



Comune di Follo

Provincia della Spezia

**INTERVENTI URGENTI DI MESSA IN
SICUREZZA E BONIFICA DELL'AREA EX-TIRO
A VOLO, LOC. PIANA BATTOLLA, FOLLO (SP)**

Intervento autorizzato e finanziato con D.G.R.L. n. 800/2020

PROGETTO ESECUTIVO DI BONIFICA AMBIENTALE



RELAZIONE SPECIALISTICA

CARATTERIZZAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI

Tecnico incaricato:

Dott. Geol. IACOPO TINTI

Collaborazione:

Dott. Geol. GABRIELE AMATO

Dott. LEONARDO NICODEMI



Maggio 2022

Rev. 00 del 06.05.2022



Sommario

Sommario

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA	4
3	OPERAZIONI EFFETTUATE IN CAMPO	6
3.1	AGGIORNAMENTO DELLA PLANIMETRIA DEL SITO	6
3.2	OPERAZIONI DI CAMPIONAMENTO	10
4	RISULTATI DELLE ANALISI DI LABORATORIO – RESIDUI ANTROPICI	12
4.1	FRAMMENTI DI PIATTELLO – CARATTERIZZAZIONE CHIMICA DI SORGENTE PRIMARIA	13
4.1.1	CARATTERISTICHE CHIMICHE.....	13
4.2	TERRENO DI BONIFICA – CARATTERIZZAZIONE CHIMICA DI SORGENTE SECONDARIA E CLASSIFICAZIONE IN REGIME DI RIFIUTO	15
4.2.1	CARATTERISTICHE CHIMICHE.....	16
4.2.2	CARATTERISTICHE FISICO-CHIMICHE	19
4.3	GIUDIZIO DI CLASSIFICAZIONE PRELIMINARE DI PERICOLOSITÀ DEI RIFIUTI	19
4.3.1	COCCI DI PIATTELLI (CER 17 03 02)	20
4.3.2	TERRENI SUPERFICIALI DI BONIFICA (CER 17 05 04).....	22
5	VALUTAZIONE DEGLI SPESSORI E DELL'AREALE DI BONIFICA	23
5.1	VALUTAZIONI SU CROMO E NICHEL – PROVENIENZA OFIOLITICA.....	23
5.2	ANALISI DEL SUOLO SUPERFICIALE PRIVO DI RIFIUTO – DELIMITAZIONE ORIZZONTALE	25
5.3	DELIMITAZIONE VERTICALE DELL'ORIZZONTE DI BONIFICA.....	26
6	CALCOLO DEI VOLUMI DEI TERRENI DI BONIFICA.....	30
6.1	CONSIDERAZIONI SULL'IMPIANTO DI RECUPERO PIOMBO	30
6.2	CONSIDERAZIONI SULLA RECUPERABILITÀ DEL TERRENO DI BONIFICA	30



1 Premessa

Il presente documento costituisce Relazione specialistica di supporto al Progetto definitivo-esecutivo di bonifica dell'ex-Tiro a Volo del Comune di Follo (SP), sito in località Piana Battolla lungo la sponda destra del fiume Vara. L'elaborazione del Progetto Definitivo-Esecutivo di Bonifica è stata affidata alla scrivente con Determina n.15/2022 dell'Area Tecnica Manutentiva del Comune di Follo.

Gli interventi in progetto sono mirati alla bonifica e al ripristino ambientale dell'intera superficie dell'ex-Tiro a Volo, interessata da contaminazione del solo suolo superficiale da pallini di piombo, residui di piattelli e borre di cartucce da sparo.

La relazione Specialistica illustra le attività di indagine supplementare eseguite dalla scrivente con il duplice scopo di aggiornare il quadro conoscitivo dell'area, delimitandone le superfici effettive interessate dalla presenza di materiale contaminato, nonché di effettuare la caratterizzazione dei materiali di risulta dalle attività di bonifica in accordo con le modifiche e integrazioni normative attualmente vigenti.

L'aggiornamento del quadro conoscitivo si è reso particolarmente necessario a seguito dell'azione erosiva esercitata dal fiume Vara che, durante gli anni trascorsi dall'elaborazione del Progetto Operativo di Bonifica (approvato con Determinazione n.89/2010 dal Responsabile di Servizio Lavori Pubblici del Comune di Follo), ha comportato l'arretramento della sponda fluviale e la conseguente riduzione della superficie oggetto di bonifica.

Le indagini supplementari sono pertanto state finalizzate alla determinazione della superficie residua da sottoporre a bonifica ambientale ed alla verifica di applicabilità delle tecniche di trattamento in sito dei terreni di bonifica previste dal POB 2010, mediante controlli ed analisi ambientali dei terreni e dei residui dell'attività di tiro a volo sparsi soprasuolo e nel suolo superficiale.

Nel corso delle indagini supplementari si è inoltre provveduto ad effettuare una ricognizione dei fabbricati e delle strutture di servizio dell'ex centro di tiro a volo il cui stato di conservazione, rispetto al censimento rappresentato nel POB 2010, è risultato palesemente modificato dal degrado degli agenti atmosferici oltre che dai danneggiamenti operati da frequentatori abusivi del sito.

Per informazioni di dettaglio sull'inquadramento tecnico-amministrativo del procedimento attivo sul sito si rimanda alla Relazione Tecnica Illustrativa.

2 Inquadramento Generale dell'Area

L'area di intervento è ubicata in area demaniale in località Piana Battolla, nel territorio comunale di Follo (SP), all'interno dell'area golenale del fiume Vara sulla sponda in destra idrografica, affluente di destra del fiume Magra, in prossimità del confine amministrativo del comune di Podenzana (MS), tra le regioni Liguria e Toscana.

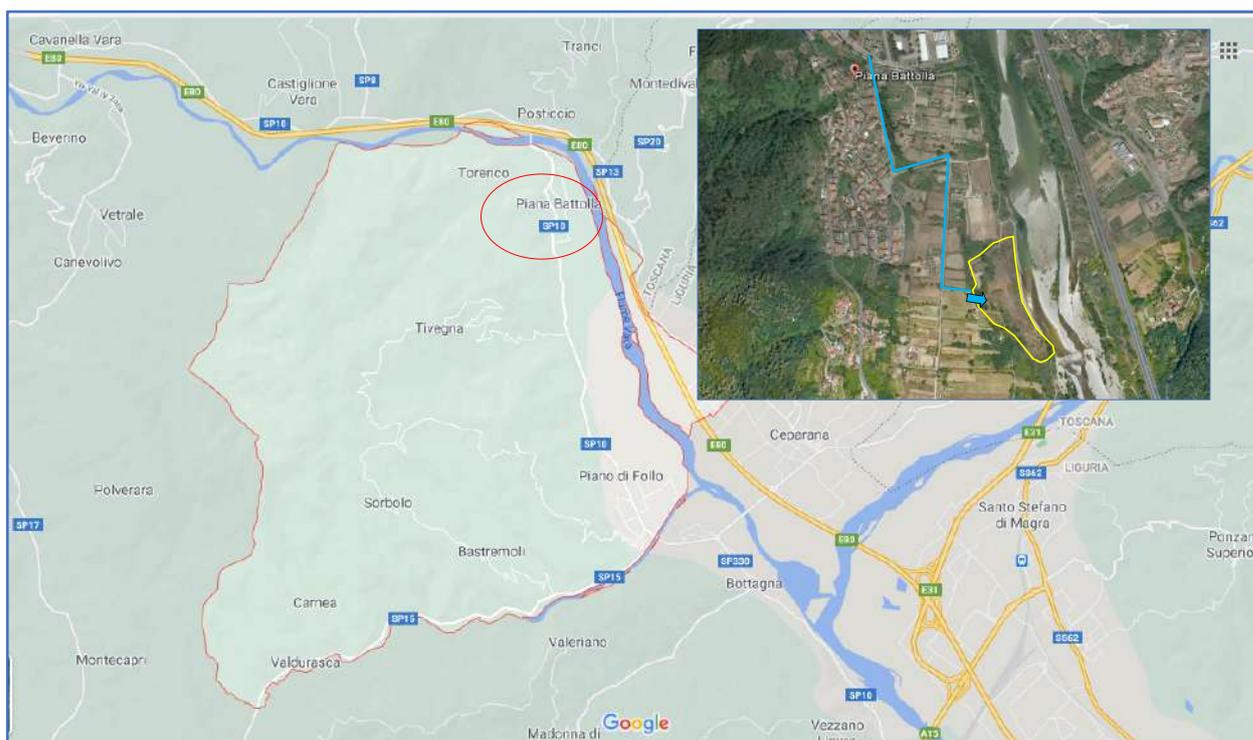


Figura 1 - Corografia generale

Oggetto di intervento è l'ex-Tiro a Volo, a suo tempo gestito dalla società G.S. Tiro a Volo di La Spezia, interessato da una contaminazione da metalli pesanti del suolo superficiale collegata all'attività sportiva svolta in assenza di protezione delle matrici ambientali ed in adiacenza all'alveo bagnato del fiume Vara.

L'area è raggiungibile direttamente dalla viabilità pubblica di Piana Battolla (via Alcide de Gasperi) attraverso una strada bianca che circonda interamente l'area.

La superficie dell'area, priva di pavimentazione, è interamente ricoperta da vegetazione spontanea, di tipo erbaceo/cespugliato, con coronamento di alberi di alto fusto in corrispondenza della strada perimetrale e sul margine sud sulla sponda del fiume Vara.

Sull'area, attualmente abbandonata, sono ancora presenti i manufatti in disuso del centro sportivo, costituiti da strutture prefabbricate con funzione di centro di accoglienza degli atleti e punto ristoro, dalle pedane di tiro e dalle fosse di lancio dei piattelli.



Figura 2 - Panoramica dell'area

Sparsi sulla superficie sono ancora presenti cumuli di rifiuti caratteristici dell'attività svolta (cocci di piattelli, bossoli, "borre" e pallini di piombo) nonché rottami abbandonati derivanti da lasciti abusivi e predazione delle strutture prefabbricate del centro sportivo.



Figura 3 - cumuli di borre sul terreno in adiacenza alla scarpata di alveo.

L'alveo bagnato del fiume Vara, localizzato direttamente al confine dell'area dell'ex centro di Tiro a Volo, rappresenta il corpo recettore principale delle acque meteoriche di dilavamento del sito e, in assenza di sistemi di regimazione idraulica al suo interno, rappresenta un bersaglio sensibile alla diffusione in alveo e nelle acque correnti dei terreni contaminati e dei residui delle attività di sparo sparsi sul suolo, favorita dall'accelerazione dell'erosione in atto.



3 Operazioni Effettuate in Campo

In data 8 novembre 2021, il personale tecnico della scrivente ha effettuato il sopralluogo del sito, al fine di eseguire le indagini integrative preventivamente programmate e condivise con l'Amministrazione Comunale.

Le indagini hanno riguardato:

1. la perimetrazione da terra della superficie interessata da presenza macroscopica di residui delle attività di sparo (cocci di piattelli, borre e pallini di piombo), tramite posizionatore GPS portatile a lettura continua;
2. l'esecuzione di rilievo aereo georeferenziato con drone semiautonomo da bassa quota, per l'aggiornamento della planimetria dell'area vista l'erosione fluviale;
3. lo scavo di alcune trincee poco profonde per mezzo di terna meccanica su gomma, finalizzate ad esporre strati di terreno a profondità variabili per analisi macroscopica del materiale e campionamenti dei vari orizzonti di terreno superficiale al perimetro ed all'interno dell'area di bonifica;
4. il campionamento dei residui prevalenti (cocci di piattello da cumuli sparsi soprasuolo) e del terreno da assoggettare a bonifica (mediante formazione di campioni composti da sezioni parallele) da gestire in regime di rifiuto.
5. il censimento e la parametrizzazione dimensionale delle strutture e dei fabbricati da demolire e rimuovere.

3.1 Aggiornamento della planimetria del sito

La prima attività effettuata in campo è stata la perimetrazione di precisione del terreno contenente i residui dell'attività di tiro a volo svoltasi in sito, ovvero cocci di piattello e pallini di piombo (con subordinata presenza di borre delle cartucce di sparo).

La delimitazione è stata effettuata spostandosi a terra con rilevatore di percorso GPS portatile.

È stata immediatamente riscontrata una significativa riduzione della superficie rispetto a quanto riportato nel Progetto Operativo del 2010, già in precedenza evidenziata mediante confronto delle foto aeree degli ultimi 10 anni.

Per una più precisa quantificazione dell'areale eroso è stato effettuato sull'area un rilievo aereofotogrammetrico georeferenziato con drone, rappresentato nelle tavole di progetto.



Figura 4 - operazioni di rilievo aereofotogrammetrico con drone semiautonoma.

Il rilievo è stato effettuato con drone modello Mavic Mini (iscritto come drone da lavoro professionale), in modalità di volo semiautonomia (decollo e atterraggio manuale controllato da smartphone tramite app DroneLink, strisciate automatiche). Il volo, effettuato a bassa quota (inferiore a 30 m), ha compreso numerose strisciate parallele e perpendicolari formanti una griglia. Durante le strisciate, il drone ha scattato fotografie con frequenza programmata (3 Hz).



Figura 5 - Rappresentazione della griglia di sezioni sorvolata dal drone, programmato per mezzo dell'applicativo DroneLink.

Tali strisciate aereofotogrammetriche sono state poi elaborate presso la sede della scrivente per mezzo di software appositi (CloudCompare e WebODM) per la produzione di un modello integrato unico del

terreno, comprensivo di quote altimetriche relative (modello tridimensionale). In quanto il drone è dotato di GPS, il modello risultante è anche stato georeferenziato.

Il modello è stato anche impiegato nei calcoli di progettazione delle operazioni e volumetrie di bonifica.

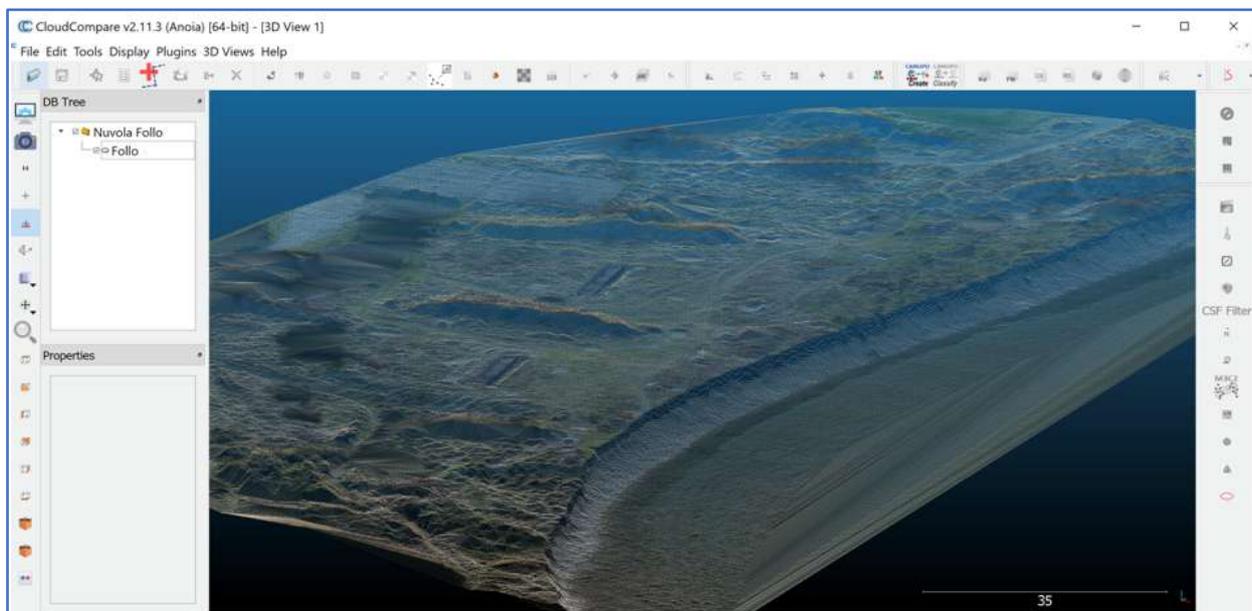


Figura 6 - Applicativo CloudCompare impiegato per l'integrazione degli scatti aereofotogrammetrici in modello 3D.

L'immagine prodotta dall'elaborazione dei fotogrammi e già referenziata rispetto alla fotografia satellitare disponibile è riportata nella seguente figura. Sono anche riportati a scopo di confronto i vecchi confini spondali del Vara, la superficie perimetrata in campo con presenza di rifiuti macroscopici, e l'area trapezia indicata preliminarmente come superficie di bonifica nel progetto operativo 2010.



Figura 7 - migrazione della sponda fluviale del Vara dalla foto satellitare Google (sfondo) all'attuale (rilievo aereo con drone), confrontate anche con l'area di bonifica originale secondo il Progetto Operativo (trapezio).

Come evidente dal confronto del rilievo da drone con la fotogrammetria satellitare, negli anni intercorsi la sponda del fiume Vara ha risentito di una migrazione verso ovest (l'alto nell'immagine seguente), erodendo oltre la metà del sito rispetto a quanto rappresentato nelle carte planimetriche della documentazione di Progetto Operativo.

L'osservazione del profilo pedologico verticale esposto dall'erosione fluviale ha permesso di schematizzare l'assetto generale della stratigrafia locale, sommariamente uniforme alla scala del sito come confermato dalle trincee esplorative effettuate:

1. livello superficiale vegetato e umizzato di colore marrone scuro, contenente elementi antropici quali rari pallini di piombo dispersi e abbondanti cocci di piattello neri laccati arancio o giallo con dimensioni che spaziano dall'intero piattello a frammenti millimetrici. Ghiaie e ciottoli fluviali di dimensioni contenute in matrice sabbioso-limosa. Si estende dal piano campagna sino a ca.10 cm;
2. livello sub-superficiale d'interfaccia fra il terreno con elementi antropici e il terreno naturale, di colore più chiaro, assenza macroscopica di piattello e pallini di piombo. Ciottoli fluviali di dimensioni mediamente maggiori rispetto al livello superficiale, in matrice sabbioso-limosa. Si estende dallo strato precedente sino a sfumare nel suolo naturale profondo dopo circa altri 10 cm;
3. strato profondo di terreni alluvionali naturali, assenza di elementi antropogenici correlabili all'attività di tiro a volo. Ciottoli fluviali di dimensioni variabili in matrice sabbioso-limosa beige.



Figura 8: Panoramica dell'erosione spondale e profilo pedologico come visibile nella scarpata. Le tacche dell'asta hanno un'equidistanza di 10 cm.

La stratigrafia del suolo sopra descritta ha guidato le scelte di campionamento per caratterizzare



qualitativamente i diversi livelli presenti e loro eventuali variazioni alla scala del sito.

Le operazioni di campionamento sono state assistite da una terna meccanica con operatore messa a disposizione dal Comune di Follo, che ha provveduto all'apertura delle trincee per le verifiche del profilo pedologico e per il campionamento dei diversi livelli del terreno come a seguire rappresentato.

3.2 Operazioni di campionamento

Contestualmente al sopralluogo e all'apertura delle trincee si è provveduto al campionamento dei materiali in sito (con gestione prevista in regime di terreno o rifiuto di bonifica) al fine della caratterizzazione chimica dei medesimi.

I prelievi sono stati effettuati con paletta manuale nelle trincee aperte tramite terna o pala manuale.

I soli materiali destinati alle analisi in regime di terreno sono stati setacciati in campo con maglia a 2 cm come da normativa (All.2, Parte IV, Dlgs 152/2006).

I materiali sono stati collocati all'interno di contenitori in HDPE con chiusura ermetica o in sacchi bianchi di TNT in PE a seconda dei quantitativi prelevati.

Ogni campionamento è stato fotografato e i campioni risultanti sono stati opportunamente etichettati e conservati in ambiente refrigerato sino alla consegna presso il laboratorio ambientale incaricato (pH srl di Tavarnelle Val di Pesa, Firenze, parte del gruppo internazionale di matrice tedesca TUV SUD).

È stato campionato quanto segue:

- n.1 campione di cocci di piattello, che nel sito rappresenta una delle due sorgenti primarie di contaminazione (rifiuto), per la caratterizzazione del materiale di composizione e la qualificazione in regime di rifiuto (pericoloso o no);
- n.2 campioni di suolo superficiale contaminato (0-10 cm), composti dall'addizione progressiva di molteplici aliquote non setacciate prelevate da postazioni equidistanti lungo n.2 tracciati (uno in prossimità della sponda fluviale e l'altro verso l'interno) estesi longitudinalmente nell'area interessata da evidenze macroscopiche di rifiuto frammisto al terreno, finalizzati alla caratterizzazione chimica e granulometrica del terreno contaminato in regime di rifiuto che sarà "scoticato" dalla bonifica;
- n.9 campioni di suolo superficiale macroscopicamente privo di rifiuto (0-10 cm), prelevato per analisi in regime di terreno al fine di determinare l'estensione areale del suolo contaminato per confronto con le CSC tabellari normative (Tabella 1 Allegato 5 Parte IV del D.lgs 152/06);
- n.13 campioni di suolo subsuperficiale di precollauda (10-20 cm) setacciato, prelevato al di sotto dello spessore di suolo superficiale macroscopicamente contaminato per la verifica del rispetto dei limiti normativi di cui sopra così da determinare l'estensione verticale del suolo contaminato nel profilo pedologico.

Le postazioni individuate inizialmente sono 14 ma in conclusione i punti 1 e 2 sono stati accorpati in un unico campione;

- n.13 campioni di suolo profondo di secondo precollaudo (20-40 cm) setacciato, prelevato al di sotto dei campioni di primo precollaudo, nel caso in cui le analisi dei campioni di cui al punto precedente rilevassero delle difformità;
- n.3 campioni compositi di suolo profondo e subsuperficiale (10-40 cm) tal quale per l'eventuale definizione della granulometria del materiale al di sotto del suolo contaminato contenente residui macroscopici di materiali antropici (cocci e pallini), da analizzare nel solo caso in cui si rendesse necessaria l'asportazione sino a tale profondità, per valutare l'efficacia di eventuale vagliatura per ottimizzazione delle spese di smaltimento.

L'immagine seguente riporta l'ubicazione dei punti di campionamento per la caratterizzazione del profilo pedologico assieme ai transetti da cui sono state prelevate le aliquote per la definizione dei n.2 campioni compositi di scotico (suolo macroscopicamente contaminato).



Figura 9: Ubicazione dei punti di campionamento: in verde i punti esterni per la delimitazione dell'area, in arancio i punti interni per la definizione del profilo verticale del suolo, e in giallo le linee dei transetti per il prelievo delle aliquote del campione composito per la definizione delle caratteristiche chimiche del suolo da bonificare.

4 Risultati delle Analisi di Laboratorio – Residui antropici

Il materiale antropico sparso sulla superficie e nel primo orizzonte superficiale sul suolo, che di fatto costituisce la sorgente primaria di contaminazione dei terreni superficiali (secondo le definizioni di cui agli All.1 e 2 della Parte IV al Dlgs 152/2006) è identificabile nelle tipologie di residui risultanti dalle attività di tiro a volo svoltesi in sito, ovvero cocci di piattelli, borre plastiche di cartucce e pallini di piombo.

In particolare i cocci di piattello sono rilevabili in sito con n.3 diverse giaciture:

1. come frammenti di piattello di granulometria variabile (dal centimetrico al submillimetrico, raramente integri) frammisti al suolo superficiale, per uno spessore indicativo di 10-15 cm, derivanti dall'esercizio delle attività di tiro al piattello;
2. come cumuli di piattelli (sia integri sia in frammenti centimetrici, frammisti a bossoli di materiale plastico) con area di base di ca.4 mq, presenti in n.3 punti dell'area in parola, derivanti da raccolta e pulizia periodica delle aree di ricaduta;
3. come stese rinfuse di piattelli (integri o in frammenti grossolani) all'interno delle n.2 trincee di pull che ospitavano le lanciaatrici dei piattelli, derivanti delle scorte di piattelli da lancio nelle trincee al momento dell'abbandono.



Figura 10: Aspetto del suolo superficiale nell'area di bonifica a seguito della rimozione dello strato di copertura vegetale di briofite. La colorazione nera del piattello è parzialmente mascherata dalla laccatura arancio.

La colorazione nera dell'impasto e l'apparente deformazione plastica subita dai piattelli, inclusi quelli ancora integri (caratteristiche in netto contrasto con la supposizione iniziale di una composizione simil-lateritica), ne hanno suggerito una valutazione della composizione chimica dato che nella precedente Caratterizzazione Ambientale del sito effettuata nel 2009, non era stata effettuata.

Mediante apposite campionature ed analisi di laboratorio, descritte nei capitoli successivi, si è quindi provveduto agli accertamenti delle caratteristiche chimico-fisiche di tali materiali ed alla loro



classificazione in regime di rifiuto.

Per quanto riguarda i pallini di piombo, la loro presenza, frammentata alla matrice fine del terreno, interessa invece per lo più uno spessore indicativo di circa 10 cm dell'orizzonte più superficiale del suolo. La presenza di pallini di piombo è però talmente rarefatta e di difficile identificazione da non consentirne una campionatura ed una caratterizzazione chimica separata dalla matrice del terreno.

Per tale ragione la stima della densità dei pallini di piombo nella matrice del terreno è stata ritenuta possibile solo in base alle concentrazioni effettive dell'elemento Pb nella frazione granulometrica < 2mm del terreno superficiale.

4.1 Frammenti di piattello – caratterizzazione chimica di sorgente primaria

Come riscontrato a seguito del sopralluogo e tramite ricerche su fonti dedicate all'argomento, sino ai primi anni 2000, per la scarsa attenzione alle tematiche ambientali, era molto comune che i piattelli da tiro a volo fossero stampati a partire da miscele di carbonato di calcio, ossido di calcio e **bitume/catrame**.

La potenziale presenza di catrame nell'impasto dei piattelli utilizzati nel centro di tiro a volo di Follo, considerata l'epoca della sua attività, poteva quindi aver configurato un ulteriore effetto di contaminazione del suolo per la ricaduta di polveri e sfridi con elevato contenuto di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA).

In fase di indagine è stato pertanto deciso di effettuare specifiche campionature ed analisi dei cocci di piattelli al fine di verificarne la presenza di IPA nell'impasto e, nel caso, le necessarie analisi di caratterizzazione e classificazione in regime di rifiuto come appartenente al gruppo CER 17 03 "miscele bituminose, catrame di carbone e prodotti contenenti catrame" di cui all'Allegato D alla Parte IV del D.lgs 152/06.

Come ipotizzato, nei campioni di cocci di piattelli è stata rilevata la presenza di IPA, tuttavia non in concentrazioni tali da comportarne l'attribuzione di pericolosità.

4.1.1 Caratteristiche chimiche

La seguente tabella sintetizza i parametri più rilevanti determinati nei cocci di piattelli; il certificato completo delle analisi di laboratorio è disponibile negli allegati.

Tabella 1: Sintesi delle analisi chimiche del rifiuto di piattello. IPA totali determinati = 781 mg/kg.

Parametro	Valore	Parametro IPA	Valore mg/kg	Parametro IPA	Valore mg/kg
pH	7.1	Naftalene	3.2	Benzo(b)fluorantene	62
Carbonati	14 %	Acenaftilene	0.055	Benzo(j)fluorantene	30.7
Calcio	19.9 %	Acenaftene	12.1	Benzo(k)fluorantene	31.1
Magnesio	0.14 %	Fluorene	8.1	Benzo(e)pirene	46
Sodio	0.47 %	Fenantrene	64	Benzo(g,h,i)perilene	54

Parametro	Valore	Parametro IPA	Valore mg/kg	Parametro IPA	Valore mg/kg
Piombo	65 mg/kg	Antracene	17.6	Crisene	67
Rame	209 mg/kg	Fluorantene	100	Dibenzo(a,h)antracene	16
TOC	35.5 %	Benzo(a)antracene	66	Indeno(1,2,3-c,d)pirene	49
HC 10 < C < 40	58 mg/kg	Benzo(a)pirene	70	Pirene	85

Come evidenziato in tabella il campione di piattello analizzato è risultato composto da bitume (come indicato dal TOC elevato) ma, tenendo conto dell'elevata percentuale di carbonio organico presente, relativamente povero in idrocarburi con catena da 10 a 40 e IPA, questi ultimi comunque superiori alle CSC normative previste per i suoli. Ciò fa supporre che il bitume impiegato nella fabbricazione dei piattelli abbia comunque subito un processo del tipo "estrazione a vuoto" per la rimozione di una parte degli idrocarburi più leggeri e pericolosi.

Al confronto con i limiti chimici per la classificazione di pericolosità del rifiuto, è evidente come i tenori di IPA si mantengano invece sempre al di sotto di tali soglie, generalmente inferiori di un ordine di grandezza o più (vedasi il certificato analitico di laboratorio).

Grazie all'analisi degli IPA, è stato inoltre possibile ricavare la "firma" chimica del piattello nella sua forma pura. Ciò può essere impiegato per calcolare con buona accuratezza la concentrazione di cocci di piattello nel suolo superficiale mediante confronto con i risultati delle analisi dei relativi campioni.



Figura 11: Grafico di elaborazione spettrale degli IPA con la firma spettrale del campione di rifiuto di piattello. La scala verticale è lineare (non logaritmica).

Il resto del campione analizzato è invece risultato composto da carbonati di metalli alcalini e alcalino-terrosi (calcio *in primis*, con sodio, magnesio, e bario subordinati), possibilmente presenti anche come ossidi o silicati (il totale dei metalli è in eccesso rispetto ai carbonati presenti). Il metallo pesante maggiormente presente in traccia è il rame.

E' inoltre possibile riscontrare come l'impasto del piattello abbia un contenuto di piombo molto basso rispetto ai valori riscontrati nel terreno superficiale: ciò riconferma come il contenuto di piombo



individuato dalle analisi dei suoli sia esclusivamente associabile alla presenza di pallini e polveri di piombo ricadute sul suolo.

Oltre all'analisi chimica sui campioni di matrice secca e tal quale dei cocci di piattelli si è anche provveduto all'esecuzione di un test di cessione della matrice ed all'analisi dell'eluato (ex DM 05/02/1998), utile ad offrire la valutazione di praticabilità di un'opzione di recupero presso impianti autorizzati (R5) quale alternativa allo smaltimento in discarica (D1), in accordo con le specifiche normative di riferimento di cui al D.lgs 152/06 e relativi decreti di attuazione.

La conformità ai limiti per il recupero (R5), di cui al DM di riferimento citato, dell'eluato del campione di cocci di piattello, ne assicura la recuperabilità presso impianti autorizzati ex art. 208 del D.lgs 152/06. I risultati integrali delle analisi sull'eluato da test di cessione unitamente ai risultati di caratterizzazione chimica della matrice tal quale sono riportati in allegato.

4.2 Terreno di bonifica – caratterizzazione chimica di sorgente secondaria e classificazione in regime di rifiuto

Come già evidenziato dalle analisi della Caratterizzazione Ambientale del 2009, e così come confermato dai risultati analitici delle indagini supplementari effettuate (descritte nel successivo capitolo dedicato), la contaminazione nella sorgente secondaria (matrice terreno) risulta confinata nel suolo superficiale ed è riconducibile essenzialmente alla presenza di piombo e IPA.

Per gli IPA, in termini di singoli analiti e sommatoria, si è dovuto tener conto delle concentrazioni limite normative (CSC di Tab. 1 Allegato 5 alla parte IV del D.lgs 152/069, non essendone stata precedentemente determinata la CSR nell'elaborazione dell'Analisi di Rischio di cui al POB approvato.

Le operazioni di bonifica consisteranno pertanto nella rimozione mediante "scotico" dell'orizzonte superficiale del suolo, comprensivo dello strato vegetale soprastante, con presenza di residui dell'attività di tiro a volo e/o con concentrazioni superiori alle CSR per il parametro Piombo e CSC per gli IPA.

Per una prima caratterizzazione preliminare del terreno oggetto di bonifica, in termini di qualifica in regime di rifiuto da conferire ad impianti autorizzati, sono stati prodotti n.2 campioni compositi di "scotico" del primo orizzonte di terreno superficiale (circa 15 cm) all'interno dell'area con marcata presenza di residui di piattelli.

I due campioni compositi sono rappresentativi di 2 rispettivi transetti di campionamento, paralleli tra loro e posizionati a diversa distanza dalla sponda fluviale e dalle postazioni di lancio di piattelli e sparo. Nel campionamento, il materiale organico grossolano (erba, legno, apparati radicali estesi) è stato scartato al fine di non alterare le concentrazioni effettive di contaminanti organici associate alla presenza di sfridi e polveri di piattelli.

La scelta di effettuare 2 campionamenti paralleli è derivata da un ragionamento di tipo balistico sulle traiettorie di piattelli e proiettili, ovvero per ricercare eventuali differenze nella contaminazione del suolo all'interno di 2 fasce di ricaduta a diversa distanza dall'area di tiro (supposizione peraltro confermata dalle analisi) come rappresentate nell'immagine seguente.



Figura 12 –Transetti di campionamento (punti bianchi) e fasce di distanza (linee gialle)

Il set analitico per la caratterizzazione chimica dell'orizzonte superficiale del terreno in regime di rifiuto ha previsto la determinazione dei potenziali marker di pericolosità ed in particolare: *parametri fisici, granulometria, elementi chimici metallici e semimetallici, anioni base, idrocarburi totali, BTEXS, IPA, solventi cancerogeni e non cancerogeni.*

4.2.1 Caratteristiche chimiche

I risultati delle analisi chimiche dei 2 campioni compositi rappresentativi del terreno superficiale prevalentemente interessato dalla presenza di residui delle attività di tiro ne hanno permesso un inquadramento e classificazione preliminare, funzionale alla determinazione delle opzioni di gestione in regime di rifiuto.

Innanzitutto, in merito ai parametri chimici *idrocarburi totali, BTEXS e solventi organoalogenati*, le concentrazioni sono risultate talmente basse da essere generalmente al di sotto del limite di rilevabilità strumentale.

Per quanto riguarda gli *idrocarburi policiclici aromatici (IPA)*, le concentrazioni nella matrice del terreno, collegate come detto alla presenza di frammenti e polveri di piattelli, sono risultate invece apprezzabili ma mai superiori ai limiti di pericolosità.

La tabella seguente riporta i risultati analitici relativi alle concentrazioni di IPA nei 2 campioni compositi per confronto con il campione di piattello.

Tabella 2: Tenori di IPA determinati nei campioni di suolo contaminato e confronto con il rifiuto di piattello. I valori sono indicati in mg/kg.

Specie IPA	Limiti Attenzionamento Pericolosità	21-AM30796 Piattello	21-AM36776 Comp.Interno	21-AM36781 Comp.Sponda
Naftalene	2500	3.2	0.15	< 0.05
Acenaftilene		0.06	< 0.05	< 0.05



Specie IPA	Limiti Attezionamento Pericolosità	21-AM30796 Piattello	21-AM36776 Comp.Interno	21-AM36781 Comp.Sponda
Acenaftene		12.1	0.91	0.39
Fluorene		8.1	0.52	0.18
Fenantrene		64	7.5	2.58
Antracene		17.6	1.88	0.7
Fluorantene	2500	100	17.2	6.5
Benzo[a]antracene	250	66	12.3	5.4
Benzo[a]pirene	50	70	15.1	7.5
Benzo[b]fluorantene	1000	62	14.1	6.6
Benzo[j]fluorantene	1000	30.7	6.7	3.31
Benzo[k]fluorantene	1000	31.1	6.9	3.42
Benzo[e]pirene	1000	46	10.2	4.8
Benzo[g,h,i]perilene	2500	54	9	4.2
Crisene	1000	67	14.2	6
Dibenzo[a,h]antracene	100	16	2.83	1.36
Indeno[1,2,3-c,d]pirene	10000	49	8.4	4
Pirene	2500	85	14.3	5.8

È possibile notare come la firma spettrale degli IPA nei campioni di suolo contaminato sia identica a quella del rifiuto di piattello illustrata in precedenza nel documento.

Questo prova come i frammenti di piattello siano effettivamente l'unica sorgente primaria di contaminazione da IPA nel sito. Quanto detto è illustrato dal grafico seguente, impostato in scala logaritmica per evidenziare le firme dei campioni compositi di terreno contaminato (altrimenti difficilmente visibili al raffronto con quella del piattello in quanto molto minori).

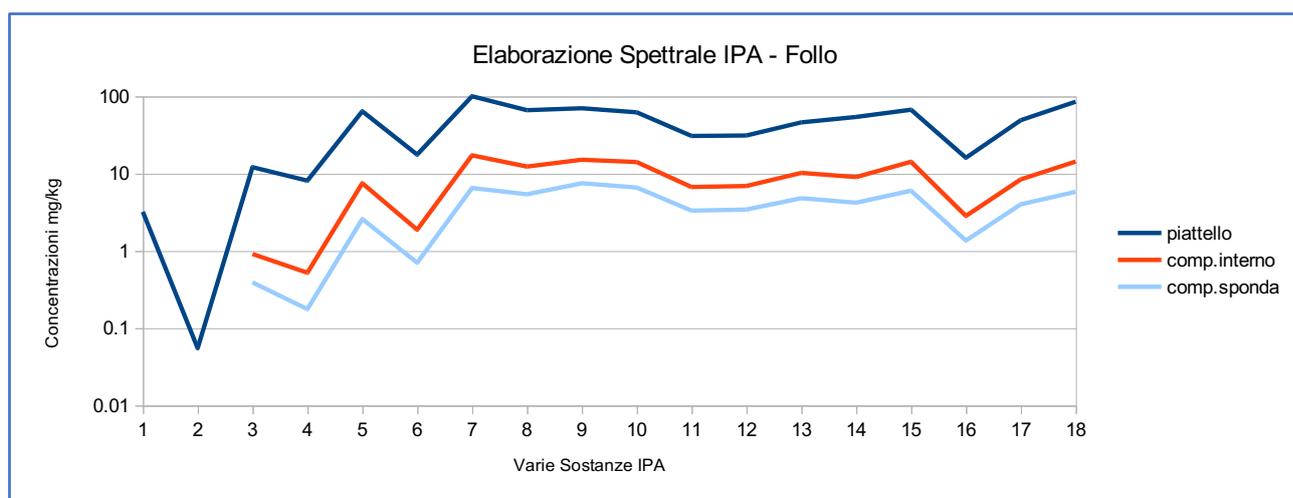


Figura 13: Grafico di elaborazione spettrale delle firme IPA del rifiuto di piattello e dei campioni di terreno contaminato. La scala verticale è logaritmica.



Per mezzo del grafico e dei confronti tra firme spettrali è anche possibile effettuare una stima del contenuto percentuale di piattello nei campioni di terreno contaminato, calcolato come mediana dei rapporti tra ciascuna sostanza IPA nel campione di terreno contaminato e nel materiale costituente l'impasto del piattello:

1. il campione della porzione più prossima alle postazioni di tiro contiene ca.17.5% di cocci e sfridi di piattelli;
2. il campione della porzione distale, in corrispondenza della sponda fluviale, contiene ca.8% di cocci e sfridi di piattelli.

Per quanto invece riguarda i parametri inorganici, la tabella seguente riassume quelli di maggior interesse, anche in relazione alle sostanze più rilevanti riscontrate nel campione di piattello o per le specificità del sito in esame. Sono evidenziati i superamenti dei valori di attenzione dei marker di pericolosità secondo la normativa vigente, per quanto in generale non ne sono state comunque evidenziate concentrazioni critiche significative.

Tabella 3: sintesi dei parametri più significativi per le sostanze inorganiche. I valori sono indicati in mg/kg.

Specie Chimica	Limiti Attenzione Pericolosità	21-AM30796 Piattello	21-AM36776 Comp.Interno	21-AM36781 Comp.Sponda
Boro	92	71	251	34.4
Calcio	72229	199000	37900	27700
Cromo Totale	520	2.8	173	239
Nichel	186	4.8	219	220
Piombo	1915	65	247	257
Rame	995	209	32.5	25
Sodio	5750	4700	960	< 630
Carbonati		140000	20000	14000

È evidente come alcuni elementi, e in particolare Cromo, Nichel e Piombo, non siano associabili ai residui di piattelli contenuti nei terreni, al contrario del Calcio, Rame, Sodio e Carbonati.

Il contenuto di Cromo e Nichel è indubbiamente da attribuirsi alle specificità del sito in esame, come meglio affrontato nel paragrafo successivo.

Per quanto riguarda il contenuto di Piombo, esso è sicuramente associabile alla presenza di polveri e pallini di piombo per quanto le concentrazioni non risultino particolarmente elevate e comparabili con le concentrazioni già rilevate in fase di caratterizzazione (2009).

Per quanto infine concerne il parametro Boro, è ragionevole supporre che, essendo questo elemento solubile in forma di borato, esso sia stato nel tempo lisciviato dai cocci di piattello anche durante il periodo di attività del campo di tiro a volo, permanendo anche a seguito della periodica rimozione di residui solidi di piattelli effettuata dagli esercenti.

Il suolo si sarebbe così arricchito nel tempo sino ad avere una concentrazione di boro superiore a quella



dei piattelli stessi, che sono verosimilmente l'unica possibile sorgente di contaminazione diversa dai pallini di piombo (privi di boro). È altresì ragionevole supporre che i frammenti di piattello analizzati siano stati essi stessi già lisciviati dalle acque meteoriche durante il lungo abbandono in cumuli esposti alle intemperie, per cui la concentrazione determinata dalle analisi potrebbe non rappresentare la concentrazione originale del piattello.

4.2.2 Caratteristiche fisico-chimiche

Le analisi effettuate sui due campioni compositi di suolo superficiale contaminato hanno anche previsto la determinazione di caratteristiche fisiche del materiale, quali densità, residuo secco e granulometria a 4 classi (ghiaia, sabbia, limo, argilla). La seguente tabella riporta i risultati, concordanti tra loro. Per brevità sono qui riportati anche pH e TOC.

Tabella 4: Parametri fisico-chimici del piattello e dei campioni di suolo contaminato.

Parametro	21-AM30796 Piattello	21-AM36776 Comp.Interno	21-AM36781 Comp.Sponda
Residuo secco a 105°C (%)	92.8	90.7	88
Residuo secco a 600°C (%)	56.4	74.5	83.1
Carbonio organico totale (TOC) (%)	35.5	15.6	4.1
Peso specifico apparente (Kg/L)		1.05	0.89
pH (unità pH)	7.1	6.9	7.1
Ghiaia (x > 2.0 mm) (%)		29.3	17.8
Sabbia (2 > x > 0.063 mm) (%)		50.2	58.9
Silt (0.063 > x > 0.004mm) (%)		15	17.8
Argilla (< 0.004mm) (%)		5.5	5.5

Il terreno si classifica come una sabbia ghiaioso-limoso debolmente argillosa. È possibile notare come l'andamento del residuo secco a 105°C, a 600°C e il TOC riflettano l'influenza del contenuto di cocci di piattello.

4.3 Giudizio di classificazione preliminare di pericolosità dei rifiuti

Tenuto conto che la classificazione dei materiali oggetto di bonifica (residui delle attività di tiro e terreni superficiali) in regime di rifiuti ne comporta l'attribuzione di CER caratterizzati da codici "specchio" (pericoloso/non pericoloso), è stato effettuato il calcolo delle concentrazioni dei marker caratteristici necessaria al giudizio di classificazione di pericolosità.

Il calcolo è stato effettuato in accordo con la normativa comunitaria vigente nei paesi dell'Unione Europea (Caratteristiche di pericolo e valori limite per la classificazione di rifiuto aggiornati al Regolamento 2014/1357/UE e al Regolamento 2017/997/UE, di modifica e integrazione alla Direttiva 2008/98/CE e al Regolamento 2008/1272/CE) in materia di classificazione dei rifiuti.

I giudizi di classificazione riportati a seguire sono da ritenersi preliminari e funzionali alla corretta interpretazione delle modalità gestionali ed alla quantificazione dei costi in fase esecutiva; non si



escludono campionamenti ed analisi integrative da effettuarsi in corso d'opera mediante campionamenti in cumulo ed analisi di omologa da parte del soggetto esecutore.

Si fa infatti presente come, a seguito dell'asportazione dei rifiuti oggetto di bonifica, si dovrà procedere secondo la recente normativa in materia (Delibera n.105/2021 con cui il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) ha approvato le linee guida sulla classificazione dei rifiuti, poi approvate dal Ministero della transizione ecologica con Decreto n.47/2021), mediante elaborazione da parte del produttore dei rifiuti della documentazione tecnica indicante le informazioni sul rifiuto e le modalità di attribuzione del codice CER nonché il Giudizio di Classificazione (indicante le condizioni di pericolosità del rifiuto di bonifica, con allegati verbali di campionamento, report analitici dei dati e rapporti di prova delle analisi).

4.3.1 Cocci di piattelli (CER 17 03 02)

Come indicato dalla normativa (Decreto n. 47/2021 di approvazione delle "Linee guida sulla classificazione dei rifiuti" di cui alla delibera del Consiglio del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) n.105/2021), per la classificazione di pericolosità, quando una sostanza è inferiore ai rispettivi limiti di attenzione (di cui all'Allegato III della Direttiva 2008/98/CE) essa non viene impiegata per il calcolo della pericolosità. Pertanto sono da impiegarsi solamente quelle sostanze difformi ai limiti in parola.

Nel caso del campione di cocci di piattello sono emersi n.2 superamenti dei limiti di attenzione, in particolare per il parametro Benzo(a)pirene, appartenente al gruppo degli IPA che, come illustrato in precedenza, contraddistinguono il materiale dei piattelli, e al Calcio, comune metallo alcalino terroso presente nel carbonato di calcio che, legato dal bitume, compone il piattello.

Tabella 5: superamenti del valore soglia di attenzione alla pericolosità per il campione di piattello.

Sostanza	Valore nel Piattello (mg/kg)	Concentrazione percentuale nel piattello	Valore Attenzionamento per calcolo Pericolosità (mg/kg)
Benzo(a)pirene	70	0.007 %	50
Calcio	199000	19.9 %	72229

Il Benzo(a)pirene è caratterizzato, secondo la comunità scientifica internazionale, dalle frasi di pericolo a seguire rappresentate. Ciascuna frase di pericolo H (Hazard) è poi connessa ad una o più classi di pericolosità del rifiuto, indicate con il codice HP.

Tabella 6: indicazioni sulle caratteristiche di pericolosità del Benzo(a)pirene secondo la classificazione comunitaria in vigore, e limiti della concentrazione per l'attribuzione della pericolosità.

Sostanza	Frase di pericolo H	Significato frase H	Codice HP relativo	Significato codice HP	Concentrazione soglia per sostanza
	H317	Può causare reazioni allergiche cutanee	HP13	Sensibilizzante	10 %



Sostanza	Frase di pericolo H	Significato frase H	Codice HP relativo	Significato codice HP	Concentrazione soglia per sostanza
Benzo(a)pirene	H340	Può causare difetti genetici	HP11	Mutageno	0.1 %
	H350	Può causare cancro	HP7	Cancerogeno	0.1 %
	H360	Può influenzare la fertilità o feti in gestazione	HP10	Tossico per la riproduzione	0.3 %
	H410	Molto dannoso per la vita acquatica con effetti di lungo termine	HP14	Ecotossico	0.25 %

La sostanza IPA Benzo(a)pirene non raggiunge mai i valori limite necessaria ad attribuire al rifiuto la caratteristica di pericolosità corrispondente.

Per quanto riguarda il Calcio, in quanto il risultato delle analisi chimiche effettuate dal laboratorio riporta il valore dell'elemento e non di un composto, è opportuno effettuare le seguenti considerazioni:

1. Il valore di attenzione di 72229 mg/kg è relativo all'ipotesi di presenza di cloruro di calcio. In quanto dalle analisi si evince come il contenuto di cloro sia molto basso (152 mg/kg), è possibile escludere che i 199000 mg/kg di calcio rilevati siano nella forma di cloruro.
2. Le analisi riportano una concentrazione di carbonato pari a 140000 mg/kg. Tale concentrazione di carbonato, allineata con quella di calcio rilevata, conferma l'informazione per cui i piattelli sono composti da carbonato di calcio, sostanza non pericolosa.

Dal laboratorio è stato anche eseguito un test di infiammabilità, il cui risultato qualitativo è stato "non facilmente infiammabile".

Pertanto, i cocci di piattelli risultano classificabili come rifiuti speciali non pericolosi, ed il codice CER appropriato, come comunemente attribuiti a tali materiali (documento "Proposte tecniche e legislative per la gestione di alcuni aspetti ambientali inerenti i poligoni di tiro" - Gruppo di lavoro "poligoni di tiro", ARPAV Ottobre 2014) risulta il **CER 17 03 02** (miscele bituminose non pericolose).



4.3.2 Terreni superficiali di bonifica (CER 17 05 04)

Nel caso del terreno superficiale oggetto di bonifica, come caratterizzato mediante i 2 campioni compositi, i parametri di attenzione per la pericolosità sono soltanto gli elementi Boro e Nichel. Nella tabella seguente si riportano le concentrazioni massime rinvenute tra i n.2 campioni compositi analizzati.7

Tabella 7: superamenti del valore soglia di attenzione alla pericolosità per i campioni di terreno contaminato.

Sostanza	Valore max nel Terreno superficiale (mg/kg)	Concentrazione percentuale nel piattello	Valore Attenzione per calcolo Pericolosità (mg/kg)
Boro	251	0.0251 %	92
Nichel	220	0.022 %	186

Per quanto riguarda il boro, il limite di attenzione di 92 mg/kg è relativo alla presenza di diossidibutilstannidrossiborano, sostanza la cui assenza è stata verificata vista la non corrispondenza delle concentrazioni di stagno.

Per quanto invece riguarda il nichel, il limite di 186 mg/kg è relativo alla sostanza dicromato di nichel, la cui assenza è stata verificata dall'assenza di cromo esavalente nelle analisi.

Nel caso del contenuto di nichel, è a seguire illustrato come tale elemento abbia provenienza geologica e si ritrovi pertanto come inclusione nei minerali componenti la frazione naturale del terreno.

Secondo la classificazione dei rifiuti (SNPA 2021), il terreno oggetto di bonifica è da considerarsi come rifiuto speciale non pericoloso, con codice CER 17 05 04 (terre e rocce, comprese quelle provenienti da siti di bonifica).



5 Valutazione degli spessori e dell'areale di bonifica

Oltre alla caratterizzazione in regime di rifiuti dei materiali oggetto di bonifica (residui di piattelli soprasuolo e terreni superficiali visivamente compenetrati dai medesimi), in occasione delle indagini integrative del novembre 2021 sono anche stati campionati ed analizzati i terreni circostanti l'areale di bonifica ed i terreni sub-superficiali interni all'areale di bonifica, per delimitare con esattezza l'estensione orizzontale e verticale della contaminazione e quindi il volume complessivo dei terreni da assoggettare a bonifica.

Per una migliore accuratezza, si è scelto di procedere con passi successivi di campionamento ed indagine chimica nel rispetto dei diversi livelli pedostratigrafici identificati (suolo sub-superficiale negli intervalli 10-20 cm e 20-40 cm) sottostanti il suolo superficiale (0-10) visibilmente contaminato dai residui delle attività di tiro (0-10 cm).

Le analisi chimiche sono state effettuate su campioni di terreno prendendo a riferimento, per lo scopo indicato, i limiti di riferimento normativi in rapporto alla destinazione d'uso del sito ovvero le CSC per suoli ad uso *verde pubblico* di cui alla Tab.1 col.A, All.5, Parte IV del Dlgs 152/2006.

Per gli elementi metallici **Cromo, Nichel e Piombo**, sono stati prese a riferimento le **CSR sito-specifiche** calcolate mediante Analisi di Rischio, approvata unitamente al Progetto Operativo di Bonifica con la Determinazione n.89/2010 del Responsabile Servizio Lavori Pubblici del Comune di Follo.

Tabella 8: CSR sito-specifiche approvate per il sito.

PARAMETRO	CSC (mg/kg)	CSR (mg/kg)
Cromo Totale	150	38750
Piombo	100	240
Nichel	120	958

Come rappresentato nel successivo paragrafo, è comunque possibile attribuire le cause delle concentrazioni anomale di metalli Cromo e Nichel nei terreni campionati ed analizzati come espressione della natura geologica della valle fluviale del Vara e dei litotipi costituenti il materasso alluvionale dal corso d'acqua stesso.

5.1 Valutazioni su Cromo e Nichel – Provenienza ofiolitica

Una buona parte dei campioni analizzati durante le indagini integrative è risultata caratterizzata da superamenti dei limiti normativi delle CSC normative (Tab.1 col.A, All.5, Parte IV del Dlgs 152/2006) per i parametri Cromo e Nichel, sia per quanto riguarda i campioni di terreno dell'area interessata dalla presenza di cocci di piattello sia per i terreni esterni non impattati.

Durante la caratterizzazione del 2009 finalizzata all'Analisi di Rischio è stata riscontrata una situazione simile ma non identica, in quanto la totalità dei campioni superava le CSC normative. Ciò è facilmente comprensibile per mezzo di una considerazione sul campionamento, anche evidente dalle analisi della

scrivente, ovvero che i tenori medi di cromo e nichel dei campioni esterni (rappresentativi dello spessore 0-10 cm) sono minori di quelli dei campioni interni del primo precollaudo (rappresentativi dello spessore 10-20 cm).

Le integrazioni del 2021 sono difatti rappresentative dello spessore superficiale o sub-superficiale del suolo, mentre nelle indagini precedenti sono stati prelevati campioni in n.5 intervalli di profondità: 0-20, 20-50, 50-150, 150-250, 350-500 cm. In sintesi, la Caratterizzazione Ambientale ha caratterizzato l'intero spessore del suolo (superficiale, intermedio e profondo), mentre le integrazioni della scrivente si sono focalizzate sugli spessori superficiali.

La conseguenza di questa scelta è che le concentrazioni di elementi geogenici (contenuti nei minerali delle rocce presenti principalmente come sabbie e ghiaie generate dall'erosione fluviale dei versanti) si ritrovano relativamente diluite nei campioni di suolo superficiale in quanto arricchiti in materiale organico e in cocci di piattello.

Quanto illustrato ai punti precedenti è rappresentabile per mezzo del seguente grafico, in cui i diversi gruppi di campioni sono differenziati.

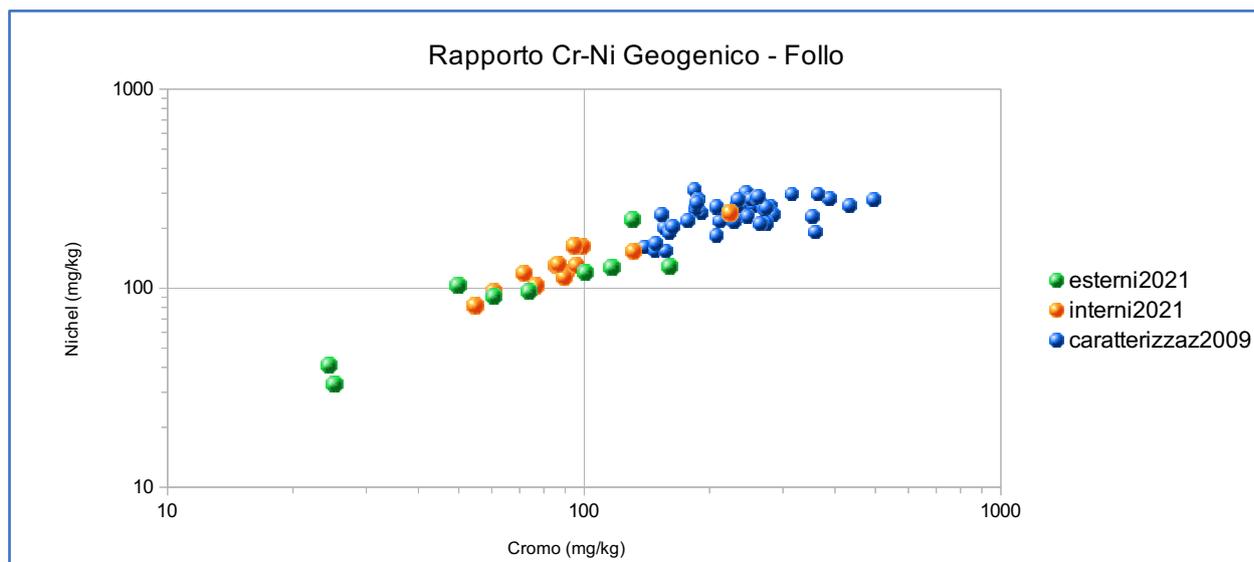


Figura 14: Grafico delle concentrazioni di Cr e Ni nei diversi campioni. Il rapporto costante allineato indica unicità di sorgente.

Tale grafico permette anche di effettuare una considerazione importante: i punti dei diversi gruppi di campioni si ritrovano allineati, indipendentemente dal valore assoluto delle concentrazioni. Ciò significa che l'origine di questi due metalli (cromo e nichel) è la medesima nei 3 gruppi di campioni, ovvero uniforme alla scala del sito: si tratta della firma chimica delle rocce tipiche delle cosiddette "Unità Liguridi" erose dal fiume, firma poi conferita a suoli alluvionali e sedimenti depositi dal Vara.

I superamenti sono pertanto indicativi dei valori di fondo naturali di area vasta e non di contaminazioni legate alla passata attività del tiro a volo, evidente anche dal fatto che le difformità persistano pure alla profondità di 5 m.

Le ragioni di questo fenomeno sono correttamente riportate anche nell'Analisi di Rischio approvata nel



2010: "Tali superamenti, in accordo con il Dipartimento ARPAL della Spezia, sono da attribuire alla presenza di anomalie di fondo legate alla geologia ed alla geochimica della zona, caratterizzata da sedimenti di natura serpentinitica, sulla base dei risultati analitici dei campionamenti eseguiti da ARPAL e finalizzati a verificare la presenza di tali anomalie."

Nonostante questa considerazione, nell'Analisi di Rischio sono state anche determinate le CSR per i due metalli in parola, in via cautelativa. Nessun campione della caratterizzazione originale o tantomeno delle indagini di aggiornamento conoscitivo della scrivente supera i limiti approvati. Pertanto le concentrazioni di Cromo e Nichel sono state escluse dalle considerazioni sulla conformità dei terreni indagati.

5.2 Analisi del suolo superficiale privo di rifiuto – delimitazione orizzontale

Per la perimetrazione dell'area oggetto di bonifica si è proceduto all'analisi dei n.9 campioni di terreni superficiali prelevati all'esterno del perimetro di delimitazione della superficie con presenza accertata dei residui delle attività di tiro a volo sul suolo.

Il perimetro è stato delimitato tramite tracciato GPS georeferenziato, successivamente all'apertura di n° 9 trincee esplorative effettuate per le necessarie verifiche merceologiche della matrice del terreno, il successivo campionamento ed analisi ambientali.

Dei n° 9 campioni analizzati, n.2 (I3 ed I6) sono risultati non conformi alla CSR sito-specifica per il parametro Pb (240 mg/kg).

Tabella 9: Tenori di Pb nei n.9 campioni per il dimensionamento dell'estensione orizzontale della superficie di bonifica. In giallo i superamenti delle CSC normative contenuti nelle CSR, in rosso i superamenti delle CSR sito-specifiche.

ID Campione	Concentrazione Pb	ID Campione	Concentrazione Pb
I1	41.6	I6	502
I2	185	I7	23.2
I3	356	I8	20.1
I4	45.9	I9	37.9
I5	7		

In base ai risultati ottenuti è stata rielaborata l'estensione orizzontale dell'areale di bonifica ricomprendendo, oltre alla superficie interessata dai residui delle attività di tiro a volo colorata in violetto, anche 2 appendici di terreno naturale come rappresentate nell'immagine seguente colorate in magenta.

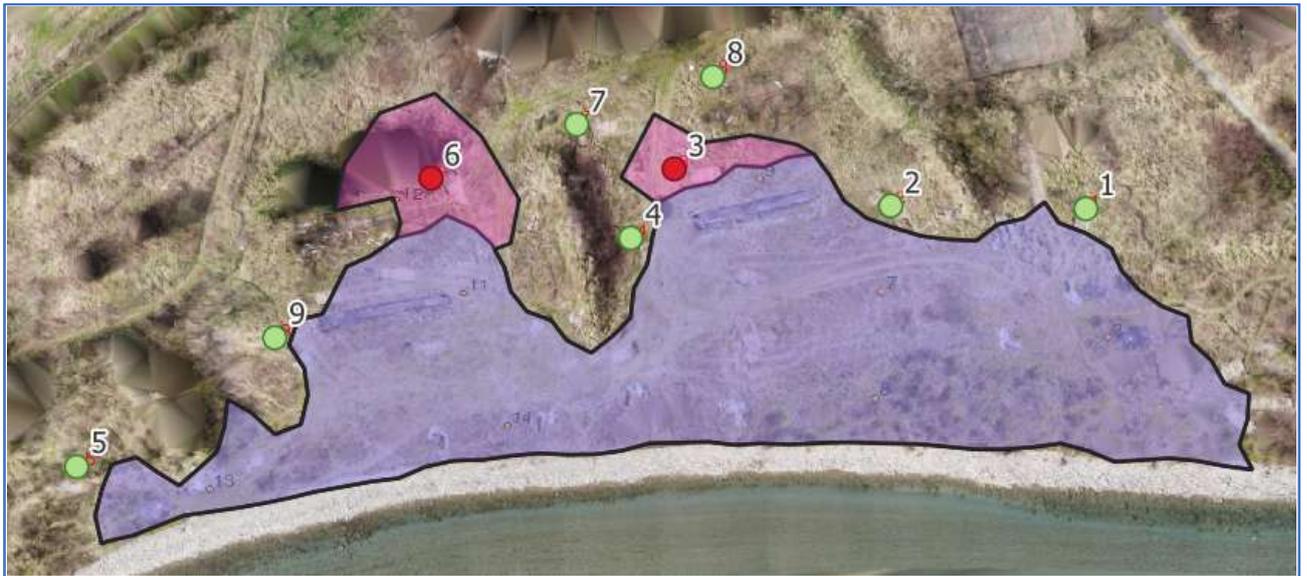


Figura 15: Areale di bonifica.

5.3 Delimitazione verticale dell'orizzonte di bonifica

Per quantificare il terreno contaminato oggetto di bonifica è necessario determinare la profondità effettiva oltre la quale sia certa la conformità alle CSR ed alle CSC di progetto.

Per lo scopo in n° 13 punti interni all'areale con presenza accertata di residui delle attività di tiro a volo sono stati campionati 2 livelli pedologici diversi, a profondità progressive, ed eseguite le rispettive analisi ambientali.



Figura 16 - Punti campionamento per la determinazione dello spessore di bonifica (punti arancio)

In una prima fase sono stati analizzati i campioni di suolo subsuperficiale (10-20 cm) sottostanti il livello superficiale (0-10cm) con presenza di sfridi e cocci di piattelli.



Le analisi ambientali sono state limitate ai metalli d'interesse (Pb, Cu, Zn, Cr, Ni) e, su n.3 campioni compositi accorpati, anche agli IPA. L'analisi degli IPA ha costituito integrazione rispetto a quanto effettuato nella caratterizzazione originale dei terreni, limitata ai soli parametri metallici.

L'approfondimento analitico effettuato ha consentito di verificare l'eventuale migrazione di metalli e IPA per lisciviazione o trasporto di polveri fini dal suolo superficiale verso il profondo.

I campioni analizzati dell'intervallo 10-20 cm sono risultati tutti conformi alle CSR sito-specifiche per il Piombo permettendo di escluderne la migrazione per lisciviazione nel secondo orizzonte campionato (20-40).

Nei 3 campioni compositi del livello 10-20 cm si sono però rilevate concentrazioni di IPA superiori alla CSC normativa presumibilmente associabili alla presenza di frammenti submillimetrici e polveri fini di piattelli e/o a lisciviazione da acque meteoriche di infiltrazione.

Tabella 10: Risultati delle analisi sui campioni coacervi di terreno subsuperficiale (10-20 cm) per la ricerca degli IPA.

Specie IPA	Limiti CSC col.A	21-AM30796 Piattello	21-AM36846 C1+2+3+4+5 (10-20 cm)	21-AM36847 C6+7+8+9 (10-20 cm)	21-AM36848 C10+11+12+13+14 (10-20 cm)
Benzo[a]antracene	0.5	66	1.16	0.27	0.28
Benzo[a]pirene	0.1	70	1.37	0.21	0.29
Benzo[b]fluorantene	0.5	62	1.34	0.29	0.33
Benzo[k]fluorantene	0.5	31.1	0.64	0.13	0.17
Benzo[g,h,i]perilene	0.1	54	0.83	0.15	0.21
Crisene	5	67	1.34	0.31	0.34
Dibenzo[a,h]antracene	0.1	16	0.25	0.04	0.06
Indeno[1,2,3-c,d]pirene	0.1	49	0.73	0.13	0.17
Pirene	5	85	1.49	0.37	0.36
Dibenzo[a,e]pirene	0.1		0.17	0.02	0.04
Dibenzo[a,h]pirene	0.1		0.01	< 0.005	< 0.005
Dibenzo[a,i]pirene	0.1		0.05	0.01	0.01
Dibenzo[a,l]pirene	0.1		0.06	0.01	0.01
Sommatoria IPA	10		9.4	1.93	2.25

Gli IPA determinati nei campioni compositi di suolo sub-superficiale (10-20cm) hanno ricompreso solo gli elementi normati in Tab. 1 Allegato 5 alla Parte IV del D.lgs 152/06 (n°da 25 a 38) e non l'intero data-set determinato nel campione di piattelli richiesto per la classificazione in regime di rifiuto, pertanto la loro firma spettrale è frammentata. Tuttavia, da confronto per via grafica risulta comunque evidente come anche in questo caso la firma sia la medesima del piattello, confermandone l'attribuzione di sorgente primaria di contaminazione del terreno.

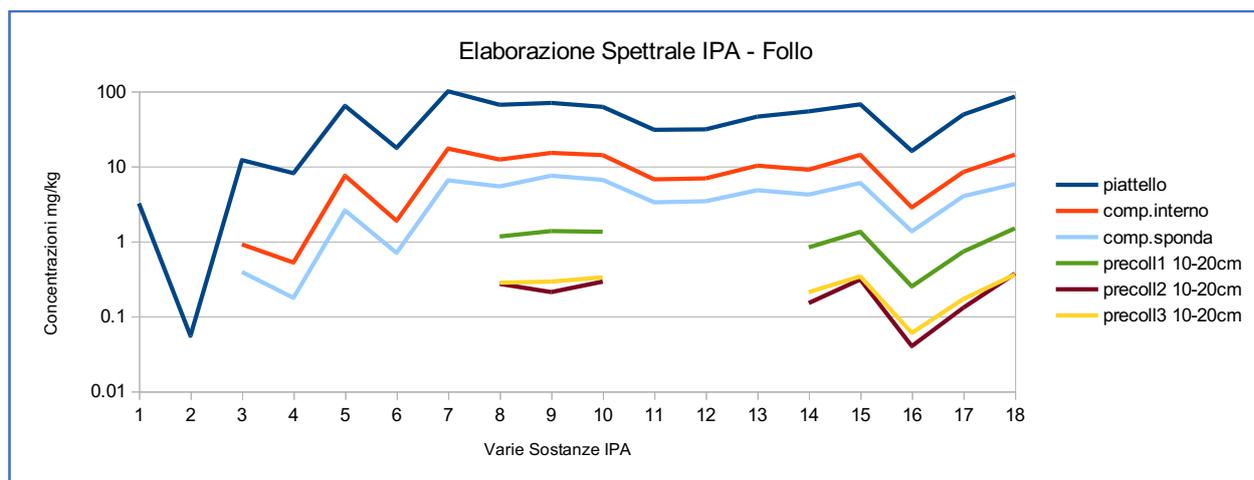


Figura 17: Confronto delle firme spettrali IPA dei campioni di precollaudo con gli altri materiali.

La criticità rilevata nei campioni compositi dell'orizzonte 10-20 cm ha reso necessaria l'analisi dei campioni dell'orizzonte sottostante (20-40 cm), prelevati appositamente per lo scopo.

Per tali campioni, in linea con quanto effettuato per quelli precedenti, si è optato per l'analisi di n° 3 campioni coacervi rappresentativi dei diversi punti di campionamento, limitandosi alle sole sostanze IPA vista l'assenza di superamenti per il parametro Piombo già nel livello soprastante.

I campioni del secondo orizzonte hanno mostrato conformità totale ai limiti normativi per le varie specie IPA, consentendo di delimitare l'orizzonte di bonifica del terreno all'intervallo 0-20 cm.

La tabella seguente riassume i valori rilevati nei campioni compositi del secondo orizzonte di terreno sub-superficiale.

Tabella 11: Risultati delle analisi sui campioni coacervi di terreno profondo (20-40 cm) per la ricerca degli IPA.

Specie IPA	Limiti CSC col.A	21-AM30796 Piattello	22-AM00252 C1+2+3+4+5 (20-40 cm)	22-AM00253 C6+7+8+9 (20-40 cm)	22-AM00254 C10+11+12+13+14 (20-40 cm)
Benzo[a]antracene	0.5	66	0.17	< 0.005	< 0.005
Benzo[a]pirene	0.1	70	0.1	< 0.005	< 0.005
Benzo[b]fluorantene	0.5	62	0.16	< 0.005	< 0.005
Benzo[k]fluorantene	0.5	31.1	0.07	< 0.005	< 0.005
Benzo[g,h,i]perilene	0.1	54	0.08	< 0.005	< 0.005
Crisene	5	67	0.17	< 0.005	< 0.005
Dibenzo[a,h]antracene	0.1	16	0.02	< 0.005	< 0.005
Indeno[1,2,3-c,d]pirene	0.1	49	0.06	< 0.005	< 0.005
Pirene	5	85	0.3	0.01	0.01
Dibenzo[a,e]pirene	0.1		0.01	< 0.005	< 0.005
Dibenzo[a,h]pirene	0.1		< 0.005	< 0.005	< 0.005



Specie IPA	Limiti CSC col.A	21-AM30796 Piattello	22-AM00252 C1+2+3+4+5 (20-40 cm)	22-AM00253 C6+7+8+9 (20-40 cm)	22-AM00254 C10+11+12+13+14 (20-40 cm)
Dibenzo[a,i]pirene	0.1		< 0.005	< 0.005	< 0.005
Dibenzo[a,l]pirene	0.1		< 0.005	< 0.005	< 0.005
Sommatoria IPA	10		1.14	< 0.1	< 0.1



6 Calcolo dei Volumi dei terreni di bonifica

Le indagini svolte hanno consentito di delimitare con maggior grado di precisione rispetto al POB approvato, l'area interessata da bonifica che risulta indicativamente pari ca.6100 mq.

Il livello di terreno da rimuovere, considerata la presenza di residui dell'attività di tiro a volo e l'estensione verticale della contaminazione, può essere considerato pari al primo orizzonte di suolo superficiale (0-30 cm).

Il volume complessivo di terreni di bonifica può essere pertanto stimato approssimativamente pari a **1830 mc**.

Il quantitativo stimato risulta significativamente inferiore a quanto indicato nel Progetto Operativo di Bonifica del 2010, (4.000 mc) tenuto soprattutto conto della perdita di superficie causata dall'erosione fluviale.

Ciò si tradurrà in una sensibile diminuzione dei costi di bonifica.

6.1 Considerazioni sull'impianto di recupero piombo

Il Progetto Operativo approvato prevedeva la messa in funzione in sito di un cosiddetto "impianto tecnologico" per il recupero selettivo del piombo contenuto nei pallini frammisti al terreno superficiale e stimava un recupero di circa 40 ton di piombo da reintrodurre sul mercato.

Considerata la superficie residua di bonifica, al netto dell'erosione fluviale, e lo spessore oggetto di bonifica determinato mediante le indagini integrative svolte dalla scrivente, deve essere necessariamente rivalutata la fattibilità in termini costi/benefici dell'opzione di trattamento in sito del terreno.

Valutata la concentrazione media dell'elemento piombo nell'orizzonte più superficiale del terreno (0-10 cm) pari a 250 mg/kg, tenuto conto del volume di terreno da trattare (900 ton) e della concentrazione media di piombo presente nella miscela dei piattelli, non separabile dal terreno, pari a 50 mg/kg, si avrebbe una concentrazione netta di piombo associabile ai pallini compenetrati al terreno di 200 mg/kg.

Ipotizzando anche la possibilità che la concentrazione espressa sia interamente associabile a pallini integri e dunque separabili mediante l'impianto tecnologico previsto dal POB, si avrebbe al massimo un recupero di: $0,2 \text{ g/kg} \times 900.000 \text{ kg} = 180 \text{ kg}$ di pallini di piombo che, in ragione del valore medio di mercato attuale di €/ton 1,50, consentirebbero un ricavo netto di circa € 270,00, tale da rendere del tutto antieconomico il processo di trattamento in sito.

Per le valutazioni espresse l'attivazione di un impianto di recupero per pallini di piombo, come previsto nel Progetto Operativo approvato, rappresenterebbe **una spesa non giustificabile e pertanto da considerarsi non più praticabile**.

6.2 Considerazioni sulla recuperabilità del terreno di bonifica

Il terreno superficiale contaminato da pallini di piombo e residui di piattelli, che è risultato qualificabile come rifiuto non pericoloso CER 170504, potrebbe essere inviato ad impianto di recupero autorizzato in quanto la contaminazione da IPA non riguarda la matrice del terreno bensì la miscela dei cocci e sfridi di piattello in esso contenuti. L'analisi diretta condotta sugli eluati da test di cessione, eseguiti ai sensi del



DM 05.02.98, hanno inoltre conformità ai limiti di cui al relativo Allegato 3 sia del campione puro di piattello che dei 2 campioni compositi di terreno superficiale e sfridi di piattelli.

Tenuto conto però che uno dei 2 campioni compositi analizzati, rappresentativi del livello più superficiale del terreno (0-10 cm), è risultato non conforme per gli IPA sulla sostanza secca rispetto alle CSC di cui alla Tab.1 Colonna B, Allegato 5 Parte IV del D.lgs 152/06, si rende necessaria una valutazione più approfondita sul regime autorizzativo degli impianti di recupero di rifiuti CER 170504 (Terre e rocce di scavo anche da siti di bonifica) e sulla effettiva accettabilità degli impianti del volume di terreno misto a sfridi di piattelli per operazioni di recupero in regime di End of Waste ai sensi dell'art. 184 ter del D.lgs 152/06.

Per quanto riguarda i terreni degli orizzonti sub-superficiali dell'area di bonifica, i valori chimici dei campioni analizzati sono risultati generalmente conformi ai valori di cui alla Tab.1 col. B, All.5, Parte IV del Dlgs 152/2006, oltre a non rilevare presenza apprezzabile di sfridi di piattelli, pertanto è possibile prevederne una destinazione presso impianti autorizzati ed un recupero in regime di EoW.