



Ministero dell'Ambiente  
e della Tutela del Territorio e del Mare  
Direzione generale per la salvaguardia del territorio e delle acque  
(STA)  
Divisione III - Bonifiche e risanamento  
RIA@pec.minambiente.it

**Oggetto: Bekaert Sardegna S.p.A. - Stabilimento di Assemini (CA). Variante al progetto operativo di bonifica ai sensi del D. lgs 152/06. Convocazione della conferenza di servizi istruttoria asincrona ai sensi dell'art. 14, comma 1, legge 7 agosto 1990, n. 241, s.m.i. - Parere.**

La Città Metropolitana di Cagliari, per quanto di competenza, con il presente documento esprimono le proprie valutazioni, su richiesta formulata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare con nota prot. N.38871 del 28/12/2020 in merito all'istanza in oggetto.

Di seguito si riporta sinteticamente quanto contenuto nel documento "Variante al progetto operativo di bonifica ai sensi del D. lgs 152/06".

### Premessa

Sul Sito è stata riscontrata nelle acque sotterranee una contaminazione prevalentemente da solfati e boro in concentrazioni eccedenti le Concentrazioni Soglia di Rischio ("CSR") calcolate, come previsto dal D.Lgs. 152/06 e s.m.i., e, dal 18 novembre 2016, è in funzione un impianto di pompaggio, trattamento e re-iniezione delle acque sotterranee, quale sistema di bonifica, approvato dal Ministero dell'Ambiente della Tutela del Territorio e del Mare ("MATTM"), con Decreto Prot. N. 0000485/STA del 28 ottobre 2015.

Dall'analisi periodica dell'andamento della bonifica è stata rilevata una riduzione delle concentrazioni di contaminanti nelle acque sotterranee, inferiore rispetto alle aspettative del progetto approvato ad ottobre 2015, e una elevata produzione di rifiuti a fronte della contaminazione rimossa.

L'intervento di bonifica in corso sul Sito ha come obiettivo di ridurre le concentrazioni dei contaminanti di interesse nelle acque sotterranee a livelli accettabili, cioè alle CSR, calcolate dall'Analisi di Rischio sito-specifica, approvata dal MATTM, durante la Conferenza dei Servizi decisoria del 27 novembre 2013. Sono state riscontrati superamenti delle CSC in corrispondenza dei punti di conformità, individuati nei piezometri MW10, MW14 e Piez-valle, posti lungo il confine orientale e settentrionale del Sito, mentre nelle aree interne al Sito non si evidenziano superamenti delle CSR sito-specifiche per alcun parametro, considerato nell'analisi di rischio.

Sul Sito si rileva anche la presenza di solventi clorurati, in concentrazioni prossime alle rispettive Concentrazioni Soglia di Contaminazione ("CSC") e generalmente inferiori ad 1 µg/l, tali sostanze non sono mai state utilizzate nei processi produttivi, non sono oggetto di bonifica, ma, come da determina del MATTM Prot. N. 0000485/STA del 28 ottobre 2015, sono stati monitorati, con cadenza inizialmente trimestrale e poi semestrale, con l'obiettivo di verificarne la stazionarietà nel tempo.

L'impianto di bonifica della falda idrica sotterranea, approvato e attualmente in funzione sul Sito, è stato avviato in data 18/11/2016 ed è costituito da un sistema di Pump&Treat ("P&T") con re-immissione parziale dell'acqua emunta tramite: un impianto di pompaggio delle acque sotterranee da 11 pozzi di emungimento (P1-P11), disposti su due allineamenti circa ortogonali rispetto alla direzione principale della falda e attrezzati con pompe pneumatiche; un sistema di trattamento delle acque di falda emunte (impianto "TAF") costituito da un trattamento primario di filtrazione su resine a scambio ionico, selettive per la rimozione del boro, ed un trattamento secondario con resine anioniche per la rimozione dei solfati; un sistema di re-iniezione di una parte delle acque trattate nella falda in 12 pozzi di re-iniezione (I1-I12) disposti su due allineamenti circa ortogonali rispetto alla direzione principale della falda.

Le acque trattate sono parzialmente reimmesse in falda nei 12 pozzi di re-iniezione e parzialmente scaricate in fognatura. Le acque derivanti, invece, dalla rigenerazione delle resine a scambio ionico, vengono concentrate in un evaporatore ed il rifiuto liquido residuo della concentrazione viene smaltito secondo la normativa vigente. Il volume totale di acqua emunta e trattata, dall'avvio dell'impianto (18 novembre 2016) fino al 7 settembre 2020, è pari a circa 112.720 m<sup>3</sup>. Le acque emunte e trattate dall'avviamento dell'impianto sono state reiniettate in falda per un volume pari a circa 44.560 m<sup>3</sup>, corrispondente al 40% del volume emunto, mentre il restante 60% (corrispondente a circa 64.960 m<sup>3</sup>) è stato scaricato in fognatura. Sono state eseguite mensilmente le attività di campionamento delle acque sotterranee in ingresso ed in uscita dall'impianto TAF con cadenza mensile. I risultati delle analisi chimiche in ingresso e in uscita dall'impianto, importanti perché una frazione delle acque emunte viene re-iniettata in falda, evidenziano per tutti i campionamenti concentrazioni in uscita dall'impianto inferiori alle rispettive CSC (pari a 1 mg/l per il boro e 250 mg/l per i solfati) e ampiamente inferiori alle concentrazioni limite per lo scarico in fognatura (pari a 4 mg/l per il boro e 1000 mg/l per i solfati). Le concentrazioni in ingresso sono costantemente superiori alle CSC con una concentrazione media di boro pari a 3,7 mg/l e una concentrazione media di solfati pari a 287 mg/l. Dall'avvio dell'impianto si evidenzia una sostanziale riduzione delle concentrazioni di contaminanti in ingresso al TAF per il boro nel 2020 è pari a 2,8 mg/l a fronte di un valore medio nel 2017 di 4,4 mg/l, nel 2018 di 3,9 mg/l e nel 2019 di 3,3 mg/l; per i solfati da novembre 2019 risulta inferiore alla CSC e pari a 227 mg/l, a fronte di un valore medio pregresso nel 2017-2018 di 308 mg/l e nel 2019 di 290 mg/l. Dall'avvio dell'impianto, la riduzione di massa media, sulla base delle concentrazioni in ingresso ed in uscita dal TAF, per il boro è pari al 94%, mentre per i solfati è pari al 63%, in particolare nel 2020, la riduzione di massa media per il boro è pari a circa al 93% mentre per i solfati è pari a circa al 80%, complessivamente sono stati rimossi circa 370 kg di boro e 20.200 kg di solfati.

Dall'avvio dell'impianto al 7 settembre 2020 sono stati inviati a smaltimento circa 341.900 kg di rifiuto liquido concentrato proveniente dall'evaporatore, il quale è stato classificato con codice CER 19.13.07\* e viene smaltito fuori regione.

La Società evidenzia che le concentrazioni limite di boro e solfati allo scarico in fognatura, previste dal D.Lgs 152/06(2) sono rispettivamente pari a 4 mg/l e 1000 mg/l, cioè ampiamente superiori alle concentrazioni emunte e in ingresso all'impianto TAF e che l'acqua di mare contiene circa 4.5-5 mg/l di boro e 3000 mg/l di solfati.

### **Monitoraggio delle acque sotterranee**

Sul Sito è presente una rete di piezometri di monitoraggio costituita da: 16 piezometri di monitoraggio (MW1÷MW14, Piez B e Piez Valle) che intercettano la parte superficiale dell'acquifero ("porzione superficiale"), fino alla profondità massima di 20 m da piano campagna ("p.c."); 3 pozzi industriali (pozzo CA2, Pozzo Gpl e Pozzo Sottostazione) che intercettano la parte profonda dell'acquifero ("porzione profonda"), da 30 m da p.c. fino alla profondità massima di 117 m da p.c. Viene eseguito un campionamento annuale da tutti i pozzi di monitoraggio sul Sito e analisi dei parametri boro e solfati; un campionamento semestrale dei POC cioè MW10, MW14 e Piez-valle e analisi dei parametri boro e solfati; un campionamento semestrale di verifica dei clorurati con prelievo di campioni dai piezometri MW04, MW05, MW06, MW07, MW09, MW10, MW11, MW14, Piez-B, Pozzo GPL e Piez-valle con verifica dei seguenti parametri 1,1-dicloroetilene ("1,1-DCE"), 1,2-dicloropropano ("1,2-DCP") e cloroformio ("TCM"), i campionamenti sono eseguiti in coincidenza con il campionamento da parte di ARPAS dei piezometri, esterni al Sito, ubicati nell'area industriale denominata Macchiareddu Grogastu.

Dagli esiti del monitoraggio si evidenzia: nei piezometri POC (MW10, MW14 e Piez-valle): per il boro (CSC pari a 1.000 µg/l) una sostanziale riduzione delle concentrazioni in MW10, che sono passate da valori iniziali di 5.800 µg/l ad un valore minimo pari a 2.400 µg/l, registrato a luglio 2020 e linea di tendenza in decrescita nel tempo; in MW14 l'andamento delle concentrazioni si mantiene pressoché costante nel tempo e generalmente al di sotto della rispettiva CSC, mentre in Piez-valle non si evidenziano trend significativi, poiché le concentrazioni sono aumentate fino ad un picco di 5.800 µg/l ad ottobre 2018, per poi diminuire gradualmente fino a 2.300 µg/l di luglio 2020. Per il parametro solfati (CSC pari a 250 mg/l) non si evidenzia un chiaro trend temporale delle concentrazioni in MW10 e Piez-valle, anche se gli ultimi monitoraggi rilevano un decremento dei valori, che a luglio e settembre 2020 risultano al di sotto della CSC di riferimento, in entrambi i piezometri. In MW14, invece, le concentrazioni di solfati sono sempre inferiori alla rispettiva CSC. Per quanto riguarda i pozzi di emungimento (P1 ÷ P11), il boro eccede le CSC in tutti i pozzi di emungimento, che, infatti, sono ubicati nell'area storicamente impattata, ad est del capannone CA2, mentre, a settembre 2020, permangono superamenti delle CSC per i solfati solo in alcuni pozzi di emungimento (P2, P3, P6, P9). Mentre per quanto concerne la verifica degli organo clorurati i superamenti della CSC per il TCM (0,15 µg/l) sono stati rilevati in tutti i piezometri ad eccezione del piezometro MW09 con concentrazione massima pari a 41 µg/l a marzo 2019 in MW07. Nei piezometri campionati non sono stati rilevati superamenti della CSC per il parametro 1,2-DCP (0,15 µg/l) (ad eccezione dell'unico superamento registrato a settembre 2018 in Piez-B e pari a 0,36 µg/l). Per il parametro 1,1-DCE (0,05 µg/l) si registrano superamenti solo a luglio e settembre 2020 in Piez-valle, con valori rispettivamente pari 0,35 µg/l e 0,23 µg/l, mentre in tutti gli altri piezometri e nelle altre campagne le concentrazioni sono inferiori alla CSC.

### **Aggiornamento Progetto di Bonifica**

Il tempo necessario per la bonifica previsto in progetto era stato stimato in 6 anni, utilizzando il modello USEPA *batch-flush* (1988) di lavaggio batch USEPA (US EPA, 1988), sulla base dell'assunzione che il boro fosse presente principalmente in forma disciolta. I risultati ad oggi, dopo circa 4 anni di operatività dell'impianto di bonifica, evidenziano quanto riportato nel seguito: il volume totale di acque sotterranee trattate è di circa 112.720 m<sup>3</sup> (dato aggiornato al 7 settembre 2020), coerentemente con le aspettative progettuali; la massa totale di boro e solfati estratti dal sistema di bonifica a settembre 2020 è rispettivamente pari a circa 370 kg e 20.200 kg, con un tasso di rimozione sostanzialmente costante nel tempo ed un'efficienza di rimozione del boro di circa il 94%. Dall'analisi dei campioni di acqua prelevati mensilmente dall'ingresso del sistema di trattamento è evidente un trend decrescente del boro mentre da novembre 2019 non si registrano superamenti delle CSC per i solfati all'ingresso dell'impianto di bonifica.

Dall'analisi delle concentrazioni nei pozzi di monitoraggio, tuttavia, nonostante, nei pozzi maggiormente contaminati, si possa osservare un marcato trend in decremento delle concentrazioni, nei piezometri POC, ubicati a valle idrogeologica al confine del Sito (MW10 e Piez-valle), le concentrazioni di boro sono ancora almeno pari a 2 volte la CSC.

Dall'analisi del funzionamento dell'impianto TAF, tuttavia, è emersa una poca sostenibilità dell'impianto stesso con una elevata produzione di rifiuti a fronte del beneficio indotto dalla rimozione del boro. Pertanto il Proponente ha elaborato una revisione del modello concettuale del Sito e dell'intervento di bonifica sulle acque sotterranee, per ottimizzare e accelerare l'azione di bonifica stessa, in modo da renderla maggiormente sostenibile. Nell'ambito della revisione del modello concettuale del Sito, sono state effettuate delle indagini ambientali integrative con prelievo di campioni di suolo ed analisi delle concentrazioni di boro e solfati nel terreno della zona vadosa e satura, per verificare il contenuto di contaminanti nel terreno e la possibilità che le concentrazioni nel suolo possono alimentare la contaminazione della falda. Sono state effettuate delle indagini integrative di seguito descritte.

### **Indagini integrative**

L'area che è stata oggetto delle indagini integrative è quella ubicata ad est del capannone CA2, dove in passato dei residui di processo erano stati interrati dai precedenti proprietari dell'area. Le aree furono scavate ed i rifiuti rimossi nel periodo compreso tra il 2002 ed il 2009. Nell'ottobre 2009 venne effettuato il campionamento in contraddittorio con ARPAS dello scavo, che ha confermato il completamento delle attività di bonifica. I contaminanti di interesse, relativi ai residui di cui sopra, erano prevalentemente Pb, Zn, Cu, mentre boro e solfati non sono stati ricercati nei campioni di terreno in fase di caratterizzazione del Sito, poiché non normati, ovvero il D.Lgs 152/06 non ne definisce le relative CSC.

Le attività sono state condotte nel periodo compreso tra il 17 ed il 25 febbraio 2020 ed hanno compreso le seguenti attività: perforazione di 15 sondaggi (BH01-BH15), con una griglia 30 x 30 m profondi 10 m; raccolta di 91 campioni di terreno per analisi chimiche di boro e solfati (indicativamente 6 campioni per sondaggio); raccolta di 10 campioni per analisi granulometriche; redazione del profilo stratigrafico di ogni sondaggio.

Ufficio Bonifiche e contributi amianto - [protocollo@pec.cittametropolitanacagliari.it](mailto:protocollo@pec.cittametropolitanacagliari.it) - FAX 070/4092865

Viviana Deriu - tel. 070/4092849 - cell. 3398762484e-mail: [viviana.deriu@cittametropolitanacagliari.it](mailto:viviana.deriu@cittametropolitanacagliari.it)

Roberto Cogoni tel. 070/4092765 - cell. 3398762480 e-mail: [roberto.cogoni@cittametropolitanacagliari.it](mailto:roberto.cogoni@cittametropolitanacagliari.it)



Sui campioni di terreno sono state eseguite le seguenti analisi: concentrazione di boro e solfati nella matrice del suolo in tutti i 91 campioni; prova di lisciviazione per boro e solfati in tutti i campioni contaminati (ovvero in 73 campioni con concentrazione di boro superiore a 1 mg/kg o limite di rilevabilità); analisi dei parametri del suolo (Kd, Carbonio Organico Totale (TOC), Capacità di Scambio Cationico (CEC), pH) su 13 campioni di suolo selezionati in base alla litologia; prova di lisciviazione progressiva su 10 campioni di terreno, selezionati in base al grado di contaminazione (concentrazione di boro e litologia).

#### **Risultati delle indagini integrative**

**Boro:** le concentrazioni più elevate di boro nel suolo si osservano nei campioni superficiali (0-1 m da p.c.) in BH01-C1 (35 mg/kg), BH8-C1 (140 mg/kg), BH12-C1 (38 mg/kg) e BH15-C1 (52 mg/kg); in BH08 alla profondità di 0,3-0,5 m da p.c. è stato trovato del materiale giallo-arancio (probabilmente fango residuale di processo del passato) con concentrazione di boro pari a 210 mg/kg; le concentrazioni di boro sono abbastanza simili in tutti i campioni tranne che per BH08 (0-1 m da p.c.) e sono comprese tra 11 e 52 mg/kg, con una media di 14 mg/kg e CV = 58%.

**Solfati:** le concentrazioni più elevate nel suolo sono state osservate sui campioni superficiali (0-1 m da p.c.) in BH03-C1 (1400 mg/kg), BH08-C1 (23000 mg/kg), BH12-C1 (713 mg/kg) e BH15-C1 (3500 mg/kg), negli stessi campioni dove si rilevano anche alte concentrazioni di Boro (eccetto BH03); le concentrazioni di solfati variano da 3,1 a 1400 mg/kg, con una media di 171 mg/kg; in BH08 alla profondità di 0,3-0,5 m da p.c. è stato trovato del materiale giallo-arancio, che presenta una concentrazione di solfati di 41000 mg/kg (dove è stata rilevata anche la più alta concentrazione di Boro).

Sono stati condotti test di lisciviazione standard su campioni con una concentrazione di boro superiore a 1 mg/kg o superiore al limite di rilevabilità, per un totale di 73 campioni.

**Boro:** i risultati mostrano concentrazioni di boro nell'eluato comprese tra 0,033 mg/l e 1,7 mg/l; nell'eluato vengono rilevati solo 3 superamenti delle CSC per le acque sotterranee (pari a 1 mg/l): BH06-C1 (1,2 mg/l), BH08-C1 (1,7 mg/l) e BH12-C6 (1,6 mg/l) mentre 2 campioni mostrano concentrazioni prossime alla CSC: BH12-C5 e BH15-C1 (0,99 mg/l); le concentrazioni più elevate nell'eluato vengono generalmente rilevate dove vengono rilevate anche le concentrazioni più elevate nei campioni di suolo, ad eccezione di BH06-C1 e BH12-C4 e C5, dove alte concentrazioni nell'eluato non sono associate ad alte concentrazioni nella matrice del suolo. Come osservato con i dati del suolo, i valori di concentrazione nell'eluato aumentano con la profondità nei campioni raccolti in zona satura.

**Solfati:** i risultati mostrano concentrazioni di solfato nell'eluato comprese tra 0,85 mg/l e 1600 mg/l; nell'eluato sono stati rilevati solo 4 superamenti delle CSC delle acque sotterranee: BH05-C1 (330 mg/l), BH11-C1 (1600 mg/l), BH12-C1 (841 mg/l) e BH15-C1 (1300 mg/l); tutti i campioni sono campioni superficiali, ovvero campionati ad una profondità di 0-1 m da p.c.. Le concentrazioni più elevate nell'eluato vengono generalmente rilevate in corrispondenza delle maggiori concentrazioni nei campioni di suolo, ad eccezione di BH11-C1, dove un'elevata concentrazione nell'eluato non è associata ad un'alta concentrazione nella matrice del suolo, e per BH03-C1, dove, viceversa, un'alta concentrazione nella matrice del suolo non sono associate ad alte concentrazioni nell'eluato.

Il test di lisciviazione progressivo è stato condotto su 11 campioni selezionati, considerando 3 ore, 6 ore e 24 ore come tempo di contatto. Dai risultati si può osservare quanto segue: in tutti i campioni si misura nel tempo un leggero aumento sia delle concentrazioni di boro che di solfati nell'eluato ma l'aumento è maggiore nelle prime 6 ore e si appiattisce dalle 6 alle 24 ore; mediamente l'83% della concentrazione di boro viene rilasciata dalla matrice terreno all'eluato nelle prime 6 ore, mentre per i solfati il 93% della concentrazione dei solfati viene rilasciata nelle prime 6 ore; i risultati del test di lisciviazione standard a 24 ore sono quindi considerati affidabili, poiché non vi è una forte tendenza all'aumento delle concentrazioni di boro all'aumentare del tempo di contatto.

Il Proponente sulla base delle osservazioni sul campo e dei risultati analitici di laboratorio ottenuti durante l'indagine ambientale svolta, fornisce il seguente riepilogo dei risultati: le recenti indagini effettuate non hanno evidenziato la presenza di ulteriori rifiuti nel sottosuolo, ad eccezione di materiale residuale riscontrato nel suolo superficiale in BH8, tra 0.3-0.5 m da p.c.; non hanno evidenziato, nel sottosuolo del Sito, ad est del capannone CA2, la presenza di contaminazione da boro e solfati significativa e/o tale da avere un impatto importante sulla contaminazione disciolta nella falda, sia per infiltrazione di acqua piovana, che per fluttuazioni della soggiacenza della falda.

Il Proponente formula alcune considerazioni circa le potenziali sorgenti di contaminazione da boro per il Sito: il boro è stato utilizzato in passato in Sito come borace o tetraborato di sodio (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>), nel processo di produzione di steelcord per pneumatici; la fonte primaria della contaminazione è rappresentata da rifiuti di processo, che furono interrati, dai primi proprietari dell'area (Gencord S.p.A.) nella porzione orientale del Sito, esternamente all'edificio CA2; tali rifiuti furono individuati nel 1997 e furono scavati e smaltiti fuori sito, in discariche autorizzate, nel periodo 2000- 2009. Nell'ottobre 2009 venne effettuato il campionamento in contraddittorio con ARPAS dello scavo, che ha confermato il raggiungimento degli obiettivi di bonifica. Si ritiene che la presenza di boro e solfati in forma disciolta nelle acque sotterranee sia dovuta all'infiltrazione di acqua piovana e la conseguente lisciviazione dei contaminanti dalla zona, ove i rifiuti erano sepolti. Tutte le attuali tubazioni di processo e cisterne che contengono boro sono fuori terra ed ispezionabili e BKSA non individua aree critiche nell'attuale sistema di gestione e stoccaggio del boro, tale per cui non si ritiene essere attiva alcuna fonte primaria di contaminazione in Sito. Il trend delle concentrazioni misurate in falda, comunque decrescente, nonostante il permanere di superamenti delle CSC, è coerente con l'ipotesi che non sia attiva alcuna sorgente primaria, alimentante la contaminazione in falda. Le recenti indagini effettuate non hanno evidenziato, nel sottosuolo del Sito, ad est del capannone CA2, la presenza di contaminazione da boro e solfati significativa e/o tale da avere un impatto importante sulla contaminazione disciolta nella falda, sia per infiltrazione di acqua piovana (la piovosità media annua in Sardegna è di circa 400 mm/anno), che per fluttuazioni della soggiacenza della falda. Le recenti indagini effettuate non hanno evidenziato la presenza di ulteriori rifiuti nel sottosuolo, ad eccezione di materiale residuale riscontrato nel suolo superficiale in BH8, tra 0.3-0.5 m da p.c..

In fase di Progetto Operativo di maggio 2014 è stato assunto che, a causa della sua elevata solubilità e facilità a lisciviare, il boro fosse presente in Sito per lo più in forma disciolta con un basso adsorbimento nel sottosuolo; tuttavia, le indagini effettuate, pur confermando l'assenza di elevate concentrazioni di boro nel sottosuolo, hanno evidenziato dei valori sito-specifici del coefficiente di adsorbimento del boro al suolo (kd) su

periori a quanto riportato in letteratura; si ritiene, pertanto, che l'adsorbimento del boro nel sottosuolo, nella matrice limoso-argillosa dell'acquifero, sia superiore alla previsione iniziale e che il boro sia meno mobile nell'ambiente.

#### **Variante di bonifica proposta**

La variante al progetto di bonifica proposta si pone l'obiettivo, sulla base delle conoscenze acquisite, di aumentare l'efficienza di trattamento ed accelerare i tempi di bonifica.

In base al Progetto di Operativo di Bonifica approvato dal MATTM ad ottobre 2015, gli obiettivi dell'azione di bonifica consistono nel ridurre le concentrazioni di boro e solfati al di sotto delle CSC (pari a 1 mg/l per il boro e 250 mg/l per i solfati), in corrispondenza dei punti di conformità, individuati nei piezometri MW14, MW10 e Piez-valle.

Tra le tecnologie valutate oltre alle resine solo il processo di osmosi inversa risulta un'alternativa efficace e consolidata, ma presenta lo svantaggio di generare un elevato contenuto di rifiuto (corrispondente al 30% delle acque in ingresso), superiore alle resine a scambio ionico, pertanto il Proponente non ritiene vantaggioso modificare la tecnologia di trattamento per le acque estratte dal Sito e nella presente variante si assume di utilizzare l'impianto TAF esistente, con trattamento delle acque emunte con filtrazione con resine a scambio ionico.

In aggiunta alle sopracitate tecniche attive di bonifica della falda, si fa presente che il boro può essere bonificato anche attraverso processi di attenuazione naturale (Attenuazione Naturale Monitorata), che possono ridurre le concentrazioni e la mobilità dei contaminanti senza l'intervento deliberato dell'uomo. Tali processi per i composti inorganici, quale il boro, sono principalmente di natura fisica e chimica, come la diluizione per ricarica, la dispersione idrodinamica e l'adsorbimento alla matrice solida del terreno.

I parametri principali di dimensionamento dell'intervento sono: portata totale estratta: 7 m<sup>3</sup>/h. La portata obiettivo è stata stimata, considerando sia l'assetto idrogeologico del Sito, al fine di non stressare la falda e diminuire l'efficienza dei pozzi, sia la capacità attuale dell'impianto di trattamento delle acque sotterranee, al fine di minimizzare i costi aggiuntivi, senza un ri-dimensionamento dell'impianto attuale, con l'obiettivo di garantire un'effettiva riduzione della massa delle sostanze inquinanti scaricate, al fine di evitare il mero trasferimento della contaminazione presente nelle acque sotterranee ai corpi idrici superficiali, secondo quanto richiesto dall'Art.243 del D.Lgs.152/06, nonché per rispettare la richiesta del MATTM (ovvero la riduzione della massa di boro e di solfati dal flusso d'acqua trattato) ed i limiti allo scarico in fognatura. Sono previsti n°37 pozzi in emungimento e nessun pozzo di iniezione: nessuno. I tempi attesi di bonifica sono stimati in 5 anni. In affiancamento al potenziamento dell'azione di bonifica il Proponente ritiene applicabile anche l'attenuazione naturale monitorata, come possibile step successivo alla bonifica attiva con emungimento, nel caso si raggiungessero limiti asintotici delle concentrazioni di boro, non ulteriormente riducibili, nonostante lo sforzo profuso.

Il sistema di pompaggio attuale consiste in 11 pozzi di emungimento, disposti su due linee: 6 lungo il confine orientale del Sito e altri 5 lungo il perimetro orientale dell'edificio CA2. Si intende potenziare l'azione di emungimento, attrezzando e realizzando ulteriori pozzi, ad est dell'edificio CA2. Due (2) ulteriori linee di emungimento saranno realizzate tra le due esistenti: una prima linea, corrispondente all'attuale linea di iniezione, verrà realizzata attrezzando gli attuali 7 pozzi di iniezione (1÷17) a pozzi di emungimento, ed aggiungendo 2 ulteriori pozzi nella porzione settentrionale (P13 e P14), dove si rilevano le maggiori concentrazioni di boro; una seconda linea sarà realizzata tra la linea esistente al confine e quella dei precedenti pozzi di iniezione, con 8 pozzi di emungimento (P15÷P22), con interasse di circa 40 m nella parte meridionale e interasse di circa 20 m nella parte settentrionale, dove si rilevano le maggiori concentrazioni di boro.

Sarà realizzato un infittimento dei punti di emungimento delle linee esistenti lungo il confine, dove si riscontrano le maggiori concentrazioni, saranno realizzati 5 nuovi pozzi di emungimento, denominati P23÷P27, in modo da ridurre l'interasse tra i pozzi dagli attuali circa 40 m a 20 m; lungo il lato orientale dell'edificio CA2, dove si riscontra minore contaminazione, rispetto alla linea di emungimento sul confine, sarà realizzato un solo ulteriore pozzo tra P8 e P9, denominato P12, per ridurre l'interasse tra questi due pozzi, che è maggiore rispetto agli altri pozzi e pari a circa 50 m; in prossimità di P2 e P3, dove si rilevano le maggiori concentrazioni di boro, saranno realizzati tre pozzi di emungimento aggiuntivi denominati P28÷P30, per ridurre ulteriormente l'interasse in questa area.

Le tubazioni di collettamento dell'acqua estratta e le tubazioni dell'aria compressa per il funzionamento delle pompe saranno posate in trincee, profonde circa 0.5 m da p.c.. Le trincee saranno eseguite con mini escavatore dotato di benna rovescia e il terreno di scavo sarà riutilizzato per il reinterro delle trincee stesse, se conforme ai limiti previsti dalla normativa vigente. Ai sensi dell'allegato 2 del DPR 120/2017, che prevede per opere infrastrutturali lineari il prelievo di un campione ogni 500 m, considerando l'estensione degli scavi, si prevede di analizzare indicativamente 2 campioni dalla traccia degli scavi, da sottoporre a caratterizzazione. I campioni saranno analizzati per la determinazione dei metalli e saranno confrontati con le CSC previste dalla colonna B, Tabella 1, Allegato 5, al Titolo V, della Parte IV, D.Lgs.152/06. I nuovi 19 pozzi di pompaggio che saranno realizzati, a distruzione di nucleo, avranno diametro 4" e profondità 15 m da p.c.. Tutti i pozzi saranno attrezzati con pompe pneumatiche con regolatori di pressione e filtri aria, che saranno collegati al compressore installato in impianto per la fornitura di aria compressa alle pompe pneumatiche.

La tubazione per l'acqua collettata e trasferita all'impianto sarà in HDPE DE75 mm. Dall'impianto ai pozzi saranno installate tubazioni per l'aria compressa in HDPE DE63 mm; ogni pozzo avrà strumentazione locale a testa pozzo (manometri e regolatori di pressione).

La portata complessiva di acqua da emungere è stimata pari a circa 7 m<sup>3</sup>/h. L'acqua estratta sarà inviata all'impianto di trattamento esistente all'interno del Sito.

Le acque emunte subiranno un trattamento primario attraverso resine selettive per la rimozione del boro ed un trattamento secondario con resine anioniche per la rimozione dei solfati, prima di venire scaricate nella fognatura consortile, all'interno dell'impianto TAF esistente. Il progetto prevede inoltre che qualora le acque in ingresso all'impianto non evidenziassero superamenti delle rispettive CSC di riferimento, si procederà ad interrompere il trattamento specifico sulla resina dedicata, cioè ad esempio, se anche nella nuova configurazione permanessero concentrazioni di solfati inferiori alle CSC, come riscontrato da novembre 2019, si procederà a by-passare il trattamento secondario con resine anioniche per la rimozione dei solfati, in quanto non più necessario e limitando, conseguentemente la produzione di rifiuti. Analogamente si valuterà se

rimodulare il pompaggio, interrompendo l'emungimento da pozzi selezionati ed incrementando le portate emunte in altri, qualora non si riscontrassero localmente più superamenti delle CSC/CSR nel corso delle attività di monitoraggio.

La proposta di variante al POB prevede oltre a quanto previsto per le acque sotterranee anche uno scavo localizzato nella porzione orientale del Sito, in prossimità del punto BH08, per rimuovere il materiale residuale riscontrato, pur non costituendo questo una alimentazione della contaminazione disciolta in falda, alla luce degli esiti delle analisi effettuate sia sul suolo che sul lisciviato.

L'attività di scavo andrà ad interessare l'area orientale del Sito nell'intorno del punto BH08, dove, in fase di indagine integrativa è stato rilevato del materiale residuale di processo di colore giallo-arancione alla profondità di 0.3-0.5 m da piano campagna.

L'obiettivo dell'attività di scavo è rimuovere gli eventuali residui presenti ancora nel sottosuolo. Si prevede di escavare l'intero quadrante (30 m x 30 m) associato a BH08 alla profondità di 1 m, per un volume complessivo pari a 900 m<sup>3</sup> ma si prevede di effettuare delle attività preliminari per una maggiore definizione dell'estensione planimetrica dell'area di intervento. A causa della natura dei materiali da rimuovere, nonché all'assenza di limiti normativi per solfati e boro, non si prevede di prelevare campioni dal fondo scavo, ma solo la verifica visiva della avvenuta rimozione del materiale residuale di processo. I materiali scavati saranno gestiti in funzione delle loro qualità ambientali e in conformità con la normativa vigente in materia di rifiuti. In funzione delle verifiche analitiche che verranno eseguite sul materiale scavato (materie di riempimento - to ed in posto), si procederà con una differente gestione degli stessi che prevederà un possibile riutilizzo in sito e/o lo smaltimento in discarica autorizzata. I materiali che non risulteranno idonei al riutilizzo in sito, verranno smaltiti secondo la normativa vigente in materia di rifiuti. I codici CER delle tipologie dei rifiuti che presumibilmente potranno essere prodotti sono: 170503\* Terre e rocce contenenti sostanze pericolose; 170504 Terre e rocce diverse di quelle di cui alla voce 170503\*. Il riempimento dello scavo potrà essere effettuato con materiale conforme proveniente dallo scavo o con materiale certificato (approvvigionamento ex-situ).

### **Monitoraggio della qualità delle acque sotterranee**

Sono previste campagne di campionamento delle acque sotterranee con determinazione analitica dei contaminanti di interesse e saranno condotte come riportato nel seguito: con frequenza trimestrale per il primo anno e semestrale per i successivi, prelievo di campioni da pozzi individuati quali punti di conformità (MW10, MW14 e Piez-valle) e dai pozzi di monitoraggio presenti nell'area storicamente impattata da boro e solfati (Piez-B, MW05, MW07, MW08, MW09, MW11); con frequenza annuale, prelievo di campioni da tutti i pozzi di monitoraggio sul Sito.

Il primo campionamento sarà eseguito dopo l'installazione e lo sviluppo dei nuovi pozzi di pompaggio proposti. Il rilievo dei livelli piezometrici sarà eseguito prima di procedere con le operazioni di spurgo dei pozzi, per ogni campagna di monitoraggio. Le concentrazioni di ossigeno disciolto, temperatura, pH, conducibilità e potenziale redox saranno misurate durante le attività di spurgo dei pozzi.

I campioni saranno prelevati in modalità dinamiche; ogni contenitore sarà contraddistinto da un'etichetta in cui si riporta il nome identificativo del pozzo di monitoraggio e la data di prelievo. L'aliquota per la determinazione dei metalli sarà sottoposta a filtrazione con filtro da 45 µm al fine di rimuovere i solidi in sospensione, come indicato da ARPAS nel documento "Determinazione dei valori di fondo in Alluminio, Ferro e Manganeso nella falda acquifera del Sito di Macchiareddu (CA), aggiornamento di Marzo 2013".

Tutti i campioni prelevati saranno mantenuti a bassa temperatura, all'interno di frigo box termici con panetti refrigeranti congelati, fino al loro definitivo recapito presso laboratorio accreditato, accompagnati da adeguata catena di custodia.

I campioni di acque sotterranee saranno analizzati per i seguenti parametri di interesse, selezionati sulla base del modello concettuale del Sito: Boro e Solfati.

Si propone inoltre di interrompere il campionamento per la verifica delle concentrazioni di clorurati, poiché le campagne condotte in 4 anni di monitoraggio hanno evidenziato un quadro ambientale stabile nel tempo, e non critico, poiché non si rilevano incrementi delle concentrazioni di clorurati, né un avanzamento della contaminazione poiché le concentrazioni sono molto ridotte (generalmente inferiori ad 1 µg/l) e le eccedenze delle CSC sono circoscritte ad alcuni piezometri.

Le Pubbliche Autorità saranno preventivamente informate prima di ogni campagna di campionamento, in modo da permettere la supervisione delle attività e l'eventuale prelievo di campioni in e con cadenza annuale sarà inviata una relazione tecnica descrittiva comprensiva dei dati e delle elaborazioni delle attività di controllo e monitoraggio.

### **Monitoraggio dell'impianto TAF**

Durante l'esercizio dell'impianto, sono previste operazioni di ispezione e manutenzione routinarie del sistema di trattamento per prevenire malfunzionamenti, od interruzioni dovute alla rottura di componenti dell'impianto.

Sull'impianto di trattamento verranno monitorati i seguenti parametri di processo: portate e volume di acqua estratti (frequenza mensile); portata e volumi d'acqua scaricati in fognatura (frequenza mensile); rilievo piezometrico dai pozzi sul Sito (frequenza trimestrale per il primo anno e poi semestrale); campionamento delle acque allo scarico in fognatura ed all'ingresso dell'impianto di trattamento, con determinazione analitica dei contaminanti di interesse (frequenza trimestrale); verifica della funzionalità del sistema (frequenza mensile).

### **Collaudo e spegnimento degli impianti**

Si propone di procedere con lo spegnimento degli impianti e con la valutazione di un potenziale rebound delle concentrazioni dei contaminanti, se due campionamenti consecutivi indicano che le concentrazioni dei contaminanti di interesse rispettano gli obiettivi di bonifica per il Sito ai pozzi POC. Verrà valutata in corso d'opera la possibilità di spegnimenti progressivi, parziali e graduali, dei pozzi di pompaggio, poiché, come è possibile osservare dalla modellazione, una serie di pozzi raggiungerà concentrazioni inferiori agli obiettivi di bonifica ai POC nel corso della bonifica stessa. Il potenziale rebound della contaminazione sarà valutato come segue quattro campagne di campionamenti dai pozzi POC su base trimestrale, durante il primo anno di spegnimento del sistema di bonifica. I campioni di acque sotterranee saranno analizzati per i seguenti con-

taminanti: boro e solfati. Se i risultati analitici sui campioni prelevati non evidenziano alcun superamento delle CSR, verrà richiesta la chiusura del procedimento di bonifica.

Se i risultati analitici sui campioni prelevati evidenziassero, invece, un rebound della contaminazione, oppure qualora si raggiungessero concentrazioni asintotiche e l'intervento in opera mostrasse di non essere ulteriormente efficace o non sostenibile nel ridurre le concentrazioni, verrà effettuata un'analisi dello stato di fatto e dei potenziali rischi residuali per la rimodulazione dell'intervento, anche al fine di considerare il potenziale dell'attenuazione naturale (MNA) su un pennacchio che avrà a quel punto visto significativamente ridotta la massa di boro, nonché il trasporto in massa del boro, il quale potrebbe a quel punto potenzialmente poter essere gestito dalle naturali capacità di rimozione dell'acquifero (anche in virtù dell'adsorbimento, più alto del previsto, precedentemente menzionato). L'efficacia della MNA sarà valutata con campagne di campionamenti dai pozzi POC su base semestrale, per due anni, durante i quali si valuteranno i trend di attenuazione e/o stabilizzazione della contaminazione.

#### Osservazioni:

Nel sito sono state svolte nel 2020 delle indagini integrative senza una preventiva comunicazione necessaria al fine di valutare la proposta sia ai fini autorizzativi che per consentire la validazione delle attività.

La società nel documento riporta quanto segue:

*....."Il potenziale rebound della contaminazione sarà valutato come segue quattro campagne di campionamenti dai pozzi POC su base trimestrale, durante il primo anno di spegnimento del sistema di bonifica. I campioni di acque sotterranee saranno analizzati per i seguenti contaminanti: boro e solfati. Se i risultati analitici sui campioni prelevati non evidenziano alcun superamento delle CSR, verrà richiesta la chiusura del procedimento di bonifica.".....*

*A tal proposito si specifica che ai POC le CSR sono uguali alle CSC.*

#### Parere istruttorio

Valutato il documento presentato, alla luce di quanto sinteticamente esposto, si ritiene approvabile il documento presentato, "Variante al progetto operativo di bonifica ai sensi del D. lgs 152/06 ", subordinatamente al recepimento delle seguenti prescrizioni:

1. dovranno eseguirsi dei prelievi di suolo dai sondaggi da eseguire per la realizzazione dei nuovi piezometri di emungimento secondo quanto previsto dall'allegato 2 Parte IV Titolo V del D.Lgs 152/06. L'individuazione e il numero dei sondaggi comprensivo degli analiti e le metodiche saranno definiti dagli Enti in apposito tavolo tecnico;
2. dovrà essere verificato anche analiticamente il fondo scavo e pareti dell'area di scavo per accertare l'asportazione del rifiuto rinvenuto durante le indagini integrative, le modalità dovranno essere definite in apposito tavolo tecnico;
3. le terre provenienti dallo scavo (identificato con il sondaggio BH08), considerato quanto descritto nelle indagini integrative, dovranno essere trattate come rifiuto e gestite come previsto dalla normativa in materia di rifiuti. Lo scavo dovrà essere ripristinato con terreno certificato e con caratteristiche idonee al sito;
4. l'impianto TAF dovrà garantire quanto previsto l'art. 243 comma 6 del D.Lgs 152/06 ovvero: Il trattamento delle acque emunte deve garantire un'effettiva riduzione della massa delle sostanze inquinanti scaricate in corpo ricettore, al fine di evitare il mero trasferimento della contaminazione presente nelle acque sotterranee ai corpi idrici superficiali;
5. le concentrazioni limite al punto di scarico dovranno essere quelle previste dal gestore della rete consortile;
6. dovrà essere inviato, con un congruo anticipo, un cronoprogramma dettagliato delle attività agli Enti preposti al controllo;
7. le elaborazioni cartografiche, comprensive degli esiti delle indagini, dovranno essere consegnate anche in formato editabile .SHP, sistema di riferimento WGS84;
8. i limiti da raggiungere ai POC saranno le CSC e non le CSR. La certificazione di avvenuta bonifica potrà essere richiesta successivamente a un monitoraggio con cadenza trimestrale per la durata di due anni di cui l'ultimo monitoraggio validato da ARPAS ;
9. i monitoraggi semestrali dovranno comprendere tutti i parametri oggetto di analisi di rischio;
10. dovrà essere eseguito un monitoraggio annuale sui composti organoclorurati nei piezometri dove nei monitoraggi periodici si sono evidenziati superamenti, ai fini della valutazione del rischio sanitario trattandosi di un sito in attività;
11. l'eventuale applicazione dell'attenuazione naturale dovrà essere valutata successivamente all'invio della relazione sull'andamento della bonifica che dovrà includere motivate valutazioni sulla non efficacia e la non sostenibilità della bonifica.

L'Istruttore

Roberto Cogoni  
(firmato digitalmente)

La Responsabile dell'ufficio Bonifiche  
Viviana Deriu  
(firmato digitalmente)

Il Dirigente  
Ing. Lamberto Tomasi  
(firmato digitalmente)