", così modellizzata in modo semplificato, rappresenta di per sé l'esposizione della falda ai fenomeni di migrazione e propagazione dei contaminanti; per la particolare struttura di calcolo dell'algoritmo questa "vulnerabilità" deve essere invece ricondotta ad un "costo", si è quindi reso necessario ragionare nei termini opposti, modellizzando in definitiva una "impedenza" (intesa come "protezione" intrinseca della falda).

Ragionando solamente sulle due caratteristiche idrogeologiche appena citate si incorrerebbe però in alcuni problemi formali che non produrrebbero un risultato più rappresentativo rispetto a quello proposto dal metodo dei poligoni di Thiessen, rappresentanti acriticamente gli insiemi minimi di punti più vicini in linea d'aria al caposaldo di riferimento.

In pratica, per determinare le porzioni di territorio associate al singolo caposaldo, ragionando in funzione dell'impedenza sopra definita come base dell'analisi di *cost distance*, si giungerebbe ad ottenere aree tanto più ampie quanto più è bassa l'"impedenza" idrogeologica del contesto geografico. Tale criterio, che rende conto delle sole caratteristiche idrogeologiche del sito, sarebbe, se preso da solo, migliorativo rispetto alla rappresentazione del concetto di anisotropia.

Per contro, una corretta impostazione del problema richiederebbe una procedura capace di contestualizzarsi anche sulla "storia del sito". In tal senso, i capisaldi posti in aree potenzialmente "non contaminate", per intrinseche condizioni d'uso, dovrebbero essere rappresentativi di aree quanto più piccole possibile mentre le aree di influenza di capisaldi posti in zone "potenzialmente contaminate", per contiguità con centri di pericolo o insediamento di attività industriali, dovrebbero estendersi rispetto ai Thiessen, per "espandere" su contesti più ampi il livello di attenzione.

Il risultato atteso è quindi quello di una perimetrazione, rispetto ai Thiessen, più circoscritta (aree di influenza più piccole) nella prima delle situazioni citate (contesto agricolo) e più estesa (aree di influenza più grandi) nella seconda (contesto industriale).

Per risolvere tale problema e inserire nel modello la tipologia di usi del suolo, si è proceduto alla valutazione diacronica della persistenza degli usi produttivi che, sintetizzata in un indice opportunamente costituito, ha consentito di “pesare” il raster dell’impedenza “idrogeologica”. Tale accorgimento, come più oltre esplicitato, ha enfatizzato il “costo di attraversamento” nelle porzioni di territorio in cui gli usi risultano stabilmente agricoli per abbatterlo ove gli usi industriali sono, di contro, storicamente consolidati: nel primo caso l’impedenza è enfatizzata mentre nel secondo è diminuita.

8.5.3 Procedura operativa per l’individuazione delle “aree di influenza”

8.5.3.1 Capisaldi

Il primo passo del percorso metodologico seguito si riferisce alla determinazione delle aree di influenza per il quale è stato necessario individuare opportuni “capisaldi” geometrici, intorno ai quali costruire aree rappresentative. I set di punti da utilizzare a tale scopo sono stati due: uno per la matrice terreni e uno per la matrice acque sotterranee. Il raster dei costi utilizzato per la valutazione delle aree di influenza per i terreni e per le acque è il medesimo mentre variano, per le due matrici, i capisaldi cui attribuire le aree.

Per i terreni la scelta dei “capisaldi” da assumere come base per la procedura di analisi territoriale proposta, è ricaduta sui punti geometrici dei piezometri con campionamenti “profondi” realizzati nell’ambito del Progetto RAS, e consegue al fatto che il loro posizionamento discende da un’approfondita e rigorosa analisi ambientale e territoriale (vedasi documento RAS concernente la “Relazione sulla caratterizzazione ambientale dell’area di Assemini-Macchiareddu”), sostenuta dall’autorevolezza istituzionale ed indipendenza del soggetto promotore.

Nello strato di partenza contenente tali dati erano presenti una serie di “doppiette”, ossia coppie di sondaggi geograficamente distanti pochi metri, ma caratterizzate da profondità differenti, che sono state ricondotte a un solo punto coincidente con il sondaggio a maggiore profondità tra i due; questo perché, lo strato utilizzato acriticamente avrebbe restituito aree di influenza con almeno un confine distante alcuni decimetri da due capisaldi, situazione priva di alcun significato ambientale.

Per quanto attiene al processo di individuazione di “aree di influenza” relativamente alla matrice acque sotterranee, è stato assunto come set di capisaldi l’insieme costituito dai punti di prelievo della campagna di campionamento CACIP 2012, integrato da una selezione dei piezometri di indagine riferibili all’attuazione dei PdC da parte di soggetti diversi nel periodo

2008÷2011; la scelta è stata incentrata cautelativamente su quelli che hanno presentato le maggiori criticità. Va sottolineato come tale insieme risulti geograficamente sovrapponibile a quello dei capisaldi per la matrice terreni soltanto nei 18 punti scelti per la più recente campagna di campionamento CACIP, coincidenti con i piezometri RAS.

8.5.3.2 Raster di costi

L'indispensabile strato informativo necessario per portare a compimento la procedura sopra illustrata, funzionale all'assegnazione delle aree di minima distanza dai due set di punti scelti come capisaldi, è quindi il raster dei costi che deve rappresentare proprio le condizioni di anisotropia precedentemente evidenziate.

L'elaborazione di tale strato è avvenuta attraverso l'esplorazione del concetto di *vulnerabilità intrinseca degli acquiferi*, intesa quale suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi a "ingerire" e diffondere un inquinante idroveicolato, talvolta anche mitigandone gli effetti, tale da produrre impatto sulla qualità delle acque sotterranee nello spazio e nel tempo (Civita, 1987). Il concetto di vulnerabilità è stato opportunamente contestualizzato per l'area di studio. La vulnerabilità di un corpo idrico sotterraneo è funzione di vari parametri, tra i quali prevalgono la litologia, la struttura e la geometria del sistema idrogeologico.

Nel caso specifico, i criteri che si sono presi in considerazione sono tre: due ispirati dal particolare peso delle caratteristiche idrogeologiche nei fenomeni di contaminazione (sia storica che potenziale) e un terzo collegato alle principali caratteristiche che si è scelto di attribuire al presente PdC: la visione strategica e la struttura aperta.

Il primi criteri sono quindi legati alla valutazione delle potenzialità di migrazione degli inquinanti nella falda. L'intento dichiarato non è quello di modellizzare il fenomeno fisico di migrazione, ma bensì creare indicatori che, partendo da caratteristiche fisiche, possano dare conto dell'anisotropia discussa in precedenza. Si è così optato per la costruzione di due indicatori legati alle dinamiche di migrazione nel sottosuolo nelle due direzioni principali, verticale e orizzontale.

Per quanto riguarda il primo indicatore, esso è riferito all'effetto mitigatore della zona insatura, che rappresenta dunque la linea di difesa (dopo il suolo) del sistema acquifero verso gli inquinanti liquidi e/o idroveicolati. Infatti, rispetto al passaggio di questi ultimi, esso è la parte di sottosuolo compresa tra la base del suolo e la zona satura dell'acquifero, in cui l'acqua sotterranea si sposta prevalentemente con moto verticale; tale zona è limitata dalla superficie piezometrica di un acquifero libero. Lo spessore della zona non satura varia pertanto in base alle fluttuazioni stagionali della superficie piezometrica. Nell'area di studio, considerando che la falda è libera, lo spessore della zona insatura coincide con la profondità di soggiacenza della falda dal piano di campagna. Quest'ultimo è un parametro che ha una notevole influenza sulla vulnerabilità degli acquiferi: dal suo valore assoluto, unitamente alle caratteristiche idrogeologiche dell'insaturo, dipende in buona misura il tempo di transito di un qualsiasi inquinante idroportato e la durata delle azioni depurative dell'insaturo, in particolare dell'azione ossidante dell'ossigeno atmosferico (Civita e De Maio, 2000). Pertanto, nel

selezionare i dati da utilizzare per calcolare l'indice, si è considerato il valore medio di soggiacenza registrato tra le quattro campagne di misurazione RAS. Il raster dello spessore del non saturo (SNS) è stato dunque calcolato attraverso la seguente operazione algebrica tra raster nel software GIS:

$$\text{SNS} = \text{Quota del piano di campagna sistemato (DTM)} - \text{Livello piezometrico assoluto falda}$$

Il primo strato è stato elaborato a partire dal DTM passo 10m elaborato dalla RAS e derivante dai livelli informativi "curve di livello" e "punti quotati" del database topografico 10K, mentre il secondo è stato calcolato mediante interpolazione con il metodo dell'Inverse Distance Weighting dei valori mediati sulle quattro campagne di indagine RAS, eliminando quelli che presentavano scarti quadratici medi più elevati.

Nel raster di SNS risultante, laddove i valori di soggiacenza risultavano superiori alla quota del DTM (ad esempio in prossimità dello stagno, per via dell'approssimazione al metro del DTM), i valori di spessore del non saturo sono stati posti uguali a zero.

Il secondo indicatore ha la seguente struttura matematica:

$$10 \log_{10}\left(\frac{1}{K}\right);$$

dove K rappresenta la conducibilità idraulica dell'acquifero quindi la capacità di spostamento dell'acqua sotterranea nel mezzo saturo e, dunque, di un inquinante veicolato in falda. I dati di K utilizzati sono valori di letteratura per litotipi simili riportati per il metodo SINTACS da Civita e Di Maio (2000), e sono riepilogati nella Tabella 8-1, in cui i litotipi sono quelli attraversati nei sondaggi realizzati da RAS, Sarda Solar e Power Crop.

Le due grandezze scelte come indicatori, per essere correttamente inserite in un algoritmo di *cost distance*, devono essere espresse in modo da dare conto di una impedenza. Lo spessore dello strato non saturo (espresso in metri e con valore massimo pari a circa 30m nell'area di studio) è per la definizione data di "impedenza" rappresentativo di tale caratteristica mentre la conducibilità idraulica rappresenta il fenomeno opposto (una "facilità di migrazione") va quindi valutato il suo reciproco. Tale grandezza, nel caso specifico, ha un intervallo di variabilità che va da un valore minimo di poche centinaia a cinque ordini di grandezza in più per il valore massimo; da qui la scelta di considerarne il logaritmo in base dieci, che, insieme al fattore moltiplicativo dieci ha lo scopo di rendere numericamente confrontabili gli indici rappresentativi delle due grandezze scelte per modellizzare l'"impedenza".

Tabella 8-1: – Valori di conducibilità idraulica di letteratura utilizzati per il calcolo della carta della conducibilità idraulica

Litotipo	Conducibilità idraulica K (m/s)
ARGILLA LIMOSA	1E-9
ARGILLA E SABBIA	1E-6
ARGILLA	1E-9
ARGILLA SABBIOSA	1E-6
ARGILLA LIMOSA/SILTOSA, GHIAIOSA E/O SABBIOSA	1E-8
CONGLOMERATO: GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSA	1E-3
GHIAIA E SABBIA	5E-3
GHIAIA GROSSOLANA/GROSSA	5E-3
GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSA	4E-3
GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA	4E-3
GHIAIA SABBIOSA	1E-3
LIMO/SILT	1E-8
LIMO/SILT SABBIOSO	1E-6
LIMO/SILT GHIAIOSO O SABBIOSO (ML)	7E-8
LIMO/SILT GHIAIOSO E/O SABBIOSO A ELEVATA PLASTICITA	7E-8
LIMO/SILT ARGILLOSO, GHIAIOSO E/O SABBIOSO	7E-8
LIMO ARGILLOSO	1E-8
RIPORTO SUPERIORE	4E-4
SABBIA LIMO-ARGILLOSA	6E-5
SABBIA LIMOSA/SILTOSA	7E-5
SABBIA FINE	3E-3
SABBIA ARGILLOSA	6E-5
SABBIA GROSSOLANA/GROSSA	3E-3
SABBIA LIMOSA-GHIAIOSA	8E-5
SABBIA	3E-3
SABBIA CON GHIAIA E CIOTTOLI	1E-3
SABBIA LIMOSA CON GHIAIA E CIOTTOLI	8E-5

Per la costruzione della carta della Conducibilità Idraulica, si è calcolata la media pesata delle K indicate in per gli spessori dei vari strati delle stratigrafie dei sondaggi RAS, Sarda Solar e Power Crop, secondo la seguente formula:

$$K_{\text{media/sondaggio}} = \frac{K_i \cdot e_i}{\sum_1^n e_i}$$

dove:

K_i = conducibilità idraulica dello strato i-esimo (valori secondo la);

e_i = spessore strato i-esimo.

La carta della Conducibilità Idraulica è il risultato dell'interpolazione dei valori della media

pesata delle conducibilità idrauliche con il metodo *Inverse Distance Weighted*.

Per quanto concerne i dati utilizzati dei sondaggi RAS, si evidenzia che:

- erano presenti una serie di “doppiette”, ossia coppie di sondaggi distanti pochi metri, ma caratterizzate da profondità differenti, che sono state ricondotte a un solo punto, il cui valore di conducibilità media ponderata è dato dalla media aritmetica dei due valori originari e geograficamente coincidente con il sondaggio a maggiore profondità tra i due;
- per migliorare la coerenza delle informazioni contenute nel campione utilizzato per l'interpolazione, dato che la K è mediata con ponderazione pari alla potenza degli strati, sono stati considerati solo i sondaggi con profondità >10m;
- dal calcolo sono stati esclusi i valori riferiti a n 28 sondaggi, dei quali era disponibile una stratigrafia sommaria che individuava in generale in un unico strato di circa 15 metri un “deposito poligenico costituito da clasti eterometrici in matrice sabbioso-limosa”, senza differenziazione degli strati limosi evidenziati invece in altri sondaggi limitrofi. Ciò causava la formazione di picchi elevati di valori di conducibilità idraulica incongruenti rispetto ai valori più omogenei derivanti dai punti limitrofi, tali da falsare la distribuzione della conducibilità media ponderata tra i piezometri RAS.

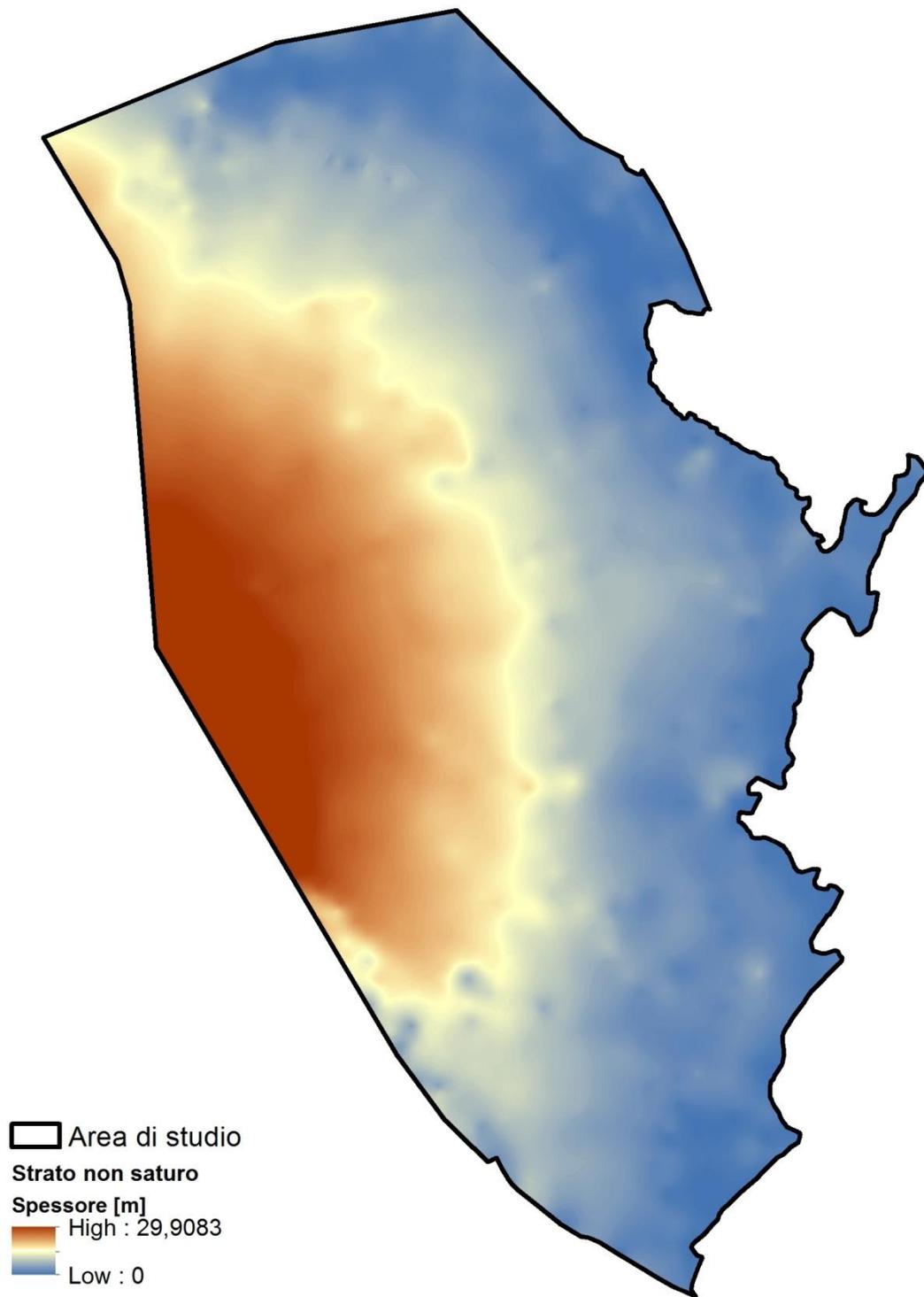


Figura 8-6: Rappresentazione geografica dell'indice SNS

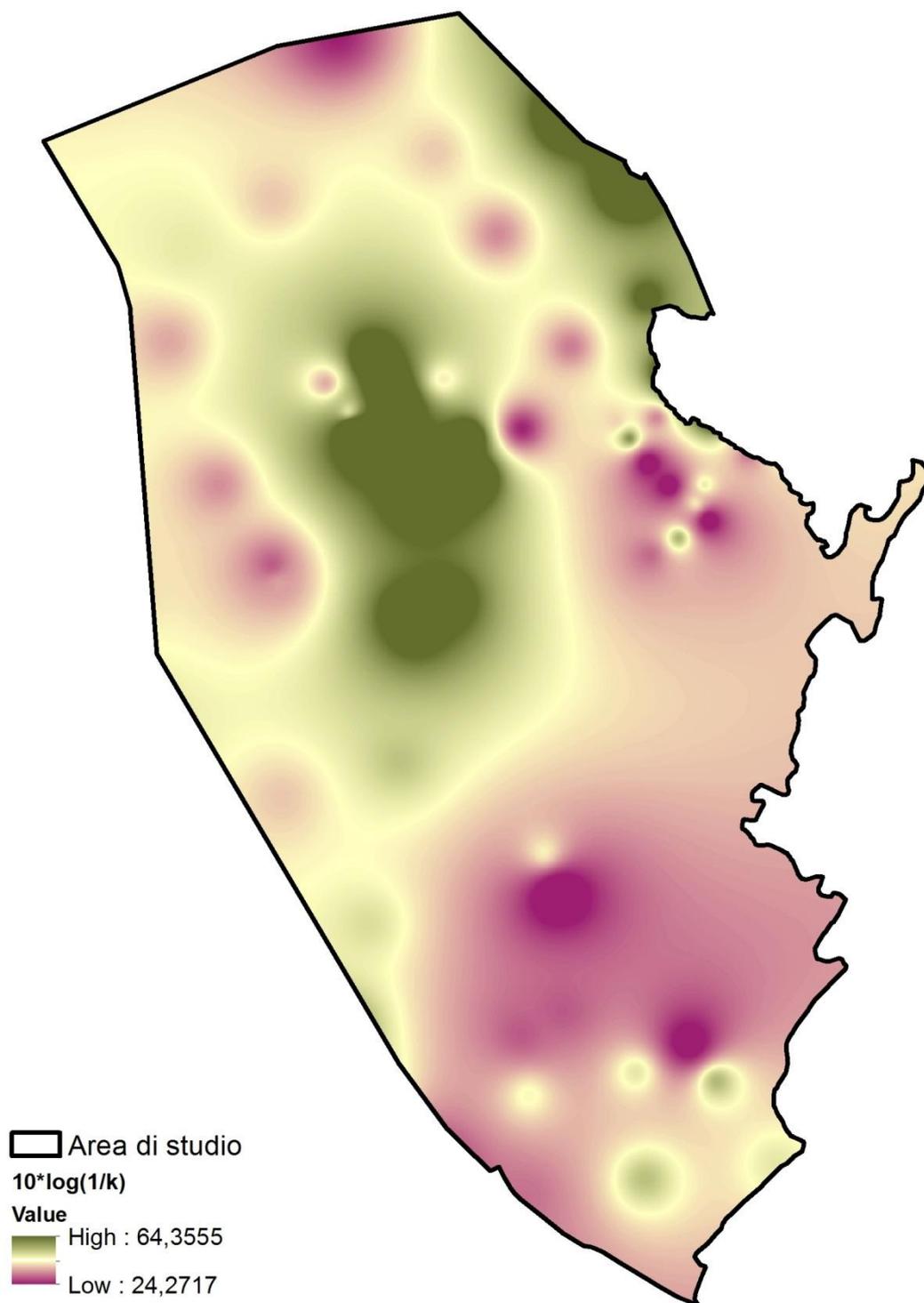


Figura 8-7: Rappresentazione geografica dell'indicatore correlato conducibilità K, associato al concetto di "impedenza". Ad aree a bassa conducibilità K è associato un maggior valore dell'indice.

Il terzo indicatore è stato costruito a partire dallo studio diacronico dell'uso del suolo e mira a dare conto della persistenza nel tempo degli usi del suolo nell'area di studio.

L'obiettivo è modellizzare uno degli aspetti peculiari del sito, cioè la coesistenza nell'area di studio di porzioni di territorio storicamente ed esclusivamente interessate da usi agricoli e di aree destinate, da vari decenni, agli usi industriali.

Operativamente, l'indicatore è stato costruito a partire dall'analisi delle condizioni di uso del suolo per gli orizzonti temporali 1954 (antecedente a qualunque trasformazione legata agli impianti industriali), 1977 (prima flessione della produzione petrolchimica legata alla crisi mondiale), 2000 (primi segnali della riconversione delle attività industriali), 2008 (orizzonte temporale delle ortofotocarte più aggiornate a disposizione).

Per ciascuno degli orizzonti temporali analizzati è stata prodotta una carta degli usi del suolo articolata in sei macroclassi; a ciascuna classe è stato assegnato un "peso". Il fatto che i valori siano sbilanciati mira proprio ad enfatizzare il consolidamento e la persistenza degli usi produttivi sul territorio (Tabella 8-2).

Tabella 8-2: Pesi assegnati alle macroclassi di usi del suolo

Macroclasse	Valore
Matrice dell'ecomosaico storico	0
Saline	2
Tessuto residenziale	2
Rete stradale	2
Aree estrattive	10
Tessuto produttivo	10



Figura 8-8: rappresentazione geografica dell'indice IPUP

La somma degli strati così riclassificati è stata ricondotta a sole quattro classi di persistenza degli usi (con valori crescenti da uno a quattro).

La relazione individuata, che lega tutti gli indicatori più sopra individuati al concetto di “costo” (C), nel procedimento di *raster analysis*, è la seguente:

$$C = \frac{SNS + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{K} \right)}{IPUP}$$

Lo spessore dell'insaturo e l'inverso della conducibilità idraulica esprimono, infatti, intrinsecamente il concetto di “impedenza” idrogeologica, ossia di minore vulnerabilità. La funzione logaritmica proposta discende da una mera esigenza di rendere i due termini al numeratore confrontabili. Il terzo strato informativo, ricavato dall'indice IPUP, è posto al denominatore per abbattere l'impedenza (ossia il valore del raster dei “costi”) laddove si sia in presenza di aree caratterizzate da usi industriali stabili. Al contrario, nel caso di aree stabilmente agricole, l'indice IPUP assume un valore pari ad uno e non produce correzioni nel loro livello di impedenza.

Il risultato del procedimento sopra indicato ha prodotto il *raster* dei costi implementato nella procedura di *cost allocation*, precedentemente descritta nel suo dettaglio operativo, finalizzata delimitazione delle aree di influenza dei due set di capisaldi per le matrici terreni e acque sotterranee.

8.5.4 Ripartizione delle “aree di influenza” in classi di compromissione

Il set di dati di qualità delle matrici ambientali che si è scelto di utilizzare si riferisce, per la matrice “terreno”, alle determinazioni analitiche eseguite nell'ambito del Progetto RAS, integrate in base alle risultanze disponibili delle campagne di indagine ambientale complessivamente condotte nel sito di Macchiareddu nel periodo 2008-2011 (PdC attuati da soggetti diversi), come più oltre descritto.

Relativamente alla qualità delle acque di falda, alla luce dei più recenti riscontri acquisiti sulla qualità delle acque sotterranee (cfr. par. 7.3.2), preso atto delle incertezze interpretative che gravano sui dati acquisiti nell'ambito del Progetto RAS, si è deciso di assumere come riferimento i dati della più recente campagna CACIP unitamente ai riscontri acquisiti nell'ambito dell'attuazione delle attività di caratterizzazione condotte in area CACIP nel periodo 2008-2011. Una tale impostazione, che prescinde dal considerare i dati RAS per la matrice acque sotterranee, può ritenersi giustificabile alla luce delle seguenti considerazioni:

- le risultanze delle attività di indagine ambientale condotte nell'ambito del Progetto RAS

hanno evidenziato un generale stato di compromissione della qualità delle acque di falda nel settore di Macchiareddu, attribuibile in modo particolare alla diffusa presenza di composti organoclorurati e organoalogenati. Peraltro, i riscontri analitici dei predetti composti sono caratterizzati, in alcune zone, da una significativa oscillazione dei valori (anche di alcuni ordini di grandezza) tra una campagna di monitoraggio e l'altra;

- tali oscillazioni nei valori rilevati si riflettono, talvolta, sullo stesso riscontro di eccedenze delle CSC;
- situazioni di contaminazione sarebbero state riscontrate anche in settori posti a monte idrogeologico dei centri di pericolo principali, nonché a distanze significative dagli stessi, laddove le indagini condotte in più recenti Piani di caratterizzazione e nella campagna di rilevamento CACIP del 2012 sembrerebbero aver escluso, in particolare, la presenza di inquinamento da composti organici di sintesi;
- la presenza dei predetti composti nei settori a monte idrogeologico rispetto ai CdP, mai interessati dall'insediamento di attività industriali, non appare ragionevolmente attribuibile a fenomeni di inversione della direzione di deflusso idrico sotterraneo conseguenti ad intense attività di emungimento, in ragione delle considerevoli summenzionate distanze dai centri di pericolo stessi;
- le analisi sulla matrice "terreni", nelle predette aree, hanno escluso qualunque contaminazione degli stessi ad opera dei predetti composti.

Muovendo dalla regionalizzazione del Sito secondo "aree di influenza" pertinenti ai capisaldi prescelti per ciascuna matrice ambientale (terreni e acque sotterranee; cfr. par. 8.5.2 e 8.5.3, Tavole 19, 20, 21, 24, 25, 26), si è proceduto al calcolo ed all'attribuzione, a ciascuna delle suddette aree, di un "indice di compromissione" per le matrici acque sotterranee e terreni capace di racchiudere, in modo semplificato e sintetico, informazioni quali-quantitative circa la problematicità delle situazioni di contaminazione eventualmente riscontrate nella specifica "area di influenza", riconducibili alla natura dei contaminanti nonché all'entità dei superamenti delle CSC rilevati. Con tali assunzioni l'indice di compromissione (I_c), distinto per la matrice terreni (T) ed acque sotterranee (F), è stato così definito per ciascuna area di influenza:

$$I_c = \sum_{i=1}^{N_{AS}} \left(\frac{C_{max_{Ai}}}{CSC_{Ai}} \right) \cdot \frac{1}{CSC_{Ai}} \quad \text{con}$$

N_{AS} = numero di analiti che hanno fatto registrare nella matrice ambientale di riferimento (T o F) superamenti della CSC nella specifica area di influenza;

$C_{max_{Ai}}$ = concentrazione massima registrata per l'i-esimo analita nella matrice ambientale di riferimento (T o F);

CSC_{Ai} = concentrazione soglia di contaminazione di cui al Titolo V, parte quarta del D.Lgs.

152/06 per l'i-esimo analita nella matrice ambientale di riferimento (T o F).

La struttura matematica tiene conto, da un lato, dell'entità del superamento della soglia limite registrato dall'i-esimo analita, valutando il fattore di superamento come rapporto tra la massima concentrazione misurata per lo specifico parametro e la rispettiva concentrazione soglia di contaminazione; dall'altro esprime, indirettamente e in modo semplificato, la problematicità ambientale dello specifico analita, inversamente proporzionale alla concentrazione soglia di contaminazione.

L'indice, pertanto, rappresenta la sommatoria delle massime eccedenze dei limiti tabellari riscontrati nella specifica area di influenza, normalizzate rispetto ai relativi valori di CSC, dove il peso attribuito a ciascun "fuori limite" dell'analita i-esimo è dato dall'inverso della rispettiva CSC.

Ai fini della definizione del set di dati da utilizzare per la determinazione degli indici di compromissione in ciascuna "area di influenza" (I_{CT} per la matrice T e I_{CF} per la matrice F, a loro volta suddivisi in rapporto alla natura dei contaminanti, organica o inorganica), come criterio generale si è optato per riferirsi ai dati di qualità ambientale disponibili nelle aree esterne ai siti che, per conclamata presenza di sorgenti di contaminazione localizzate, primarie o secondarie, possono ascrivere alla fattispecie di "centri di pericolo" (CdP) (Tavole 10 e 18). Ciò in ragione del fatto che si è ritenuto più appropriato depurare il dato di qualità ambientale da attribuire alla specifica "area di influenza" dai valori estremi riscontrati nei suddetti CdP.

In tal senso, assunto che l'obiettivo principale del presente documento è quello di definire le procedure di campionamento ed analisi delle matrici ambientali in corrispondenza delle aree non ancora sottoposte a processi di caratterizzazione, i dati di qualità delle matrici acque di falda e terreni, riferibili alle aree esterne ai CdP, sono stati ritenuti maggiormente rappresentativi nella prospettiva di operare una classificazione gerarchica delle regioni componenti il Sito da caratterizzare ("aree di influenza" di pertinenza dei capisaldi individuati) basata sulla sussistenza e problematicità delle situazioni di potenziale contaminazione in esse riscontrate. Tale impostazione, peraltro, non è stata rigidamente osservata nel caso della pipeline Syndial, in ragione del suo esteso sviluppo lineare, della problematicità e rilevanza dell'evento incidentale che l'ha caratterizzata e della significativa mole di riscontri analitici disponibili, ritenuti imprescindibili per una corretta interpretazione del modello concettuale del sito.

Una volta pervenuti alla determinazione dei valori degli "indici di compromissione" da attribuire a ciascuna "area di influenza" (in numero di 4 per "area di influenza": uno per la matrice "terreni" ed uno per quella "acque di falda", a loro volta ripartiti tra contaminanti organici e inorganici), si è proceduto ad una analisi delle frequenze dei valori assunti dai 4

parametri I_c ed alla determinazione di tre valori soglia di riferimento (I_{c1}, I_{c2}, I_{c3}), funzionali all'individuazione di specifiche categorie di compromissione per ciascuna matrice ambientale (T e F), corrispondenti rispettivamente ai quantili di ordini $1/4$ (frequenza cumulata 0.25), $2/4$ (frequenza cumulata 0.5), $3/4$ (frequenza cumulata 0.75). Sulla base di quanto sopra, le categorie di compromissione sono così definite:

Categoria 0: ricomprende le "aree di influenza" che fanno registrare "zero" eccedenze delle CSC e, conseguentemente valori di I_c uguali a zero;

Categoria 1: ricomprende le "aree di influenza" che si caratterizzano per $0 < I_c < I_{c1}$;

Categoria 2: ricomprende le "aree di influenza" che si caratterizzano per $I_{c1} < I_c < I_{c2}$;

Categoria 3: ricomprende le "aree di influenza" che si caratterizzano per $I_{c2} < I_c < I_{c3}$;

Categoria 4: ricomprende le "aree di influenza" che si caratterizzano per $I_c > I_{c3}$;

Per quanto espresso in precedenza, il procedimento conduce all'individuazione di distinte Categorie di compromissione in relazione alla specifica matrice ambientale (T o F) ed alla natura della contaminazione (organica o inorganica). In particolare, ciascuna area di influenza risulterà contrassegnata da quattro Categorie che ne quantificano sinteticamente lo stato di compromissione potenziale.

Sulla base della combinazione delle differenti Categorie di compromissione si è scelto di raggruppare le "aree di influenza" secondo le seguenti cinque "Classi di compromissione", distinguendo le matrici "acque di falda" e "terreni" (Tavole 22 e 27):

CLASSE 0 – Comprendenti le "aree di influenza" contrassegnate dalla Categoria 0 per contaminanti organici e inorganici (per acque di falda o terreni);

CLASSE 1 – Comprendenti le "aree di influenza" contrassegnate dalla Categoria 1 per contaminanti organici e/o dalle Categorie 1 e 2 per gli inorganici (per acque di falda o terreni);

CLASSE 2 – Comprendenti le "aree di influenza" contrassegnate dalla Categoria 2 per contaminanti organici e/o dalla Categoria 3 per gli inorganici (per acque di falda o terreni);

CLASSE 3 – Comprendenti le "aree di influenza" contrassegnate dalla Categoria 3 per contaminanti organici e/o dalla Categoria 4 per gli inorganici (per acque di falda o terreni);

CLASSE 4 – Comprendenti le "aree di influenza" contrassegnate dalla Categoria 4 per contaminanti organici (per acque di falda o terreni), a prescindere dal grado di problematicità di una eventuale contaminazione da composti inorganici;

		C. INORGANICI				
		CATEGORIA 0	CATEGORIA 1	CATEGORIA 2	CATEGORIA 3	CATEGORIA 4
C. ORGANICI	CATEGORIA 0					
	CATEGORIA 1					
	CATEGORIA 2					
	CATEGORIA 3					
	CATEGORIA 4					

classe 0
classe 1
classe 2
classe 3
classe 4

Figura 8-9: Matrice di individuazione delle Classi di compromissione

I criteri di definizione delle Classi di compromissione delle “aree di influenza”, come sopra esposti, discendono, evidentemente, dal considerare la contaminazione da composti di origine organica rinvenuti nel Sito di Macchiareddu maggiormente problematica rispetto a quella che consegue alla presenza di composti inorganici (comprensivi dei metalli) e tale da richiedere, conseguentemente, un approccio maggiormente cautelativo e adeguati approfondimenti conoscitivi in sede di caratterizzazione. Tali assunzioni si basano sulle seguenti considerazioni, riferibili prevalentemente alle caratteristiche dello stato di qualità della matrice terreni, in ragione delle maggiori criticità riscontrate:

- in generale, la presenza di metalli nelle acque di falda origina dalla dissoluzione di componenti chimici da parte delle acque meteoriche che si infiltrano negli strati superficiali o da parte delle stesse acque di falda. Le acque lisciviano i composti solubili dei materiali solidi con cui vengono a contatto e i metalli disciolti possono venire trasportati nelle acque di falda anche a distanza dal punto di sorgente, a seguito dei processi di avvezione e dispersione. Se l'elemento, in relazione alla sua speciazione in fase solida ed al chimismo del suolo (in particolare valori di pH e potenziale di ossidoriduzione), risulta essere particolarmente solubile, e se le concentrazioni alla sorgente (matrice solida) non sono rilevanti, l'inquinante si caratterizza per una persistenza relativamente bassa. D'altro canto, una volta in soluzione nelle acque di falda e a contatto con la matrice solida dei terreni, i metalli possono subire complessi processi chimico-fisici, mediati da reazioni chimiche (precipitazione di fasi solide), assorbimento, adsorbimento, scambio ionico, ecc., che ne possono accentuare la persistenza nel sito, ma nel contempo possono anche limitarne la disponibilità al trasporto verso eventuali bersagli;
- tra le sostanze e/o inquinanti inorganici rilevati nel Sito di Macchiareddu, gli unici che manifestano un'ampia diffusione nelle acque sotterranee con concentrazioni superiori alle CSC, sono Ferro, Manganese e Alluminio, la cui presenza è verosimilmente determinata in modo significativo dal fondo naturale; l'Alluminio è un componente delle argille e anche Ferro e Manganese sono metalli ubiquitari e abbondanti, presenti anche nella matrice mineralogica dei terreni stessi, che possono venire mobilizzati in condizioni

- chimiche riducenti, quali spesso si determinano nei suoli in cui si abbia presenza di materiale organico;
- relativamente alla distribuzione spaziale dei valori di metalli pesanti e metalloidi eccedenti le CSC nelle acque di falda, la stessa indica la sussistenza di problematiche estremamente localizzate e riferibili prevalentemente alle zone poste a valle idrogeologico dei CdP;
 - le proprietà chimico-fisiche di alcuni contaminanti organici li rendono potenziali inquinanti delle acque ma anche dell'atmosfera e del suolo, amplificando gli scenari di esposizione e rischio per la salute umana;
 - la conclamata tossicità e/o cancerogenicità degli inquinanti organici è sicuramente acuita, per alcuni, dalla persistenza nell'ambiente determinata dalla bassa solubilità e dalla maggiore densità rispetto all'acqua; le stesse caratteristiche rendono estremamente problematica la rimozione e, nei casi più gravi ed alla luce dei valori molto bassi delle relative CSC, di fatto impossibile il risanamento della falda in tempi accettabili, anche nei casi di dispersione nell'ambiente di quantità di contaminante relativamente limitate.

8.5.5 Perimetrazione e descrizione delle sub-aree omogenee

Il percorso di “categorizzazione ambientale” delle porzioni di spazio interne al Sito di Macchiareddu (“Thiessen modificati”), descritto in accordo con la metodologia illustrata ai precedenti paragrafi, ha condotto a riconoscere alcuni macro-settori del Sito contraddistinti da potenziali riscontri di contaminazione a carico delle matrici terreni e/o acque sotterranee. La presenza/assenza di riscontri di potenziale contaminazione, l'esposizione/vulnerabilità delle aree conseguente alla sovrapposizione e/o prossimità con conclamati centri pericolo unitamente a valutazioni concernenti la suscettività delle aree a manifestare fenomeni di contaminazione in relazione all'uso storico che le ha contraddistinte, hanno condotto a proporre una suddivisione del Sito in sub-aree (o comparti) omogenei, rispetto a cui il presente PdC ha previsto un approccio di indagine specifico e opportunamente calibrato, come descritto al paragrafo 9.2. L'esigenza di pervenire ad una “zonizzazione ambientale” del territorio di Macchiareddu, funzionale a razionalizzare il processo di caratterizzazione imposto dalla presenza del SIN, ha necessariamente comportato l'adozione di un approccio rigoroso ed allo stesso tempo “risoluto” nella delimitazione dei confini di ciascuna area omogenea. Approccio che, pur muovendo dalle citate elaborazioni geografiche dei dati di qualità ambientale disponibili, ha necessariamente tenuto conto della presenza, anche solo pianificata dal vigente PRT CACIP, di elementi di discontinuità spaziale quali: tracciati di infrastrutture stradali, confini di proprietà delle aree, eventuali previsioni infrastrutturali del Piano Regolatore Territoriale CACIP. La procedura di “zonizzazione” si è, inoltre, proposta di interpretare correttamente il dato ambientale attribuito ai Thiessen modificati (“Categoria di compromissione”) alla luce dell'ubicazione degli specifici riscontri di contaminazione

disponibili e della perimetrazione della destinazione urbanistica prevista dal PRT. In tal senso, la procedura ha comportato, di fatto, la resezione di alcuni Thiessen impostati su punti di campionamento ubicati esclusivamente in zone a destinazione verde agricolo, in corrispondenza del limite urbanistico delle zone agricole stesse; ciò laddove fossero state evidenziate eccedenze delle CSC di cui alla Tab. 1 col. A che, per fattori puramente geometrici legati all'individuazione delle "aree di influenza", avessero determinato l'inclusione di superfici a destinazione industriale nella medesima "Categoria di compromissione" delle aree agricole.

Il tutto nell'intento di assicurare una più corretta ed immediata individuazione delle aree omogenee e scongiurare, tra l'altro, "discontinuità" nell'approccio al processo di caratterizzazione di settori con intrinseche caratteristiche di unitarietà spaziale e funzionale (p.e. potenziali situazioni di disomogeneità delle maglie di indagine, o dei criteri di interpretazione dei risultati analitici, in uno stesso lotto di terreno con differente destinazione funzionale).

In particolare, stante la promiscuità di destinazione urbanistica e di valore naturalistico riconoscibili nel Sito e la conseguente differente attribuzione delle CSC per la matrice terreni (attribuzione delle CSC di cui alla Tab. 1 col B esclusivamente alle aree con più spiccata connotazione produttiva), appaiono chiaramente individuabili due estesi ambiti dell'area industriale CACIP in cui le ricognizioni ambientali eseguite alla data di predisposizione del presente PdC hanno fatto riscontrare eccedenze delle CSC Tab. 1 col. A per la matrice terreni; ciò, in ogni caso, relativamente ad un set abbastanza ristretto di contaminanti organici e/o inorganici, come più oltre precisato (Tavole 19, 20, 21 e 22). Quanto precede con riferimento, in particolare, al settore della piana di Capoterra ed all'ambito nordorientale dell'area industriale, a ovest della foce dei corsi d'acqua F. Mannu e Cixerri, aventi destinazione urbanistica "verde agricolo" o, comunque, vocazione naturalistica incompatibile con l'insediamento di attività produttive.

Le più marcate criticità sono state evidenziate in corrispondenza del settore centro-orientale dell'area industriale, esposto ai fenomeni di contaminazione conclamata del Centro di pericolo rappresentato dalla discarica "Area esterna" Syndial e, localmente, nella fascia infrastrutture consortili, lungo il tracciato della *pipeline* Syndial.

Accanto a tali macro-settori, alcune potenziali problematicità, sotto il profilo della qualità dei terreni, sono state riscontrate anche nel settore mediano dell'area industriale, a nord del deposito costiero Syndial, in località Contoniosa.

L'addensamento di potenziali centri di pericolo in corrispondenza dell'edificato industriale a nord della "Seconda strada consortile", nonché l'esposizione a fenomeni di contaminazione gravanti sulle aree contermini allo stabilimento Syndial, ha suggerito, inoltre, di individuare un esteso comparto omogeneo che racchiuda i suddetti CdP, nel quale prevedere un approccio

di caratterizzazione unitario ed improntato alla cautela, come precisato al paragrafo 9.2. Considerazioni simili hanno condotto ad individuare, inoltre, nella fascia infrastrutturale delle c.d. Strada Dorsale consortile una ulteriore area omogenea.

L'analisi dei dati di qualità ambientale disponibili per le matrici terreni e acque sotterranee, riferibili alle risultanze del citato progetto RAS del 2009, dei piani di indagine condotti da soggetti privati nel periodo 2008-2011 nonché della più recente campagna di indagine sulle acque di falda condotta dal CACIP (2012) hanno consentito, infine, di perimetrare un'estesa porzione dell'area industriale entro cui non si è avuto riscontro di eccedenze delle CSC per la matrice terreni, con riferimento alla specifica destinazione d'uso. In tale macro-comparto, inoltre, gli unici riscontri di superamento delle CSC per le acque sotterranee possono riferirsi prevalentemente ad alcuni metalli di probabile origine naturale ed ubiquitari nel sito di Macchiareddu nonché alla presenza di nitriti di verosimile provenienza zootecnica.

Con tali premesse l'allegata Tavola 28a illustra la perimetrazione di otto comparti omogenei entro cui saranno definite e proposte specifiche procedure di caratterizzazione.

Nel seguito si procederà ad una sintetica descrizione delle caratteristiche geografiche e ambientali delle suddette aree omogenee. Le Schede riportate in Allegato 2, riassumono sinteticamente i principali dati di interesse ai fini del presente PdC relativamente a ciascun Comparto.

8.5.5.1 Comparto 1: Aree a destinazione industriale contraddistinte da storico utilizzo agricolo

L'area omogenea racchiude un esteso territorio appartenente ai Comuni di Uta e Assemini, avente superficie indicativa di 2.050 ettari al netto delle aree già sottoposte ad attività di caratterizzazione e dei centri di pericolo (pari al 43% delle aree terrestri incluse nella porzione di competenza del CACIP interna alla subperimetrazione di dettaglio del SIN).

Sotto il profilo delle condizioni di utilizzo il comparto si contraddistingue marcatamente per uno storico uso a fini agro-zootecnici, solo ultimamente segnato dallo sviluppo prevalente di centrali energetiche da fonte rinnovabile, con prevalenza dei settori eolico e fotovoltaico.

La destinazione urbanistica assegnata al comparto dal PRT CACIP è quella di utilizzo commerciale/industriale.

L'area omogenea include, ancorché spazialmente defilato, un ristretto ambito di territorio delimitato, a nord e ad est, dagli specchi d'acqua delle saline e, ad ovest, dal Deposito costiero Syndial. Tale settore confina a sudest con le aree sottoposte a procedure di MISE per effetto dei conclamati fenomeni di inquinamento originati dalla *pipeline* Syndial in loc. *Is Campus de S'Atena*.

I riscontri disponibili circa la qualità della matrice ambientale terreni non evidenziano situazioni di potenziale criticità in termini di eccedenza delle CSC per le specifiche

destinazioni d'uso.

Analogamente, con riferimento alle acque sotterranee, non sono state finora riscontrate, in tale ambito, particolari situazioni di criticità. Le eccedenze delle CSC riguardano, infatti, prevalentemente alcuni metalli (Fe, Mn, Al) di probabile origine naturale ed ubiquitari nel settore di Macchiareddu nonché, localmente, i nitriti, di probabile origine zootecnica.

Il Comparto, infine, presenta una generale favorevole distribuzione spaziale in rapporto alle condizioni di esposizione ai principali centri di pericolo individuati nell'area di Macchiareddu. Al riguardo si segnala come questi ultimi siano prevalentemente ubicati a valle idrogeologico rispetto alle aree inserite nell'area omogenea in esame.

8.5.5.2 Comparto 2: Piana agricola di Capoterra

Comprende la porzione meridionale dell'area CACIP con destinazione urbanistica "verde agricolo speciale di rispetto" ricadente interamente entro la piana alluvionale di Capoterra. L'area si estende per circa 560 ettari, al netto delle aree già sottoposte a caratterizzazione, e risulta indicativamente compresa tra il corso d'acqua Rio S. Lucia ad ovest, la fascia infrastrutture CACIP ad est, la laguna a Sudest e le aree a più spiccata vocazione industriale a nord.

Anche in questo caso, l'analisi diacronica dell'uso del suolo ha evidenziato una sostanziale continuità nelle condizioni di utilizzo, legate alla prosecuzione delle storiche attività agro-zootecniche. In tal senso la piana di Capoterra si contraddistingue per la presenza di numerose aziende orticole e serricole, in prevalenza di piccole dimensioni.

Il comparto include due potenziali Centri di pericolo localizzati, il primo, in prossimità del suo confine occidentale (impianto di betonaggio), a monte idrogeologico rispetto al territorio agricolo, il secondo a sud del deposito costiero (discarica di inerti in attività).

I riscontri ambientali disponibili, in termini di qualità della matrice ambientale terreni hanno evidenziato eccedenze, in genere contenute, delle CSC Tab. 1 col A relativamente ai seguenti parametri As, Cd, Co, Pb, Cu, Sn, Ta, Zn, Triclorometano, Diclorometano, Indeno 1,2,3(cd)pirene, idrocarburi C>12.

Relativamente alle acque sotterranee sono state registrati superamenti delle CSC di cui alla Tab. 2 relativamente ai seguenti composti: Al, B, Fe, Mn, Nitriti, solfati, tetracloroetilene.

Ancorché le situazioni di potenziale contaminazione riscontrate evidenzino un quadro di problematicità eterogeneo per caratteristiche ed entità della contaminazione stessa (si vedano le rappresentazioni delle categorie di compromissione per terreni ed acque sotterranee nelle Tavole 20, 21, 25 e 26), nell'individuazione di un unico comparto omogeneo si è scelto di adottare un approccio unitario di caratterizzazione improntato alla cautela, tenuto conto della potenziale sensibilità e sostanziale omogeneità delle condizioni d'uso che lo contraddistinguono (aree agricole).

8.5.5.3 Comparto 3: Settore mediano a destinazione industriale

Si riferisce ad un ambito avente superficie di circa 230 ettari, al netto delle aree già caratterizzate, inserito nel cuore della zona CACIP in territorio di Assemini, compreso tra la fascia infrastrutture consortili e le saline ad est e, ad ovest, tra terreni che, ancorché a destinazione industriale produttiva, hanno conservato lo storico utilizzo agricolo. In tale settore le condizioni di effettivo utilizzo del suolo si rivelano promiscue: ad estese porzioni ad uso agricolo si sono infatti sovrapposte, negli anni, alcune attività industriali (p.e. lo stabilimento Heineken, classificato come centro di pericolo). L'area omogenea, limitrofa al Deposito Costiero Syndial, si estende ad est nel settore compreso tra lo stesso Deposito Costiero e la fascia infrastrutture consortili.

Relativamente ai terreni, il quadro di potenziale contaminazione riscontrato per quest'area evidenzia la presenza di alcuni metalli (Sb, As, Se, Hg) in concentrazioni superiori alle CSC per la specifica destinazione d'uso (industriale). Detti metalli, in particolare, sono stati riscontrati nella porzione di comparto a nord del Deposito costiero. Più a sud, le superfici comprese tra il Deposito costiero e la fascia infrastrutture si ritengono prudenzialmente esposte al rischio di contaminazione di composti organici di sintesi, come evidenziabile dai riscontri analitici delle attività di caratterizzazione pregresse eseguite da Syndial sulla *pipeline*.

Con riferimento alle acque sotterranee, il settore si caratterizza per la presenza di eccedenze delle CSC di cui alla Tab. 2 relativamente al solo parametro Al.

8.5.5.4 Comparto 4: Agglomerato di edifici industriali

Il Comparto si caratterizza marcatamente, sotto il profilo insediativo e delle condizioni d'uso, per la presenza di un articolato complesso di stabilimenti a carattere commerciale e/o industriale, contraddistinti da processi che, ancorché meno problematici rispetto ad altre realtà produttive insediate in area CACIP, sono comunque suscettibili di arrecare pregiudizio alla qualità ambientale. Muovendo da tali constatazioni le suddette attività sono state considerate nel presente documento come potenziali Centri di Pericolo, in coerenza con le assunzioni contenute nel citato Progetto RAS del 2009.

Muovendo da tali presupposti si è ritenuto opportuno racchiudere i suddetti CdP entro un'unica area omogenea, avente superficie complessiva di circa 560 ettari, al netto delle aree già caratterizzate, per la quale prospettare una metodologia di indagine organica ed uniforme, improntata su criteri conservativi (cfr. par. 9.5). L'area omogenea, compresa nei territori di Assemini e Uta, include le fasce periferiche allo stabilimento Syndial entro le quali non può escludersi la sussistenza di potenziali situazioni di criticità.

I dati di qualità ambientale disponibili per quest'area evidenziano, per i terreni, eccedenze delle CSC per i seguenti parametri: As, Co, Pb, Cu, Idrocarburi C<12, Idrocarburi C>12.

Relativamente alla componente acque sotterranee le informazioni scaturite dalla più recente campagna di monitoraggio condotta dal CACIP nell'estate 2012 non evidenziano superamenti delle soglie normative in corrispondenza della porzione del comparto a nord dello stabilimento Syndial (n. 2 punti di campionamento). Si segnalano, viceversa, eccedenze delle CSC relativamente ai composti Mn, sommatoria organoalogenati e tetracloroetilene nell'area Enel (Centrale Turbogas) sottoposta a caratterizzazione nel 2010.

8.5.5.5 Comparto 5: Aree agricole e seminaturali nordorientali

L'area omogenea racchiude la porzione nordorientale dell'area industriale, ai confini con la foce dei corsi d'acqua Flumini Mannu e Cixerri, avente le seguenti destinazioni urbanistiche secondo le previsioni del PRT CACIP: "verde agricolo speciale di rispetto", "zone soggette a convenzione RAMSAR", "verde di rispetto lagunare", "attrezzature consortili – verde attrezzato", "servizi d'area e attività connesse alla ricerca", "ferrovie". Ancorché la zonizzazione urbanistica attribuita all'area dal PRT prospetti la possibilità di ricondurre localmente le CSC di riferimento per i terreni alla Tab. 1 Col. B, si ritiene più opportuno prospettare, per queste, aree l'attribuzione della CSC di cui alla Tab. 1 Col. A. Tale impostazione deriva dalla presa d'atto che le limitazioni imposte dalle normative cogenti di salvaguardia ambientale, in primis la Direttiva Habitat e lo stesso Piano Paesaggistico Regionale, non sono conciliabili con le previsioni del PRT. Conseguentemente ogni prospettiva di insediamento industriale o sviluppo infrastrutturale in queste aree è da ritenersi, ragionevolmente, altamente improbabile.

Il comparto, ricadente nel Comune di Assemmini ed avente superficie complessiva di circa 370 ettari, si caratterizza per la presenza di terreni adibiti a foraggiere ed uso pascolativo. Le aree sono esposte a periodici fenomeni di impaludamento derivanti da fattori geomorfologici e idrografici nonché da specifiche condizioni di idromorfia dei terreni.

I riscontri disponibili circa la qualità delle matrici ambientali investigate hanno evidenziato eccedenze delle CSC per i terreni (Tab. 1 col. A) con riferimento ai seguenti parametri As, Be, Sn, Zn, Triclorometano. Con particolare riferimento al composto clorurato, lo stesso è stato riscontrato in prossimità della S.P. 92, al limite delle aree a destinazione produttiva.

Relativamente alle acque sotterranee non sono stati registrati superamenti dei valori soglia di cui alla Tab. 2.

8.5.5.6 Comparto 6: Aree agricole e seminaturali ad est dello stabilimento Syndial

Il comparto, avente superficie di circa 100 ettari al netto delle sottoposte a caratterizzazione ed al centro di pericolo rappresentato dalla discarica "area esterna" Syndial, interessa un settore perilagunare in Comune di Assemmini, particolarmente esposto a fenomeni di contaminazione in ragione della contiguità e parziale sovrapposizione con il suddetto CdP. L'area, inoltre, è posta a valle idrogeologico rispetto al centro di pericolo individuato nello

stesso stabilimento Syndial nonché potenzialmente sottovento rispetto alle ricadute atmosferiche correlate alle sorgenti di emissione presenti nel predetto stabilimento e nell'area esterna Syndial, in rapporto alla direzione dei venti dominanti (scirocco e maestrale).

L'area omogenea, nella zonizzazione del PRT CACIP, è contraddistinta da una classificazione prevalente come zona "verde di rispetto lagunare" e, subordinatamente, come "servizi d'area e attività connesse alla ricerca", "ferrovie" e "infrastrutture". Il comparto, presenta attualmente un utilizzo del suolo a fini agricoli o agro-zootecnici. La stessa si caratterizza, inoltre, per la presenza di paludi salmastre e di un'estesa cava di inerti posta a sud dell'area esterna Syndial.

I dati di qualità ambientale assunti come riferimento per la perimetrazione dell'area, scaturiti prevalentemente dalle attività di indagine sull'area esterna Syndial, evidenziano eccedenze delle CSC per i terreni (Tab. 1 col A) relativamente ai parametri Sb, Pb, Cu, Sn, Zn, Cd, Hg, benzo(a)pirene, benzo(g,h,i)perilene, indeno1,2,3(cd)pirene, cloruro di vinile, 1,2 dicloroetano, 1,2 dicloroetilene, diclorometano, 1,1,2 triclorietano, tricloroetilene, triclorometano, diossine e furani, Idrocarburi C<12.

Relativamente alle acque sotterranee i dati disponibili hanno evidenziato superamenti delle CSC di cui alla Tab. 2 per i composti Al, Mn, Ni, Solfati, Benzene, 1,1,2tricloroetano, cloruro di vinile, tetracloroetilene, Idrocarburi totali. Detti superamenti sono risultati anche di 5 ordini di grandezza superiori alle soglie per alcuni composti clorurati in prossimità dell'area esterna Syndial.

8.5.5.7 Comparto 7: Aree di servizio delle saline Conti Vecchi

Il comparto, avente superficie di circa 60 ettari, racchiude le aree terrestri di pertinenza dello stabilimento di produzione del sale marino "Conti Vecchi" nonché una porzione di territorio interclusa tra la pista di servizio dell'elettrodotto e l'ex strada privata Conti Vecchi.

In termini di esposizione al rischio ambientale, l'area in esame è si colloca in Comune di Assemini, immediatamente a sud-sudest al centro di pericolo rappresentato dallo stabilimento Syndial.

Sotto il profilo dei possibili scenari di contaminazione ai termini del D.Lgs. 152/06, valutata la storica vocazione produttiva dei luoghi e la classificazione urbanistica che contraddistingue le aree (prevalentemente "Attività industriali" e marginalmente "Saline"), imposta dal PRT CACIP, si ritiene ragionevole riferirsi alla CSC di cui alla Tab. 1 col. B per quanto attiene alla categoria "terreni".

Per quest'area non sono disponibili riscontri analitici riferibili alle matrici ambientali terreni ed acque sotterranee. Informazioni indirette sulla qualità ambientale della sub-area omogenea possono ricavarsi da punti di campionamento limitrofi all'area, ricondotti spazialmente ai

Comparti 4 e 6. Nei punti di campionamento ubicati a sudest dello stabilimento Syndial, in particolare, non sono state riscontrate eccedenze delle CSC di cui alla Tab. 1 col. B. Locali eccedenze di composti IPA, Cd, Pb, Zn e Sn sono state, invece, riscontrate su campioni di topsoil prelevati in prossimità della S.P. 92.

Riguardo alle acque sotterranee, i più prossimi piezometri di riferimento non hanno fatto registrare eccedenze delle CSC per alcun parametro tabellato.

8.5.5.8 Comparto 8: Fascia infrastrutture CACIP

Il comparto omogeneo include la fascia infrastrutture consortili perimetrata nel PRT CACIP, contraddistinta dal tracciato della principale arteria viaria a servizio dell'area industriale (c.d. Dorsale consortile) nonché dall'accentramento di reti di prodotti fluidi, linee di trasporto dell'energia e sottoservizi in genere.

La fascia, della larghezza compresa tra 60 e 200 metri circa, si sviluppa da sud a nord, per circa 12 km all'interno dell'area CACIP inclusa nella sub-perimetrazione di dettaglio del SIN, tra i territori Capoterra, Assemini e Uta.

Prescindendo dalle conclamate situazioni di inquinamento ascrivibili alle perdite di prodotti chimici intervenute lungo il tracciato della *pipeline* Syndial, i riscontri disponibili sulla qualità delle matrici ambientali in tale fascia di territorio o in prossimità di questa indicano, per i terreni, un'eccedenza delle CSC di cui alla Tab. 1 col. B relativamente al solo parametro As.

Con riferimento alle acque sotterranee, segnatamente alle aree esterne agli *hot spot* registrati in corrispondenza della *pipeline* Syndial, si segnalano superamenti delle soglie di cui alla Tab. 2 per solfati e triclorometano in prossimità della piattaforma Tecnocasic.

9 PIANO DI INDAGINI AMBIENTALI

9.1 Premessa

Di seguito si procederà a descrivere le attività che si propone di svolgere, in campo ed in laboratorio, per la caratterizzazione ambientale dell'area di Macchiareddu, ai fini della ricostruzione del modello concettuale definitivo del Sito, laddove sussistano effettive condizioni di rischio ai sensi del Titolo V parte quarta del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii. Le investigazioni saranno condotte attenendosi al dettato del D.Lgs. 152/06. Ulteriori riferimenti per la definizione delle procedure operative di caratterizzazione sono tratti dalle indicazioni fornite dalle “Linee Guida operative per la redazione, esecuzione e gestione dei piani di caratterizzazione ex D.M. 471/99” di cui al “Protocollo d’Intesa per gli interventi di risanamento dei siti di Enichem S.p.A. e Polimeri Europa S.r.l. in Regione Sardegna” nonché dalle procedure previste dal documento “Linee Guida per la validazione delle attività di bonifica” (ARPAS, 2011).

Come anticipato nella premessa generale al presente documento, le attività di indagine sono state calibrate per ciascuna “sub-area omogenea” (o Comparto) individuata per il Sito di Macchiareddu, nell’ottica di razionalizzare il processo di caratterizzazione alla luce delle informazioni ambientali già disponibili. In particolare, per quanto attiene alla matrice “acque sotterranee” sono risultati decisivi, ai fini di delineare un modello concettuale con minori incertezze interpretative, i dati acquisiti nell’ambito della campagna di campionamento ed analisi condotta dal CACIP nel 2012 (cfr. par. 8.5.1).

9.2 Criteri di progetto della campagna di indagine per sub-aree omogenee

9.2.1 Densità dei punti di campionamento

Il D.Lgs. 152/06 non prescrive criteri operativi specifici in termini di numero dei sondaggi da eseguire e piezometri da installare nei siti da caratterizzare. Tali indicazioni, viceversa, erano esplicitamente riportate nell’Allegato 2 al D.M. 471/99 (oggi rifluito nel D.Lgs. 152/06), che stabiliva un numero minimo di sondaggi e piezometri in funzione della superficie del sito da investigare. Il numero dei piezometri per ettaro era minore di quello previsto per i sondaggi, in ragione delle differenti modalità di diffusione dei contaminati nelle acque sotterranee.

Nel presente PdC, ai fini della progettazione del piano di indagini, a seguito dell’analisi dei dati di qualità ambientale disponibili e della ricostruzione del modello concettuale preliminare del Sito, come delineata al Capitolo 8, si è optato per prospettare una densità dei **punti di campionamento dei terreni** in funzione delle seguenti caratteristiche principali di ciascuna sub-area omogenea individuata:

- sussistenza e problematicità di potenziali situazioni di contaminazione delle matrici terreni ed acque sotterranee evidenziate a seguito dell’esecuzione di indagini pregresse;

- caratteristiche di esposizione dei potenziali bersagli della contaminazione eventualmente riscontrata nella sub-area omogenea, siano essi di carattere antropico o ecosistemico;
- estensione superficiale e geometria della sub-area omogenea;
- potenziale esposizione della sub-area omogenea a fenomeni di contaminazione, in relazione alla contiguità, o sovrapposizione, con Centri di pericolo;
- caratteristiche di uso del suolo attuali e passate.

Con tali premesse, si è optato per orientare il campionamento secondo una maglia sistematica avente le seguenti caratteristiche geometriche, calibrate in accordo con i precedenti criteri. I punti di indagine per il prelievo delle matrici ambientali saranno localizzati in corrispondenza del centro della griglia, ove le condizioni locali lo rendano fattibile.

Comparto 1: Aree a destinazione industriale contraddistinte da storico utilizzo agricolo

N. 1 p.to di campionamento ogni 250.000 m² (maglia sistematica 500 m×500 m)

La maglia di campionamento proposta è rappresentata nell'allegata Tavola 30.

Comparto 2: Piana agricola di Capoterra

N. 1 p.to di campionamento ogni 10.000 m² (maglia sistematica 100 m×100 m)

La maglia di campionamento proposta è rappresentata nell'allegata Tavola 31.

Comparto 3: Settore mediano a destinazione industriale

N. 1 p.to di campionamento ogni 10.000 m² (maglia sistematica 100 m×100 m)

La maglia di campionamento proposta è rappresentata nell'allegata Tavola 32.

Comparto 4: Agglomerato di edifici industriali

N. 1 p.to di campionamento ogni 2.500 m² (maglia sistematica 50 m×50 m)

La maglia di campionamento proposta è rappresentata nell'allegata Tavola 33.

Comparto 5: Aree agricole e seminaturali nordorientali

N. 1 p.to di campionamento ogni 62.500 m² (maglia sistematica 250 m×250 m)

La maglia di campionamento proposta è rappresentata nell'allegata Tavola 34.

Comparto 6: Aree agricole e seminaturali ad est dello stabilimento Syndial

N. 1 p.to di campionamento ogni 2.500 m² (maglia sistematica 50 m×50 m)

La maglia di campionamento proposta è rappresentata nell'allegata Tavola 35.

Comparto 7: Aree di servizio delle saline Conti Vecchi

N. 1 p.to di campionamento ogni 2.500 m² (maglia sistematica 50 m×50 m)

La maglia di campionamento proposta è rappresentata nell'allegata Tavola 36.

Relativamente al Comparto 8 (Fascia infrastrutture), valutato il prevalente sviluppo lineare che lo caratterizza, si propone il seguente schema di campionamento:

- n.1 punto di campionamento ogni 200 metri lineari di sviluppo della suddetta Fascia, laddove la stessa attraversi contesti caratterizzati da conclamate situazioni di contaminazione o risulti esposta alla potenziale contaminazione proveniente da limitrofi Centri di pericolo. Tali circostanze, nello schema di campionamento riportato in Tavola 37, sono state attribuite al tratto che, partendo a sud della Piattaforma Tecnocasic, si sviluppa verso nord fino allo svincolo della Dorsale Consortile con la Sesta Strada Consortile, in prossimità del centro servizi CACIP;
- n.1 punto di campionamento ogni 500 metri lineari di sviluppo della suddetta Fascia, laddove la stessa attraversi contesti caratterizzati da bassa probabilità di manifestare contaminazione. Tale circostanza può attribuirsi al tratto della suddetta Fascia delimitato a sud dallo svincolo della Dorsale Consortile con la Sesta Strada e, a nord, dallo svincolo con la S.P. 2 (Pedemontana Assemini-Carbonia).

Allo stesso modo, in relazione alla **matrice ambientale “acqua di falda”**, la caratterizzazione idrogeologica e la ricostruzione del modello concettuale preliminare del Sito, con particolare riferimento all'elaborazione dei riscontri analitici disponibili ed alla definizione di Comparti omogenei, hanno orientato la definizione dei punti di prelievo. Al riguardo, nell'ottica di una razionalizzazione delle attività, si è ritenuto di poter fare affidamento sulla rete di piezometri già esistenti nel Sito di Macchiareddu, ascrivibili alla Rete di monitoraggio scaturita dal progetto RAS del 2009 nonché ai piezometri realizzati da soggetti privati nell'ambito delle campagne di indagine già eseguite al momento della redazione del presente documento.

Con tali premesse, il numero di piezometri da installare è stato determinato, per ciascun Comparto omogeneo, indicativamente, sulla base dei seguenti criteri (Tavole 30-37):

Comparto 1: Aree a destinazione industriale contraddistinte da storico utilizzo agricolo

N. 1 piezometro ogni 500.000 m²

Comparto 2: Piana agricola di Capoterra

N. 1 piezometro ogni 50.000 m²

Comparto 3: Settore mediano a destinazione industriale

N. 1 piezometro ogni 50.000 m²

Comparto 4: Agglomerato di edifici industriali

N. 1 piezometro ogni 20.000 m²

Comparto 5: Aree agricole e seminaturali nordorientali

N. 1 piezometro ogni 200.000 m²

Comparto 6: Aree agricole e seminaturali ad est dello stabilimento Syndial

N. 1 piezometro ogni 20.000 m²

Comparto 7: Aree di servizio delle saline Conti Vecchi

N. 1 piezometro ogni 20.000 m²

Comparto 8 (Fascia infrastrutture)

- N. 1 piezometro ogni 500 m lineari in aree con bassa probabilità di manifestare contaminazione;
- N. 1 piezometro ogni 400 m lineari in aree con conclamate situazioni contaminazione.

Qualora, dalla prima fase di indagini sulla matrice "terreno" si dovessero riscontrare evidenze di potenziale contaminazione di origine antropica, l'indagine potrà eventualmente proseguire, su richiesta degli Enti preposti, con uno step successivo di infittimento della maglia, eventualmente restringendo il set di analiti da ricercare in base alle criticità riscontrate.

Da ciascun sondaggio i campioni saranno formati distinguendo:

- Campione 1: da 0 a 1 m dal piano di campagna;
- Campione 2: 1 m che comprenda la zona di frangia capillare;
- Campione 3: 1 m nella zona intermedia tra i due campioni precedenti.

Relativamente al topsoil, la sua analisi, benché non espressamente richiesta nella normativa applicabile, viene realizzata nella prassi.

Dopo aver individuato una porzione di terreno di circa 1 metro quadro, mediante attrezzatura manuale (spatola, cazzuola, ecc.), verranno prelevati campioni di topsoil (campionamento dei primi 10 cm) che saranno sottoposti ad analisi chimica, per la determinazione di alcuni analiti caratteristici. Il numero di campioni prelevati non sarà inferiore al 10% del numero dei sondaggi relativi all'area omogenea di pertinenza.

In corrispondenza di livelli di spessore maggiore di 40 cm, con evidenze organolettiche tali da far supporre la presenza di contaminazione, saranno prelevati campioni puntuali da destinare all'analisi.

9.2.2 Determinazioni analitiche

9.2.2.1 Analisi chimiche delle matrici solide

Le determinazioni analitiche sui terreni richiedono la produzione di campioni di entità adeguata alla tipologia di parametro/analita da determinare mediante quartatura.

Come specificato al paragrafo 9.5, ogni campione sarà suddiviso in tre aliquote, uno per le analisi da condurre, una a disposizione dell'Ente di controllo, una per archivi. Ogni determinazione analitica sarà effettuata quantomeno in triplo riportando la deviazione standard relativamente al dato medio.

Al fine di ricostruire per le matrici solide il profilo verticale della concentrazione degli inquinanti, i campioni da portare in laboratorio saranno privi della frazione maggiore di 2 cm (da scartare in campo) e le determinazioni analitiche in laboratorio saranno condotte sull' aliquota di granulometria inferiore a 2 mm. La concentrazione del campione dovrà poi essere determinata riferendosi alla totalità dei materiali secchi, comprensiva anche dello scheletro.

La scelta dei parametri da ricercare sulla frazione granulometrica inferiore ai 2 mm di ogni campione di terreno, indicati nella Tabella 1 dell'Allegato 5 alla Parte IV, Titolo V del D.Lgs. 152/06, sarà calibrata in relazione alle caratteristiche della potenziale contaminazione riscontrata in ciascun Comparto omogeneo, in accordo con i seguenti criteri:

Comparti 1 e 5

- Metalli (Al, As, Fe, Mn, Sb, Be, Cd, Co, Cr_{tot}, Cr VI, Hg, Ni, Pb, Cu, Se, St, T, V, Zn);
- Idrocarburi leggeri (C < 12) e pesanti (C > 12).

Laddove i riscontri analitici sulle acque dovessero indicare la presenza di contaminazione non riconducibile al fondo naturale, la ricerca potrà essere estesa ad ulteriori composti, da definire in accordo con gli Enti preposti.

Comparti 2, 3, 4, 6, 7, 8

- Metalli (Al, As, Fe, Mn, Sb, Be, Cd, Co, Cr_{tot}, Cr VI, Hg, Ni, Pb, Cu, Se, St, T, V, Zn);
- Altri componenti inorganici: cianuri liberi, fluoruri;
- Aromatici (benzene, etilbenzene, stirene, toluene, xilene; sommatoria organici aromatici);
- Aromatici policiclici (benzo(a)antracene, benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(g,h,i) perilene, crisene, dibenzo(a)pirene, dibenzo(a,h)antracene, indenopirene, pirene, sommatoria policiclici aromatici);
- Alifatici clorurati cancerogeni (clorometano, dicloroetano, triclorometano, cloruro di vinile, 1,2-dicloroetano, 1,1-dicloroetilene, 1,2-dicloropropano, 1,1,2-tricloroetano, tricloroetilene, 1,2,3-tricloropropano, 1,1,2,2-tetracloroetano, tetracloroetilene);
- Alifatici clorurati non cancerogeni (1,1-dicloroetano, 1,2-dicloroetilene, 1,1,1-tricloroetano);
- Alifatici alogenati cancerogeni (tribromometano, 1,2-dibromoetano, dibromoclorometano, bromodiclorometano);
- Clorobenzeni (monoclorobenzene, 1,2-diclorobenzene; 1,4- diclorobenzene, 1,2,4-triclorobenzene, 1,2,4,5-tetraclorobenzene, pentacorobenzene, esaclorobenzene);
- Fenoli non clorurati (fenolo, metilfenolo (o-, m-, p-));
- Fenoli clorurati (2-clorofenolo, 2,4-diclorofenolo, 2,4,6-triclorofenolo, pentaclorofenolo);
- Idrocarburi leggeri (C < 12) e pesanti (C > 12).

Qualora, in ogni caso, venissero accertati superamenti rispetto alle CSC, non riconducibili ai valori di fondo naturale, a seguito dei quali risultasse necessario elaborare un'analisi di rischio sito specifica, su indicazione degli Enti preposti verranno ricercati i parametri sito specifici di cui al "Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei

parametri sito-specifici utilizzati nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del D.Lgs. 152/06", elaborato nell'ambito del gruppo di lavoro APAT-ARPA-ISS-ISPEL, che riporta le indicazioni necessarie per la determinazione e la validazione dei parametri sito specifici. In particolare saranno ricercati i seguenti parametri:

Zona insatura:

- densità del suolo (g/cm^3);
- frazione di carbonio organico (gC/g suolo);
- infiltrazione efficace (cm/anno);
- pH;
- curva granulometrica;

Zona satura:

- velocità di Darcy (cm/anno);
- conducibilità idraulica (cm/anno);
- gradiente idraulico;
- velocità media effettiva (cm/anno);
- frazione di carbonio organico (gC/g suolo);
- pH;
- curva granulometrica.

Su un'aliquota di ciascun campione sarà determinato il contenuto in acqua al fine di poter riferire alla sostanza secca i risultati ottenuti.

Sul topsoil, le cui analisi verranno eseguite su un numero non inferiore al 10% dei campioni prelevati, verranno ricercati i seguenti parametri analitici: PCDD/PCDF, PCB e amianto.

Per la misura dei composti volatili, il campione dovrà essere prelevato immediatamente dopo l'estrazione della carota e non dovrà subire procedimenti di omogeneizzazione o quartatura, pena la dispersione degli stessi.

9.2.2.2 Analisi chimiche delle acque

Preso atto degli esiti della più recente campagna di campionamento ed analisi delle acque di falda condotta dal CACIP nel 2012, che sembrerebbe ricondurre le principali situazioni di criticità in corrispondenza o prossimità con i centri di pericolo conclamati, e valutata altresì l'esigenza di approfondire ulteriormente le conoscenze, alla luce delle quadro generale che

scaturisce dall'esame dei dati ambientali complessivamente disponibili, si ritiene cautelativamente giustificabile un approccio unitario per la caratterizzazione dei diversi Comparti omogenei che preveda un set analitico esteso, in accordo con i criteri più sotto esposti.

All'atto del prelievo, sui campioni di acque prelevati nei piezometri saranno eseguite le seguenti analisi: Temperatura (°C), pH, Conducibilità elettrica (micS/cm), Ossigeno disciolto (mg/l) e potenziale Redox (mV) mediante sonde portatili immerse nelle acque attraverso la cella.

Sui campioni saranno successivamente rilevati, i seguenti analiti indicati nella Tabella 2 dell'Allegato 5 alla Parte Quarta, Titolo V del D.Lgs. 152/06:

- Metalli (Al, Sb, Ag, As, Be, Cd, Co, Cr tot, Cr VI, Fe, Hg, Ni, Pb, Cu, Se, Mn, T, Zn);
- Inquinanti inorganici (B, cianuri liberi, fluoruri, nitriti, solfati);
- Composti organici aromatici (benzene, etilbenzene, stirene, toluene, p-xilene);
- Idrocarburi Policiclici Aromatici (benzo(a)antracene, benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(g,h,i)perilene, crisene, dibenzo(a,h)antracene, indeno(1,2,3-c,d)pirene, pirene, sommatoria);
- Alifatici clorurati cancerogeni (clorometano, triclorometano, cloruro di vinile, 1,2-dicloroetano, 1,1-dicloroetilene, 1,2-dicloropropano, 1,1,2-tricloroetano, tricloroetilene, 1,2,3-tricloropropano, 1,1,2,2-tetracloroetano, tetracloroetilene, esaclorobutadiene, sommatoria);
- Alifatici clorurati non cancerogeni (1,1-dicloroetano, 1,2-dicloroetilene);
- Alifatici alogenati cancerogeni (tribromometano, 1,2-dibromoetano, dibromoclorometano, bromodiclorometano);
- Fenoli (2-clorofenolo, 2,4-diclorofenolo, 2,4,6-triclorofenolo, pentaclorofenolo);
- Idrocarburi totali.

9.4 Modalità di realizzazione delle indagini

9.4.1 Sondaggi meccanici e piezometri

Preliminarmente alle attività di perforazione, si provvederà alla pulizia della vegetazione infestante; la rimozione della vegetazione infestante consente di evitare cadute accidentali degli operatori coinvolti nelle indagini in tombini aperti ed eventualmente coperti da vegetazione.

Le perforazioni saranno eseguite in maniera tale da preservare le proprietà naturali del sottosuolo e da evitare le contaminazioni delle acque e delle formazioni litologiche costituenti l'acquifero.

I sondaggi saranno eseguiti mediante carotaggio continuo a rotazione a secco con carotiere di diametro pari a 101 mm e colonna di manovra di diametro pari a 127 o 152 mm.

La profondità dei sondaggi sarà spinta sino ad incontrare la falda acquifera, fatta eccezione per quelli da attrezzare a piezometri come più oltre specificato. L'allegata Tavola 29 restituisce, a tal fine, una indicazione della soggiacenza della falda, di riferimento per definire la profondità dei sondaggi in corrispondenza di ciascuna sub-area omogenea o Comparto. Nel caso fosse necessario ripulire il foro di sondaggio si opererà senza utilizzo di fluidi. Le perforazioni saranno eseguite a bassa velocità per evitare il riscaldamento dei materiali. Il recupero di carota sarà superiore all'80%.

Le carote di terreno dovranno essere conservate in apposite cassette catalogatrici e successivamente trasportate in apposita area di deposito opportunamente custodita.

Delle perforazioni previste nel presente PdC, sarà redatta, a cura di un geologo incaricato dalla ditta appaltatrice dell'esecuzione delle attività in campo, la relativa stratigrafia con raccolta delle informazioni relative ai prelievi in fase di avanzamento (colore, granulometria, stato di addensamento, composizione litologica, ecc.), riportando i dati in un apposito modulo. Si procederà inoltre, all'indicazione circa la saturazione o meno dei materiali incontrati, all'indicazione della potenza dell'insaturo, al rilievo della falda acquifera annotandone la posizione rispetto al piano di campagna ed al livello del mare, nonché alla fornitura di un report fotografico delle cassette catalogatrici; in particolare le foto saranno eseguite prima che i campioni estratti subiscano un'alterazione di colore per la perdita di umidità. Le posizioni di tutti i sondaggi e piezometri saranno georiferite.

I sondaggi saranno condotti in modo da garantire il campionamento in continuo di tutti i litotipi oggetto delle perforazioni, garantendo il minimo disturbo degli strati interessati.

La profondità di prelievo nel suolo sarà determinata con la massima accuratezza possibile, non superiore a 0,1 metri. I sondaggi, dopo il prelievo dei campioni, saranno sigillati mediante miscela bentonitica onde evitare la creazione di vie preferenziali di migrazione di eventuali contaminanti.

Dalle carote saranno poi prelevati i campioni per l'eventuale successiva determinazione dei parametri sito-specifici, qualora risultasse necessaria l'elaborazione dell'analisi di rischio sanitario-ambientale.

Le perforazioni saranno realizzate mediante sonda a rotazione con testa idraulica con i requisiti minimi sotto indicati:

- Velocità di rotazione 0-500 rpm
- Coppia massima >400 kg m
- Corsa continua >150 cm
- Spinta >4000 kg
- Tiro >4000 kg
- Pressione pompa > 70 bar
- Argano a fune presente.

Il corredo della sonda dovrà essere completo di tutti gli accessori necessari per l'esecuzione del lavoro a norma di specifica e degli utensili per la riparazione dei guasti di ordinaria entità. Dovranno essere disponibili i seguenti utensili di perforazione:

- Carotieri semplici, con valvola di testa a sfera e calice.

Saranno inoltre disponibili:

- Corone di perforazione in widia e diamantate.
- Aste di perforazione con filettatura tronco-conica.
- Rivestimenti provvisori.

La quota del fondo foro sarà misurata periodicamente con scandaglio a filo graduato. Tale misura sarà vincolante prima di eventuali prelievi di campioni indisturbati (fustella).

Apposite manovre di pulizia saranno eseguite quando la differenza tra quota raggiunta con la perforazione e quota misurata con scandaglio non consenta il prelievo di carote rappresentative delle reali condizioni in sito. Le manovre di pulizia saranno condotte con il carotiere semplice, recuperando tutto il materiale depositato sul fondo foro, fino al raggiungimento della profondità reale di perforazione. Tale materiale non sarà deposto in cassetta.

I sondaggi da attrezzare a piezometro saranno anch'essi realizzati a carotaggio continuo a rotazione a secco con carotiere di diametro pari a 101 mm e colonna di manovra a seguire di diametro pari a 127/152 mm e alesati successivamente con diametro pari a 219 mm.

Il completamento dei piezometri verrà realizzato mediante la posa in opera entro i fori di

perforazione di piezometri di tipo “aperto”, costituiti da tubi con diametro nominale di 4”. La parte di tubo micro fessurata dovrà avere aperture di dimensioni pari a 0,5 mm, con passo delle aperture assunto basandosi sulle tubazioni fessurate disponibili sul mercato. Gli spezzoni di tubo saranno assemblati con giunzione filettata maschio – femmina, senza uso di mastici o collanti.

L'esatta localizzazione della tratta fessurata dovrà essere progettata da un geologo con documentata competenza in idrogeologia, sulla base della stratigrafia del sondaggio geognostico eseguito. Al di sopra della tratta fenestrata, sarà posto in opera un tubo cieco, la cui superficie laterale sarà parzialmente interessata dalla cementazione, come più oltre descritto. Sul fondo del piezometro, per 0.50-1 m, verrà posto un tratto di tubazione cieca con funzione di *sand-trap*.

Nell'intercapedine foro/tubo, verrà messo in opera un manto drenante con ghiaietto siliceo lavato (diametro = 2÷6 mm), arrotondato e non frantumato, da circa 1 mal di sopra del “top” del tratto filtrato sino a fondo foro. Si avrà cura che il materiale costituente il dreno riempi completamente l'intercapedine tra foro e piezometro al momento della sua immissione per evitare assestamenti successivi che potrebbero interrompere la continuità del dreno stesso.

La realizzazione del piezometro sarà attuata attraverso: l'introduzione nel tubo piezometrico nel tubo di rivestimento provvisorio e suo immorsamento nel terreno di base, la chiusura provvisoria del tubo piezometrico con tappo da avvitare e getto del dreno nell'intercapedine tubo-rivestimento, estraendo progressivamente il rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, e controllando con uno scandaglio manuale che il dreno sia sempre contenuto nell'intercapedine tra il rivestimento provvisorio e il tubo piezometrico al procedere dell'estrazione del tubo provvisorio; la misura della quota del dreno dovrà infatti essere effettuata prima dell'inserimento del dreno e dopo ogni operazione di sollevamento del tubo di rivestimento.

Una volta realizzato il dreno fino alla quota prevista, l'intercapedine della tratta cieca sarà sigillata con un massetto di sabbia fine per uno spessore di 20 cm, seguito da un tappo di pellets di bentonite (quest'ultimo dovrà essere completamente irrorato con acqua e rimanere immerso nella stessa per almeno 2 ore, onde permetterne rigonfiamento e impedire la discesa della miscela cemento-bentonite all'interno del dreno) e infine la miscela cemento-bentonite con le seguenti proporzioni: 100 kg di cemento, 5 kg di bentonite in polvere, 200 litri di acqua.

La miscela cemento-bentonite avrà la funzione di isolare il manto drenante ed evitare l'eventuale infiltrazione e percolazione di acque dalla superficie. La sua messa in opera dovrà avvenire a bassa pressione ($P = 2 \text{ atm}$) con pompa a mano, attraverso il tubo d'iniezione, osservando la risalita della miscela all'esterno dei tubi piezometrici. I rivestimenti provvisori di perforazione devono essere estratti, operando solo a trazione, non appena la

miscela apparirà in superficie. Nella fase di estrazione dei rivestimenti, il rabbocco di miscela potrà essere eseguito da testa foro anziché attraverso il tubo di iniezione, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi.

Infine, la parte sommitale del tubo sarà chiusa con un tappo avvitato e il completamento superficiale del piezometro verrà eseguito con chiusino metallico protettivo, carrabile o fuori terra, munito di coperchio con lucchetto.

Considerato che la soggiacenza della falda freatica nel sito in esame è variabile da monte a valle idrogeologica, la profondità dei piezometri dovrà tenere conto del livello piezometrico della falda superficiale e delle oscillazioni dello stesso durante l'anno idrologico, da desumersi sulla base delle risultanze delle campagne di misurazione piezometrica disponibili. Al termine dell'installazione del piezometro si provvederà a sviluppare adeguatamente lo stesso, fino all'ottenimento di acqua priva di sedimenti in sospensione.

Il pompaggio sarà eseguito con l'utilizzo combinato di due metodi:

- air-lift, che necessita di un compressore d'aria di adeguata portata (almeno 5.000 l/min) e di una testa pozzo specifica dotata di tubo di mandata dell'aria e collettore di uscita dell'acqua;
- pompaggio con pompa elettro-sommersa, la cui bocca di aspirazione sarà collocata in prossimità della parte sommitale del fondello sand-trap e che dovrà essere in grado di pompare fluidi torbidi. Si dovranno tuttavia evitare portate eccessive per evitare l'intasamento del filtro in ghiaia. È consigliabile condurre delle prove speditive per definire la portata ottimale di emungimento.

Al termine delle attività di installazione dei piezometri, prima dello spurgo, sarà realizzato un rilievo freaticometrico generale e qualora fosse individuata la presenza di prodotto surnatante, ne sarà misurato lo spessore apparente.

9.4.2 Rilievi di campo e rilievo topografico dei piezometri

Durante lo svolgimento delle perforazioni dovranno svolgersi una serie di attività parallele, il cui scopo è quello di fornire conoscenze aggiuntive a quelle acquisite dall'analisi chimica dei campioni stessi.

Tali attività sono essenzialmente:

- redazione di log stratigrafici;
- campionamento per analisi granulometrica;
- rilievo topografico.

I log stratigrafici consistono nella registrazione su carta della successione litologica incontrata durante la perforazione. Essi saranno redatti su appositi moduli in cui le informazioni vengono inserite dal geologo di campo.

Le informazioni che verranno raccolte per ciascuna perforazione sono:

- nome della ditta di perforazione;
- ubicazione del sondaggio (coordinate Gauss-Boaga) con assegnazione di un nome o codice identificativo;
- data di inizio e ultimazione;
- metodo di perforazione e tipo di avanzamento;
- profondità e diametro di perforazione, diametro finale del foro;
- sequenza litologica incontrata con descrizione delle caratteristiche (granulometria, colore, umidità, presenza di materiale organico, ecc.);
- proprietà organolettiche del terreno e evidenze di sostanze inquinanti;
- presenza e profondità della falda acquifera dal piano di campagna;
- schema di completamento dei piezometri, e misura di livello della falda dalla bocca piezometro, per i sondaggi così attrezzati;
- profondità di prelievo dei campioni per analisi granulometriche;
- profondità di prelievo dei campioni per analisi chimiche di laboratorio;
- descrizione del metodo di sviluppo adottato (tipo, tempi, portate, risultati).

A queste si aggiungeranno tutte le informazioni che, caso per caso, dovessero ritenersi utili per meglio descrivere le attività condotte. I log stratigrafici saranno redatti via via che le carote di terreno vengono estratte dal carotiere e adagiate in apposite cassette catalogatrici rispettando la sequenza originaria. Dovranno essere anche scattate le fotografie delle cassette catalogatrici con indicazione sulle cassette dei metri di sondaggio e del codice di identificazione del sondaggio.

L'esame della carota dovrà avvenire in tempi brevi, affinché siano valutabili correttamente elementi di grande importanza come grado di umidità, presenza di odori sospetti, ecc.

Al termine delle attività di realizzazione dei piezometri verrà effettuato un rilievo plano-altimetrico di precisione che interesserà tutta la rete di misura piezometrica.

Una volta concluse le attività di realizzazione dei piezometri, sarà inoltre effettuata una campagna per la misura del livello statico della falda, finalizzata alla ricostruzione

dell'andamento dettagliato delle isopieze nell'ambito dell'area di studio.

Il rilievo topografico dei piezometri è indispensabile per formulare qualsiasi considerazione sulla direzione di deflusso della falda. Saranno determinate le quote assolute in modo tale da rendere confrontabili e correlabili i dati relativi a siti contigui.

9.4.3 Pulizia e decontaminazione delle attrezzature

La composizione chimica e biologica del materiale prelevato non dovrà essere alterata a causa di surriscaldamento, di dilavamento o di contaminazione da parte di sostanze e attrezzature utilizzate durante il campionamento. I carotaggi saranno quindi eseguiti a secco, evitando l'utilizzo di fluidi che potrebbero alterare le caratteristiche chimiche dei materiali da campionare.

Nell'esecuzione dei sondaggi sarà adottata ogni cautela al fine di non provocare la diffusione di inquinanti a seguito di eventi accidentali.

La decontaminazione delle attrezzature di perforazione, di raccolta e conservazione dei campioni ha la funzione di minimizzare il rischio di indurre contaminazioni esterne o di creare fenomeni di contaminazione incrociata tra punti diversi di monitoraggio. L'*American Society for Testing and Materials* individua le procedure di decontaminazione delle attrezzature nella norma ASTM D 5088-90 (ASTM, 1990).

In generale, prima di ogni sondaggio, le attrezzature dovranno essere lavate con acqua in pressione e/o vapore acqueo e si dovranno mettere in atto accorgimenti di carattere generale per evitare l'immissione nei rifiuti e nei terreni di composti estranei, quali:

- rimozione dei lubrificanti dalle zone filettate;
- eliminazione di gocciolamenti di oli dalle parti idrauliche;
- pulizia dei contenitori per l'acqua;
- la pulizia di tutti le parti delle attrezzature tra un campionamento e l'altro.

Sarà cura della società incaricata dell'esecuzione delle attività in campo ed in laboratorio garantire e dare evidenza dell'integrale applicazione dei criteri atti ad evitare episodi di contaminazione incrociata.

9.5 Criteri generali di campionamento

9.5.1 Campionamento terreno

Nel suolo e nel sottosuolo saranno prelevate le seguenti tipologie di campioni:

- Campioni di topsoil: il topsoil rappresenta il terreno più superficiale, indicativamente quello compreso tra il piano di campagna e 10 centimetri di profondità.

- Campioni di suolo superficiale: il suolo superficiale è definito come la porzione di terreno compresa tra il piano di campagna ed 1 metro di profondità;
- Campioni di suolo profondo: il suolo profondo è definito come la porzione di terreno compresa tra il primo metro di profondità e la massima profondità raggiunta dalle indagini. Sarà campionato per il tratto compreso tra il suolo superficiale e la superficie piezometrica di falda (suolo insaturo).

In aggiunta ai campioni previsti per sondaggio, saranno prelevati separatamente, materiali che si dovessero distinguere per evidenze di inquinamento o per caratteristiche organolettiche, chimico-fisiche e litologico-stratigrafiche.

Per ciascun sondaggio i campioni saranno prelevati secondo le modalità indicate al paragrafo 9.3.

Per ogni campione di terreno saranno prelevate:

- 1 aliquota di materiale da inviare ad analisi;
- 1 aliquota da conservare per eventuali verifiche;
- 1 aliquota per la validazione dell'Ente di Controllo (ARPAS).

Le copie a disposizione dell'Ente di controllo e di archivio dovranno essere conservate a temperatura idonea, sino all'esecuzione e validazione delle analisi di laboratorio da parte dell'Ente di controllo preposto.

La campionatura del topsoil sarà realizzata mediante attrezzatura manuale; il campione, dopo aver individuato una porzione di terreno di circa 1 metro quadro, sarà prelevato dopo opportuna omogeneizzazione e quartatura sul posto, preceduta dalla disgregazione del suolo tra 0 e 10 centimetri di profondità entro l'area individuata. In nessun caso il campione di topsoil sarà prelevato da un sondaggio.

La campionatura del sondaggio verrà effettuata prelevando una porzione rappresentativa del metro di carota da campionare, eliminando la frazione di granulometria superiore a 2 cm ed effettuando un'omogeneizzazione e quartatura in campo per avere aliquote di campioni significative e rappresentative; la formazione del campione dovrà avvenire su un telo di materiale impermeabile (polietilene), in condizioni adeguate ad evitare la variazione delle caratteristiche e la contaminazione del materiale.

Nel corso degli interventi di prelievo dei campioni, tutto il materiale estratto dovrà essere esaminato e tutti gli elementi che lo caratterizzano riportati su un apposito rapporto. In particolare, dovrà sempre segnalarsi la presenza nei campioni di contaminazioni evidenti.

Il materiale una volta estruso verrà disposto in un recipiente che permetta la deposizione delle carote prelevate senza disturbarne la disposizione stratigrafica. A tal fine dovrà essere utilizzato un recipiente di materiale inerte (PVC), idoneo ad evitare la contaminazione dei campioni prelevati. Per evitare la contaminazione tra i diversi prelievi, il recipiente per la deposizione delle carote dovrà essere, decontaminato e asciugato tra una deposizione e l'altra.

Tutte le carote prelevate verranno sistemate, nell'ordine di estrazione, in adatte cassette catalogatrici distinte per ciascun sondaggio, nelle quali verranno indicati chiaramente e in modo indelebile i dati di identificazione del perforo e dei campioni contenuti e le quote di inizio e termine del campione contenuto.

Le cassette dovranno essere trasferite presso un deposito in luogo chiuso e ivi immagazzinate per la conservazione e dovranno rimanere a disposizione per il tempo necessario al completamento del processo di caratterizzazione.

Il campione di terreno dovrà essere formato immediatamente a seguito dell'estrusione del materiale dal carotiere, in quantità significative e rappresentative. Un apposito campione dovrà essere prelevato nel caso in cui si debba provvedere alla classificazione granulometrica o merceologica della matrice solida. I campioni verranno trasferiti in appositi contenitori, sigillati e univocamente siglati. In tutte le operazioni di prelievo dovrà essere rigorosamente garantita la pulizia delle attrezzature e dei dispositivi di prelievo, utilizzando mezzi o solventi compatibili con i materiali e le sostanze di interesse, in modo da evitare fenomeni di contaminazione incrociata o perdita di rappresentatività del campione.

Laddove le caratteristiche granulometriche lo consentano, i campioni di terreno necessari per la determinazione dei composti organici volatili saranno prelevati secondo il metodo ASTM D4547-98. In ogni caso, le aliquote necessarie per l'analisi di composti volatili verranno prelevate nel più breve tempo possibile, immediatamente dopo l'estrusione della carota, direttamente dalla canaletta di raccolta del materiale, per evitare la perdita di COV, e saranno collocate in recipienti in vetro con tappo a vite.

9.5.2 Campionamento acque di falda

Il campionamento delle acque di falda sarà eseguito utilizzando idonee pompe sommerse (campionamento dinamico) al fine di minimizzare i fenomeni di modificazione chimico-fisica delle acque sotterranee.

Prima del campionamento, si procederà allo spurgo dell'acqua presente nell'opera di monitoraggio, che non costituisce una matrice rappresentativa della qualità delle acque sotterranee. Per lo spurgo si utilizzeranno pompe sommerse con portata non superiore ai 10 l/min, per evitare il trascinarsi di materiale fine, con rischio di intorbidimento dell'acqua. Le operazioni di spurgo si protrarranno sino ad eliminare 3-6 volumi di acqua contenuta nel pozzo.

Completato lo spurgo si preleverà il campione in modalità dinamica, a basso flusso per ridurre la turbolenza e l'aerazione dell'acqua.

Qualora si rinvenga la presenza di prodotto in fase libera, verrà prelevato, preventivamente allo spurgo, un campione in modalità statica. Successivamente si potrà eseguire lo spurgo e prelevare un secondo campione in modalità dinamica per le altre determinazioni.

Ogni prelievo verrà effettuato secondo la seguente procedura:

- verifica della funzionalità e della pulizia di tutte le apparecchiature utilizzate durante il campionamento;
- sostituzione del tubo di mandata della pompa per evitare fenomeni di *cross contamination*;
- rigorosa decontaminazione delle apparecchiature utilizzate;
- verifica dell'integrità e della corretta identificazione del pozzetto di campionamento;
- misura del livello statico della falda;
- rilievo dell'eventuale presenza di sostanze non miscibili con l'acqua e misura dello spessore mediante apposita sonda freaticometrica d'interfaccia. Posizionamento dell'aspirazione della pompa in corrispondenza del punto medio dell'intervallo fessurato del rivestimento del piezometro;
- regolazione della portata di emungimento in modo da ottenere il minimo abbassamento nel livello del piezometro sia durante lo spurgo che nel successivo campionamento (portate non superiori a 0.5 l/min).

Affinché le misure di soggiacenza eseguite in un dato piezometro in tempi diversi siano confrontabili fra loro è indispensabile che vengano effettuate rispetto ad un punto fisso ed immutabile (si utilizzerà sempre la bocca del tubo piezometrico in PVC).

Il prelievo prevede una prima fase di condizionamento, in cui i contenitori dovranno essere preliminarmente "avvinati" con la stessa acqua da prelevare. Questa operazione assicura che il campione non venga in contatto con sostanze estranee eventualmente presenti nel recipiente o non venga diluito dai liquidi di risciacquo utilizzati per la sua pulizia. L'avvinamento avviene di norma sciacquando energicamente il recipiente per tre volte.

Successivamente, si procederà al riempimento dei flaconi; i contenitori saranno riempiti completamente, evitando la presenza di bolle d'aria residue.

A conclusione delle operazioni si eseguirà la lettura del livello piezometrico. In generale i parametri possono considerarsi stabilizzati con variazioni nell'ambito dei seguenti intervalli:

- pH: ± 0.1

- Temperatura: ± 0.1 °C
- Conducibilità elettrica: ± 3 %
- Ossigeno Disciolto: ± 10 %
- potenziale Redox: ± 10 mV

In ultimo si procederà alla decontaminazione delle attrezzature prima del successivo campionamento.

9.5.3 Documentazione delle attività

Al fine di garantire il controllo e la qualità delle operazioni di campionamento delle matrici ambientali dovrà essere predisposta, a cura della società incaricata dell'esecuzione delle attività in campo ed in laboratorio, appropriata documentazione delle attività che consenta la rintracciabilità e l'identificazione univoca dei campioni prelevati dal sito e inviati presso il laboratorio di analisi, la verifica delle procedure di campionamento, di esecuzione di misure in campo, di conservazione e trasporto dei campioni, di esecuzione delle analisi in laboratorio (metodiche analitiche); tale documentazione dovrà includere anche le azioni intraprese ai fini del controllo delle attività svolte in campo ed in laboratorio. Tutte le operazioni svolte ai fini del prelievo, formazione, trasporto e conservazione dei campioni nonché delle analisi e prove in situ ed in laboratorio dovranno essere documentate con verbali quotidiani da redigere a cura della società incaricata dell'esecuzione delle attività in campo ed in laboratorio; lo stesso soggetto dovrà predisporre un elenco dei principali materiali e attrezzature utilizzati, completo di descrizione degli stessi.

Di seguito si riporta una sintesi della documentazione da redigere a cura della società incaricata dell'esecuzione delle attività in campo ed in laboratorio:

- registro, da compilare quotidianamente, per la raccolta organizzata delle informazioni di campo (localizzazione delle attività, tempistica delle operazioni svolte, scopo delle attività e quant'altro serve a descrivere univocamente le operazioni svolte);
- identificazione univoca dei campioni, data, ora e luogo di prelievo, denominazione del campione, profondità e temperatura del campionamento, analisi richiesta, e dati relativi ai contenitori, materiale, capacità, sistema di chiusura, grado di pulizia;
- numero dei punti di misura, numero di sotto campioni, numero di repliche delle analisi;
- quantità di campione raccolta, in relazione al numero ed alla tipologia dei parametri da determinare (e quindi delle metodologie analitiche da adottare);
- precisione delle determinazioni analitiche;
- pulizia e decontaminazione dell'attrezzatura di campionamento (modalità e sostanze

utilizzate);

- etichettatura dei campioni, tramite apposizione di cartellini con diciture annotate con penna ad inchiostro indelebile, da riportare anche sul verbale di campionamento che potrà essere redatto in analogia con quanto previsto dalla normativa in materia di rifiuti;
- protocollo di campionamento ed analisi, descrizione delle procedure di prelievo, formazione dei campioni, conservazione, trasporto e di analisi;
- modalità di elaborazione, presentazione ed archiviazione dei dati;
- misure di sicurezza per gli operatori (rischio di contatto con gli occhi, rischio di ingestione accidentale, rischio di inalazione, rischi dovuti alle attrezzature utilizzate, rischio dovuto a radiazioni, ecc.) ed equipaggiamento di sicurezza necessario.

Le attività svolte sul campo saranno descritte dal Responsabile del Sito, nominato dalla società incaricata dell'esecuzione delle attività in campo ed in laboratorio o dalla Committenza, con la redazione di un Giornale dei Lavori, che sarà verificato e validato dai responsabili degli Enti preposti al controllo, i quali, quindi, potranno verificare la corretta applicazione delle metodiche analitiche, dei sistemi utilizzati, del rispetto delle Buone Pratiche di Laboratorio.

Tutte le fasi operative di laboratorio, comprese le attività di controllo degli Enti preposti, saranno descritte nel Giornale dei Lavori di Laboratorio che potrà essere verificato e validato dagli Enti di Controllo. La validazione dell'intero processo analitico, dal prelievo del campione alla restituzione del dato, potrà essere eseguita dagli Enti di controllo attraverso l'approvazione dei certificati analitici.

Di ogni punto di campionamento di matrici solide e/o liquide, la società incaricata dell'esecuzione delle attività in campo ed in laboratorio dovrà rilevare le coordinate Gauss-Boaga, in modo da poter successivamente georeferenziare sia i dati che i risultati, nonché le profondità dal piano di campagna.

9.5.4 Preservazione e trasporto dei campioni

Tutti i campioni prelevati saranno identificati in modo chiaro e univoco dal personale in campo: l'etichetta conterrà i dati essenziali del campione, quali il sito di provenienza, l'identificativo del campione, la quota di prelievo, la data e l'ora del prelievo e la sigla del tecnico che ha effettuato il prelievo.

Poiché i campioni di acqua, di terreno non verranno analizzati in campo immediatamente, dopo la raccolta sarà necessario adottare tutte le precauzioni per evitare che le analisi vengano inficiate dall'alterazione del campione. A questo proposito si rende necessario adottare specifiche procedure di conservazione dei campioni che devono essere riposti in contenitori di materiali adeguati alla matrice ambientale prelevata ed alla tipologia di

contaminante da analizzare.

Il trasporto sarà effettuato in contenitori isotermici idonei, evitando l'esposizione a fonti di calore o a sorgenti di contaminazione.

I campioni consegnati al laboratorio saranno accompagnati da apposita documentazione contenente, per ciascun campione, le informazioni riportate in etichetta sui contenitori, le informazioni relative al trasporto e le condizioni dei campioni al momento della consegna al laboratorio.

I campioni di terreno saranno conservati ad una temperatura di 4°C. Per l'analisi dei composti volatili, i contenitori saranno riempiti fino all'orlo, senza spazio di testa e refrigerati fino alla consegna in laboratorio.

Per quanto riguarda i campioni di acqua, dovranno adottarsi le tecniche di preservazione più sofisticate che comprendono:

- controllo del pH;
- addizione di sostanze chimiche;
- controllo della temperatura ;
- protezione dalla luce.

Le caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua, infatti, cominciano a modificarsi subito dopo che il campione viene estratto dalla formazione acquifera; i processi chimico-fisico-biologici che alterano la qualità e la rappresentatività del campione comprendono:

- adsorbimento e desorbimento;
- formazione di complessi;
- reazioni acido-base;
- reazioni di ossidoriduzione;
- precipitazione;
- fotodegradazione;
- stripping e dissoluzione di gas;
- degradazione biologica.

L'idonea tecnica di preservazione per ciascun parametro e per ciascuna matrice ambientale dovrà essere identificata ed applicata dalla società incaricata dell'esecuzione delle attività in campo ed in laboratorio.

Al fine di evitare fenomeni di *cross-contamination* dei campioni di suolo, si adotteranno le seguenti procedure di bonifica delle attrezzature:

1. i fogli di polietilene per la quartatura dei campioni saranno sostituiti ad ogni prelievo;
2. i campioni saranno preparati utilizzando una spatola in acciaio esente da rilasci;
3. la spatola sarà bonificata con acetone, sciacquata con acqua distillata e asciugata con carta esente da contaminanti dopo ogni operazione di campionamento.

Il lavaggio dell'attrezzatura "leggera" (spatole, bailer, pompe, ecc.), avverrà con una soluzione detergente non fosfatica, strofinando con una spazzola. Si procederà poi a risciacquare con acqua di rubinetto e con acqua deionizzata. Infine l'attrezzatura sarà disposta in un contenitore inerte o in plastica pulita o in un foglio di alluminio per l'immagazzinamento ed il trasporto.

9.6 Determinazioni analitiche: specifiche tecniche generali

Le analisi chimiche saranno affidate ad un laboratorio accreditato SINAL o da altri organismi internazionali per tutti i parametri ricercati e saranno condotte adottando metodologie ufficialmente riconosciute; i limiti di rilevabilità dovranno comunque essere conformi ai requisiti previsti dalla normativa e, ove tecnicamente possibile, 10 volte inferiori rispetto ai valori di concentrazione soglia di contaminazione di cui al D.Lgs. 152/06.

L'elaborazione dei risultati analitici deve esprimere l'incertezza del valore di concentrazione determinato per ciascun campione. La deviazione standard per ogni valore di concentrazione determinato, da confrontare con i valori limite accettabili, dovrà essere stabilita sulla base del confronto delle metodologie che si intendono adottare per il campionamento e per l'analisi dei campioni.

Il laboratorio prescelto dovrà adottare le procedure di controllo riportate nel documento redatto da APAT attraverso il CTN SSC "Proposta di guida tecnica sui metodi di analisi dei suoli contaminati" RTI CTN_SSC 3/2002.

Per l'analisi dei suoli saranno utilizzate le metodiche analitiche contenute nella "Raccolta 2000 - Metodi di Analisi dei suoli", redatta dal CTN SSC Centro Tematico Nazionale "Suolo e Siti Contaminati"; per le acque sotterranee saranno utilizzate quelle definite in "Metodi analitici per le acque", redatto da IRSA-CNR APAT o quelle elaborate dall'Environmental Protection Agency statunitense (US EPA), o comunque in linea con le indicazioni del D.Lgs 152/06 anche per quanto attiene i limiti inferiori di rilevabilità.

Nell'esecuzione delle analisi saranno comunque rispettati i seguenti accorgimenti:

- le analisi di laboratorio saranno effettuate nel più breve tempo possibile dal momento del prelievo;

- la società incaricata dell'esecuzione delle attività in campo ed in laboratorio dovrà redigere una relazione indicante, per ogni parametro analizzato, i metodi usati ed i relativi limiti di rilevabilità.

Per quanto concerne gli analiti da ricercare nei terreni e nelle acque, si è definito un set di analiti ampio, che include la *short list* di determinazioni analitiche minime, generalmente richieste per le attività di caratterizzazione all'interno dei Siti di Interesse Nazionale.

9.7 Procedure di caratterizzazione dei “Centri di pericolo”

Fermo restando quanto già stabilito per la sub-area omogenea indentificata come “*Comparto 4: Agglomerato di edifici industriali*” (cfr. par. 8.5.5.4), relativamente alle procedure di caratterizzazione da applicarsi presso gli stabilimenti produttivi e/o attività industriali individuati come “centri di pericolo” nell'ambito del Progetto RAS, non già inclusi nel suddetto Comparto, che non avessero proceduto alla caratterizzazione delle aree di competenza al momento dell'approvazione del presente PdC si ritiene opportuno adottare un approccio cautelativo che preveda un campionamento sistematico dei terreni secondo una maglia di campionamento delle dimensioni 50m x 50 m. Dei sondaggi eseguiti almeno il 50% dovrà essere attrezzato a piezometro ai fini del campionamento delle acque sotterranee assicurandosi di prevedere almeno un piezometro a monte rispetto alla direzione del flusso idrogeologico e due a valle.

Sulla frazione granulometrica inferiore ai 2 mm di ogni campione di terreno saranno ricercati i seguenti parametri, indicati nella Tabella 1 dell'Allegato 5 alla Parte IV, Titolo V del D.Lgs. 152/06:

- Metalli (Al, As, Fe, Mn, Sb, Be, Cd, Co, Cr_{tot}, Cr VI, Hg, Ni, Pb, Cu, Se, St, T, V, Zn);
- Altri componenti inorganici: cianuri liberi, fluoruri;
- Aromatici (benzene, etilbenzene, stirene, toluene, xilene; sommatoria organici aromatici);
- Aromatici policiclici (benzo(a)antracene, benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(g,h,i) perilene, crisene, dibenzo(a)pirene, dibenzo(a,h)antracene, indenopirene, pirene, sommatoria policiclici aromatici);
- Alifatici clorurati cancerogeni (clorometano, dicloroetano, triclorometano, cloruro di vinile, 1,2-dicloroetano, 1,1-dicloroetilene, 1,2-dicloropropano, 1,1,2-tricloroetano, tricloroetilene, 1,2,3-tricloropropano, 1,1,2,2-tetracloroetano, tetracloroetilene);
- Alifatici clorurati non cancerogeni (1,1-dicloroetano, 1,2-dicloroetilene, 1,1,1-tricloroetano);
- Alifatici alogenati cancerogeni (tribromometano, 1,2-dibromoetano, dibromoclorometano, bromodiclorometano);

- Clorobenzene (monoclorobenzene, 1,2-diclorobenzene; 1,4- diclorobenzene, 1,2,4-triclorobenzene, 1,2,4,5-tetraclorobenzene, pentacorobenzene, esaclorobenzene);
- Fenoli non clorurati (fenolo, metilfenolo (o-, m-, p-));
- Fenoli clorurati (2-clorofenolo, 2,4-diclorofenolo, 2,4,6-triclorofenolo, pentaclorofenolo);
- Idrocarburi leggeri (C < 12) e pesanti (C > 12).

Sui campioni di acqua sotterranea saranno rilevati i seguenti analiti indicati nella Tabella 2 dell'Allegato 5 alla Parte Quarta, Titolo V del D.Lgs. 152/06:

- Metalli (Al, Sb, Ag, As, Be, Cd, Co, Cr tot, Cr VI, Fe, Hg, Ni, Pb, Cu, Se, Mn, T, Zn);
- Inquinanti inorganici (B, cianuri liberi, fluoruri, nitriti, solfati);
- Composti organici aromatici (benzene, etilbenzene, stirene, toluene, p-xilene);
- Idrocarburi Policiclici Aromatici (benzo(a)antracene, benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(g,h,i)perilene, crisene, dibenzo(a,h)antracene, indeno(1,2,3-c,d)pirene, pirene, sommatoria);
- Alifatici clorurati cancerogeni (clorometano, triclorometano, cloruro di vinile, 1,2-dicloroetano, 1,1-dicloroetilene, 1,2-dicloropropano, 1,1,2-tricloroetano, tricloroetilene, 1,2,3-tricloropropano, 1,1,2,2-tetracloroetano, tetracloroetilene, esaclorobutadiene, sommatoria);
- Alifatici clorurati non cancerogeni (1,1-dicloroetano, 1,2-dicloroetilene);
- Alifatici alogenati cancerogeni (tribromometano, 1,2-dibromoetano, dibromoclorometano, bromodiclorometano);
- Fenoli (2-clorofenolo, 2,4-diclorofenolo, 2,4,6-triclorofenolo, pentaclorofenolo);
- Idrocarburi totali.

Qualora venissero accertati superamenti rispetto alle CSC, non riconducibili ai valori di fondo naturale, a seguito dei quali risultasse necessario elaborare un'analisi di rischio sito specifica, su indicazione degli Enti preposti verranno ricercati i parametri sito specifici di cui al "Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei parametri sito-specifici utilizzati nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del D.Lgs. 152/06", elaborato nell'ambito del gruppo di lavoro APAT – ARPA – ISS - ISPESL, che riporta le indicazioni necessarie per la determinazione e la validazione dei parametri sito specifici.

Per quanto non precisato circa le modalità realizzative dei sondaggi e dei piezometri nonché

le metodiche da adottare per il campionamento e l'analisi dei campioni si rimanda interamente ai paragrafi precedenti.

9.8 Procedure di caratterizzazione per opere lineari

Nelle more dell'attuazione, in ciascun Comparto omogeneo, delle indagini previste dal presente PdC, laddove fosse necessario dar seguito alla realizzazione di opere infrastrutturali con sviluppo prevalente lineare (p.e. strade, elettrodotti, acquedotti), in coerenza con quanto previsto per la Fascia infrastrutture CACIP – Comparto 8 (cfr. par. 9.2.1) si propone il seguente schema di campionamento:

- n.1 punto di campionamento di terreno ogni 200 metri lineari di sviluppo dell'infrastruttura, laddove la stessa attraversi contesti caratterizzati da conclamate situazioni di contaminazione o risulti esposta alla potenziale contaminazione proveniente da limitrofi Centri di pericolo (Comparti 4 e 6);
- n.1 punto di campionamento di terreno ogni 500 metri lineari di sviluppo dell'infrastruttura, laddove la stessa attraversi contesti caratterizzati da bassa probabilità di manifestare contaminazione (Comparti 1, 2, 3, 5, 7).

Per quanto attiene alle modalità di esecuzione dei sondaggi ed alle determinazioni analitiche da eseguire si rimanda alle procedure già specificate per i diversi Comparti omogenei. In particolare il set di analiti per la matrice "terreno" dovrà essere definito, per ciascun punto di campionamento, sulla base dell'appartenenza dei punti di prelievo allo specifico Comparto omogeneo (cfr. par. 9.2.2.1).

9.9 Modalità di rappresentazione dei risultati

Tutti i risultati analitici acquisiti nell'ambito delle fasi di indagine sopra descritte costituiranno la base di dati a cui riferirsi per ricostruire il modello concettuale definitivo del sito nonché definire l'entità e l'estensione dell'eventuale contaminazione sul sito.

La summenzionata relazione prodotta dalla società incaricata dell'esecuzione delle attività in campo ed in laboratorio dovrà includere anche la relazione redatta dal geologo incaricato dalla società stessa nella quale verranno trattate e commentate le evidenze scaturite dalle stratigrafie, dai rilievi piezometrici, ecc..

I risultati delle attività di campo e di laboratorio verranno espressi sotto forma di tabelle di sintesi e di rappresentazioni cartografiche quali, indicativamente:

- carta dell'ubicazione delle indagini svolte e dei punti di campionamento e/o misura, con distinzione tipologica;

- sezioni geologiche rappresentative del quadro litostratigrafico del sottosuolo;
- sezioni idrogeologiche rappresentative della geometria degli acquiferi;
- carte piezometriche, con ricostruzione del campo di moto della falda ed indicazione dei punti di misura;
- carta di distribuzione degli inquinanti nei terreni, in senso areale e verticale;
- carta di distribuzione degli inquinanti nelle acque sotterranee;

Facendo particolare riferimento ai risultati delle determinazioni analitiche di laboratorio, laddove ciò risultasse significativo, essi verranno elaborati anche mediante analisi statistica in grado di evidenziare:

- valori minimi, massimi e medi rilevati, deviazione standard;
- distribuzione percentuale delle concentrazioni osservate.

I risultati delle attività di indagine svolte sul sito e in laboratorio saranno espressi sotto forma di tabelle di sintesi, di rappresentazioni grafiche e cartografiche e di relazioni di commento.

9.10 Sistema informativo geografico (GIS)

I risultati della caratterizzazione saranno archiviati in un Sistema Informativo Territoriale (SIT/GIS) che consente di gestire le informazioni relative ai punti di indagine da realizzarsi nell'area in oggetto durante le attività di investigazione.

Il GIS potrà eventualmente consentire la creazione di mappe tematiche puntuali rappresentative delle concentrazioni dei singoli analiti, e consentirà di interrogare le tabelle con i dati analitici ed eseguire *query* per estrarre le informazioni.

Sulla base delle planimetrie esistenti, integrate con i database riguardanti le acque sotterranee, i terreni e la geologia, sarà possibile interrogare a video i punti di indagine al fine di ottenere le informazioni di interesse, rappresentate sotto forma grafica o tabellare.

10 POSSIBILI SCENARI DI ATTUAZIONE DELLE ATTIVITÀ DI CARATTERIZZAZIONE

La rilevante estensione della porzione di territorio di pertinenza del CACIP, inclusa nella sub-perimetrazione di dettaglio del SIN Sulcis-Iglesiente-Guspinese, impone la definizione di un organico programma d'azione ai fini di assicurarne la caratterizzazione ai termini del Titolo V, parte quarta del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii.. In questa sede, considerata la natura esclusivamente tecnica del presente documento, si prescinderebbe dal delineare ruoli e responsabilità degli attori, istituzionali e non, che necessariamente saranno coinvolti in tale complesso processo. Non si può fare a meno di osservare, peraltro, come la fase decisionale di definizione del percorso di attuazione delle attività di indagine dovrà confrontarsi con molteplici questioni di carattere tecnico-ambientale e socio-economico quali, solo per citarne alcune:

- le condizioni di rischio per la salute pubblica e per gli ecosistemi che scaturiscono dal modello concettuale preliminare delineato dal presente PdC con riferimento alle locali situazioni di potenziale contaminazione evidenziate;
- la sussistenza di presupposti di rilevanza strategica e socio-economica (p.e. derivanti dalla necessità di dar seguito ad interventi infrastrutturali di interesse pubblico, alcuni dei quali volti proprio alla protezione ambientale) tali da richiedere prioritariamente la restituzione agli usi legittimi di alcune aree ben definite interne al Sito;
- esigenze strategiche connesse allo sviluppo ed insediamento delle attività produttive nel settore di Macchiareddu, rispetto a cui il CACIP e gli Enti territoriali, nell'ambito delle specifiche competenze, sono chiamati istituzionalmente a dare risposte;
- il reperimento delle risorse necessarie per dar corso all'attuazione del processo di caratterizzazione.

Da tali presupposti sembra emergere in tutta evidenza come il percorso di caratterizzazione del Sito di Macchiareddu, da condursi secondo l'approccio metodologico prospettato al paragrafo 9.2, non possa prescindere da un'attuazione per fasi, o lotti attuativi successivi.

A tale riguardo, pertanto, l'allegata Tavola 28b riporta una proposta di articolazione delle sub-aree omogenee (o Comparti) in lotti attuativi, perimetrati, laddove possibile, in rapporto alle geometrie delle tessiture territoriali che caratterizzano il territorio (p.e. infrastrutture stradali e confini di proprietà) o, in subordine, in relazione alla distribuzione delle maglie di campionamento proposte (cfr. par. 9.2.1). Per ciascun comparto la codifica dei lotti così individuati è composta da due cifre: la prima riferita al numero identificativo del Comparto mentre la seconda contraddistingue lo specifico lotto (p.e. il codice 1.3 identifica il Lotto 3 del Comparto 1).

In una tale prospettiva il CACIP, di concerto con gli Enti preposti, è determinato ad attivarsi

prontamente, a valle dell'approvazione del presente PdC, per dar seguito alle indagini ambientali di caratterizzazione dei lotti occupati dai seguenti interventi infrastrutturali di prossima realizzazione (Tavola 28c):

- copertura delle aie di maturazione della frazione organica da preselezione meccanica di RU facenti capo al sistema di trattamento della Tecnocasic in Comune di Capoterra occupanti una superficie indicativa di 8 ettari (Lotto 2.8);
- discarica di sistema in loc. Planemesu, Comune di Uta, funzionale ad ospitare i residui non recuperabili del sistema di termovalorizzazione della Tecnocasic, attualmente conferiti presso discariche fuori bacino (Lotto 1.4);
- viabilità funzionale alla razionalizzazione dei collegamenti dell'area industriale CACIP con la S.S. 195, sviluppantesi prevalentemente lungo le esistenti arterie viarie dell'ex Strada privata Conti Vecchi e della pista a servizio dell'esistente elettrodotto a 150 kV, impostate sugli argini delle stesse saline Conti Vecchi (Lotti 4.29, 6.5, 7.1, 7.4,);
- interventi di infrastrutturazione nel settore compreso tra la 2° strada ovest consortile e la stessa strada Dorsale consortile (Lotto 1.4).

I predetti interventi rivestono attualmente carattere prioritario per il CACIP e rispondono, inoltre, ad esigenze strategiche di livello programmatico, provinciale e regionale, funzionali ad assicurare lo sviluppo della dotazione infrastrutturale complessiva del territorio.

Sottolineata, per le motivazioni anzidette, la pressante esigenza del CACIP di pervenire ad una rapida attuazione dei suddetti interventi localizzati, un possibile percorso di caratterizzazione per macro-aree, da verificare con gli Enti preposti, potrebbe essere improntato ad affrontare prioritariamente ed in modo organico le più conclamate situazioni di criticità ambientale riscontrate nel Sito di Macchiareddu. In tal senso si ritengono meritevoli di particolare attenzione ed approfondimento conoscitivo:

- i siti industriali individuati come Centri di pericolo nell'ambito del citato progetto RAS e nel presente PdC, non già sottoposti a caratterizzazione (Tavola 10);
- il territorio della piana di Capoterra (Comparto 2), in ragione delle condizioni d'uso che la caratterizzano, orientate all'esercizio di attività agricole di tipo orticolo e serricolo;
- le aree agricole e seminaturali poste ad est dello stabilimento Syndial (Comparto 6) in relazione alla vocazione naturalistica dei luoghi ed al permanere di un utilizzo del suolo improntato alla prosecuzione delle pratiche agro-zootecniche.

BIBLIOGRAFIA

- APAT, 2003. Proposta di guida tecnica sui metodi di analisi dei suoli contaminati.
- APAT, 2006. Manuale per le indagini ambientali nei siti contaminati.
- APAT, Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati, Rev. 2 Marzo 2008.
- ARPAS "Linee Guida per la validazione delle attività di bonifica" 2011.
- Aru A., Baldaccini P., Delogu G., Dessena M. A., Madrau S., Melis M. T., Vacca A., Vacca S., 1990. *Carta dei Suoli della Sardegna*. Università degli Studi di Cagliari – Regione Autonoma della Sardegna. Ed. SELCA, Firenze.
- Aru A., Baldaccini P., Vacca A., 1991. *Nota illustrativa alla Carta dei Suoli della Sardegna*. Università degli Studi di Cagliari – Regione Autonoma della Sardegna. Ed. STEF, Cagliari.
- Barca S., Maxia C., Palmerini V., 1973. Sintesi sulle attuali conoscenze relative alla Formazione del Cixerri (Sardegna sud-occidentale). Boll. Serv. Geol. d'It., 94, Roma.
- Caboi R., Cidu R., Pala A., Pecorini G., 1982. *Le acque fredde della Sardegna: lineamenti idrogeologici ed idrogeochimici*. Estr. da: *Ricerche geotermiche in Sardegna con particolare riferimento al graben del Campidano*, pp. 25-55.
- CAS.MEZ. e Università degli Studi di Sassari, 1996. Studio organico delle risorse idriche sotterranee della Sardegna – Il fase (Prog. Cassa 25/96) - Campidano – Relazione idrogeologica. 3, tavv. 2 e 5.
- Cherchi A., Marini A., Murru M., Ulzega A., 1978. Movimenti neotettonici nella Sardegna meridionale. Mem. Soc. Geol. It., 19, 581-587.
- Ciabatti P. e Pilia A. (2004). *Simulazione del flusso idrico sotterraneo dell'acquifero alluvionale multifalda della piana del Campidano meridionale (Sardegna)*. Quaderni di geologia applicata, 1.
- Ciabatti P., Sanna A., Cammaroto C., Artizzu B., Fontana M., Lecca E., Sole C., 1994-95. *Studio idrogeologico e idrochimico dell'acquifero della Piana di Capoterra finalizzato all'individuazione di nuove aree di captazione per scopi idropotabili*. Master in controllo dei Sistemi Idrici 1994/95. Hydrocontrol.
- Civita M., 1987. La previsione e la prevenzione del rischio d'inquinamento delle acque sotterranee a livello regionale mediante le Carte di Vulnerabilità. Atti Conv. "Inquinamento delle Acque Sotterranee: Previsione e Prevenzione", Mantova. Pp. 9-18
- Civita M. e De Maio M., 2000. Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico SINTACS R5. Ed. Pitagora.

CTN SSC, Raccolta 2000 - Metodi di Analisi dei suoli.

De Vivo B., Boni M., Lima A., Marcello A., Pretti S., Costabile S., Gasparini M., Iachetta A., Tarzia M., 2006. *Cartografia geochimica ambientale e carte di intervento per l'uso del territorio del Foglio Cagliari, Sardegna meridionale.*

ENEL / S.M.A.M, 1991. *Caratteristiche diffusive dei bassi strati dell'atmosfera.*

Ente Autonomo del Flumendosa, 1992. *Nuovo Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna.*

Funedda A., Carmignani L., Pasci S., Patta E.D., Uras V., Conti P., Sale V., 2009. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000 – Foglio 556 “Assemini”. ISPRA - Servizio Geologico d'Italia.

IRSA-CNR APAT, “Metodi analitici per le acque”, 2003

ISPRA - Servizio Geologico d'Italia, 2009. *Carta geologica d'Italia 1:50000 – Foglio 556 “Assemini”.*

ISPRA - Servizio Geologico d'Italia, 2009. *Carta geologica d'Italia 1:50000 – Foglio 565 “Capoterra.”*

Marcello A., Mazzella S., Naitza S., Pretti S., Tocco S., Valera P., Valera R., 2008. *Carta metallogenica e delle georisorse della Sardegna.* Scala 1:250000.

Marcello A., Pretti S., Valera P., 2003. *The Cagliari, Nuoro, Sassari sheets of the geochemical map of Italy - explanatory notes.* In: *Geochemical Baselines of Italy*, a cura di Ottonello G. e Serva L., 2003.

Montaldo P., 1959a. Carta geologica del Campidano centrale 1:50000 con note illustrative. Pubbl. Ist. Geol. Appl. Univ. Cagliari.

Montaldo P., 1959b. Sui terrazzamenti delle alluvioni antiche “alluvioni terrazzate” della Sardegna e sull'idrografia superficiale e sotterranea dei depositi quaternari. Appendice: sulla variabilità dei regimi di erosione in dipendenza del “livello di base”. Ass. Min. Sarda, 63, 3-4, Iglesias.

Pala A., 1983. Studio geoidrologico della piana di Capoterra (Sardegna meridionale). Rend. Sem. Fac. Sc. Univ. Cagliari, 53, fasc. 2.

Pecorini G. e Pomesano Cherchi A., 1969. Ricerche geologiche e biostratigrafiche sul Campidano meridionale (Sardegna). Mem. Soc. Geol. It., 8, 421-451, 14 ff., 5 tt.

Pomesano Cherchi, 1971. Studio stratigrafico e micropaleontologico del Pozzo Oristano 1 (Sardegna). Mem. Soc. Geol. It., 10, 1-16.

Puddu R. e Lai M.R., 1994. Indagini pedologiche e geoambientali nel bacino del Rio S. Lucia

(Sardegna meridionale). *Geologica Romana*, 30, 335-350.

Regione Autonoma della Sardegna - Linee Guida operative per la redazione, esecuzione e gestione dei piani di caratterizzazione ex D.M. 471/99” di cui al “Protocollo d’Intesa per gli interventi di risanamento dei siti di Enichem S.p.A. e POLIMERI EUROPA S.r.l. in Regione Sardegna”.

Regione Autonoma della Sardegna, 2004. Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico P.A.I. Interventi sulla rete idrografica e sui versanti. Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6 ter. D.L. 180/98 e successive modifiche ed integrazioni Norme di Attuazione.

Regione Autonoma della Sardegna, 2009. Interventi di indagine preliminare e realizzazione del sistema di monitoraggio siti inquinati: aree industriali di Assemini, Sarroch, Ottana e Porto Torres – Sito di Assemini.

Regione Autonoma Sardegna - Assessorato Assessorato LL.PP - Servizio Difesa del Suolo. Sito internet <http://www.regione.sardegna.it/j/v/25?s=131338&v=2&c=5650&t=1>

Regione Autonoma Sardegna – Assessorato della Difesa dell’Ambiente, 2011. *Relazione annuale sulla qualità dell’aria in Sardegna per l’anno 2010*.

Ulzega A. e Ozer A., 1982. Comptes-Rendus de l’Excursion-Table Ronde sur le Tyrrhénien de la Sardaigne orientale. INQUA.

Ulzega A., 1995. Geomorphology and stratigraphy of Late Quaternary. In: A. Cherchi: “6th Paleobenthon International Symposium, Guide-Book” – October 25-31, 1995. Rend. Sem. Fac. Sc. Univ. Cagliari, suppl., 65, 11-24.

Piani di caratterizzazione:

Dati di qualità ambientale estratti dal piano di caratterizzazione S.S. 195 “SULCITANA” – *Tratto Cagliari – Pula. Categoria B Extraurbane Principali. Lotti 1° - 3° e Opera Connessa SUD. Progetto Esecutivo – Caratterizzazione ambientale ed Analisi del Rischio – Relazione di sintesi risultati di caratterizzazione e sviluppo Analisi del Rischio*. Rev. A (30-11-2010), eseguito dalla società Anas Spa.

Dati di qualità ambientale estratti dal *Piano di Caratterizzazione Stabilimento Heineken Italia di Assemini. Risultati del piano di indagini (ai sensi del D. Lgs. 152/06)*. Rev. 0 (19-09-2011), eseguito dalla società Heineken Italia Spa – SARTEC, 2011.

Dati di qualità ambientale estratti dal *Piano di Caratterizzazione della centrale Turbogas di Assemini (CA)*. *Relazione Tecnica delle indagini svolte*, eseguito dalla società Enel S.p.A. - Divisione Generazione ed Energy Management Unità di Business di Sulcis. ISMES, 2010.

Dati di qualità ambientale estratti dal *Piano di Caratterizzazione del tracciato cavo SUCARU*

– *Comuni di Assemini e Sarroch*. Rev. 16-09-2010, eseguito dalla società Terna Spa. ISMES, 2010.

Dati di qualità ambientale estratti dal *Piano di Caratterizzazione del tracciato cavo SUCARU – Comuni di Assemini e Sarroch*. Rev. 16-09-2010, eseguito dalla società Terna Spa. ISMES, 2010.

Dati di qualità ambientale estratti dal *Piano di Caratterizzazione del tracciato cavo SUCARU – Comune di Capoterra*. Rev. 12-07-2011, eseguito dalla società Terna Spa. ISMES, 2011.

Dati di qualità ambientale estratti dal *Rapporto delle Attività eseguite agosto-dicembre 2010. Sito: Stabilimento di Assemini. Area ex Discarica Rumianca (Interventi di Messa in Sicurezza Permanente)*. Sito: *Stabilimento di Assemini. Area ex Discarica Rumianca*. Rapporto n. B3-3639/10.07 (aprile 2011), eseguito dalla società Syndial Spa Attività Diversificate. Petroltecnica Spa, 2011.

Dati di qualità ambientale estratti dal *Rapporto dello Stato di avanzamento dei lavori nel periodo 1 luglio – 31 dicembre 2008, Messa in sicurezza di emergenza località Is Campus de s'Atena*. Rev. 1 (31-03-2009), eseguito dalla società Syndial Spa Attività Diversificate – Stabilimento Assemini (CA). SAIPEM, 2009.

Dati di qualità ambientale estratti dal *Piano di Caratterizzazione di Realizzazione di un punto di ristoro rurale in località "Is Campus de s'Aleni"* – Rev. 0 (07-02-2010), eseguito dalla Società San Salvador Srl. Studio GiClaMa, 2010.

Dati di qualità ambientale estratti dal *Piano di Caratterizzazione Power Crop S.p.A. - Area Industriale Macchiareddu Assemini (CA)*. Rev. 0 (19-06-2009), eseguito dalla Società Power Crop Spa. URS, 2009.

Dati di qualità ambientale estratti dal *Piano di Caratterizzazione Sarda Solar S.p.A. Area Industriale Macchiareddu Uta (CA)*. Rev. 0 (dicembre 2009), eseguito dalla Società Sarda Solar Srl. URS, 2009

**ALLEGATO 1: CACIP 2012 - RISULTATI ANALITICI DELLA CAMPAGNA DI
INDAGINE SULLA QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE**

ALLEGATO 2: SCHEDE DATI SUB-AREE OMOGENEE SIN MACCHIAREDDU

COMPARTO 1:	Aree a destinazione industriale contraddistinte da storico utilizzo agricolo
Estensione	2.043 ha
Comuni di appartenenza	Uta e Assemini
Destinazione da PRT CACIP	Commerciale/Industriale
Vocazione storica terreni	Agricola/Zootecnica
Uso del suolo prevalente	Agricolo, segnato dalla presenza di centrali energetiche da fonte rinnovabile
Attribuzione colonna Tab. 1 (terreni)	B
N. Centri di pericolo	1
Esposizione a ricadute atmosferiche da CdP	Perlopiù Bassa (sopravento rispetto ai CdP in relazione ai venti dominanti)
Esposizione a contaminazione in falda	Perlopiù Bassa; Alta, nel settore a est del Deposito Costiero Syndial.
Intervallo di soggiacenza media della falda superficiale dal piano di campagna (= spessore insaturo)	4-29 metri
N. campioni di riferimento per perimetrazione Comparto (terreni, acque sott.)	Terreni: 250 Acque sott.: 28
Numero di analiti con eccedenza CSC (terreni, acque sott.)	Terreni: 0 Acque sott.: 5
Analiti con eccedenza CSC (terreni, acque sott.)	Terreni: ----- Acque sott.: Al, Fe, Mn, nitriti; benzo (a) antracene (quest'ultimo al limite della CSC)
Maglia di campionamento proposta per caratterizzazione	500 m x 500 m
Numero proposto di piezometri per caratterizzazione	27
Note	Nel comparto sono già presenti 16 piezometri della rete RAS

COMPARTO 2:	Piana agricola di Capoterra
Estensione	554 ha
Comuni di appartenenza	Capoterra e Assemini
Destinazione da PRT CACIP	Verde agricolo speciale di rispetto
Vocazione storica terreni	Agricola/Zootecnica
Uso del suolo prevalente	Agricolo
Attribuzione colonna Tab. 1 (terreni)	A
N. Centri di pericolo	2
Esposizione a ricadute atmosferiche da CdP	Perlopiù Bassa (sopravento rispetto ai CdP in relazione ai venti dominanti)
Esposizione a contaminazione in falda	Bassa nel settore orientale; Alta nel settore occidentale in prossimità dell'oleodotto e del Deposito costiero Syndial
Intervallo di soggiacenza media della falda superficiale dal piano di campagna (=spessore insaturo)	0-13 metri
N. campioni di riferimento per perimetrazione Comparto (terreni, acque sott.)	Terreni: 102 Acque sott.: 7
Numero di analiti con eccedenza CSC (terreni, acque sott.)	Terreni: 12 Acque sott.: 7
Analiti con eccedenza CSC (terreni, acque sott.)	Terreni: As, Cd, Co, Pb, Cu, Sn, Ta, Zn; Indeno 1,2,3 cd-pirene, Triclorometano, Diclorometano, idrocarburi pesanti. Acque sott.: Al, B, Fe, Mn, solfati, nitriti; tetracloroetilene
Maglia di campionamento proposta per caratterizzazione	100 m x 100 m
Numero proposto di piezometri per caratterizzazione	107
Note	Nel comparto sono già presenti 5 piezometri della rete RAS

COMPARTO 3:	Settore mediano a destinazione industriale
Estensione	230 ha
Comuni di appartenenza	Assemini
Destinazione da PRT CACIP	Industriale
Vocazione storica terreni	Agricola, con presenza di alcune attività industriali
Uso del suolo prevalente	Agricolo, con presenza di alcune attività industriali
Attribuzione colonna Tab. 1 (terreni)	B
N. Centri di pericolo	2 adiacenti (Oleodotto e Deposito Costiero Syndial)
Esposizione a ricadute atmosferiche da CdP	Bassa
Esposizione a contaminazione in falda	Perlopiù Bassa; media, nel settore a est dell'Oleodotto e del Deposito Costiero Syndial.
Intervallo di soggiacenza media della falda superficiale dal piano di campagna (=spessore insaturo)	10-25 metri
N. campioni di riferimento per perimetrazione Comparto (terreni, acque sott.)	Terreni: 110 Acque sott.: 5
Numero di analiti con eccedenza CSC (terreni, acque sott.)	Terreni: 4 Acque sott.: 1
Analiti con eccedenza CSC (terreni, acque sott.)	Terreni: Sb, As, Se, Hg Acque sott.: Al
Maglia di campionamento proposta per caratterizzazione	100 m x 100 m
Numero proposto di piezometri per caratterizzazione	41
Note	Nel comparto sono già presenti 4 piezometri della rete RAS

COMPARTO 4:	Agglomerato di edifici industriali
Estensione	561 ha
Comuni di appartenenza	Assemini e Uta
Destinazione da PRT CACIP	Industriale
Vocazione storica terreni	Agricola, con presenza di alcune attività industriali
Uso del suolo prevalente	Industriale/artigianale, commerciale
Attribuzione colonna Tab. 1 (terreni)	B
N. Centri di pericolo	68
Esposizione a ricadute atmosferiche da CdP	Media per la presenza di alcune sorgenti di emissione diffusa
Esposizione a contaminazione in falda	Medio-Alta
Intervallo di soggiacenza media della falda superficiale dal piano di campagna (=spessore insaturo)	2-27 metri
N. campioni di riferimento per perimetrazione Comparto (terreni, acque sott.)	Terreni: 196 Acque sott.: 7
Numero di analiti con eccedenza CSC (terreni, acque sott.)	Terreni: 6 Acque sott.: 3
Analiti con eccedenza CSC (terreni, acque sott.)	Terreni: As, Co, Pb, Cu, Idrocarburi C<12, Idrocarburi C>12 Acque sott.: Mn, Tetracloroetilene, Sommatoria organoalogenati
Maglia di campionamento proposta per caratterizzazione	50 m x 50 m
Numero proposto di piezometri per caratterizzazione	237
Note	Nel comparto sono già presenti 22 piezometri RAS

COMPARTO 5:	Aree agricole e seminaturali nordorientali
Estensione	372 ha
Comuni di appartenenza	Assemini
Destinazione da PRT CACIP	Verde agricolo speciale di rispetto, zone soggette a convenzione RAMSAR, verde di rispetto lagunare, attrezzature consortili – verde attrezzato, servizi d'area e attività connesse alla ricerca, ferrovie
Vocazione storica terreni	Agricola/Zootecnica
Uso del suolo prevalente	Pascolativo, adibito a foraggiere
Attribuzione colonna Tab. 1 (terreni)	A
N. Centri di pericolo	0
Esposizione a ricadute atmosferiche da CdP	Bassa (sopravento rispetto ai CdP in relazione ai venti dominanti)
Esposizione a contaminazione in falda	Alta
Intervallo di soggiacenza media della falda superficiale dal piano di campagna (=spessore insaturo)	0-6 metri
N. campioni di riferimento per perimetrazione Comparto (terreni, acque sott.)	Terreni: 16 Acque sott.: 1
Numero di analiti con eccedenza CSC (terreni, acque sott.)	Terreni: 5 Acque sott.: 0
Analiti con eccedenza CSC (terreni, acque sott.)	Terreni: As, Be, Sn, Zn, Triclorometano
Maglia di campionamento proposta per caratterizzazione	250 m x 250 m
Numero proposto di piezometri per caratterizzazione	13
Note	Nel comparto sono già presenti 4 piezometri della rete RAS

COMPARTO 6:	Aree agricole e seminaturali ad est dello stabilimento Syndial
Estensione	97 ha
Comuni di appartenenza	Assemini
Destinazione da PRT CACIP	Verde di rispetto lagunare, subordinatamente servizi d'area e attività connesse alla ricerca, ferrovie e infrastrutture
Vocazione storica terreni	Agricola/Zootecnica
Uso del suolo prevalente	Agricolo/Zootecnico, con presenza di paludi salmastre
Attribuzione colonna Tab. 1 (terreni)	A
N. Centri di pericolo	2 (Stabilimento e Area Esterna Syndial)
Esposizione a ricadute atmosferiche da CdP	Alta (prossimo a importanti CdP e sottovento rispetto ai venti dominanti)
Esposizione a contaminazione in falda	Alta
Intervallo di soggiacenza media della falda superficiale dal piano di campagna (=spessore insaturo)	0-3 metri
N. campioni di riferimento per perimetrazione Comparto (terreni, acque sott.)	Terreni: 203 Acque sott.: 29
Numero di analiti con eccedenza CSC (terreni, acque sott.)	Terreni: 19 Acque sott.: 9
Analiti con eccedenza CSC (terreni, acque sott.)	Terreni: Sb, Pb, Cu, Sn, Zn, Cd, Hg, Benzo(a)pirene, Benzo(g,h,i)perilene, indeno(1,2,3-cd)pirene, cloruro di vinile, 1,2 dicloroetano, 1,2 dicloroetilene, diclorometano, 1,1,2 tricloroetano, tricloroetilene, triclorometano, diossine e furani, Idrocarburi C<12 Acque sott.: Al, Mn, Ni, Solfati, Benzene, 1,1,2-tricloroetano, Cloruro di vinile, Tetracloroetilene, Idrocarburi totali.
Maglia di campionamento proposta per caratterizzazione	50 m x 50 m
Numero proposto di piezometri per caratterizzazione	46
Note	-----

COMPARTO 7:	Aree di servizio delle saline Conti Vecchi
Estensione	60 ha
Comuni di appartenenza	Assemini
Destinazione da PRT CACIP	Attività industriali, marginalmente saline
Vocazione storica terreni	Industriale
Uso del suolo prevalente	Industriale
Attribuzione colonna Tab. 1 (terreni)	A-B
N. Centri di pericolo	0
Esposizione a ricadute atmosferiche da CdP	Alta
Esposizione a contaminazione in falda	Alta
Intervallo di soggiacenza media della falda superficiale dal piano di campagna (=spessore insaturo)	1-5 metri
N. campioni di riferimento per perimetrazione Comparto (terreni, acque sott.)	-----
Numero di analiti con eccedenza CSC (terreni, acque sott.)	-----
Analiti con eccedenza CSC (terreni, acque sott.)	-----
Maglia di campionamento proposta per caratterizzazione	50 m x 50 m
Numero proposto di piezometri per caratterizzazione	27
Note	-----

COMPARTO 8:	Fascia infrastrutture CACIP
Estensione	139 ha
Comuni di appartenenza	Uta, Assemini, Capoterra
Destinazione da PRT CACIP	Fascia Infrastrutture
Vocazione storica terreni	Rete stradale
Uso del suolo prevalente	Reti stradali e spazi accessori
Attribuzione colonna Tab. 1 (terreni)	B
N. Centri di pericolo	10 (Oleodotto Syndial, zona di sversamento 1,2-Dicloroetano (Campus de s'Atena), Piattaforma Tecnocasic, lavaggio industriale tessuti, costruzione e riparazione automezzi, Bekaert, Fluorsid, distillazione, ecc., in adiacenza)
Esposizione a ricadute atmosferiche da CdP	Alta
Esposizione a contaminazione in falda	Medio-Alta
Intervallo di soggiacenza media della falda superficiale dal piano di campagna (= spessore insaturo)	0-15 metri
N. campioni di riferimento per perimetrazione Comparto (terreni, acque sott.)	Terreni: 425 Acque sott.: 77
Numero di analiti con eccedenza CSC (terreni, acque sott.)	Terreni: 1 Acque sott.: 2
Analiti con eccedenza CSC (terreni, acque sott.)	Terreni: As Acque sott.: Solfati, Triclorometano
Intervallo di campionamento proposto per caratterizzazione	<ul style="list-style-type: none"> • un sondaggio ogni 200 m lineari in aree adiacenti a siti potenzialmente contaminati; • un sondaggio ogni 500 m lineari in aree non adiacenti a siti potenzialmente contaminati;
Numero proposto di piezometri per caratterizzazione	16
Note	Nel comparto sono già presenti 11 piezometri RAS

**ALLEGATI FUORI TESTO: BOLLETTINI ANALITICI CAMPAGNA DI
MONITORAGGIO ACQUE SOTTERRANEE - CACIP 2012**