

Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e alla progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel S.I.N. BRESCIA – CAFFARO



**PROTOCOLLO OPERATIVO PER LA PROGETTAZIONE DI INTERVENTI DI
BONIFICA DEI TERRENI NELLE AREE AGRICOLE CON TECNICHE DI
BIOREMEDIATION – FEBBRAIO 2019**



PREPARATO	APPROVATO	REVISIONE	DATA
Simone Anelli Elio Crescini Pietro Iavazzo Paolo Nastasio Vanna Maria Sale	Paolo Nastasio	rev01	06/02/19

1	Premessa	5
1.1	Scopo del lavoro	6
1.2	Struttura del documento.....	6
1.3	Documentazione di riferimento.....	7
* SEZIONE A: INTRODUZIONE *		8
2	Inquadramento del sito	8
2.1	Le aree agricole del SIN	9
2.2	Il reticolo delle rogge	11
3	Modello concettuale riassuntivo.....	12
4	Stato di avanzamento del procedimento.....	14
5	Obiettivi di bonifica.....	15
* SEZIONE B: METODOLOGIA *		16
6	Selezione della tecnologia.....	16
7	Bioremediation: disamina delle fitotecnologie applicabili	17
7.1	Attenuazione naturale	18
7.2	Biostimolazione.....	18
7.3	Rhizoremediation.....	19
7.4	Fitoestrazione	19
7.5	Fitostabilizzazione	19
7.6	Bioaugmentation	20
8	Processo decisionale per la scelta della tecnologia da applicare.....	20
8.1	Caratterizzazione integrativa delle aree ART	21
8.1.1	Indagini di FASE 1	21
8.1.2	Indagini di FASE 2	22
8.1.3	Indagini di FASE 3	22
8.1.4	Sintesi dei risultati della caratterizzazione integrativa.....	23
8.2	La tecnologia scelta: rhizoremediation + phytoextraction	25
9	Descrizione e risultati della sperimentazione.....	26
9.1	Descrizione sintetica del disegno sperimentale	26

9.2	Sintesi dei principali risultati della sperimentazione in vaso	26
9.3	Sintesi dei principali risultati della sperimentazione in campo.....	27
* SEZIONE C: APPLICAZIONE ART *		28
10	Percorso amministrativo.....	28
11	Prova pilota in campo.....	29
11.1	Aree di intervento.....	29
11.1.1	Area A	30
11.1.2	Area R.....	31
11.1.3	Area T	31
11.1.4	“Laboratorio permanente”	32
11.2	Allestimento delle aree di cantiere.....	32
11.3	Principali operazioni colturali.....	33
11.3.1	Festuca arundinacea	33
11.3.2	Medicago sativa	35
11.3.3	Cucurbita spp.	36
12	Piano dei monitoraggi.....	38
12.1	Monitoraggio iniziale (T ₀)	39
12.2	Monitoraggio periodico (T _x).....	40
12.3	Monitoraggio finale (T ₅).....	41
13	Gestione dei materiali di risulta.....	42
14	Piano temporale degli interventi.....	43
14.1	Area A.....	43
14.2	Area R.....	45
14.3	Area T	47
15	Stima economica degli interventi	49
* SEZIONE D: LINEE GUIDA *		53
16	Linee guida per l'applicazione estesa alle aree agricole all'interno del SIN.....	53
16.1	Caratterizzazione	55
16.2	Opere propedeutiche.....	56
16.3	Principali interventi	57
17	Quadro economico generale	60
18	Bibliografia	62



INDICE DELLE FIGURE

1. Perimetrazioni delle matrici contaminate del SIN.
2. Localizzazione delle aree agricole del SIN.
3. Andamento della concentrazione della somma dei PCB con la profondità nelle aree ART in 3 punti.
4. Localizzazione delle aree ART.
5. Prova pilota - sequenza temporale delle rotazioni colturali nell'area A.
6. Prova pilota - cronoprogramma delle attività previste nell'area A.
7. Prova pilota - sequenza temporale delle rotazioni colturali nell'area R.
8. Prova pilota - cronoprogramma delle attività previste nell'area R.
9. Prova pilota - sequenza temporale delle rotazioni colturali nell'area T.
10. Prova pilota - cronoprogramma delle attività previste nell'area T.

INDICE DELLE TABELLE

1. Dati catastali delle subaree ART
2. Stima economica (IVA esclusa) per l'esecuzione della Prova Pilota nell'area A (durata totale: 5 anni)
3. Stima economica (IVA esclusa) per l'esecuzione della Prova Pilota nell'area R (durata totale: 5 anni)
4. Stima economica (IVA esclusa) per l'esecuzione della Prova Pilota nell'area T (durata totale: 5 anni)
5. Stima economica complessiva (IVA esclusa) per l'esecuzione della prova pilota nelle aree ART (durata: 5 anni)
6. Ripartizione delle aree agricole all'interno del SIN
7. Schema di applicazione *full scale* dell'intervento di bonifica
8. Prospetto economico (IVA esclusa) per la bonifica mediante *rhizoremediation* dei suoli agricoli del SIN

ELENCO DELLE TAVOLE

1. Inquadramento delle aree di studio
2. Reticolo delle rogge presenti nelle aree agricole interne al SIN
3. Ubicazione delle aree A, R e T
4. Risultati della caratterizzazione – fase 1
5. Risultati della caratterizzazione – fase 2 (a, b, c)
6. Risultati della caratterizzazione – fase 3 (a, b, c)
7. Distribuzione spaziale delle concentrazioni (a, b)
8. Ubicazione delle aree di intervento pilota (a, b)
9. Tempi di bonifica (a, b)

1 Premessa

Il 29 settembre 2009 è stato sottoscritto l'Accordo di Programma ("AdP") tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e gli enti territorialmente coinvolti (Regione Lombardia, Provincia di Brescia, Comuni di Brescia, Castegnato e Passirano) per la definizione degli interventi di messa in sicurezza e successiva bonifica nel Sito di Interesse Nazionale ("SIN") Brescia-Caffaro.

Nella VI riunione del Comitato di indirizzo e controllo per la gestione dell'Accordo di Programma, tenutasi in data 9 novembre 2012, la Regione Lombardia è stata individuata quale soggetto attuatore dell'intervento di cui all'articolo 3, lettera E dell'Accordo stesso che prevede l'avvio degli interventi di messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole del SIN nel Comune di Brescia.

Regione Lombardia, con nota prot. T1.2013.0005485 del 14/03/2013, ha affidato ad ERSAF l'incarico per la realizzazione delle attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro, come definite all'art. 3, punto E, dell'AdP.

Le attività di cui sopra si possono così schematizzare:

- FASE 1

Avvio degli interventi di messa in sicurezza di emergenza delle aree agricole su una superficie totale coinvolta pari a circa 100 ettari. A sua volta distinta nelle seguenti azioni:

- o AZIONE A) - crescita di una superficie erbosa su una superficie di circa 84 ettari;
- o AZIONE B) - sperimentazione di tecnologie di bioremediation per tre lotti di circa 5 ettari per una superficie totale di intervento pari a circa 15 ettari;
- o AZIONE C) - piantumazione di un bosco planiziale padano per una superficie complessiva di 6,65 ettari.

- FASE 2

Progettazione degli interventi di bonifica dei terreni delle aree agricole oggetto di misure di messa in sicurezza di emergenza di cui alla Fase 1.

Il presente documento, elaborato da ERSAF, si inquadra pertanto all'interno della fase 2 dell'azione E dell'AdP e, nello specifico, a valle della presentazione delle Linee Guida Scientifiche per la valutazione delle potenziali tecniche di bonifica biologiche elaborate dai Consulenti Scientifici ("CS") del Progetto.

1.1 Scopo del lavoro

Il presente documento ha l'obiettivo di illustrare il percorso metodologico seguito per la selezione di una tecnologia di *bioremediation* applicabile per le aree agricole del SIN Caffaro, e di fornire un pre-dimensionamento degli interventi per le aree in cui ERSAF ha condotto una caratterizzazione specifica e una serie di test sperimentali.

Nel documento vengono inoltre fornite le linee guida per l'applicazione della tecnologia nelle aree agricole del SIN non ancora caratterizzate.

Nel complesso, gli obiettivi principali di questo documento sono pertanto quelli di:

- presentare una proposta operativa per la realizzazione di una Prova Pilota nelle aree già oggetto di sperimentazione finalizzata all'applicazione in campo degli interventi di bonifica biologici testati per la rimozione dei contaminanti prioritari indicati nell'AdP dai suoli agricoli interni al SIN;
- definire le linee guida per la caratterizzazione e la progettazione di interventi di bonifica con tecniche di *bioremediation* sui terreni delle aree agricole del SIN Brescia-Caffaro.

1.2 Struttura del documento

Il presente documento si articola nelle seguenti 4 sezioni:

SEZIONE A - "INTRODUZIONE"

- Inquadramento generale del sito
- Sintesi del modello concettuale di riferimento
- Stato di avanzamento del procedimento
- Obiettivi di bonifica

SEZIONE B - "METODOLOGIA"

- Processo decisionale alla base della selezione della tecnologia da applicare
- Caratterizzazione integrativa
- Risultati della sperimentazione in vaso e in campo

SEZIONE C - “APPLICAZIONE ART”

- Percorso amministrativo proposto
- Progettazione della Prova Pilota nelle aree ART
 - Descrizione degli interventi
 - Piano dei monitoraggi
 - Criteri di gestione dei materiali di risulta
 - Cronoprogramma e stima economica degli interventi

SEZIONE D - “LINEE GUIDA”

- Descrizione del modello da seguire per la caratterizzazione delle aree di intervento
- Descrizione sintetica dei principali interventi per l'applicazione su larga scala
- Stima indicativa dei tempi e dei costi per la bonifica dei suoli delle aree agricole

1.3 Documentazione di riferimento

Nel redigere il presente elaborato si è fatto riferimento ai seguenti documenti tecnici:

- o Accordo di Programma
- o Progetto Definitivo per l'avvio degli interventi di messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole del SIN Brescia-Caffaro in comune di Brescia (28/11/2014)
- o Relazioni intermedie dell'attività di sperimentazione svolta da ERSAF (2013-2017)
- o Relazione finale dell'attività di sperimentazione svolta da ERSAF (2018)
- o Linee guida scientifiche per la bonifica biologica delle zone agricole del SIN Brescia-Caffaro
- o Addendum alle Linee guida scientifiche
- o Determinazione della speciazione di arsenico in campioni di suolo secondo la procedura McLaren/Shiowatana - Report prodotto da Dipartimento Di Chimica e Chimica Industriale (Università Degli Studi di Genova)
- o Analisi geochimica della speciazione del mercurio in campioni di suolo Prot. DMG N° 579 III/19.9 dd. 22/06/2017 - Relazione Tecnica prodotta da Dipartimento di Matematica e Geoscienze (Università di Trieste)

*** SEZIONE A: INTRODUZIONE ***

2 Inquadramento del sito

Brescia è una città di circa 200.000 abitanti, caratterizzata da un marcato sviluppo industriale, principalmente nei settori metallurgico, meccanico e chimico. Fin dal secolo scorso il tessuto industriale ha permeato notevolmente il territorio urbano, tanto che numerose fabbriche sono collocate immediatamente a ridosso del centro urbano o, nel corso degli anni, ne sono state inglobate.

È il caso dello stabilimento Caffaro, edificato agli inizi del secolo scorso a meno di 1 km dalle antiche mura cittadine e ad oggi completamente interno al tessuto urbano della città, nell'isolato compreso tra via Milano, via Fiumicello, via Morosini e via Nullo.

All'inizio del XX secolo l'industria Caffaro iniziò la sua attività producendo, tra il 1938 e il 1984, i policlorobifenili (PCB) diventandone il più grande produttore in Europa finché la loro produzione non venne vietata in quanto riconosciuti pericolosi per la salute umana.

Il SIN Brescia-Caffaro è stato istituito con la Legge n. 179 del 31 luglio 2002 - Disposizioni in materia ambientale - e i suoi confini sono stati definiti con il Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 24 febbraio 2003, che ha previsto tre distinte perimetrazioni relative alle matrici ambientali suolo, acque superficiali (rogge) e acque sotterranee (Figura 1) (vedi anche Tavola 1).

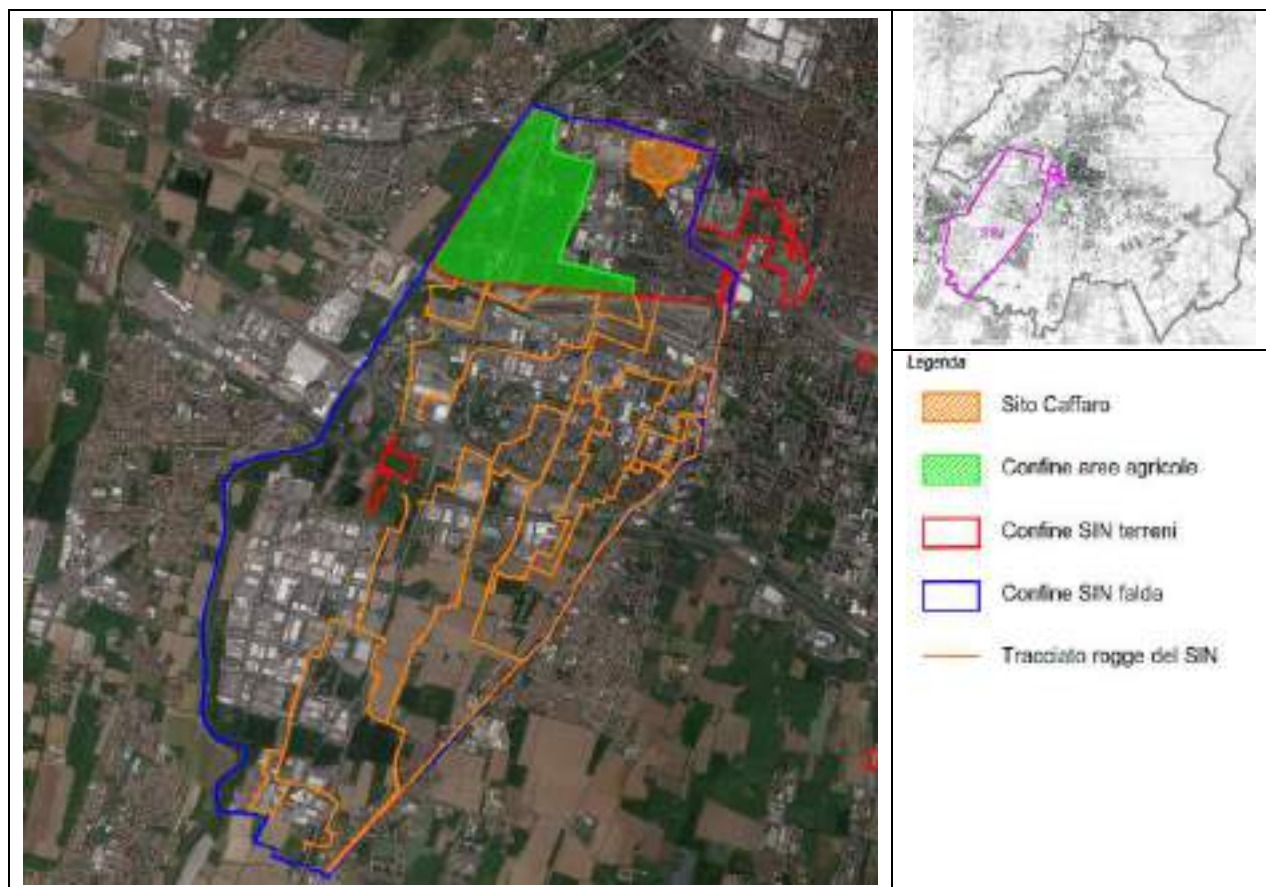


Figura 1. Perimetrazioni delle matrici contaminate del SIN.

La porzione del territorio bresciano in cui si trova il SIN è ubicata nell'alta pianura lombarda centro-orientale ed è attraversata nella parte occidentale dalla valle del fiume Mella.

Per una descrizione più dettagliata delle caratteristiche geografiche, pedoclimatiche e vegetazionali dell'area del SIN si rimanda alla Relazione Generale del Progetto Definitivo sull'avvio degli interventi di messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole del SIN Brescia-Caffaro in comune di Brescia redatta da ERSAF nel novembre 2014.

2.1 Le aree agricole del SIN

La matrice suolo inclusa nel SIN si estende per circa 1.700.900 m² e comprende, oltre allo stabilimento Caffaro, aree produttive, agricole, residenziali, pubbliche e tre aree di discarica. Le aree agricole del SIN costituiscono una delle poche porzioni residuali di paesaggio rurale di pianura interamente confinati all'interno del Comune di Brescia e rappresentano un territorio tipico dell'alta pianura lombarda, attraversato da una fitta rete di rogge che lo rendono

totalmente irriguo (Figura 2). Secondo le stime revisionate da ERSAF e riportate nel paragrafo 2.2.2 della Relazione Finale (2018), le aree agricole interne al perimetro del SIN occupano un'estensione di circa 97,4 ha di cui 64,2 ha di superficie agricola totale.

In tutta l'area, posta nella porzione più occidentale e in parte meridionale del SIN (in riferimento alla perimetrazione dei terreni), erano attive 7 aziende agricole che gestivano circa 37 ettari, mentre i restanti 23 ha erano frammentati in circa 40 diverse proprietà. L'attività agricola praticata in passato era quella tipica della zona, strettamente interconnessa alla vicina città: piccole aziende zootecniche a gestione familiare che possedevano qualche decina di capi di bestiame bovino e che praticavano le coltivazioni caratteristiche dei seminativi irrigui, principalmente mais, erbai e prati da vicenda.

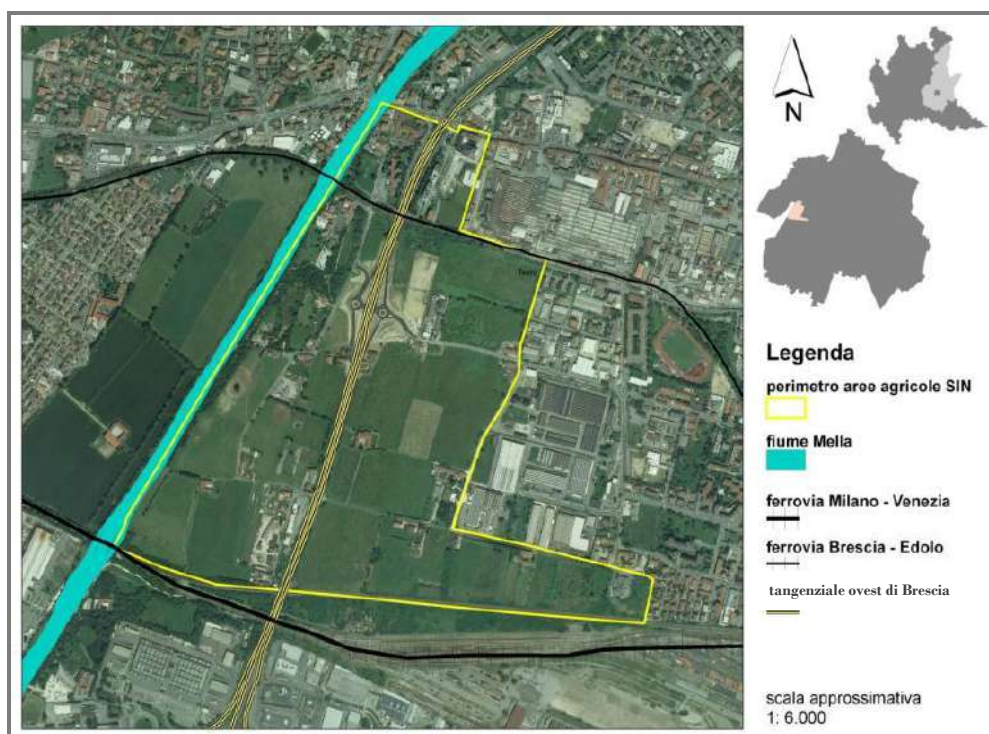


Figura 2. Localizzazione delle aree agricole del SIN.

Dal 2001 l'area è stata oggetto di diversi studi che hanno mostrato una contaminazione dei suoli altamente specifica ("cocktail Caffaro") confermata dalle analisi sui prodotti agricoli (carne, latte e verdure) e del sangue degli abitanti che hanno evidenziato il trasferimento di questi contaminanti (soprattutto PCB) nella catena alimentare, principalmente attraverso i prodotti zootecnici derivati dal bestiame alimentato con foraggio proveniente dai suoli contaminati. Tale contesto ha quindi modificato drasticamente il quadro agricolo produttivo dell'area, con l'emanazione di un'ordinanza del sindaco che ha imposto limiti e divieti nella coltivazione di vegetali e nell'allevamento di animali destinati all'alimentazione umana all'interno del SIN;

pertanto l'attività delle suddette aziende agricole si è dovuta limitare allo sfalcio dei prati una o due volte l'anno e al mantenimento delle buone condizioni agronomiche e ambientali.

Si riporta di seguito una sintesi delle principali limitazioni per lo svolgimento di attività agricole previste dalla vigente ordinanza del Comune di Brescia (II semestre 2018):

- **INTERO PERIMETRO DELL'ORDINANZA**

- il divieto di utilizzo del terreno, intendendo con questo l'aratura, il dissodamento ed ogni altra operazione che comporti il contatto con il terreno stesso o l'inalazione di polveri da esso provenienti;
- il divieto di utilizzo dell'acqua fluente nelle rogge che scorrono nella zona, ad esclusione dell'uso irriguo per coltivazioni in deroga con le prescrizioni di cui all'allegato 4;
- il divieto di curagione dell'alveo dei fossati ad esclusione delle operazioni accessorie nelle pratiche di coltivazione in deroga, in conformità con i disposti dell'allegato 4;
- il divieto di coltivazione di ortaggi destinati direttamente all'alimentazione umana;
- il divieto nelle aree agricole di raccolta del materiale vegetale, derivante dalle attività di sfalcio e/o trinciatura dei campi.

- **PERIMETRO DELL'ORDINANZA - AREE INTERNE AL SIN**

- il divieto di coltivazione di cereali e vegetali in genere, con esclusione del divieto alle coltivazioni previste dal progetto in corso di sperimentazione sul passaggio degli inquinanti dai suoli alle essenze vegetali a cura di ERSAF ed ATS o promossi o autorizzati direttamente dal Commissario Straordinario.

Tale situazione ha determinato l'evoluzione verso diverse condizioni d'uso del suolo a seconda dell'effettivo grado di attività antropica praticata: al momento dell'inizio delle attività di ERSAF nel SIN (2013) erano presenti prati sfalcati, prati incolti recentemente abbandonati, prati stabili o che stavano evolvendo come tali, situazioni definibili da un punto di vista botanico come "orlo" o "mantello" ovvero stadi evolutivi intermedi fra i prati e il bosco caratterizzati dalla presenza di essenze arbustive, fino ad arrivare a situazioni definibili come "pre-bosco".

2.2 Il reticolo delle rogge

Per la rappresentazione del modello di diffusione dei contaminanti e la ricostruzione storica della distribuzione della contaminazione è risultato fondamentale approfondire anche la storia irrigua delle aree caratterizzate da una rete capillare di rogge e fossi d'irrigazione nei quali venivano scaricate le acque utilizzate dagli impianti chimici. In tal senso, ERSAF, attraverso

consultazioni e incontri presso l'Archivio di Stato di Brescia, il Comune di Brescia (responsabile del Reticolo Idrico Minore) e i gestori della rete irrigua (Consorzio della roggia Fiumicella e Consorzio Generale Federativo del Mella) nonché attraverso rilievi diretti e raccolta di testimonianze di agricoltori e anziani del luogo, è riuscito a formulare una ricostruzione dei percorsi storici delle acque attraverso la rete irrigua che raccoglieva le acque provenienti dall'industria Caffaro relativamente al perimetro delle aree agricole del SIN. La ricostruzione della rete irrigua è presentata nella Tavola 2 ed è servita a orientare le indagini di caratterizzazione di cui alla Fase 2 (vedi par. 8.1.2), integrare le informazioni utilizzate per la realizzazione delle mappe di spazializzazione della contaminazione e più in generale a migliorare la conoscenza sui percorsi delle rogge e dell'acqua nelle aree agricole del SIN, utile qualora dovesse essere valutato un ritorno all'irrigazione di queste aree. Per un maggior approfondimento in merito, si rimanda alla Relazione Finale (2018) prodotta da ERSAF.

Lo studio specifico andrebbe certamente eseguito anche al di fuori del SIN, ma questo esula dagli scopi dell'incarico affidato a ERSAF. In particolare va tenuto presente che molti terreni (circa i 2/3 delle superfici agricole rilevate al 1954) dell'area attualmente contaminata e sottoposta a ordinanza sono stati asportati negli anni 60-80 in occasione dell'urbanizzazione di ampie zone (Chiesanuova, Ortomercato, zona industriale delle Fornaci, ecc.) e la destinazione di tale materiale ("terre di coltivo") non risulta tracciata.

3 Modello concettuale riassuntivo

Il modello concettuale delle aree agricole del SIN, sviluppato in accordo ai principi riportati nel D.lgs. 152/06 e s.m.i., è stato elaborato sulla base dei dati acquisiti da ARPA dal 2001 sino alle indagini di caratterizzazione integrativa svolte presso il Sito nel 2006 e fino al 2014-2015: tali indagini hanno evidenziato lo stato di degrado qualitativo dei suoli agricoli e dei sedimenti delle rogge in riferimento ai limiti specifici prescritti dal D.lgs. 152/06.

Il modello concettuale ricostruito individua nelle rogge la principale modalità di trasferimento degli inquinanti: il trasferimento dei contaminanti sarebbe avvenuto a causa della ridistribuzione sui campi agricoli dei sedimenti dei canali, sottoposti a periodica "curagione", che raccoglievano le acque reflue industriali dello stabilimento Caffaro.

I dati qualitativi ambientali del sito sono stati raccolti nell'ambito delle attività di caratterizzazione svolte da ARPA nel 2001, con il prelievo di campioni puntuali di terreno, e nel 2002, in cui l'intera area era stata suddivisa in maglie regolari di lato 150 x 150 m, con prelievo in ognuna di 5 campioni elementari a costituire un unico campione composito rappresentativo della maglia.

I risultati delle analisi sui terreni agricoli del SIN hanno evidenziato una contaminazione per i parametri PCB, PCDD-PCDF, Arsenico e Mercurio, con superamenti dei limiti di legge per la colonna A (destinazione d'uso verde/residenziale) e in molti casi anche per la colonna B (destinazione d'uso commerciale/industriale) della tab.1 di cui all'allegato 5 al Titolo V, Parte IV del D.lgs. 152/2006.

Si evidenzia come i campioni prelevati da ARPA siano rappresentativi dello strato superficiale dei terreni; in particolare la prima indagine (2002) era stata effettuata prelevando i primi 20 cm di suolo, mentre la seconda (2006) i primi 30 cm.

Durante la prima campagna di indagine erano stati inoltre eseguiti alcuni sondaggi più profondi, fino alla profondità di circa 2 m, dei quali erano state elaborate le relative stratigrafie. Da un'analisi di queste ultime, con riferimento all'area di interesse, emerge una situazione in cui non si rilevano particolari criticità rispetto a rimaneggiamenti e presenza di materiali estranei, ad eccezione di un punto ubicato in prossimità della linea ferroviaria Milano-Venezia dove si sono rinvenute scorie e laterizi misti a terreni di scavo.

Lungo l'asse della ferrovia è frequente trovare terreni depressi rispetto al piano campagna circostante perché utilizzati come cave di prestito durante la costruzione dell'infrastruttura; un'ipotesi plausibile che giustifica il ritrovamento di materiale estraneo prevede che tali depressioni siano state nel tempo oggetto di riempimenti con rifiuti e materiali antropici di varia origine. Si sottolinea come la maglia coincidente con il sondaggio in questione sia fra quelle che presentano i maggiori livelli di contaminazione.

Il modello concettuale poneva come limite orientale della contaminazione il vaso Fiume Grande, che secondo le ipotesi allora formulate avrebbe ragionevolmente dovuto porre una barriera insuperabile al passaggio delle acque contaminate a est.

In realtà, negli ultimi anni sono stati individuati suoli contaminati anche a est del Villaggio Sereno, per cui si renderà necessario un ulteriore approfondimento per verificare attraverso quali canali l'acqua di scarico della Caffaro possa essere giunta in tali aree agricole, eventualmente integrando il modello con l'individuazione di altri vettori della contaminazione.

In ogni caso, una più esaustiva rappresentazione del grado e dell'estensione della contaminazione è reperibile sul sito di ARPA (<http://www.arpalombardia.it/Pages/Bonifica/Brescia.aspx>).

4 Stato di avanzamento del procedimento

Nel corso del procedimento amministrativo relativo alle aree agricole del SIN, avviato formalmente con il decreto di perimetrazione del 2002, sono state condotte alcune campagne di indagine i cui risultati non sono ancora tuttavia confluiti in un Piano di Caratterizzazione formalmente approvato dalla Conferenza dei Servizi.

Le azioni amministrative condotte hanno infatti riguardato, oltre all'esecuzione di indagini "preliminari" sui terreni da parte di ARPA, l'adozione di misure di prevenzione, tra cui:

- ordinanze sindacali di regolamentazione dell'attività agricola e di uso del suolo (rinnovate ogni 6 mesi, fino all'attuale periodo 1 gennaio-31 giugno 2019);
- progettazione di interventi di messa in sicurezza per alcuni tratti prioritari delle rogge (a cura SOGESID).

ATS ha inoltre eseguito indagini su prodotti agricoli e alimenti contribuendo al quadro conoscitivo del modello concettuale della contaminazione e del suo trasferimento nella catena alimentare.

In assenza di una caratterizzazione approvata il presente documento non può qualificarsi compiutamente come un "Progetto Operativo", anche in assenza di una più precisa definizione della titolarità dell'iniziativa con riferimento al fatto che le aree agricole del SIN sono tuttora di proprietà di privati.

ERSAF, a seguito di accordi con alcuni proprietari, ha tuttavia proceduto, tra il 2014 e il 2015, a eseguire una serie di indagini in corrispondenza di 3 subaree (individuate come A, R e T) al fine di acquisire i dati necessari per le sperimentazioni condotte. I risultati di tali indagini sono sintetizzati al par. 8.1.

Le tre subaree sono caratterizzate dai dati riassunti nella seguente Tabella 1:

Tabella 1. *Dati catastali delle subaree ART*

SUBAREA	RIF. CATASTALI (NCT di Brescia)	ESTENSIONE [ha]
A	Foglio 132 mappali 9, 41, 95, 102	5,09
R	Foglio 108 mappali 33, 44, 46, 52, 54	5,91
T	Foglio 108 mappali 73, 88	8,50

Il presente documento si qualifica quindi al momento attuale come “protocollo operativo” e potrà eventualmente essere adottato ai fini di una qualifica come progetto operativo, una volta compiutamente definiti gli aspetti relativi alla titolarità del procedimento e una volta effettuato il necessario passaggio di approvazione formale di una caratterizzazione.

5 Obiettivi di bonifica

Al momento attuale, non ricorrono le condizioni tecnico-amministrative e giuridico-normative tali per cui sia possibile istruire per le aree in oggetto una procedura di Analisi di Rischio sanitario ai sensi del titolo V, Parte IV del D.lgs. 152/06, che consenta di definire delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) per i terreni.

Pertanto, ai fini dei lineamenti progettuali avanzati nel presente documento vengono assunte quali obiettivi di bonifica le Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) definite in tab.1, all.5, Titolo V Parte IV del D.lgs. 152/06 e riferite alle aree residenziali/verde pubblico (colonna A).

*** SEZIONE B: METODOLOGIA ***

6 Selezione della tecnologia

In generale, un intervento di bonifica ha l'obiettivo di ridurre il rischio sanitario e/o ambientale associato alla presenza di contaminanti nel terreno, attraverso il raggiungimento delle CSC o delle CSR. Nel caso specifico, la bonifica di vaste aree di territorio contaminato, e in particolare nei contesti agricoli, necessita di un approccio estensivo mediante l'individuazione di tecniche sostenibili sia dal punto di vista ecologico-ambientale che economico. A tal proposito il D.lgs. 152/06 fornisce alcune indicazioni di carattere generale per la selezione delle tecnologie di bonifica, suggerendo di privilegiare:

- quelle che riducono permanentemente e significativamente la concentrazione nelle diverse matrici ambientali, gli effetti tossici e la mobilità delle sostanze inquinanti;
- quelle tendenti a trattare e riutilizzare il suolo in sito, con conseguente riduzione dei rischi derivanti dal trasporto e messa a discarica di terreno inquinato.

Occorre inoltre chiarire che l'evoluzione normativa in corso, tesa a colmare un vuoto presente nel D.lgs. 152/2006 in merito alle aree agricole, evidenzia un nuovo approccio alle aree rurali contaminate, nel quale assume importanza fondamentale la valutazione del rischio per le comunità umane derivante dal trasferimento della contaminazione alla catena alimentare (cfr. nota del MATTM prot. n. 20233/STA del 14/12/2015 recante ultima stesura dello schema di regolamento ai sensi dell'art. 241 del D.lgs. 152/06).

Come riferito in precedenza (vedi par. 2.1) le aree agricole interne al perimetro del SIN hanno un'estensione pari a circa 64,2 ha a cui si aggiungono altre centinaia di ettari per la parte esterna; per questo motivo si è ritenuto che una bonifica basata su tecniche di *bioremediation* potesse essere la soluzione più valida per il relativamente basso impatto economico e la riconosciuta sostenibilità ambientale. Occorre altresì ricordare che un intervento di *bioremediation* riduce, anche considerevolmente, i tempi di "attenuazione naturale" della contaminazione, ma l'ordine di grandezza rimane comunque quello dei decenni, soprattutto per la presenza nei suoli bresciani di elevate concentrazioni di uno spettro di contaminanti organici persistenti (POP, fra cui in particolare il "PCB 209" e, in generale, composti alto-clorurati) caratteristico e particolarmente resistente ai processi biodegradativi. Di seguito si riporta una disamina delle fitotecnologie prese in considerazione per un'eventuale applicazione sui suoli agricoli del SIN; successivamente viene descritto il processo decisionale che ha portato a individuare la tecnologia ottimale e una sintesi delle attività sperimentali sviluppate per valutarne l'efficacia biodegradativa. Per un maggior dettaglio di tutti questi aspetti si rimanda alle Linee Guida Scientifiche.

7 *Bioremediation*: disamina delle fitotecnologie applicabili

Alla base delle fitotecnologie vi è l'insieme dei processi biologici, chimici e fisici che permettono l'assorbimento, il sequestro, la biodegradazione e la metabolizzazione dei contaminanti, sia ad opera delle piante, che dei microrganismi della rizosfera.

Le piante agiscono sugli inquinanti organici mediante tre differenti meccanismi (USEPA, 2001):

- diretto assorbimento del contaminante e successivo accumulo di metaboliti non tossici nei tessuti vegetali;
- rilascio di enzimi che degradano i composti organici;
- liberazione di composti stimolanti l'attività microbica del terreno.

Piante e microrganismi sono in grado di degradare separatamente i composti organici, ma è ampiamente documentato in letteratura (Chaudhry et al., 2005; Fester et al., 2014) che la loro interazione rappresenta il principale meccanismo responsabile della degradazione di questi inquinanti in un intervento di *bioremediation* (USEPA, 2006). La zona del suolo dove i microrganismi e le piante cooperano nell'azione disinquinante è la rizosfera. Sebbene non sia semplice definire i limiti precisi della rizosfera, essa è di solito intesa come la parte di suolo in intimo contatto con l'apparato radicale delle piante dotata di specifiche proprietà chimiche, fisiche e biologiche.

L'impiego della vegetazione aumenta il contenuto di sostanze umiche, promuove l'attività di batteri e funghi e influisce positivamente su tutti quei fattori che favoriscono la degradazione dei composti organici nel suolo. Le piante inoltre rilasciano nel suolo mediante gli essudati radicali, sostanze come zuccheri, alcoli e acidi organici che hanno un effetto stimolante sull'attività microbica presente, e di conseguenza viene incrementata la capacità di biodegradazione insita in alcuni ceppi batterici e funghi. È infatti dimostrato che nella zona di terreno strettamente associata alla radice, il numero di microrganismi metabolicamente attivi è superiore rispetto al terreno non vegetato: la relazione simbiotica tra piante e microrganismi è così responsabile di una più rapida degradazione dei contaminanti presenti nel terreno (Azaizeh et al., 2011). In definitiva, piante e microrganismi sono coinvolti sia direttamente che indirettamente nella degradazione degli inquinanti organici con la formazione di prodotti generalmente meno tossici e meno persistenti nell'ambiente rispetto a quelli di partenza (Chhikara, S. et al., 2010).

Per quanto riguarda i metalli pesanti, poche tecnologie sono applicabili e quelle disponibili sono spesso estremamente gravose sul piano economico (ITRC, 2009). Da questo punto di vista, le fitotecnologie consentono di decontaminare suoli ricchi in metalli pesanti attraverso l'azione delle piante che possono estrarre questi elementi dalla fase liquida del suolo per accumularli nei tessuti vegetali; l'efficienza della tecnologia dipende pertanto dalle specifiche caratteristiche degli

inquinanti presenti e in particolare dalla loro biodisponibilità. Nel suolo, la biodisponibilità è il risultato di complessi meccanismi di trasferimento di massa e di assorbimento che dipendono dalle proprietà dei contaminanti, dalle caratteristiche chimico-fisiche del terreno e dalla biologia delle piante (National Research Council, 2002).

In linea generale, come strategia di bonifica, un intervento di *bioremediation* trova la sua applicazione ottimale soprattutto in quei siti nei quali la contaminazione è poco profonda e i livelli di contaminazione non sono troppo elevati, ma con opportuni interventi può essere impiegata anche in condizioni diverse. Inoltre, le caratteristiche del suolo devono essere adatte alla crescita vegetale e alla proliferazione di batteri con capacità biodegradative, sia per quanto concerne le proprietà chimiche (pH, contenuto di sostanza organica, azoto, fosforo), che quelle fisiche (tessitura, capacità di ritenzione idrica, ecc.). Pertanto, prima di prendere in considerazione un'ipotesi del genere, devono essere attentamente valutate attraverso un'approfondita attività sperimentale le reali potenzialità di un intervento fitotecnologico.

Di seguito si riporta un breve elenco delle principali alternative fitotecnologiche prese in considerazione per la bonifica dei suoli agricoli del SIN.

7.1 Attenuazione naturale

Consiste nell'attento monitoraggio dei fenomeni spontanei di biodegradazione che portano alla progressiva diminuzione sia del volume della matrice contaminata, sia della concentrazione degli inquinanti in essa contenuti. È il risultato di un insieme di processi fisici, chimici e biologici che comprendono adsorbimento, dispersione e diluizione, biodegradazione, volatilizzazione e reazioni chimiche. È generalmente applicabile in condizioni di rischio "basso", laddove le concentrazioni di contaminanti non superino i livelli di rischio e siano poco biodisponibili; inoltre, il riutilizzo dell'area deve essere compatibile con i tempi del recupero.

7.2 Biostimolazione

Se non avviene la degradazione naturale o se questa è troppo lenta, è necessario stimolarla attraverso l'aggiunta al suolo di elementi nutritivi quali azoto, fosforo, carbonio e potassio in opportune percentuali per ripristinare rapporti ottimali per la crescita e l'attività dei microorganismi già presenti nel sito (autoctoni). Questa soluzione nasce dal principio di ubiquità, secondo il quale tutti i batteri sono in principio presenti nel suolo e si tratta solo di crear loro le condizioni ottimali di crescita e attività.

7.3 *Rhizoremediation*

Consiste nella stimolazione delle comunità microbiche naturalmente selezionate nel suolo tramite l'azione delle piante. Le radici delle piante favoriscono infatti la proliferazione microbica con essudati radicali che sono fonte di nutrienti e molecole in grado di stimolare attività e crescita dei microrganismi presenti. La *rhizoremediation* sfrutta pertanto le piante per stimolare naturalmente i microrganismi presenti nel suolo inquinato, ed è efficace se l'inquinante è biodegradabile e nel suolo si sono naturalmente selezionati microrganismi degradatori. Dal momento che il contatto tra il sistema radicale e la matrice contaminata è indispensabile per il successo di questa tecnologia, l'estensione delle radici, in termini di densità e profondità, svolge un ruolo fondamentale nel trattamento di siti contaminati da composti organici.

In aggiunta, studi di letteratura riportano che tra gli essudati radicali di alcune specie vegetali sono presenti particolari molecole in grado di stimolare la degradazione aerobica dei PCB mediante processi definiti di "co-metabolismo". Tali processi si sono dimostrati efficaci in colture di laboratorio mediate dal bifenile (costituito dallo scheletro non clorurato dei PCB), pratica tuttavia non applicabile in un intervento in scala reale per problemi di costi e tossicità residua di questa molecola.

7.4 Fitoestrazione

In genere, la fitoestrazione e la fitostabilizzazione sono le principali azioni di recupero utilizzate per la bonifica di suoli contaminati da contaminanti inorganici (metalli). I meccanismi di fitoestrazione si basano sulla capacità delle piante di estrarre dal suolo i contaminanti concentrandoli nelle parti aeree (fusto e foglie) destinate alla raccolta. Oltre alla capacità delle piante di accumulare metalli e alla loro produttività in biomassa, un fattore chiave nel processo è la biodisponibilità del contaminante: spesso, infatti, la quantità di metallo effettivamente assimilabile dalla pianta rappresenta solo una frazione rispetto al contenuto totale presente nel suolo. Il processo di decontaminazione si basa pertanto sull'accumulo degli inquinanti nei vegetali che una volta raccolti devono essere avviati o ad uno smaltimento controllato o, laddove possibile, a processi di valorizzazione, ad esempio per la produzione di energia.

7.5 Fitostabilizzazione

I processi di fitostabilizzazione consistono nell'utilizzo di alcune specie vegetali per immobilizzare gli inquinanti nel suolo attraverso l'assorbimento e il conseguente accumulo nelle radici, l'adsorbimento sulle radici o la precipitazione a livello della rizosfera. Tali processi riducono la mobilità dei contaminanti e prevengono la loro migrazione nelle acque sotterranee e

la loro biodisponibilità; la tecnica non comporta la definitiva rimozione degli inquinanti che, pur immobilizzati, rimangono nel sito (Alkorta et al. 2010). La fitostabilizzazione è particolarmente indicata in quei casi dove è indispensabile il mantenimento dei metalli in loco in forma non mobile, ad esempio quando la concentrazione è così elevata che i processi di fitoestrazione richiederebbero tempi troppo lunghi per il raggiungimento degli obiettivi di bonifica; essa è particolarmente indicata per i contaminanti inorganici, ma risulta efficace anche per composti organici idrofobici (IPA, PCB, diossine, furani, ecc.). La fitostabilizzazione non può essere definita una vera e propria tecnica di bonifica poiché non coinvolge processi di accumulo o degradazione; può essere impiegata sia come misura temporanea che come tecnologia definitiva per quei siti dove la rimozione dei metalli sembra essere economicamente o temporalmente non sostenibile.

7.6 Bioaugmentation

Aggiunta al suolo da bonificare di microrganismi naturali selezionati per spiccate capacità degradative; tali ceppi possono essere selezionati da popolazioni già presenti sul sito oppure possono essere ottenuti da varietà isolate in laboratorio da batteri noti per la capacità di degradare specifici composti. La *bioaugmentation* ha la finalità di decontaminare attraverso processi di bioconversione aerobica o anaerobica delle sostanze inquinanti in forme non tossiche.

8 Processo decisionale per la scelta della tecnologia da applicare

Negli ultimi decenni l'efficacia e la convenienza economica del biorisanamento sono stati ampiamente dimostrati (Azubule et al., 2016), anche come step intermedio di una bonifica in combinazione con altre tecnologie di trattamento. La scelta della specifica fitotecnologia da usare nei confronti di un certo contaminante non dipende solo dalla forma chimica e dal tipo di substrato su cui si interviene, ma è anche condizionata dagli obiettivi dell'intervento.

Si è deciso quindi di intraprendere un processo decisionale per l'individuazione delle alternative progettuali potenzialmente applicabili basato su un'approfondita ricerca bibliografica e sulla valutazione di fattori che tengono conto delle specifiche caratteristiche del sito e della tipologia dei contaminanti riscontrati. In questa ottica si è ritenuto fondamentale integrare i dati delle indagini svolte da ARPA nel corso degli anni con una caratterizzazione selettiva e dettagliata dei suoli contaminati posti all'interno del SIN.

I criteri di scelta delle strategie sperimentali sono stati preliminarmente condivisi con i consulenti scientifici.

8.1 Caratterizzazione integrativa delle aree ART

L'indagine integrativa eseguita da ERSAF nel 2014, elaborata a partire del quadro conoscitivo costruito dai risultati delle indagini di ARPA, è stata sviluppata con l'obiettivo generale di comprendere la distribuzione nel suolo dei composti inquinanti per la creazione di un modello che la rappresenti su scala sufficientemente di dettaglio.

Nello specifico, tale indagine si è sviluppata in 3 distinte fasi:

FASE 1:

ha permesso di estendere le conoscenze sui contaminanti presenti nei terreni attraverso l'esecuzione di analisi quali-quantitative, effettuate dall'Istituto Mario Negri di Milano, che hanno previsto la ricerca di una vasta gamma di analiti in parte prima di allora mai ricercati tra cui PCB (un numero di congeneri superiore a quello normalmente ricercato), Diossine/Furani e altri clorurati come DDTs, Tetracloruro di carbonio, cloro benzeni, policloronaftaleni, ecc., oltre ai metalli pesanti.

FASE 2:

ha permesso di conoscere meglio l'andamento della contaminazione in funzione della profondità, limitatamente al primo metro di suolo dal p.c..

FASE 3:

ha permesso di avere a disposizione una spazializzazione di dettaglio della contaminazione contenuta nei primi 40 cm, con una maglia regolare di 50 m di lato, che ha consentito di individuare hot-spot e zone con bassi livelli di contaminazione.

Nel seguito si riporta una descrizione sintetica delle 3 fasi di caratterizzazione che vengono dettagliatamente illustrate nelle Linee Guida Scientifiche.

8.1.1 Indagini di FASE 1

Nel corso dell'indagine svolta da ERSAF sono stati effettuati dei prelievi in superficie e in profondità secondo una maglia aleatoria stratificata con cui sono stati costituiti tre campioni rappresentativi ognuno di una delle tre zone di sperimentazione A, R e T (Tavola 3). Ogni zona è stata suddivisa in 15 maglie regolari; all'interno di ciascuna maglia è stato scelto un punto a caso, georeferenziato, in corrispondenza del quale sono stati effettuati due prelievi a carotaggio alle profondità 0-20 cm e 50-70 cm. Il materiale di ogni prelievo, eliminata la frazione sopra i 2 cm, è stato omogeneizzato e suddiviso in due frazioni di cui la più piccola (1/4 della carota) ha concorso alla formazione del campione composito rappresentativo della specifica zona (miscelazione dei 15 campioni elementari), la restante frazione (3/4 della carota) è stata

conservata per eventuali analisi di controllo. Sono stati inoltre conservati due sub campioni omogenei, rappresentativi delle profondità 0-20 e 50-70 per eventuali approfondimenti.

I risultati ottenuti sono riportati nella Relazione prodotta dall'Istituto Mario Negri e trasmessa da ERSAF a tutti i soggetti interessati tramite PEC in data 6 agosto 2014. Nella Tavola 4 si riporta la rappresentazione grafica dei risultati ottenuti durante questa fase della caratterizzazione, limitatamente ai contaminanti target individuati dall'AdP.

8.1.2 Indagini di FASE 2

La Fase 2 ha riguardato l'approfondimento verticale della contaminazione, con particolare riferimento alle sostanze oggetto di sperimentazione, ovvero PCB, diossine e furani, arsenico e mercurio. L'obiettivo è stato quello di caratterizzare le varie subaree presenti nelle aree A, R e T al fine di identificare situazioni tipiche di uso del suolo (prato stabile, seminativi/erbai, incolto) e correlarlo alla potenziale diffusione verticale dei contaminanti. A tale scopo è stata necessaria un'analisi delle foto aeree storiche disponibili, integrata da interviste ai proprietari delle aree.

La classificazione ottenuta ha mostrato che generalmente non sono individuabili tutte le tre tipologie nella stessa area, anzi spesso la rotazione lungamente applicata nel corso del tempo ha ridotto il tempo di "permanenza" della coltura, comportando, sulla quasi totalità delle aree dei periodi di aratura dei suoli, con conseguente rimescolamento dello strato arabile.

Nel contempo sono stati individuati i percorsi delle rogge, i campi trattati nelle aree A, R e T, la loro giacitura, la provenienza e la direzione dell'acqua di irrigazione (per scorrimento) e altre informazioni derivate dall'intervista diretta con i conduttori; al fine di procedere alla selezione delle subaree per i campionamenti della Fase 2, le informazioni sopra esposte sono state integrate e sono state prodotte delle valutazioni quantitative.

Alla fine del processo di selezione sono state scelte le aree in cui sono stati effettuati i campionamenti di fase 2 attraverso i quali è stato indagato il profilo di concentrazione di PCB, PCDD/F, As e Hg lungo la verticale.

Nelle Tavole 5a, 5b e 5c si riporta la rappresentazione grafica dei risultati ottenuti durante questa fase della caratterizzazione per ciascuna delle 3 subaree A, R e T.

8.1.3 Indagini di FASE 3

In funzione dei risultati ottenuti in Fase 2, si è deciso di limitare il prelievo di terreno dei campioni di Fase 3 allo strato 0-40 cm, con una densità e distribuzione dei punti differenti nelle 3 aree A, R e T ritenendo adeguata la costituzione di 64 campioni di suolo. Ogni punto è risultato composto da 5 prelievi di terreno ai quattro vertici e al centro di un quadrato di lato 1 m,

quest'ultimo punto coincidente con il punto predeterminato (in totale 320 perforazioni). Ognuno dei 64 campioni è stato costituito dalla miscelazione dei 5 sub-campioni corrispondenti.

Le mappe delle concentrazioni ottenute durante questa fase sono illustrate e commentate all'interno delle Linee Guida Scientifiche. Nel complesso, i risultati mostrano in maniera evidente che la concentrazione dei diversi contaminanti non è omogenea e presenta gradienti riferibili presumibilmente alle modalità e alla frequenza temporale di irrigazione delle aree (per scorrimento) e all'uso del suolo, così come già visto nei punti di Fase 2; anche i contaminanti inorganici mostrano nelle diverse aree comportamenti e distribuzione non dissimili, a sottolineare l'origine comune della contaminazione.

Nelle Tavole 6a, 6b e 6c si riporta la rappresentazione grafica dei risultati ottenuti durante questa fase della caratterizzazione per ciascuna delle 3 subaree A, R e T.

8.1.4 Sintesi dei risultati della caratterizzazione integrativa

Nel complesso, le 3 fasi di indagine hanno consentito di:

- definire la distribuzione areale dei principali composti con concentrazioni superiori alle CSC, mediante una tecnica di interpolazione che tenesse conto del meccanismo di dispersione della contaminazione;
- aumentare il livello di conoscenza sulla tipologia di contaminazione da PCB, attraverso la speciazione di un elevato numero di congeneri;
- verificare il profilo verticale di contaminazione; a tal proposito, si vedano le rappresentazioni grafiche del profilo verticale della contaminazione riportate nelle Linee Guida Scientifiche. Dai risultati si evidenzia che:
 - sostanzialmente la contaminazione è principalmente situata nella porzione superiore (0-40 cm) del suolo, corrispondente in buona sostanza allo strato arabile, confermando quindi il modello concettuale già sviluppato dai dati ARPA; a titolo esemplificativo si riporta nella Figura 3 il grafico relativo all'andamento della concentrazione della somma dei PCB con la profondità nelle aree ART;
 - tra 40 e 100 cm dal p.c. si osserva un abbattimento progressivo delle concentrazioni che nella maggior parte dei casi determina il rispetto delle CSC nel campione più profondo (80-100 cm);
 - in taluni casi, nell'intervallo di profondità 80-100 cm, si sono rilevati alcuni limitati superamenti delle CSC (generalmente nell'ordine del 10%) per As, PCB, PCDD/F.

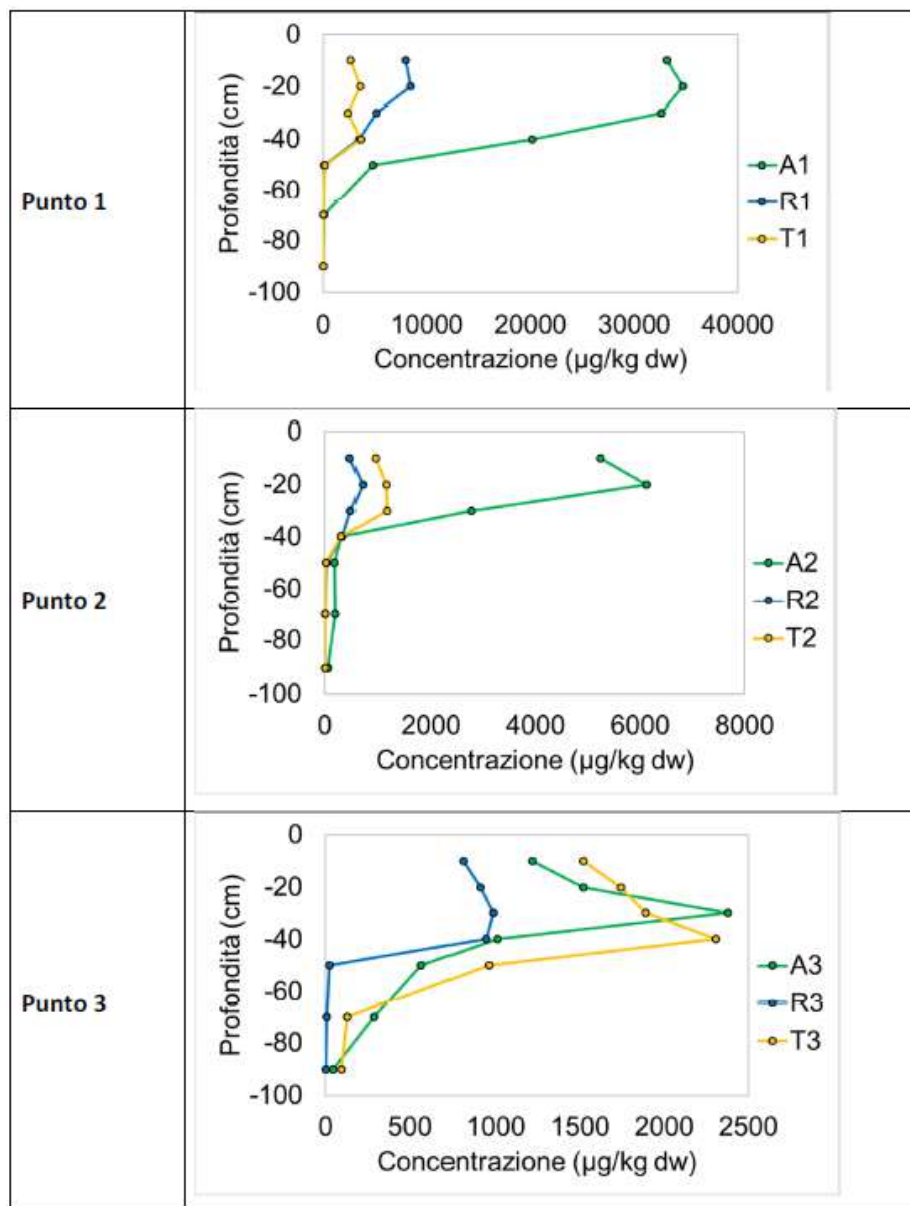


Figura 3. Andamento della concentrazione della somma dei PCB con la profondità nelle aree A, R e T in 3 punti (vedi anche Linee Guida Scientifiche).

Nelle tavole 7a e 7b si riporta la mappa delle distribuzioni spaziali delle concentrazioni realizzata mediante interpolazione (*kriging*) dei dati ottenuti durante la caratterizzazione.

È opportuno, infine, segnalare che le analisi condotte durante la caratterizzazione integrativa hanno consentito di individuare superamenti anche per i seguenti parametri, “non prioritari” secondo la definizione dell’AdP:

- Pb
- Cu
- Zn
- Ni
- DDD, DDT, DDE
- Lindano
- CCl₄

8.2 La tecnologia scelta: *rhizoremediation* + *phytoextraction*

La selezione delle alternative di intervento e la scelta della tecnologia di bonifica è stata fatta partendo dall’intensa attività di caratterizzazione svolta e dai risultati ottenuti sia in termini di distribuzione verticale (contaminazione quasi esclusivamente superficiale) che di tipologia, tenendo conto della necessità di minimizzare l’impatto ambientale e massimizzare l’efficacia sia in termini di concentrazioni residue nelle matrici ambientali sia in relazione alla protezione dell’ambiente e della salute pubblica.

Alla luce di queste considerazioni, sono state selezionate da parte dei CS alcune specie vegetali che risultano essere potenzialmente in grado di degradare alcuni composti (PCBs, Diossine e Furani), grazie ad un meccanismo di *rhizoremediation*, e/o di accumularne altri (As e Hg) nelle parti ipogee ed epigee, attraverso un processo di *phytoextraction*. Tali specie vegetali, selezionate anche sulla base delle caratteristiche pedologiche e climatiche dell’area di interesse, possono inoltre favorire una futura potenziale ripresa delle attività agricole in quanto, a differenza di altre tecniche consolidate che possono alterare totalmente o parzialmente le caratteristiche originarie dei terreni (ad es. tecniche termiche), incoraggiano un incremento della flora microbica ed il contenuto di sostanza organica, con conseguente aumento della fertilità del suolo.

9 Descrizione e risultati della sperimentazione

Con riferimento all'AZIONE B) di FASE 1, ERSAF, sotto la consulenza scientifica dell'Università degli Studi di Milano e dell'Università degli Studi dell'Insubria, ha condotto nel 2015-2016 una sperimentazione in vaso e in pieno campo per la valutazione dell'efficacia di interventi di *bioremediation* come potenziale tecnica di bonifica dei suoli agricoli contaminati. Per un maggiore dettaglio di tutte le attività sperimentali seguite si rimanda alle Linee Guida Scientifiche prodotte dai CS del Progetto.

9.1 Descrizione sintetica del disegno sperimentale

Sette specie vegetali selezionate, da sole o in consociazione o unitamente a particolari trattamenti del suolo, per un totale di 10 tesi, sono state coltivate per 2 anni in vaso, in serra, in un suolo proveniente da un'area agricola rappresentativa del SIN Caffaro per valutarne la capacità di crescita e gli eventuali effetti positivi sulla stimolazione della componente microbica autoctona del terreno. Il suolo è stato preparato, miscelato, omogeneizzato estensivamente al fine di rendere minima la variabilità del suolo iniziale contenuto nei vasi e quindi trasferito in vasi di polipropilene da 6 litri ciascuno. Sono stati previsti 4 tempi di campionamento distruttivo per ciascuna tesi e ciascun controllo analizzati in tre vasi replicati indipendenti. Tutti i trattamenti ed i rispettivi controlli sono stati allestiti in triplicato per consentire un'analisi statistica e valutare la significatività dei dati chimici e microbiologici.

Tre delle specie già utilizzate nella sperimentazione in serra sono state selezionate per la sperimentazione in campo sulla base di valutazioni agronomiche e dei dati di caratterizzazione microbiologica dei suoli al T2. Lo schema sperimentale ha incluso 24 parcelle di 10 m² ciascuna nell'area A (3 specie di piante più 1 controllo per 6 repliche ciascuno) la cui disposizione è stata decisa basandosi su analisi geostatistiche di dati ottenuti in Fase 3.

9.2 Sintesi dei principali risultati della sperimentazione in vaso

Quattro tesi al termine del biennio di sperimentazione hanno mostrato nel suolo dei vasi una riduzione delle concentrazioni dei PCB (totali dei congeneri misurati) statisticamente significativa rispetto al suolo iniziale: in particolare si sono potute misurare diminuzioni variabili tra il 6 ed il 26%, principalmente per le classi di molecole a clorurazione intermedia (da tri- ad esa- clorurati).

Due tesi in particolare hanno mostrato i risultati di riduzione più elevati e successivamente sono state selezionate per valutare la formazione di metaboliti e la mobilità dei PCB nell'acqua del suolo. Per quanto riguarda PCDD e PCDF, due trattamenti hanno evidenziato la capacità di

ridurre in modo statisticamente significativo la concentrazione di un buon numero di congeneri, con riduzioni tra circa il 10% e 20% a seconda del congenere.

Oltre all'analisi chimica, l'analisi microbiologica del suolo ha dimostrato che le piante hanno attivato i microrganismi autoctoni del suolo (principalmente la frazione batterica rispetto alla fungina) i) aumentandone l'attività metabolica, ii) modificando l'abbondanza relativa delle diverse popolazioni presenti, iii) aumentando la concentrazione batterica. Tali dati supportano la conclusione che le piante abbiano avuto un positivo effetto biostimolante nei confronti dei microrganismi del suolo in grado di degradare i PCB.

È stato poi sviluppato dai CS un modello aria-suolo-pianta nel quale, inserendo una determinata soluzione tecnologica (in questo caso una pianta o consociazione di piante), viene simulato l'andamento temporale delle concentrazioni di PCB nei suoli delle aree agricole del SIN. Tale modello è stato utilizzato inserendo la capacità degradativa delle tesi risultate più efficaci dalla sperimentazione in vaso per predire il tempo necessario per raggiungere un certo livello target di contaminazione rispetto alla situazione di non intervento (attenuazione naturale).

Per quanto riguarda i metalli, As e Hg, sono state affidate a esperti provenienti dall'ambito universitario specifiche analisi per la determinazione delle loro specie chimiche presenti nei suoli e della loro relativa disponibilità alla mobilizzazione (As: Prof. Marco Grotti del Dipartimento di Chimica e Chimica industriale dell'Università di Genova nel 2017; Hg: Prof. Stefano Covelli del Mercurilab del Dipartimento di Matematica e Geoscienze dell'Università di Trieste). Si ritiene infatti che questa informazione sia di notevole interesse per poter fare valutazioni più approfondite in termini di analisi del rischio connesso alla presenza di questi elementi nei suoli agricoli. Tali analisi hanno prodotto esiti confortanti, evidenziando basse percentuali delle frazioni più mobili rispetto al contenuto totale, generalmente fortemente legato alle particelle del suolo. Tale ridotta mobilità e biodisponibilità ben si colloca nel contesto delle tecniche di fitoestrazione che si basano su processi che si sviluppano lentamente nel tempo, potenzialmente riducendo nel frattempo i fenomeni di lisciviazione e di perdita gassosa.

9.3 Sintesi dei principali risultati della sperimentazione in campo

Visti i tempi ristretti della sperimentazione si è ritenuto opportuno dare precedenza alla fase in vaso per ottenere informazioni valide sull'efficacia dell'intervento in un ambiente controllato. I risultati analitici della sperimentazione in campo sono pervenuti da INDAM in data 18/12/2018 e sono stati dunque successivamente valutati dai consulenti scientifici, che in data 22/01/2019 hanno inviato un documento, denominato "Addendum a Linee guida scientifiche per la bonifica biologica delle zone agricole del SIN Brescia-Caffaro" (allegato alle Linee guida scientifiche), contenente le loro prime elaborazioni su questi dati.

*** SEZIONE C: APPLICAZIONE ART ***

10 Percorso amministrativo

Come anticipato nel capitolo 4, l'istruibilità nell'ambito del procedimento amministrativo di bonifica del protocollo proposto nel presente documento prevede i seguenti passaggi propedeutici:

- definizione univoca della titolarità del procedimento, in termini di soggetto titolare dell'autorizzazione agli interventi;
- qualora il soggetto titolare dell'autorizzazione sia diverso dai proprietari delle aree, definizione univoca e giuridicamente rilevante dei rapporti tra proprietari e tale soggetto, anche con riferimento, nel caso della pubblica amministrazione, alla costituzione dell'onere reale di cui all'art.253 del D.lgs. 152/06 a seguito della rinuncia del proprietario alla volontà di procedere, anche eventualmente a seguito di diffida;
- approvazione di un "Piano di Caratterizzazione", eventualmente anche a seguito di valutazione integrata di tutti i dati già disponibili agli atti, raccolti da soggetti pubblici quali ARPA ed ERSAF, senza la necessità di eseguire ulteriori indagini che potrebbero eventualmente essere rimandate a fasi integrative specifiche successive all'approvazione del progetto.

Risolti gli aspetti preliminari indicati, il presente protocollo potrebbe essere aggiornato e integrato in un "Progetto Operativo di Bonifica" da sottoporre ad approvazione.

Rimane inoltre da definire la possibilità di individuare gli obiettivi di bonifica mediante una Analisi di Rischio specifica per le aree agricole, che potrà essere eventualmente eseguita solo a seguito di una definizione univoca, anche a livello urbanistico, degli scenari di futuro utilizzo del sito. A tal proposito, si evidenzia che per una effettiva definizione di tutti gli aspetti tecnico-amministrativi implicati nella stesura di un'Analisi di Rischio per aree che dovessero conservare nello scenario futuro la natura di aree agricole, è necessario attendere l'emanazione dell'atteso decreto ministeriale di cui all'art. 241 del D.lgs. 152/06. Tale aspetto viene trattato anche all'interno della Relazione Finale (2018) redatta da ERSAF (cap. 4).

Si evidenzia che, proprio per le caratteristiche intrinseche dei processi di *bioremediation* che richiedono una definizione in itinere dei parametri operativi, gli interventi verranno avviati prevedendo una fase iniziale di calibrazione, definibile come "prova pilota a pieno campo" (comma 7, art.242 del D.lgs. 152/06). Si ritiene pertanto che tale "prova pilota" possa eventualmente essere eseguita, giuste le intese e gli accordi formali con le proprietà, anticipatamente rispetto all'approvazione di un progetto di bonifica. Si osserva infatti che le

attività proposte possono essere comunque considerate “misure di prevenzione”, sulla base delle evidenze scientifiche raccolte nel corso delle sperimentazioni in vaso e in campo, e come tali adottabili anche in pendenza dell’approvazione di un progetto.

11 Prova pilota in campo

La diffusione delle fitotecnologie a livello europeo e nazionale è ancora limitata: il trattamento biologico *in situ* è applicato in meno del 20% dei casi e con percentuali differenti nei paesi europei (Van Liedekerke et al., 2014). Il trasferimento delle informazioni scientifiche ottenute dalle attività sperimentali in serra verso un’applicazione di pieno campo rappresenta una fase molto delicata della progettazione di un intervento di bonifica altamente “sito-specifico” come la *bioremediation*.

La Prova Pilota avrà una durata complessiva di 5 anni (vedi capitolo 14) durante i quali verranno applicate in campo, su scala ridotta, delle rotazioni colturali selezionate in base alle indicazioni riportate nelle Linee Guida Scientifiche e che, quindi, potranno evidenziare capacità di degradazione dei contaminanti organici. Al termine dei 5 anni, in funzione dei risultati ottenuti durante le campagne di monitoraggio (vedi capitolo 12), sarà possibile verificare la reale efficacia in campo di questi trattamenti e proporre così un’estensione selettiva fattibile ed efficace nel lungo periodo (vedi SEZIONE D).

11.1 Aree di intervento

Le attività sperimentali descritte nel capitolo 9 sono state eseguite su suoli provenienti da 3 aree (A, R, T) interne al SIN la cui localizzazione è riportata in Figura 4 e in Tavola 3. Su queste aree, solo successivamente alla verifica della disponibilità dei proprietari/conduttori a rendere fruibili i loro fondi e conseguente stipula di nuovi accordi con loro, potrà essere impostata la Prova Pilota secondo lo schema colturale descritto di seguito. È importante sottolineare che la scelta delle tesi da applicare in campo è stata vincolata anche a valutazioni tecniche, logistiche ed economiche da parte di ERSAF per la reale fattibilità dell’intervento in modo da ottenere un risultato potenzialmente riproducibile ed efficace su larga scala per tutti i terreni agricoli del SIN.

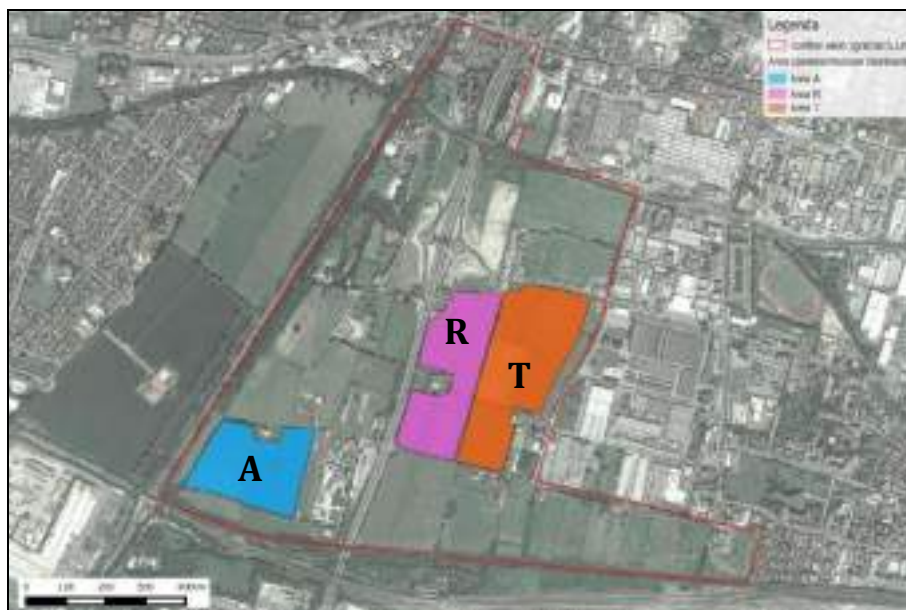


Figura 4. Localizzazione delle aree ART.

11.1.1 Area A

L'area A (dimensione totale: 5,1 ha) si trova nell'angolo sud-ovest del SIN e la disposizione dei terreni è riportata in Tavola 8a. Su questa area, si propone il seguente avvicendamento culturale:

- ✓ *Medicago sativa* (erba medica): 2 anni
- ✓ *Cucurbita spp.* (zucca): 1 anno
- ✓ *Festuca arundinacea*: 2 anni

Tale avvicendamento viene riportato nelle Linee Guida Scientifiche come quello potenzialmente ottimale per ristabilire le condizioni di fertilità e favorire la *rhizoremediation* per le sostanze organiche. In particolare, la coltivazione di *Cucurbita spp.* (trinciata prima che arrivi alla produzione di frutti oppure provvedendo all'eliminazione dei frutti in fase incipiente di sviluppo) favorirebbe la mobilitazione delle sostanze più idrofobiche. Su quest'area sono già presenti alcune *facilities* di proprietà ERSAF (container, serra, allaccio alla corrente elettrica e all'acquedotto comunale) che potranno essere utili nel corso della Prova Pilota; per questo motivo logistico, una porzione di quest'area sarà anche destinata all'installazione del "laboratorio permanente" (vedi par. 11.1.4)

11.1.2 Area R

L'area R (dimensione totale: 5,5 ha) è collocata tra via Rose e via Rose di sotto, adiacente alla tangenziale ovest, e la disposizione dei terreni è riportata in Tavola 8b. Su questa area, si propone la coltivazione monocolturale di:

- ✓ *Festuca arundinacea*: 5 anni

Questa specie da sola ha mostrato di raggiungere i migliori risultati per la degradazione dei contaminanti organici, in particolare nella rimozione di PCDD/Fs (come evidenziato nelle Linee Guida Scientifiche).

11.1.3 Area T

L'area T (dimensione totale: 8,0 ha) è collocata tra via Rose e via Rose di sotto, adiacente a via del Rampino, e la disposizione dei terreni è riportata in Tavola 8b. Su questa area si procederà ad una rotazione continua caratterizzata dal seguente avvicendamento colturale:

- ✓ *Medicago sativa* (erba medica): 2 anni
- ✓ *Festuca arundinacea*: 2 anni
- ✓ *Medicago sativa* (erba medica): 1 anno

La coltivazione di erba medica porta con sé una serie di vantaggi agronomici molto interessanti: l'apparato radicale può svilupparsi fino a 2 metri di profondità e crea una struttura reticolare nel suolo che favorisce l'infiltrazione di acqua e stabilizza gli aggregati; la copertura vegetale riduce i fenomeni erosivi superficiali del terreno sia di origine idrica sia di origine eolica. Inoltre la presenza di essudati radicali e la grande quantità di azoto (grazie anche alla simbiosi con i rizobi) e carbonio che si sviluppa a seguito della degradazione delle radici della medica, anno dopo anno favoriscono l'attività microbica del suolo. Nel corso della sperimentazione, *Medicago sativa* ha mostrato di raggiungere buoni risultati per la rimozione di PCB e attivazione microbica.

11.1.4 “Laboratorio permanente”

Al fine di garantire una continuità nella messa a punto e nell’innovazione della tecnologia applicata si propone l’installazione di un “laboratorio permanente” rappresentato da una gestione sperimentale di una parcella opportunamente selezionata all’interno dell’area A (della dimensione di ca. 1 ha) (Tavola 8a) sulla quale approfondire le conoscenze in merito all’applicazione di interventi fitotecnologici alternativi e alle specificità del sito attraverso monitoraggi ripetuti nel tempo e apporto di eventuali modifiche/integrazioni.

Il Laboratorio Permanente avrà un disegno sperimentale opportunamente predisposto con la suddivisione in sottoparcelle per i diversi test che, alla luce delle considerazioni riportate nelle Linee Guida Scientifiche (nello specifico, cap. 12), consentirebbero di implementare i risultati delle sperimentazioni finora eseguite (ad es. integrando interventi di fitoestrazione dei metalli e *bioaugmentation*), anche per alcuni aspetti che non è stato possibile trattare nel corso della sperimentazione sviluppata (ad es. ponendo l’attenzione su contaminanti “non prioritari” e sugli strati di suolo più profondi). Nell’ambito di queste sperimentazioni, come già riportato nelle Linee Guida Scientifiche in risposta alle prescrizioni di cui alla Conferenza di Servizi decisoria del 16/12/2014, verranno previste anche analisi di approfondimento sulla formazione di prodotti intermedi di degradazione dei contaminanti organici.

Il disegno sperimentale dovrà inoltre prevedere una fase di laboratorio per l’esecuzione di test sperimentali in condizioni controllate e un idoneo piano di monitoraggio delle attività eseguite per verificare, ed eventualmente rimodulare *in itinere* i parametri necessari a strutturare il protocollo operativo per la bonifica dei suoli agricoli all’interno del SIN.

Per questi motivi, le attività sperimentali all’interno del Laboratorio Permanente accompagneranno in maniera continuativa le operazioni di bonifica svolgendo un ruolo strategico fondamentale per massimizzarne l’efficacia e ridurre i limiti peculiari di questa tecnologia, legati principalmente all’elevata sito-specificità e alla stretta dipendenza da condizioni ambientali non “controllabili”.

11.2 Allestimento delle aree di cantiere

Prima di avviare le attività strettamente connesse con il procedimento di bonifica dei suoli, sarà opportuno eseguire alcune operazioni comuni di pulizia su tutte le aree destinate alla Prova Pilota. Come detto in precedenza, i suoli agricoli sono attualmente coperti da vegetazione spontanea la cui crescita negli ultimi anni è stata periodicamente controllata attraverso sfalci eseguiti da ERSAF e dai proprietari. Di seguito si riportano le principali attività preliminari da svolgere:

- delimitazione del cantiere attraverso l'impiego di cartelloni segnaletici e messa in sicurezza delle vie di accesso; considerate le dimensioni delle aree, non si prevede l'impiego di recinzioni per la delimitazione delle aree. Il personale addetto alla gestione della bonifica sarà opportunamente istruito e dotato dei DPI necessari. Inoltre, i mezzi impiegati nel processo dovranno essere sottoposti a pulizia delle ruote prima di uscire dalle aree sottoposte a bonifica;
- sfalcio e rimozione della vegetazione presente al fine di ripulire l'intera area e le relative vie di accesso;
- rimozione di pietre ed eventuali residui industriali o materiali inerti che potrebbero impedire la crescita delle radici delle specie vegetali impiegate;
- smaltimento del materiale rimosso e conferimento come rifiuto presso aree idonee preventivamente indicate nel rispetto della normativa vigente;
- approvvigionamento idrico: allo stato attuale non è possibile utilizzare il sistema delle rogge in quanto con ordinanza sindacale ne è stato vietato l'utilizzo a fini irrigui. Pertanto, nella selezione delle specie vegetali da utilizzare per questa Prova Pilota, si è tenuto conto anche di questo aspetto, soprattutto nell'ottica di una futura estensione su larga scala; l'attuazione del progetto di messa in sicurezza delle rogge permetterebbe il ritorno alla possibilità di scorrimento dell'acqua della roggia Fiumicella per irrigazione in tutta la superficie agricola del SIN.

11.3 Principali operazioni colturali

In questo paragrafo vengono descritte le principali operazioni colturali da eseguire nelle aree ART in funzione delle caratteristiche specifiche di ciascuna specie e delle esigenze legate agli obiettivi dell'intervento (la sequenza cronologica è riportata nel capitolo 14).

11.3.1 *Festuca arundinacea*

È una graminacea cespitosa estremamente rustica che si adatta a tutti i terreni, sopporta bene freddo e siccità estiva e presenta il notevole vantaggio di una gestione agronomica semplice e dal basso impatto sul terreno; infatti, seguendo le corrette pratiche agronomiche, essa può persistere sul terreno fino a 8-9 anni al termine dei quali potrebbe essere alternata con una leguminosa (ad es. erba medica in purezza o trifoglio bianco) per 2-3 anni. Il principale limite è rappresentato dal lento insediamento durante il I anno. In particolare, nel corso della sperimentazione è stata impiegata la varietà *Fawn*.

- **Aratura**

Il rivoltamento del terreno attraverso arature profonde favorisce l'areazione degli strati sottosuperficiali e consente un'ulteriore pulizia da altri residui emersi. Sarà quindi eseguita un'aratura estiva a profondità di circa 40 cm.

- **Preparazione del letto alla semina**

Prima di procedere alla semina, verranno eseguite operazioni di erpicatura, fresatura e livellamento per migliorare le caratteristiche fisiche del terreno e ottenere un letto di semina ospitale, riducendo al minimo le zolle. Questa fase è particolarmente importante per lo sviluppo vegetale della *Festuca*.

- **Messa a dimora**

Una volta preparato il suolo, si procede quindi alla semina.

- o **Epoca di semina**

In accordo con le buone pratiche agronomiche, la *Festuca* verrà seminata in autunno (settembre/ottobre), dopo le prime piogge; in tal modo in primavera la *Festuca* riesce a competere meglio contro le infestanti. La germinazione del seme avviene mediamente in ca. 15-20 giorni.

- o **Impianto**

profondità di semina: 1-1,5 cm

interfila: 15-20 cm

dose: 40-50 kg/ha

- **Sfalci**

Al fine di rinvigorire la pianta e favorirne lo sviluppo vegetale e la diffusione radicale risultano fondamentali le attività cicliche di sfalcio, soprattutto nel I anno di crescita. In particolare, un I sfalcio andrà eseguito in primavera (fine aprile/inizio maggio) con una trinciatura alta in modo da lasciare pochi residui vegetali sul terreno che rischierebbero di soffocare la *Festuca*; un II sfalcio andrà eseguito in estate (luglio) e un III in autunno (ottobre) in modo da arrivare prima dell'inverno con vegetazione bassa (ca. 20 cm). Risulta molto importante che tale attività venga eseguita con vegetazione asciutta attraverso un intenso sminuzzamento della vegetazione presente in campo al fine di evitare l'effetto pacciamante che limiterebbe lo sviluppo della *Festuca*; al termine della coltivazione, tutto il materiale vegetale verrà interrato durante le operazioni di aratura propedeutiche alla messa a dimora delle nuove specie.

- **Diserbo**

Se in primavera (marzo/aprile) si verifica un'eccessiva presenza di infestanti si potrà intervenire con un diserbo selettivo per dicotiledoni, prima del I sfalcio.

- **Irrigazione**

La *Festuca* è caratterizzata da una buona resistenza alla siccità in virtù di un apparato radicale particolarmente profondo (anche se in estate la pianta va in stasi vegetativa) fino a 1,5 m e pertanto non saranno previsti interventi irrigui.

11.3.2 *Medicago sativa*

L'erba medica è una pianta perennante provvista di apparato radicale fittonante che può raggiungere alcuni metri di profondità; si adatta a vari terreni, ad eccezione di quelli umidi, è molto resistente al caldo e al secco, meno resistente al freddo, in quanto manifesta la tendenza a continuare a vegetare anche durante l'autunno, rimanendo così esposta al danno delle successive basse temperature. Nell'ambito degli avvicendamenti è considerata una specie miglioratrice (infatti lascia ca. 100-150 kg/ha di azoto), mentre è sensibile alla stanchezza del terreno.

- **Aratura**

Sarà eseguita un'aratura in inverno a profondità di circa 40 cm, con fertilizzazione di fondo basata fondamentalmente sul fosforo del quale le leguminose sono esigenti.

- **Preparazione del letto alla semina**

Il terreno deve essere lavorato in profondità per favorire l'approfondimento radicale e limitare i ristagni idrici. I lavori di erpicatura consentono di pareggiare opportunamente il letto di semina e, nel contempo, di interrare i concimi distribuiti in pre-semina.

- **Messa a dimora**

Una volta preparato il suolo, si procede quindi alla semina meccanica.

o **Epoca di semina**

In accordo con le buone pratiche agronomiche in assenza di possibilità irrigue, la semina verrà eseguita a fine inverno (febbraio-marzo).

o **Impianto**

profondità di semina: 1,5-2 cm

interfila: 15-20 cm

dose: 30-35 kg/ha

- Sfalci

Il primo sfalcio si attua quando compaiono i primi germogli alla base della pianta (stadio vegetativo inizio fioritura) e risulta il più produttivo; un secondo sfalcio verrà eseguito al termine di ogni anno di coltivazione. Vista l'assenza di esigenze produttive all'interno di questo progetto, non saranno eseguiti ulteriori sfalci e il materiale vegetale residuo sarà lasciato sul campo dopo un intenso sminuzzamento per evitare l'effetto pacciamante; al termine della coltivazione, il materiale vegetale verrà interrato con le operazioni di aratura propedeutiche alla messa a dimora delle nuove specie.

- Diserbo

La medica non richiede normalmente interventi diserbanti. In caso di necessità, il diserbo dell'erba medica potrà essere articolato come segue: 1) durante il riposo vegetativo; 2) alla ripresa vegetativa; 3) controllo della cuscuto (fanerogama parassita che determina gravi diradamenti a chiazze sui medicai; la lotta specifica è a base di Propizamide, da fare subito dopo gli sfalci).

- Irrigazione

Pur essendo una forte consumatrice d'acqua (ne consuma 700-800 litri per formare un kg di sostanza secca) è la foraggera più resistente alla siccità grazie al suo apparato radicale capace di scendere a grande profondità. Nell'ambito di questo progetto, si prevede che non saranno eseguiti interventi irrigui.

11.3.3 *Cucurbita* spp.

La zucca è un'erbacea appartenente alla famiglia botanica delle *Cucurbitaceae* che preferisce climi caldi e terreni fertili, freschi e ben preparati. In generale le zucche sono piante molto rustiche e vigorose con fusti rampicanti o prostrati, molto ramificati, che possono arrivare anche a una lunghezza di 6-8 metri. L'apparato radicale è fascicolato, con uno sviluppo superficiale, poco profondo (in genere affonda di 15-40 cm nel terreno).

- Aratura

La zucca è veramente molto esigente in quanto a concimazione, ma nella nostra rotazione colturale viene preceduta dal medicaio che, come detto in precedenza, viene considerata una specie miglioratrice nell'ambito di un avvicendamento colturale. Pertanto, durante l'aratura profonda, i residui vegetali verranno interrati in modo da fornire al terreno elementi nutritivi utili per la crescita della zucca.

- **Preparazione del letto alla semina**

Specie molto esigente, che richiede un terreno ben lavorato e drenante.

- **Messa a dimora**

Per facilitare la fuoriuscita del germoglio, è utile realizzare delle piccole postarelle direttamente sul terreno, adagiando, con la punta rivolta verso l'alto i semi; successivamente, s'innaffia abbondantemente e si mantiene il terreno ben umido.

- o **Epoca di semina**

Si semina a inizio primavera (aprile), quando la temperatura si è stabilizzata.

- o **Impianto**

profondità di semina: 2-3 cm

densità: 2 m tra le file e 1,5 m sulla fila

dose: 2-3 semi per buca

- **Cure colturali**

Nel corso del ciclo produttivo, per favorire lo sviluppo vegetale, può risultare opportuno eseguire intense cure colturali come diradamento, sarchiature (che consentono anche di controllare le erbe infestanti), zappature e trattamenti anticrittogamici.

- **Raccolta**

Vista l'assenza di esigenze produttive, si valuterà la soluzione più opportuna per favorire lo sviluppo della pianta e promuoverne la capacità biodegradativa, riducendo i limiti tecnici ed economici legati alla produzione di frutti da parte delle piante. Saranno valutate 2 possibili alternative:

- ✓ eliminazione manuale dei frutti in formazione;
- ✓ trinciatura della pianta prima della fruttificazione.

- **Irrigazione**

La zucca richiede acqua, in particolare a inizio fioritura. Non bisogna bagnarla spesso ma serve fornire molta acqua perché possa penetrare bene in profondità del terreno. Tuttavia è importante verificare di non lasciare che l'acqua in eccesso determini ristagni che potrebbero causare delle malattie crittogamiche alla pianta. Verranno pertanto previsti cicli di irrigazione attraverso l'allaccio alla rete idrica comunale anche in funzione dell'andamento climatico.

12 Piano dei monitoraggi

Al fine di monitorare lo stato di avanzamento della Prova Pilota all'interno delle aree di intervento ART e la sua efficienza nell'asportazione dei contaminanti, risulta indispensabile prevedere un monitoraggio periodico articolato in due attività principali:

1. Verifica delle concentrazioni dei contaminanti indicatori nel terreno, attraverso campionamento ed analisi di laboratorio.
2. Verifica del contenuto di contaminanti indicatori all'interno delle specie vegetali coinvolte nel processo.

Inoltre, allo scopo di verificare l'effettivo attecchimento delle specie vegetali e il costante sviluppo delle stesse sul campo, sarà necessario eseguire un monitoraggio della crescita delle specie vegetali attraverso l'osservazione agronomica in campo con la compilazione di schede standard di rilevamento. Al termine di ogni anno di attività dovrà essere redatta una relazione tecnica sull'andamento delle attività svolte che verrà inviata agli Enti.

Ogni fase dell'intervento può richiedere attività di monitoraggio differenti; sono state quindi individuate le seguenti fasi:

- Monitoraggio iniziale (T_0)
- Monitoraggio periodico (T_x)
- Monitoraggio finale (T_5)

Le attività di monitoraggio intermedie forniranno i dati necessari per una eventuale rimodulazione e ottimizzazione delle attività in corso d'opera; il protocollo di monitoraggio dovrà in ogni caso essere concordato con gli Enti di Controllo.

Il monitoraggio finale dovrà evidenziare l'efficacia dell'intervento e, eventualmente, fornire i parametri per un riesame del potenziale fattore di degradazione dei contaminanti analizzati con una conseguente rivisitazione dei tempi previsti per il raggiungimento degli obiettivi di bonifica. A tale scopo, un contributo strategico sarà fornito anche dal Laboratorio Permanente: il disegno sperimentale che verrà successivamente impostato dovrà servire a strutturare le prove sperimentali e il relativo piano di monitoraggio in modo da fornire i parametri attraverso cui integrare e/o modificare il protocollo operativo e le diverse fasi di verifica.

Il monitoraggio dei suoli nelle diverse fasi avverrà, per ciascuna delle 3 aree A, R e T, secondo un piano articolato come di seguito proposto:

- Individuazione di una griglia da 15 x 15 m.
- Sovrapposizione della griglia alle mappe di distribuzione dei contaminanti (Tavole 8a e b), con individuazione di 3 livelli caratteristici di concentrazione (“alto”, “medio” e “basso”).
- Per ciascun livello, individuazione casuale di n.3 parcelle di monitoraggio, ciascuna corrispondente ad una maglia della griglia; per ciascuna delle aree A, R e T verranno pertanto individuate 9 parcelle, all’interno delle quali verranno eseguite le attività di monitoraggio.
- In ciascuna di queste parcelle, durante le fasi di campionamento, verranno in particolare raccolti campioni rappresentativi (limitatamente allo strato 0-40 cm) composti da 25 subcampioni secondo una maglia regolare che andranno a formare il campione composito da analizzare.

Nel seguito del presente capitolo sono quindi specificate le attività di monitoraggio previste per ciascuna fase all’interno di ciascuna area ART; la tempistica per ciascuna di queste fasi è riportata nel capitolo 14.

12.1 Monitoraggio iniziale (T_0)

Prima di iniziare le attività, è previsto il monitoraggio delle seguenti matrici ambientali:

- SUOLI
 - Analisi agronomiche:
 - *numero di campioni:* 1 campione composito per ciascun campo pilota;
 - *parametri:* profilo agronomico dei terreni (tessitura, pH, calcare tot. e attivo, carbonio organico, sostanza organica, N, P, K, Ca, Mg, C/N, CSC);
 - *metodo:* DM 13/09/99 SO GU n°248 21/10/1999;
 - *cadenza:* una tantum, all’avvio della Prova Pilota.
 - Livello di contaminazione:
 - *numero di campioni:* 1 campione composito per ciascuna parcella di monitoraggio;

- *parametri*: concentrazione totale di metalli (As, Hg), PCB, diossine e furani;
 - *metodo*: EPA 6020A dopo estrazione con EPA 3051A (per metalli) - EPA 1668 Rev B (per PCB) - EPA 1613B (per PCDD/PCDF);
 - *cadenza*: prima della semina della prima coltura.
- o Caratterizzazione microbiologica per l'identificazione del consorzio batterico con potenzialità biodegradanti:
- *numero di campioni*: 1 campione composito per ciascun campo pilota;
 - *cadenza*: prima della semina della prima coltura.
- ARIA
- o Qualità dell'aria: il monitoraggio della qualità dell'aria avrà lo scopo di determinare il contenuto di polveri prodotte durante le principali operazioni colturali; eventualmente, verrà valutato se analizzare il livello di contaminazione delle polveri.
- *parametri*: concentrazione totale di PCB, diossine e furani;
 - *cadenza*: in concomitanza con le attività di movimentazione dei terreni (arature), propedeutiche all'interramento del materiale vegetale prodotto e alla successiva coltivazione delle specie vegetali.

12.2 Monitoraggio periodico (T_x)

Successivamente all'avvio delle attività, è previsto il monitoraggio delle seguenti matrici ambientali con cadenza periodica:

- BIOMASSA VEGETALE
- o Parametri biometrici: sarà periodicamente verificato l'effettivo attecchimento delle specie vegetali e il costante sviluppo delle stesse sul campo.
- o Asportazione contaminanti: saranno condotte analisi su campioni della biomassa sfalciata per determinare la quantità di contaminanti assorbiti in modo da valutare l'efficienza del processo fitotecnologico.
- *numero di campioni*: 1 campione composito (parti epigee) per ciascuna parcella di monitoraggio;
 - *parametri*: concentrazione totale di metalli (As, Hg), PCB, diossine e furani;

- *metodo*: EPA 6020A dopo estrazione con EPA 3051A (per metalli) - EPA 1668 Rev B (per PCB) - EPA 1613B (per PCDD/PCDF);
- *cadenza*: 1 volta all'anno in funzione del ciclo colturale.

- SUOLI

- Livello di contaminazione:

- *numero di campioni*: 1 campione composito per ciascuna parcella di monitoraggio;
 - *parametri*: concentrazione totale di metalli (As, Hg), PCB, diossine e furani;
 - *metodo*: EPA 6020A dopo estrazione con EPA 3051A (per metalli) - EPA 1668 Rev B (per PCB) - EPA 1613B (per PCDD/PCDF);
 - *cadenza*: al termine di ogni anno.

12.3 Monitoraggio finale (T₅)

Al termine della Prova Pilota è previsto il monitoraggio in contraddittorio con l'Ente di controllo dei seguenti parametri:

- SUOLI

- Livello di contaminazione:

- *numero di campioni*: 1 campione composito per ciascuna parcella di monitoraggio;
 - *parametri*: concentrazione totale di metalli (As, Hg), PCB, diossine e furani;
 - *metodo*: EPA 6020A dopo estrazione con EPA 3051A (per metalli) - EPA 1668 Rev B (per PCB) - EPA 1613B (per PCDD/PCDF);

- Caratterizzazione microbiologica per l'identificazione del consorzio batterico con potenzialità biodegradanti e valutare eventuali differenze con il T₀:

- *numero di campioni*: 1 campione composito per ciascun campo pilota.

13 Gestione dei materiali di risulta

Le pratiche colturali previste non prevedono, in generale, asportazione della biomassa prodotta dal luogo di crescita, poiché la biomassa stessa viene utilizzata come ammendante e fertilizzante per favorire il mantenimento dello strato colturale.

Pertanto, l'unica fase in cui si prevede una produzione di materiali vegetali di scarto è rappresentata dalla coltivazione della *Cucurbita*, per la quale potrebbe essere necessario ricorrere alla raccolta dei frutti e al loro conseguente smaltimento.

Secondo la normativa vigente (D.M. MIPAAF del 25/02/2016), la biomassa residua proveniente da interventi di fitorimedio, operati su suoli contenenti contaminanti pericolosi, deve essere gestita come rifiuto.

Considerata la particolare tipologia di contaminanti, si prevede cautelativamente la possibilità di classificare il rifiuto con codice CER 19 13 01* (rifiuti solidi prodotti dalle operazioni di bonifica dei terreni e risanamento delle acque di falda, contenenti sostanze pericolose) oppure 19 13 02 (rifiuti solidi prodotti dalle operazioni di bonifica dei terreni e risanamento delle acque di falda, diversi da quelli di cui alla voce 19 13 01).

Sarà inoltre necessario verificare che il percorso gestionale dei rifiuti negli impianti di conferimento non preveda il compostaggio o comunque la possibilità che i residui, anche a seguito di trattamenti, possano essere reimmessi nell'ambiente, a meno che tali trattamenti siano specificamente dimensionati al fine di eliminare i contaminanti in oggetto.

Il deposito temporaneo del materiale di risulta prodotto nel corso del procedimento di bonifica avverrà, per ciascuna area, all'interno della stessa, in una subarea dedicata e opportunamente allestita al fine di evitare qualunque possibile dispersione nell'ambiente. A tal proposito, si potrà prevedere l'utilizzo di cassoni scarrabili a tenuta provvisti di copertura, o soluzioni equivalenti, compresa la possibilità di utilizzare big-bags o fusti sigillabili, da depositare per il tempo strettamente necessario alla caratterizzazione del rifiuto funzionale al suo allontanamento.

I DPI utilizzati dagli operatori nelle operazioni dovranno essere raccolti e opportunamente gestiti come rifiuto.

14 Piano temporale degli interventi

Le attività finora descritte potranno avere inizio solo in seguito alla definizione, di concerto con tutti gli Enti coinvolti, compreso in particolare il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, del percorso amministrativo proposto nel capitolo 10.

In questo capitolo viene riportata la sequenza cronologica degli interventi descritti nei capitoli 11 e 12, differenziati per ciascuna area. Come scritto in precedenza (vedi par. 11.1.4), per il Laboratorio Permanente il cronoprogramma delle attività verrà dettagliato in una fase successiva, solo dopo aver definito il piano sperimentale e sarà oggetto di uno specifico documento di futura emissione.

14.1 Area A

Come riportato nel par. 11.1.1, su quest'area sarà eseguita la seguente rotazione colturale:

- ✓ *Medicago sativa* (erba medica): 2 anni
- ✓ *Cucurbita spp.* (zucca): 1 anno
- ✓ *Festuca arundinacea*: 2 anni

Nelle Figure 5 e 6 viene rappresentato lo schema della sequenza cronologica delle rotazioni colturali e il dettaglio del cronoprogramma delle attività previste.

I anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
II anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
III anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
IV anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
V anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
ERBA MEDICA ZUCCA FESTUCA INIZIO ATTIVITÀ: cantierizzazione FINE ATTIVITÀ: collaudo												

Figura 5. Sequenza temporale delle rotazioni colturali nell'area A.

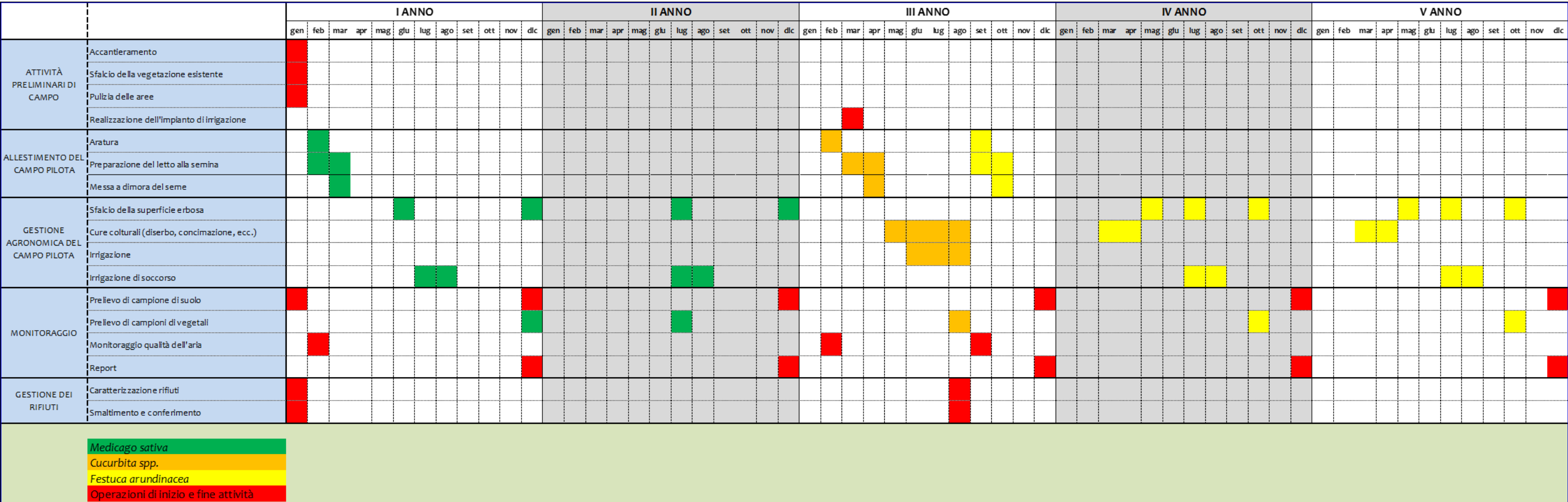


Figura 6. Prova pilota - cronoprogramma delle attività previste nell'area A.

14.2 Area R

Come riportato nel par. 11.1.2, su quest'area sarà eseguita la seguente coltivazione:

✓ *Festuca arundinacea*: 5 anni

Nelle Figure 7 e 8 viene rappresentato lo schema della sequenza cronologica delle rotazioni colturali e il dettaglio del cronoprogramma delle attività previste.

I anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
II anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
III anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
IV anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
V anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
ERBA MEDICA ZUCCA FESTUCA INIZIO ATTIVITÀ: cantierizzazione FINE ATTIVITÀ: collaudo												

Figura 7. Sequenza temporale delle rotazioni colturali nell'area R.

		I ANNO												II ANNO												III ANNO												IV ANNO												V ANNO											
		gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic												
ATTIVITÀ PRELIMINARI DI CAMPO	Accantieramento																																																												
	Sfalcio della vegetazione esistente																																																												
	Pulizia delle aree																																																												
ALLESTIMENTO DEL CAMPO PILOTA	Aratura																																																												
	Preparazione del letto alla semina																																																												
	Messa a dimora del seme																																																												
GESTIONE AGRONOMICA DEL CAMPO PILOTA	Sfalcio della superficie erbosa																																																												
	Cure colturali (diserbo, concimazione, ecc.)																																																												
	Irrigazione di soccorso																																																												
MONITORAGGIO	Prelievo di campione di suolo																																																												
	Prelievo di campioni di vegetali																																																												
	Monitoraggio qualità dell'aria																																																												
	Report																																																												
GESTIONE DEI RIFIUTI	Caratterizzazione rifiuti																																																												
	Smaltimento e conferimento																																																												
Festuca arundinacea																																																													
Operazioni di inizio e fine attività																																																													

Figura 8. Prova pilota - cronoprogramma delle attività previste nell'area R

14.3 Area T

Come riportato nel par. 11.1.3, su quest'area sarà eseguita la seguente rotazione colturale:

- ✓ *Medicago sativa* (erba medica): 2 anni
- ✓ *Festuca arundinacea*: 2 anni
- ✓ *Medicago sativa* (erba medica): 1 anno

Nelle Figure 9 e 10 viene rappresentato lo schema della sequenza cronologica delle rotazioni colturali e il dettaglio del cronoprogramma delle attività previste.

I anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
II anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
III anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
IV anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
V anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
ERBA MEDICA ZUCCA FESTUCA INIZIO ATTIVITÀ: cantierizzazione FINE ATTIVITÀ: collaudo												

Figura 9. Sequenza temporale delle rotazioni colturali nell'area T.

		I ANNO												II ANNO												III ANNO												IV ANNO												V ANNO											
		gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic												
ATTIVITÀ PRELIMINARI DI CAMPO	Accantieramento																																																												
	Sfalcio della vegetazione esistente																																																												
	Pulizia delle aree																																																												
ALLESTIMENTO DEL CAMPO PILOTA	Aratura																																																												
	Preparazione del letto alla semina																																																												
	Messa a dimora del seme																																																												
GESTIONE AGRONOMICA DEL CAMPO PILOTA	Sfalcio della superficie erbosa																																																												
	Cure colturali (diserbo, concimazione, ecc.)																																																												
	Irrigazione di soccorso																																																												
MONITORAGGIO	Prelievo di campione di suolo																																																												
	Prelievo di campioni di vegetali																																																												
	Monitoraggio qualità dell'aria																																																												
	Report																																																												
GESTIONE DEI RIFIUTI	Caratterizzazione rifiuti																																																												
	Smaltimento e conferimento																																																												
		Medicago sativa Festuca arundinacea Operazioni di inizio e fine attività																																																											

Figura 10. Prova pilota - cronoprogramma delle attività previste nell'area T.

15 Stima economica degli interventi

Nelle seguenti Tabelle è riportata una stima economica indicativa per le attività di campo descritte nei capitoli precedenti (11, 12, 13 e 14), relative all'esecuzione di una Prova Pilota nelle aree ART per una durata complessiva di 5 anni. Dalla presente stima economica (IVA esclusa) è stata esclusa l'esecuzione del Laboratorio Permanente le cui caratteristiche andranno definite in una fase successiva in funzione del piano sperimentale che verrà opportunamente selezionato.

Per la stima dei costi, oltre ad un'indagine di mercato, sono stati utilizzati i seguenti prezzi:

- prezzo dei lavori forestali 2016 (Regione Lombardia);
- prezzo Unione Nazionale Contoterzisti Agromeccanici e Industriali (Cremona 2018);
- prezzo regionale Agroforestale 2017 (Regione Veneto).

Tabella 2. Stima economica (IVA esclusa) per l'esecuzione della Prova Pilota nell'area A (durata totale: 5 anni)

FASE	INTERVENTO	U.M.	COSTO UNITARIO	N.	ha	TOTALE
Attività preliminari di campo	Accantieramento	ha	€ 4.000,00	1	4,1	€ 16.400,00
	Sfalcio della vegetazione esistente	ha	€ 72,10	1	4,1	€ 295,61
	Pulizia delle aree	ha	€ 337,00	1	4,1	€ 1.381,70
Allestimento campo pilota	Aratura	ha	€ 149,90	3	4,1	€ 1.843,77
	Preparazione del letto di semina	ha	€ 129,80	3	4,1	€ 1.596,54
	Fornitura del seme (festuca)	kg	€ 5,81	50	4,1	€ 1.191,05
	Fornitura del seme (medica)	kg	€ 5,81	35	4,1	€ 833,74
	Fornitura del seme (zucca)	kg	€ 14,00	5	4,1	€ 287,00
	Messa a dimora del seme	ha	€ 63,50	3	4,1	€ 781,05
	Rullatura post-semina	ha	€ 28,90	3	4,1	€ 355,47
Gestione agronomica campo pilota	Sfalcio della superficie erbosa	ha	€ 72,10	10	4,1	€ 2.956,10
	Sfalcio con decespugliatore	ora	€ 65,20	40	4,1	€ 10.692,80
	Impianto di irrigazione	ha	€ 8.000,00	1	4,1	€ 32.800,00
	Irrigazione di soccorso	ora	€ 88,80	6	4,1	€ 2.184,48
	Diradamento zucca interfilare	ora	€ 18,27	20	4,1	€ 1.498,14
	Diserbo	ha	€ 55,78	4	4,1	€ 914,79
Analisi di laboratorio	Analisi agronomiche su campioni di suolo	cad.	€ 150,00	1	1	€ 150,00
	Analisi chimiche su campioni di suolo	cad.	€ 700,00	54	1	€ 37.800,00
	Analisi chimiche su campioni vegetali	cad.	€ 700,00	45	1	€ 31.500,00
	Monitoraggio qualità dell'aria	cad.	€ 150,00	3	1	€ 450,00
Gestione dei rifiuti	Smaltimento e conferimento	t	€ 200,00	4	4,1	€ 3.280,00
IMPORTO TOTALE LAVORI						€ 149.192,24
Altro	Oneri per apprestamenti e sicurezza			5%		€ 7.459,61
	Spese tecniche di progettazione			20%		€ 29.838,45
	Direzione lavori e coordinamento progetto			15%		€ 22.378,84
	Imprevisti e spese generali			7%		€ 10.443,46
IMPORTO TOTALE						€ 219.312,59

Tabella 3. Stima economica (IVA esclusa) per l'esecuzione della Prova Pilota nell'area R (durata totale: 5 anni)

FASE	INTERVENTO	U.M.	COSTO UNITARIO	N.	ha	TOTALE
Attività preliminari di campo	Accantieramento	ha	€ 4.000,00	1	5,5	€ 22.000,00
	Sfalcio della vegetazione esistente	ha	€ 72,10	1	5,5	€ 396,55
	Pulizia delle aree	ha	€ 337,00	1	5,5	€ 1.853,50
Allestimento campo pilota	Aratura	ha	€ 149,90	1	5,5	€ 824,45
	Preparazione del letto di semina	ha	€ 129,80	1	5,5	€ 713,90
	Fornitura del seme	kg	€ 5,81	50	5,5	€ 1.597,75
	Messa a dimora del seme	ha	€ 63,50	1	5,5	€ 349,25
	Rullatura post-semina	ha	€ 28,90	1	5,5	€ 158,95
Gestione agronomica campo pilota	Sfalcio della superficie erbosa	ha	€ 72,10	12	5,5	€ 4.758,60
	Sfalcio con decespugliatore	ora	€ 65,20	20	5,5	€ 7.172,00
	Irrigazione di soccorso	ora	€ 88,80	12	5,5	€ 5.860,80
	Diserbo	ha	€ 55,78	6	5,5	€ 1.840,74
Analisi di laboratorio	Analisi agronomiche su campioni di suolo	cad.	€ 150,00	1	1	€ 150,00
	Analisi chimiche su campioni di suolo	cad.	€ 700,00	54	1	€ 37.800,00
	Analisi chimiche su campioni vegetali	cad.	€ 700,00	36	1	€ 25.200,00
	Monitoraggio qualità dell'aria	cad.	€ 150,00	1	1	€ 150,00
IMPORTO TOTALE LAVORI						€ 110.826,49
Altro	Oneri per apprestamenti e sicurezza			5%		€ 5.541,32
	Spese tecniche di progettazione			20%		€ 22.165,30
	Direzione lavori e coordinamento progetto			15%		€ 16.623,97
	Imprevisti e spese generali			7%		€ 7.757,85
IMPORTO TOTALE						€ 162.914,94

Tabella 4. Stima economica (IVA esclusa) per l'esecuzione della Prova Pilota nell'area T (durata totale: 5 anni)

FASE	INTERVENTO	U.M.	COSTO UNITARIO	N.	ha	TOTALE
Attività preliminari di campo	Accantieramento	ha	€ 4.000,00	1	8,0	€ 32.000,00
	Sfalcio della vegetazione esistente	ha	€ 72,10	1	8,0	€ 576,80
	Pulizia delle aree	ha	€ 337,00	1	8,0	€ 2.696,00
Allestimento campo pilota	Aratura	ha	€ 149,90	3	8,0	€ 3.597,60
	Preparazione del letto di semina	ha	€ 129,80	3	8,0	€ 3.115,20
	Fornitura del seme (festuca)	kg	€ 5,81	50	8,0	€ 2.324,00
	Fornitura del seme (medica)	kg	€ 5,81	35	8,0	€ 1.626,80
	Messa a dimora del seme	ha	€ 63,50	3	8,0	€ 1.524,00
	Rullatura post-semina	ha	€ 28,90	3	8,0	€ 693,60
Gestione agronomica campo pilota	Sfalcio della superficie erbosa	ha	€ 72,10	10	8,0	€ 5.768,00
	Sfalcio con decespugliatore	ora	€ 65,20	20	8,0	€ 10.432,00
	Irrigazione di soccorso	ora	€ 88,80	12	8,0	€ 8.524,80
	Diserbo	ha	€ 55,78	4	8,0	€ 1.784,96
Analisi di laboratorio	Analisi agronomiche su campioni di suolo	cad.	€ 150,00	1	1	€ 150,00
	Analisi chimiche su campioni di suolo	cad.	€ 700,00	54	1	€ 37.800,00
	Analisi chimiche su campioni vegetali	cad.	€ 700,00	45	1	€ 31.500,00
	Monitoraggio qualità dell'aria	cad.	€ 150,00	3	1	€ 450,00
IMPORTO TOTALE LAVORI						€ 144.563,76
Altro	Oneri per apprestamenti e sicurezza			5%		€ 7.228,19
	Spese tecniche di progettazione			20%		€ 28.912,75
	Direzione lavori e coordinamento progetto			15%		€ 21.684,56
	Imprevisti e spese generali			7%		€ 10.119,46
IMPORTO TOTALE						€ 212.508,73

Nella seguente Tabella 5 si riporta una stima generale del quadro economico complessivo per l'esecuzione della prova pilota nelle aree ART per una durata totale di 5 anni.

Tabella 5. Stima economica complessiva (IVA esclusa) per l'esecuzione della prova pilota nelle aree ART (5 anni)

Campo	Attività preliminari	Allestimento	Gestione	Analisi	Rifiuti	Altro	TOTALE
A	€ 18.077	€ 6.889	€ 51.046	€ 69.900	€ 3.280	€ 70.120	€ 219.313
R	€ 24.250	€ 3.644	€ 19.632	€ 63.300	€ -	€ 52.088	€ 162.915
T	€ 35.273	€ 12.881	€ 26.510	€ 69.900	€ -	€ 67.945	€ 212.509
							€ 594.736

*** SEZIONE D: LINEE GUIDA ***

16 Linee guida per l'applicazione estesa alle aree agricole all'interno del SIN

I risultati della fase sperimentale hanno dunque mostrato una rilevante efficacia nell'azione biodegradativa dei microrganismi autoctoni presenti nei suoli di queste aree stimolata da alcune piante nei confronti dei contaminanti organici in studio (noti per essere particolarmente persistenti), permettendo pertanto di affermare il successo della sperimentazione delle tecniche di biorimediazione basate sulla piantumazione di specie vegetali in grado di sostenere e favorire un'attività biodegradativa a livello rizosferico (*rhizoremediation*).

Allo stato attuale delle conoscenze, un intervento di *rhizoremediation* basato sulle indicazioni riportate nelle Linee Guida Scientifiche e secondo le modalità operative descritte nella sezione C del presente documento ("applicazione ART") potrebbe portare alla bonifica dei suoli agricoli del SIN Brescia-Caffaro in un tempo stimabile compreso tra 70 e 90 anni per i PCB e tra i 30 e i 50 anni per diossine e furani (Tavole 9a e 9b).

L'obiettivo di questo progetto è quindi di ottimizzare il trasferimento tecnologico di questi risultati attraverso la Prova Pilota e il Laboratorio Permanente, confermando, o se possibile riducendo attraverso l'interpolazione di tutte le informazioni ottenute in corso d'opera, le previsioni teoriche stimate. L'area totale da bonificare presenta una superficie totale di 54,9 ha come riportato in Tabella 6.

Tabella 6. Ripartizione delle aree agricole all'interno del SIN

A	R	T	Laboratorio Permanente	Altre aree agricole SIN	Boschi
4,1 ha	5,5 ha	8,0 ha	1 ha	36,3 ha	9,3 ha
<i>Totale area ART: 17,6 ha</i>					
<i>Totale area da bonificare: 54,9 ha</i>					
<i>Totale aree agricole interne al SIN: 64,2 ha</i>					

Pertanto, ipotizzando una durata media dell'intervento di 60 anni per raggiungere gli obiettivi di bonifica, l'estensione *full scale* della proposta metodologica potrà seguire uno schema (a cicli quinquennali) come riportato in Tabella 7:

Tabella 7. Schema di applicazione full scale dell'intervento di bonifica

CICLI QUINQUENNALI	ANNO	LAB PERMANENTE (1 ha)	ART (17,6 ha)	AREE AGRICOLE (36,3 ha)
I CICLO	I	SPERIMENTAZIONE	PROVA PILOTA	
	II			
	III			
	IV			
	V			
II CICLO	I		Applicazione della tecnica migliore	Caratterizzazione
	II			Applicazione full scale della tecnica migliore
	III		Monitoraggio	Monitoraggio
	IV			
	V			
III CICLO - XII CICLO	I		Applicazione della tecnica migliore	Applicazione full scale della tecnica migliore
	II			
	III		Monitoraggio/Collaudo	Monitoraggio/Collaudo
	IV			
	V			

Nello specifico:

- **LABORATORIO PERMANENTE:**

come descritto nei capitoli precedenti (vedi par. 11.1.4), il Laboratorio Permanente avrà un'estensione di ca. 1 ha e sarà ricavato all'interno dell'area A; quest'area verrà impiegata per consentire una messa a punto continuativa della tecnologia applicata finalizzata ad approfondire le conoscenze sito-specifiche e, eventualmente, apportare modifiche e/o integrazioni agli interventi in corso d'opera. Il Laboratorio Permanente seguirà un disegno sperimentale opportunamente predisposto per una durata complessiva pari alla durata delle operazioni di bonifica sui suoli delle aree agricole (fino al raggiungimento degli obiettivi di bonifica).

- **ART:**

le attività all'interno delle aree ART nel 1° ciclo quinquennale sono state descritte dettagliatamente nei capitoli precedenti (esecuzione della Prova Pilota).

Al termine del 1° ciclo e conseguentemente ai risultati ottenuti durante le fasi di monitoraggio della prova pilota e del laboratorio permanente, verrà selezionato l'intervento migliore tra quelli testati che possa garantire il raggiungimento degli obiettivi di bonifica nei tempi preventivati o, possibilmente, in tempi più brevi. Pertanto, a partire dal 2° ciclo, sarà previsto un monitoraggio quinquennale (T₁₀, T₁₅, T₂₀, ecc.) per verificare lo stato di avanzamento del processo di bonifica dei suoli.

Una volta raggiunti gli obiettivi di bonifica, verrà predisposto il collaudo della bonifica le cui modalità saranno oggetto di uno specifico protocollo da condividere con gli Enti e che dovrà attestare l'avvenuto raggiungimento degli obiettivi di bonifica.

Nella simulazione riportata in Tabella 7 si ipotizza una durata complessiva dell'intervento pari a circa 60 anni.

- **AREE AGRICOLE:**

nei successivi paragrafi viene descritta nel dettaglio la sequenza degli interventi che si prevede di eseguire per i suoli delle restanti aree agricole interne al SIN.

16.1 Caratterizzazione

Al fine di acquisire i parametri necessari per il dimensionamento di dettaglio dell'intervento, le aree agricole nelle quali sarà valutata l'estensione del protocollo proposto per le aree agricole del SIN dovranno essere oggetto di una specifica caratterizzazione.

Nel presente paragrafo si riporta quindi una proposta di protocollo per le indagini di caratterizzazione propedeutiche all'avvio del procedimento di bonifica in funzione della fitotecnologia scelta: tale attività sarà progettata seguendo la metodica già usata per la sperimentazione descritta in precedenza (vedi par. 8.1).

In linea generale, è possibile suddividere questa attività, della durata complessiva di 12 mesi, in 3 fasi:

FASE 1

Inizialmente sarà opportuno valutare la disponibilità dei proprietari terrieri a siglare accordi per la gestione delle aree oggetto del procedimento di bonifica. Il coinvolgimento degli agricoltori è un obiettivo fondamentale del percorso di bonifica che ERSAF ha avviato nel territorio e che intende sviluppare ulteriormente ricostruendo, per quanto possibile, un rapporto di reciproca fiducia tra chi da sempre lavora i terreni posti nel SIN e le istituzioni dalle quali gli imprenditori agricoli negli ultimi si sono sentiti, a torto o a ragione, abbandonati.

L'obiettivo di questa fase sarà quello di identificare e caratterizzare subaree omogenee tra le aree agricole al fine di identificare situazioni tipiche di uso del suolo e poter correlare l'uso del suolo alla potenziale contaminazione; per tale scopo sarà utile reperire informazioni sulla storia colturale delle diverse aree (foto aree, indagini dirette, ecc.).

FASE 2

Durante questa fase sarà opportuno indagare il profilo di concentrazione dei contaminanti lungo la verticale all'interno di ciascuna subarea identificata in Fase 1. I principali parametri da considerare per questa fase di campionamento sono:

- schema di campionamento: densità di almeno 1 punto di prelievo ogni 2 ha;
- costituzione del campione: miscelazione e omogeneizzazione di 3 subcampioni per punto;
- profondità: 7 campioni, lungo la stessa verticale, per ogni punto, a diversi intervalli (0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm; 30-40 cm; 40-60 cm; 60-80 cm; 80-100 cm); potrebbe essere valutata una proposta semplificata che distingua solo 2 intervalli (0-40 cm; 40-100 cm).
- contaminanti analizzati: PCB, diossine e furani; arsenico e mercurio.

FASE 3

In questa fase verrà investigata l'estensione e la distribuzione della contaminazione nei suoli all'interno di ciascuna subarea identificata in Fase 1. I principali parametri da considerare per questa fase di campionamento sono:

- schema di campionamento: i campioni vengono prelevati secondo uno schema regolare in punti definiti da una griglia con maglia 50x50 m;
- costituzione del campione: miscelazione e omogeneizzazione di 5 subcampioni per punto;
- profondità: in base ai risultati ottenuti nella precedente Fase 2;
- contaminanti analizzati: PCB, diossine e furani; arsenico e mercurio.

16.2 Opere propedeutiche

Prima di avviare le attività strettamente connesse con il procedimento di bonifica dei suoli, sarà opportuno eseguire alcune operazioni di pulizia dell'area da sottoporre a bonifica. Come detto in precedenza, i suoli agricoli oggetto del procedimento di bonifica sono attualmente coperti da vegetazione spontanea la cui crescita è stata periodicamente controllata attraverso sfalci eseguiti da ERSAF e da proprietari. Di seguito si riportano le principali attività da svolgere:

- delimitazione del cantiere attraverso l'impiego di cartelloni segnaletici e messa in sicurezza delle vie di accesso; considerate le dimensioni delle aree, non si prevede l'impiego

di recinzioni per la delimitazione delle aree. Il personale addetto alla gestione della bonifica sarà opportunamente istruito e dotato dei DPI necessari. Inoltre, i mezzi impiegati nel processo dovranno essere sottoposti a pulizia delle ruote prima di uscire dalle aree sottoposte a bonifica;

- individuazione di piazzali di deposito temporaneo del materiale di risulta prodotto nel corso del procedimento di bonifica;
- sfalcio e rimozione della vegetazione presente al fine di ripulire l'intera area e le relative vie di accesso;
- rimozione di pietre ed eventuali residui industriali o materiali inerti che potrebbero impedire la crescita delle radici delle specie vegetali impiegate;
- smaltimento del materiale rimosso e conferimento come rifiuto presso aree idonee preventivamente indicate nel rispetto della normativa vigente.

16.3 Principali interventi

Durante questa fase, in linea con quanto avverrà a partire dal 2° ciclo quinquennale sulle aree ART, verranno eseguite lavorazioni e pratiche agronomiche allo scopo di creare le condizioni ottimali per lo sviluppo vegetale delle specie selezionate.

Come indicato nei capitoli precedenti, la selezione delle specie vegetali e della tecnica colturale ottimali per massimizzare l'efficacia del trattamento fitotecnologico saranno valutate in seguito ai risultati ottenuti nelle diverse fasi di monitoraggio della prova pilota nelle aree ART e del Laboratorio Permanente. Tale valutazione terrà conto, oltre che evidentemente delle migliori *performances* di riduzione dei contaminanti nel suolo, anche di aspetti logistici, agronomici ed economici che possano permettere un'applicazione efficace su larga scala.

Allo stato attuale, in attesa di tali considerazioni, è possibile elencare le principali operazioni colturali che dovranno essere eseguite per favorire lo sviluppo vegetale e che saranno poi opportunamente adattate sulla base delle caratteristiche sito-specifiche e in funzione di eventuali criticità che potrebbero influenzare la futura crescita vegetale:

▪ Aratura

Il rivoltamento del terreno attraverso arature profonde favorisce l'areazione degli strati sottosuperficiali e consente un'ulteriore pulizia da altri residui emersi. Sarà quindi sempre opportuno eseguire arature profonde (circa 40 cm) con interrimento dei residui vegetali della coltura precedente; inoltre, laddove necessario, si provvederà in questa fase a fornire gli elementi nutritivi necessari attraverso una concimazione di fondo.

▪ Preparazione del letto di semina

Saranno eseguite operazioni agronomiche (erpatura, fresatura, livellamento) per preparare un adeguato letto di semina che favorisca un contatto ottimale seme-terreno e una profondità di semina uniforme e favorire così lo sviluppo vegetale delle specie selezionate.

▪ Messa a dimora

Una volta preparato il suolo, si procede quindi alla piantumazione delle specie vegetali selezionate. A tale scopo, in accordo con le buone pratiche agronomiche, saranno individuati i sesti di impianto e l'epoca di semina ottimali per ciascuna coltura al fine di favorire lo sviluppo vegetale e ridurre gli interventi colturali nel corso del ciclo naturale di crescita delle piante. In linea generale, saranno adottate densità di impianto elevate per aumentare la superficie coperta.

Nel caso specifico delle specie vegetali impiegate per la prova pilota, si raccomandano le seguenti specifiche disposizioni:

- *Festuca*: semina autunnale (settembre/ottobre);
- *Medica*: semina invernale;
- *Zucca*: semina primaverile.

▪ Cure colturali

A seconda della coltura in atto si provvederà ad eseguire le operazioni agronomiche necessarie per favorire la crescita.

Nel caso specifico delle specie vegetali impiegate per la prova pilota, si raccomandano le seguenti specifiche disposizioni:

- *Festuca*: se in primavera si verifica un'eccessiva presenza di infestanti si potrà intervenire con un diserbo selettivo prima del I sfalcio;
- *Zucca*: può risultare opportuno eseguire intense cure colturali come diradamento, sarchiature, zappature e trattamenti anticrittogamici.

▪ Raccolta

Al fine di rinvigorire la pianta e favorirne lo sviluppo e la diffusione radicale risultano fondamentali le attività cicliche di sfalcio per le specie erbacee. Il materiale vegetale sfalcato e opportunamente trinciato (per evitare l'effetto pacciamante) verrà lasciato sul campo senza la necessità di smaltirlo all'esterno delle aree oggetto di bonifica.

Nel caso specifico delle specie vegetali impiegate per la prova pilota, si raccomandano le seguenti specifiche disposizioni:

- *Festuca*: almeno 3 sfalci (primavera, estate e autunno) con una trinciatura alta in modo da lasciare pochi residui vegetali sul terreno che rischierebbero di soffocare la *Festuca*;
- *Medica*: vista l'assenza di esigenze produttive all'interno di questo progetto, si prevedono solo 2 sfalci all'anno.
- *Zucca*: anche in questo caso, vista l'assenza di esigenze produttive, si valuterà la soluzione più opportuna per favorire lo sviluppo della pianta e promuoverne, quindi, la capacità biodegradativa, riducendo però i limiti tecnici ed economici legati alla produzione di frutti da parte delle piante.

▪ Irrigazione

Allo stato attuale non è possibile utilizzare il sistema delle rogge in quanto con ordinanza sindacale ne è stato vietato l'utilizzo a fini irrigui; l'attuazione del progetto di messa in sicurezza delle rogge permetterebbe il ritorno alla possibilità di scorrimento dell'acqua della roggia Fiumicella per irrigazione in tutta la superficie agricola del SIN.

Vista la corrente restrizione, nella predisposizione del presente protocollo si è tenuto conto di questo aspetto selezionando specie il cui sviluppo, salvo eccezionali condizioni di siccità, non necessiterebbe di apporti irrigui, ad eccezione della zucca per la cui eventuale coltivazione su larga scala sarebbe opportuno prevedere cicli di irrigazione, soprattutto nelle fasi iniziali della fioritura. Come detto in precedenza, questa prospettiva e le relative implicazioni logistiche ed economiche saranno attentamente valutate nella selezione delle specie vegetali per l'applicazione su larga scala dell'intervento di *bioremediation*.

17 Quadro economico generale

Nel presente capitolo si riporta un prospetto economico di massima relativo ai costi che andrebbero sostenuti nel lungo periodo per la bonifica dei suoli agricoli all'interno del SIN attraverso un intervento di *bioremediation*. Tale prospetto, riportato in Tabella 8, tiene conto dei seguenti fattori:

- **LABORATORIO PERMANENTE:**

Come già espresso in precedenza, il Laboratorio Permanente sarà rappresentato da una superficie di ca. 1 ha all'interno della quale si svolgeranno attività sperimentali in maniera continuativa per tutta la durata delle operazioni di bonifica sui suoli delle aree agricole (fino al raggiungimento degli obiettivi di bonifica); in contemporanea, verranno allestiti anche test sperimentali di laboratorio per la verifica in condizioni controllate. Il disegno sperimentale di tali attività verrà opportunamente predisposto prima dell'allestimento della Prova Pilota in funzione delle esigenze scientifiche e dei vincoli tecnico-applicativi.

Da un punto di vista economico, è ipotizzabile una spesa così modulata:

- primi 2 cicli (totale: 10 anni): 100.000 €/anno
- 3° e 4° ciclo: 50.000 €/anno
- cicli successivi: 20.000 €/anno

Nell'ipotesi descritta in questa sezione, la durata totale dell'intervento sarà di 60 anni.

- **ART:**

La stima economica degli interventi previsti per l'esecuzione della Prova Pilota nelle aree ART (1° ciclo; durata: 5 anni) è riportata nel capitolo 15. Come detto in precedenza, a partire dal 2° ciclo si procederà con l'applicazione dell'intervento selezionato fino al raggiungimento degli obiettivi di bonifica per ciascuna delle 3 aree.

Nel complesso è ipotizzabile una spesa così modulata:

- 1° ciclo (esecuzione della prova pilota): 120.000 €/anno
- cicli successivi (applicazione dell'intervento selezionato): 70.000 €/anno

La riduzione dei costi a partire dal 2° ciclo è legata, prevalentemente, allo sfruttamento di strutture già installate (materiale di accantieramento, impianto di irrigazione, ecc.) e al ridimensionamento del piano di monitoraggio dell'avanzamento della bonifica (da annuale a quinquennale).

Nell'ipotesi descritta in questa sezione, la durata totale dell'intervento sarà di 60 anni.

- **AREE AGRICOLE:**

La proiezione degli interventi da eseguire sulle restanti aree agricole interne al SIN per la bonifica dei suoli contaminati prevede un'ipotesi di spesa così modulata:

- 1° ciclo: non saranno eseguite attività
- 2° ciclo (caratterizzazione delle aree come da par. 16.1 e susseguente avvio delle attività di bonifica): 150.000 €/anno
- cicli successivi (esecuzione *full scale* dell'intervento di bonifica): 140.000 €/anno

Nell'ipotesi descritta in questa sezione, la durata totale dell'intervento sarà di 60 anni.

Dal prospetto finora descritto sono esclusi i seguenti fattori:

- Eventuale acquisto dei terreni da sottoporre a bonifica.
- Spese di collaudo per la verifica del raggiungimento degli obiettivi di bonifica.

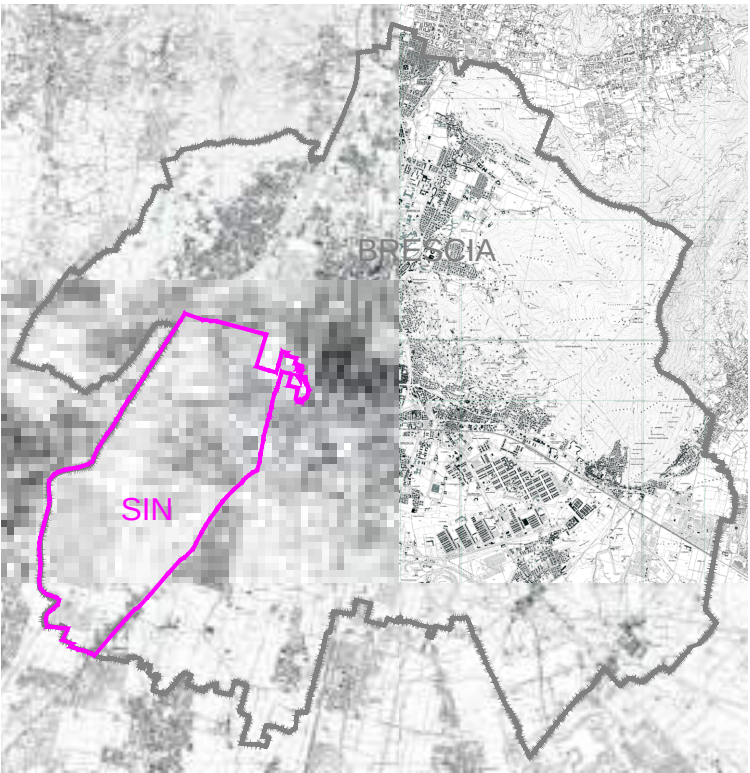
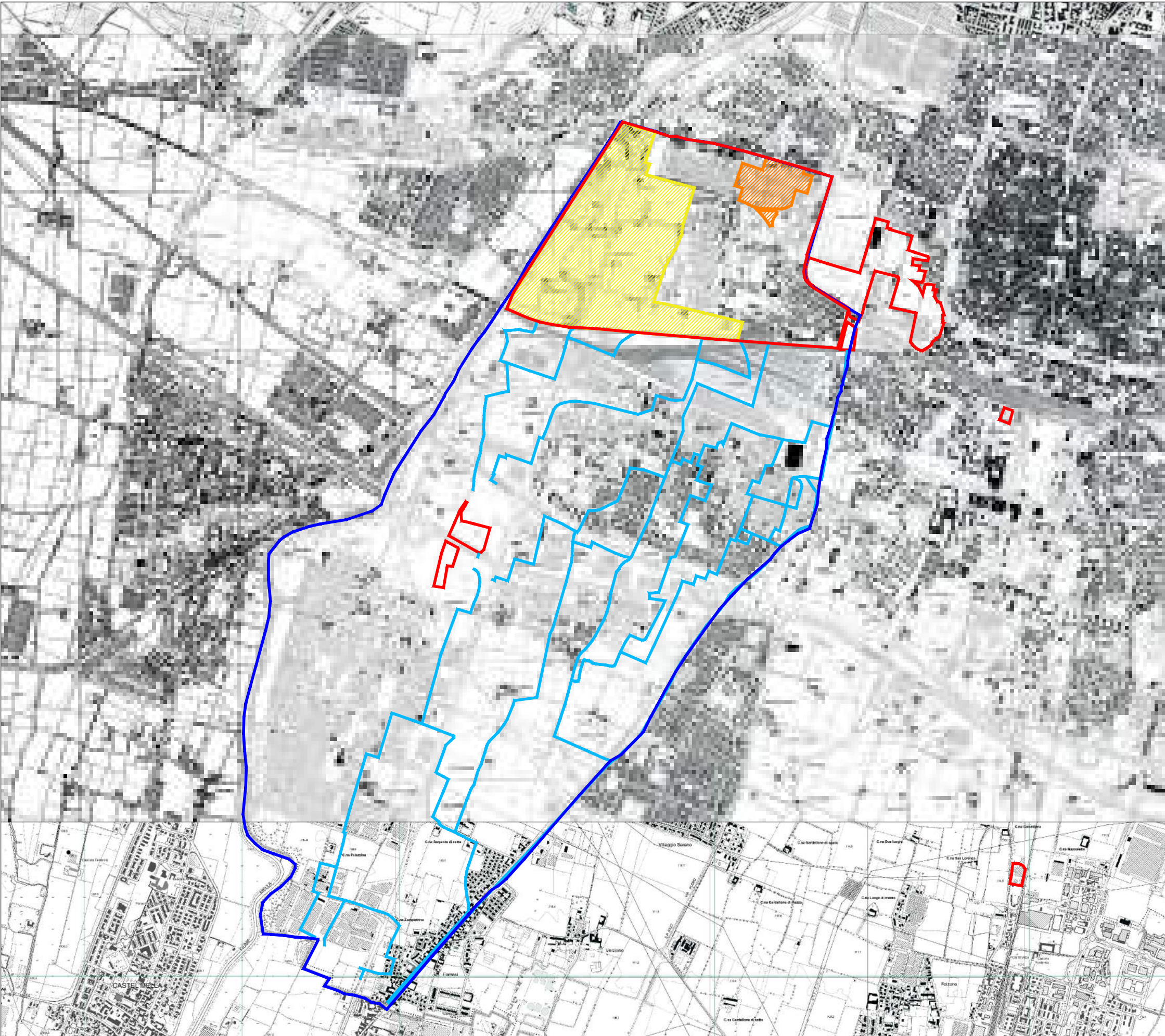
Tabella 8. Prospetto economico (IVA esclusa) per la bonifica mediante rhizoremediation dei suoli agricoli del SIN

CICLI QUINQUENNALI	LAB PERMANENTE (1 ha)	ART (17,6 ha)	AREE AGRICOLE (36,3 ha)	TOTALE (54,9 ha)
I	<i>sperimentazioni</i> € 500.000	<i>prova pilota</i> € 600.000		€ 1.100.000
II	<i>sperimentazioni</i> € 500.000	<i>full scale</i> € 350.000	<i>caratterizzazione+full scale</i> € 750.000	€ 1.600.000
III-XII	<i>sperimentazioni</i> € 1.300.000	<i>full scale</i> € 3.500.000	<i>full scale</i> € 7.000.000	€ 11.800.000
				€ 14.500.000

18 Bibliografia

- Alkorta I., Becerril JM. and Garbisu C., 2010. Phytostabilization of Metal contaminated soils. *Reviews on Environmental Health* vol 25(2):135-146.
- Azaizeh H., Castro PML. and Kidd P., 2011. Biodegradation and rhizoremediation of xenobiotics using rhizospheric bacteria, in: *Organic Xenobiotics and Plants: from mode of actions to ecophysiology*. P Shroeder, CD Collins eds., Springer Science and Business Media, pp.191-216.
- Azubuiké CC., Chikere CB., Okpokwasili GC., 2016. Bioremediation techniques classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects. *World J Microbiol Biotechnol*; 32(11):180.
- Chaudhry Q., Blom-Zandstra M., Gupta S. and Joner EJ., 2005. Utilizing the synergy between plants and rhizosphere microorganisms to enhance break down of organic pollutants in the environment. *Environ Sci Pollut Res Int*. 12:34-48.
- Chhikara S., Paulose B., White JC. and Dhankher OP., 2010. Understanding the Physiological and Molecular Mechanism of Persistent Organic Pollutant Uptake and Detoxification in Cucurbit Species (Zucchini and Squash). *Environ. Sci. Technol*. 44: 7295-7301.
- Fester T., Giebler J., Wick LY., Schlosser D. and Kastner M., 2014. Plant-microbe interactions as drivers of ecosystem functions relevant for the biodegradation of organic contaminants. *Curr. Opin. Biotechnol*. 27:168-175.
- ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council), 2009. *Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees*, Revised. PHYTO-3. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Phytotechnologies Team, Tech Reg Update.
- NRC National Research Council, 2002. *Bioavailability of contaminants in soils and sediments: processes, tools and applications*. National Academies, Washington, DC.
- USEPA, 2001. *Evaluation of Phytoremediation for Management of Chlorinated Solvents in Soil and Groundwater*, EPA 542-R-05-001.
- USEPA, 2006. *Reference Guide to Non-combustion Technologies for Remediation of Persistent Organic Pollutants in Stockpiles and Soil*, EPA-542-R-05-006.
- Van Liedekerke M., Prokop G., Rabl-Berger S., Kibblewhite M., Lowagie G., 2014. *Progress in the Management of Contaminated Sites in Europe*, EUR 26376.

TAVOLE

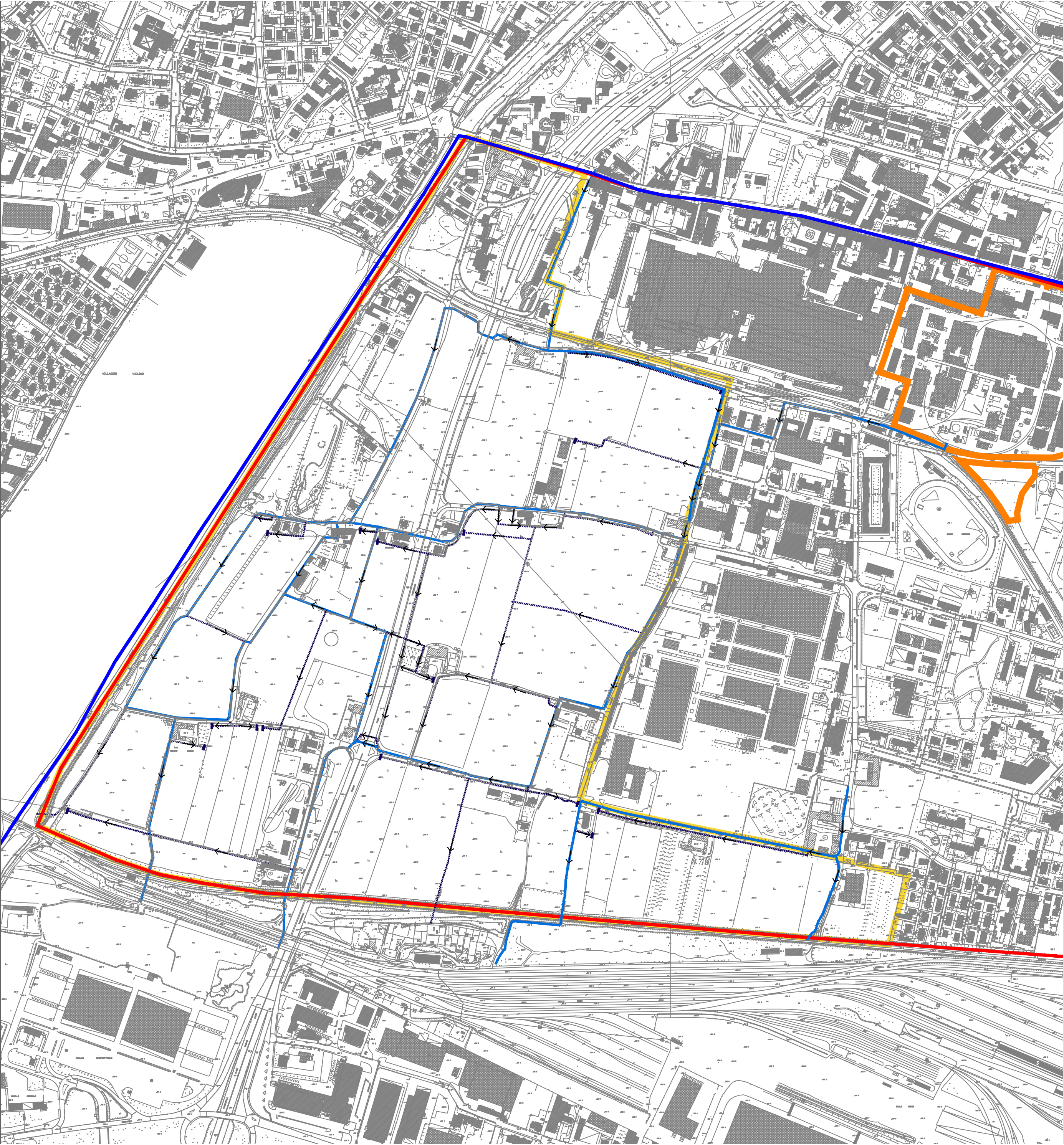


- Legenda
- Stabilimento Caffaro
 - Confine aree agricole
 - Confine SIN terreni
 - Confine SIN falda
 - Tracciato rogge del SIN

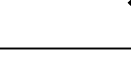
1	07/02/2019	Crescini	Anelli / lavazzo	Nastasio
0	21/12/2018	Crescini	Anelli / lavazzo	Nastasio
Revisione	Data	Disegnato	Verificato	Approvato

Preparato da:	 ERSAF - ENTE REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE Via Pella, 12 - 20124 Milano - tel. (+039) 02/67406.1 - fax (+039) 02/67404.269 www.ersaf.lombardia.it - chiedteersaf@ersaf.lombardia.it P.E.C.: ersaf@ersaf.lombardia.it C.F./P.IVA 03693030969
---------------	---

Committente:	Regione Lombardia "incarico prot. T1.2013.0005485 del 14/03/2013"		
Progetto:	Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro		
Sito:	Aree agricole iscritte nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale "Brescia-Caffaro"		
Rif. Prg.	Prg: AdP 29/09/2009, Fase 2, Azione E		
Elaborato:	Protocollo operativo per la progettazione degli interventi di bonifica con tecniche di bioremediation sui terreni delle agricole del SIN Brescia-Caffaro		
Tavola N.	Titolo:		
1	Inquadramento		
Orientamento	Scala	Formato	
	1:25000 0 500 1000 m	A3	

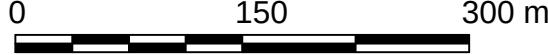


Legenda

-  Sito Caffaro
-  Confine aree agricole
-  Confine SIN terreni
-  Confine SIN falda
-  Rogge
-  Fossi adacquatori
-  Direzione di scorrimento

1	07/02/2019	Crescini	Anelli/Iavazzo	Nastasio
0	21/12/2018	Crescini	Anelli/Iavazzo	Nastasio
Revisione	Data	Disegnato	Verificato	Approvato

Preparato da:	 ERSAF – ENTE REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE Via Pola, 12 – 20124 Milano – tel. (+039) 02.67404.1 – fax (+039) 02.67404.299 www.ersaf.lombardia.it – chiediloaersaf@ersaf.lombardia.it P.E.C. : ersaf@pec.regione.lombardia.it C.F./P.IVA 03609320969
---------------	---

Committente:	Regione Lombardia “incarico prot. T1.2013.0005485 del 14/03/2013”		
Progetto:	Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro		
Sito:	Aree agricole iscritte nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale “Brescia-Caffaro”		
Rif. Prg.	Prg: AdP 29/09/2009, Fase 2, Azione E		
Elaborato:	Protocollo operativo per la progettazione degli interventi di bonifica con tecniche di bioremediation sui terreni delle agricole del SIN Brescia-Caffaro		
Tavola N.	Titolo:		
2	Reticolo delle rogge		
Orientamento	Scala	Formato	
	1:5000 	A2	



Legenda

Sito Caffaro

Confine aree agricole

Confine SIN terreni

Area A

Area R

Area T

1	07/02/2019	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
0	21/12/2018	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
Revisione	Data	Disegnato	Verificato	Approvato

Preparato da:

ERSAF

ENTRATA REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE

REGIONE LOMBARDIA

ERSAF - ENTE REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE

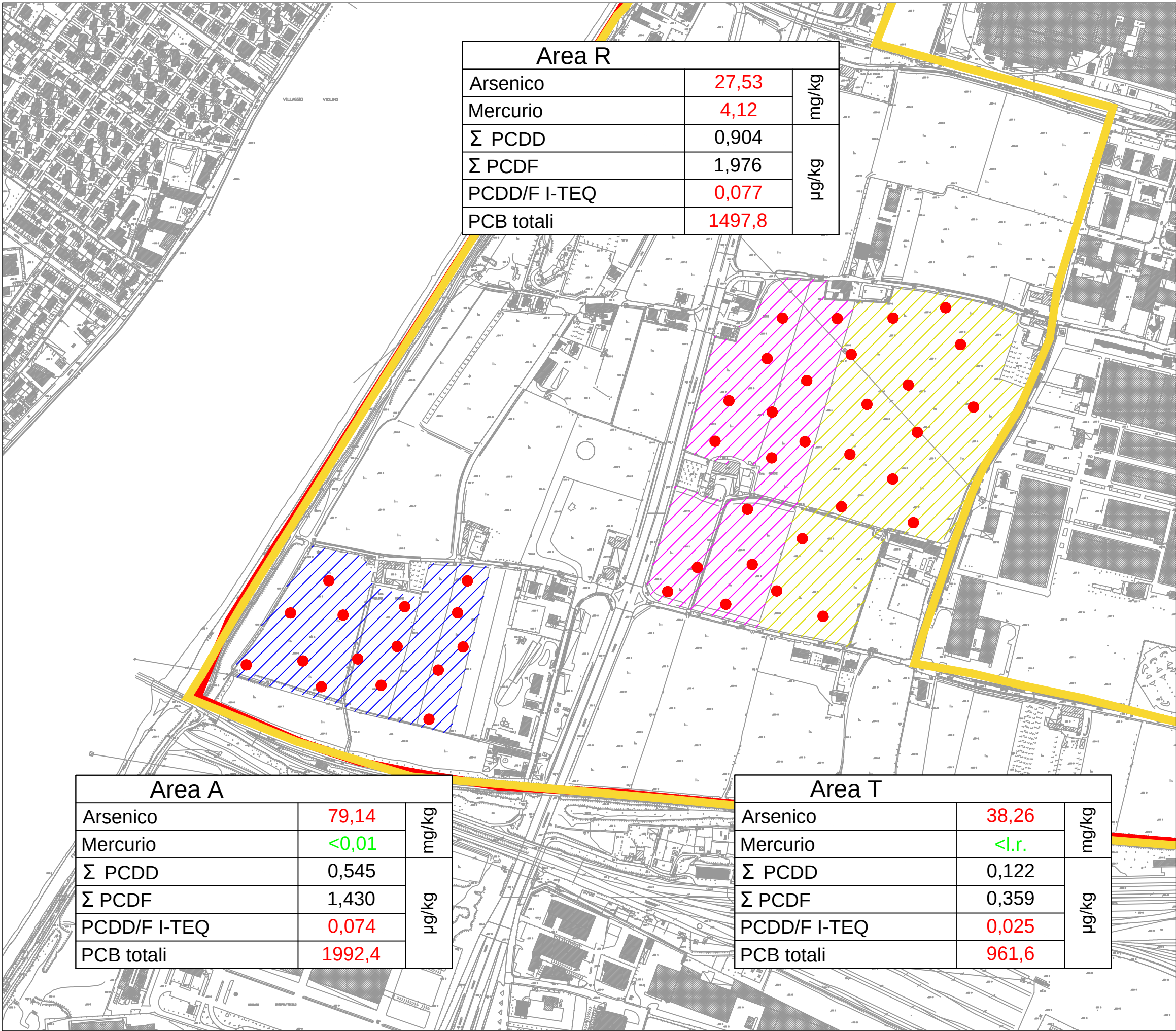
Via P.le 12 - 20124 Milano - Tel. (+39) 02/67404.1 - Fax (+39) 02/67404.299

www.ersaf.lombardia.it - ersaf@ersaf.lombardia.it

P.E.C. ersaf@ersaf.lombardia.it

C.F./P.A. 0360020969

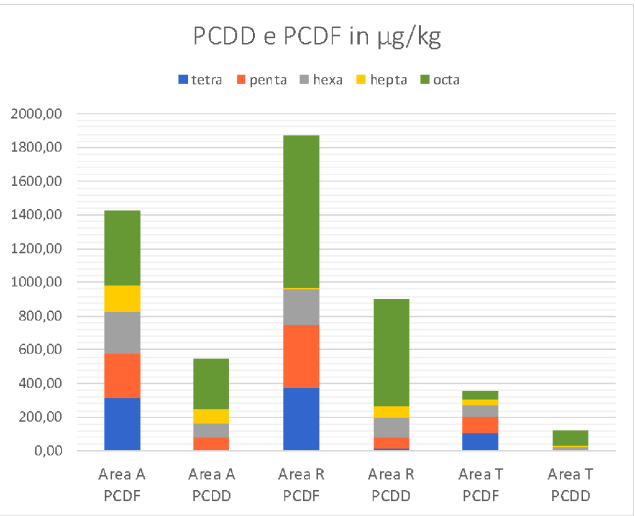
Committente:	Regione Lombardia "incarico prot. T1.2013.0005485 del 14/03/2013"		
Progetto:	Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro		
Sito:	Aree agricole iscritte nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale "Brescia-Caffaro"		
Rif. Prg.	Prg: AdP 29/09/2009, Fase 2, Azione E		
Elaborato:	Protocollo operativo per la progettazione degli interventi di bonifica con tecniche di bioremediation sui terreni delle agricole del SIN Brescia-Caffaro		
Tavola N.	Titolo:		
3	Ubicazione aree A, R e T		
Orientamento	Scala	Formato	
	1:5.500 0 100 200 m	A3	



Area R		
Arsenico	27,53	mg/kg
Mercurio	4,12	
Σ PCDD	0,904	µg/kg
Σ PCDF	1,976	
PCDD/F I-TEQ	0,077	
PCB totali	1497,8	

Area A		
Arsenico	79,14	mg/kg
Mercurio	<0,01	
Σ PCDD	0,545	µg/kg
Σ PCDF	1,430	
PCDD/F I-TEQ	0,074	
PCB totali	1992,4	

Area T		
Arsenico	38,26	mg/kg
Mercurio	<l.r.	
Σ PCDD	0,122	µg/kg
Σ PCDF	0,359	
PCDD/F I-TEQ	0,025	
PCB totali	961,6	



Legenda

[in rosso] Concentrazione superiore alle CSC residenziali D.Lgs. 152/06

Area R		
Arsenico	27,53	mg/kg
Mercurio	<l.r.	
Σ PCDD	0,904	µg/kg
Σ PCDF	1,976	
PCDD/F I-TEQ	0,077	
PCB totali	1497,8	

Concentrazione inferiore ai limiti di determinazione analitica

Sito Caffaro

Confine aree agricole

Confine SIN terreni

Area A

Area R

Area T

Punti di campionamento Fase 1 (campioni elementari)

1	07/02/2019	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
0	21/12/2018	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
Revisione	Data	Disegnato	Verificato	Approvato

Preparato da:	..gmaps/logo.jpg	ERSAF – ENTE REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE Via P.le 12 – 20124 Milano – tel. (+039) 02/67406.1 – fax (+039) 02/67404.269 www.ersaf.lombardia.it – chiedteersaf@ersaf.lombardia.it P.E.C.: ersaf@pec.regione.lombardia.it C.F./P.IVA 03693020969
---------------	------------------	--

Committente:	Regione Lombardia "incarico prot. T1.2013.0005485 del 14/03/2013"
Progetto:	Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro
Sito:	Aree agricole iscritte nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale "Brescia-Caffaro"
Rif. Prg.	Prg: AdP 29/09/2009, Fase 2, Azione E
Elaborato:	Protocollo operativo per la progettazione degli interventi di bonifica con tecniche di bioremediation sui terreni delle agricole del SIN Brescia-Caffaro

Tavola N.

4

Titolo:

Risultati della caratterizzazione – fase 1

Orientamento

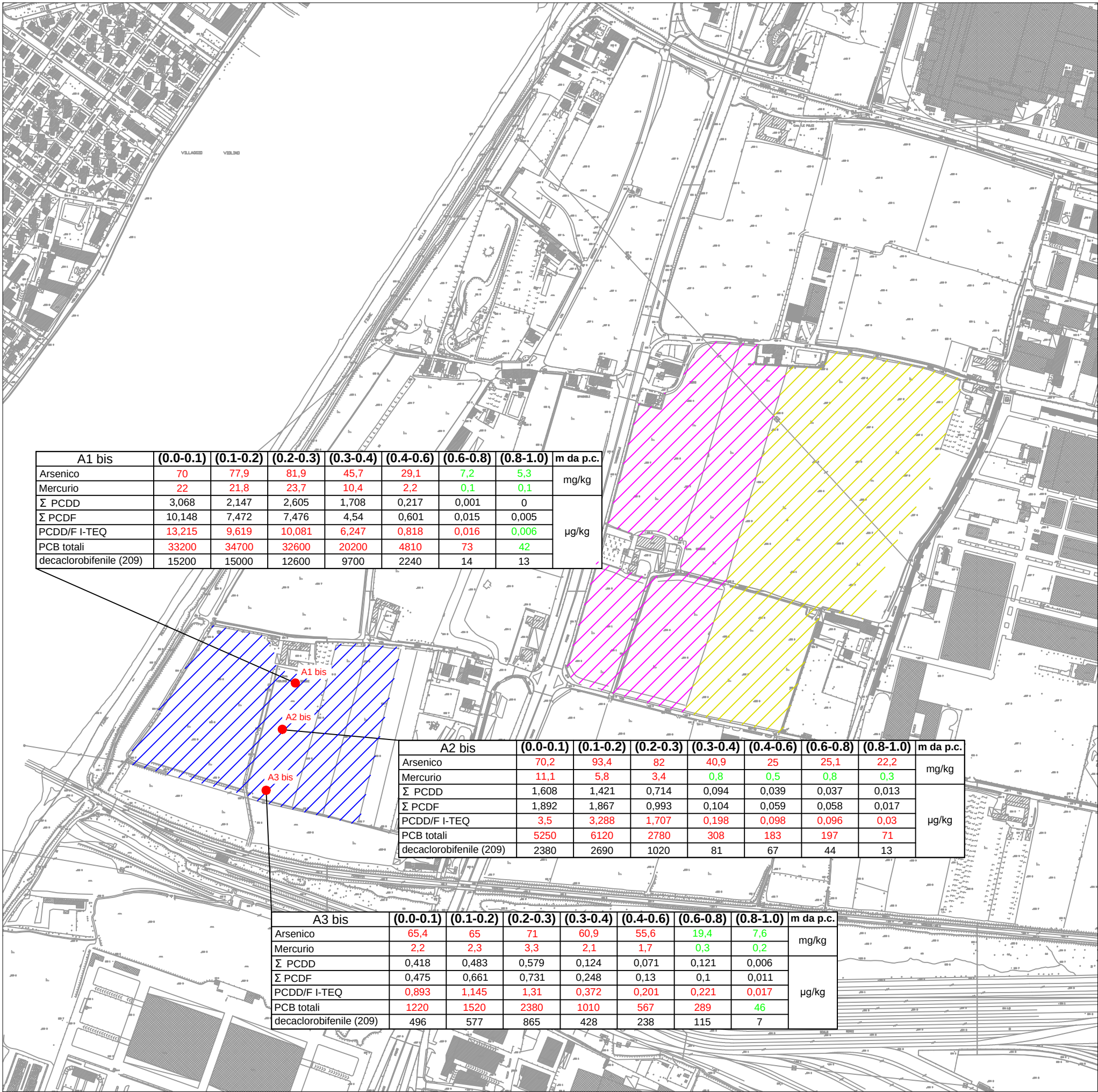
Scala

1:5000

0 100 200 m

Formato

A3



A1 bis	(0.0-0.1)	(0.1-0.2)	(0.2-0.3)	(0.3-0.4)	(0.4-0.6)	(0.6-0.8)	(0.8-1.0)	m da p.c.
Arsenico	70	77,9	81,9	45,7	29,1	7,2	5,3	mg/kg
Mercurio	22	21,8	23,7	10,4	2,2	0,1	0,1	
Σ PCDD	3,068	2,147	2,605	1,708	0,217	0,001	0	µg/kg
Σ PCDF	10,148	7,472	7,476	4,54	0,601	0,015	0,005	
PCDD/F I-TEQ	13,215	9,619	10,081	6,247	0,818	0,016	0,006	
PCB totali	33200	34700	32600	20200	4810	73	42	
decaclorobifenile (209)	15200	15000	12600	9700	2240	14	13	

A2 bis	(0.0-0.1)	(0.1-0.2)	(0.2-0.3)	(0.3-0.4)	(0.4-0.6)	(0.6-0.8)	(0.8-1.0)	m da p.c.
Arsenico	70,2	93,4	82	40,9	25	25,1	22,2	mg/kg
Mercurio	11,1	5,8	3,4	0,8	0,5	0,8	0,3	
Σ PCDD	1,608	1,421	0,714	0,094	0,039	0,037	0,013	µg/kg
Σ PCDF	1,892	1,867	0,993	0,104	0,059	0,058	0,017	
PCDD/F I-TEQ	3,5	3,288	1,707	0,198	0,098	0,096	0,03	
PCB totali	5250	6120	2780	308	183	197	71	
decaclorobifenile (209)	2380	2690	1020	81	67	44	13	

A3 bis	(0.0-0.1)	(0.1-0.2)	(0.2-0.3)	(0.3-0.4)	(0.4-0.6)	(0.6-0.8)	(0.8-1.0)	m da p.c.
Arsenico	65,4	65	71	60,9	55,6	19,4	7,6	mg/kg
Mercurio	2,2	2,3	3,3	2,1	1,7	0,3	0,2	
Σ PCDD	0,418	0,483	0,579	0,124	0,071	0,121	0,006	µg/kg
Σ PCDF	0,475	0,661	0,731	0,248	0,13	0,1	0,011	
PCDD/F I-TEQ	0,893	1,145	1,31	0,372	0,201	0,221	0,017	
PCB totali	1220	1520	2380	1010	567	289	46	
decaclorobifenile (209)	496	577	865	428	238	115	7	



Legenda

Sito Caffaro

Confine aree agricole

Confine SIN terreni

Area A

Area R

Area T

Punti di campionamento Fase 2

Legenda concentrazioni

27,53

[in rosso]

Concentrazione superiore alle CSC residenziali D.Lgs. 152/06

0,1

[in verde]

Concentrazione inferiore alle CSC residenziali D.Lgs. 152/06

0,418

[in nero]

Concentrazione non confrontabile con limiti di legge

1	07/02/2019	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
0	21/12/2018	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
Revisione	Data	Disegnato	Verificato	Approvato

Preparato da:

ERSAF

REGIONE LOMBARDIA

ERSAF - ENTE REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE

Via P.le 12 - 20124 Milano - Tel. (+02) 02/67406.1 - Fax (+02) 02/67404.269

www.ersaf.lombardia.it - info@ersaf.lombardia.it

P.E.C. email@ersaf.lombardia.it

C.F./P.IVA 03693020969

Committente:	Regione Lombardia "incarico prot. T.1.2013.0005485 del 14/03/2013"
Progetto:	Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro
Sito:	Aree agricole iscritte nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale "Brescia-Caffaro"
Rif. Prg.	Prg: AdP 29/09/2009, Fase 2, Azione E
Elaborato:	Protocollo operativo per la progettazione degli interventi di bonifica con tecniche di bioremediation sui terreni delle agricole del SIN Brescia-Caffaro

Tavola N.5a

Risultati della caratterizzazione Area A - fase 2

Orientamento

Scala

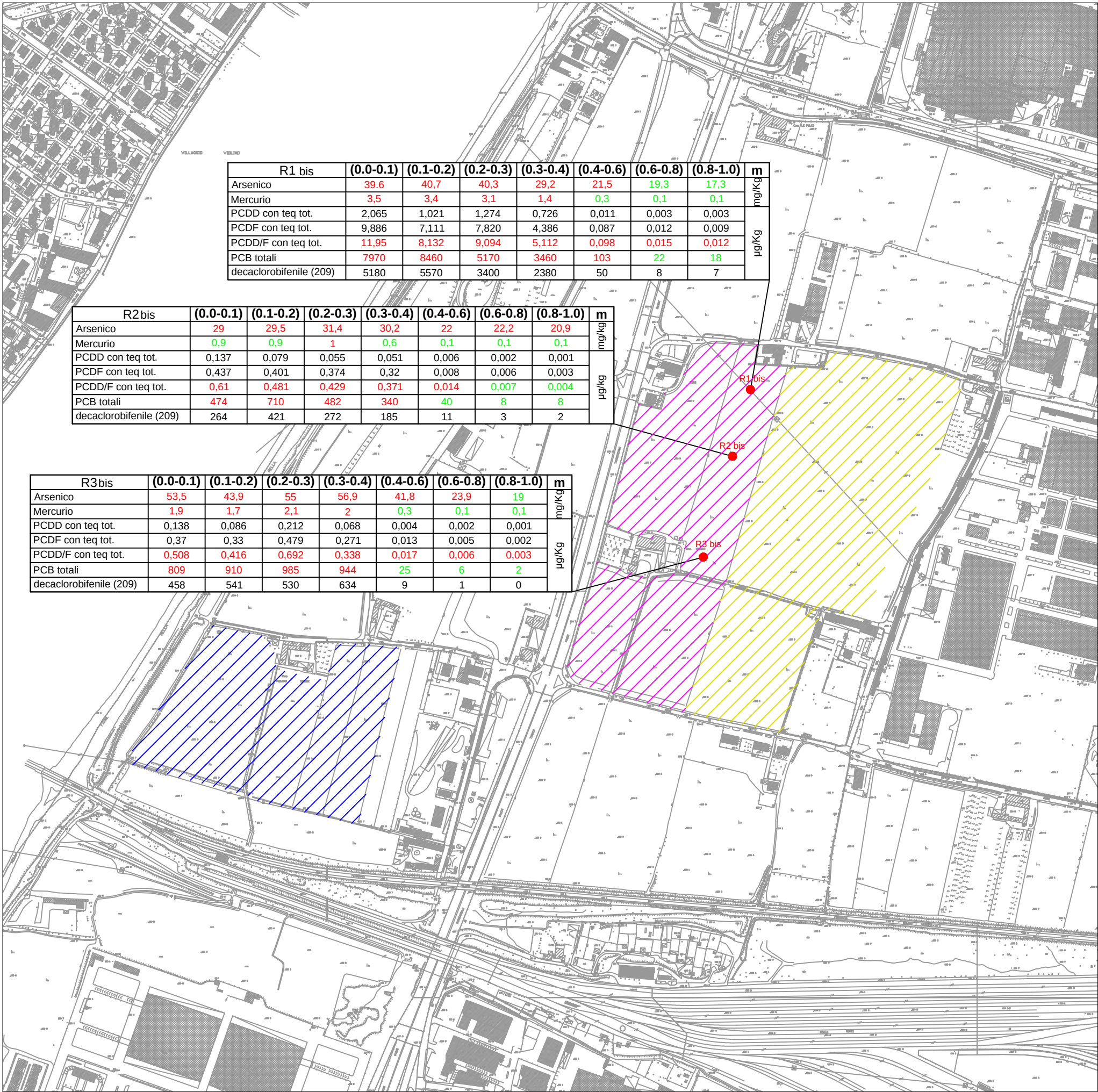
Formato

N

1:5000

0100200 m

A3



R1 bis	(0.0-0.1)	(0.1-0.2)	(0.2-0.3)	(0.3-0.4)	(0.4-0.6)	(0.6-0.8)	(0.8-1.0)	m
Arsenico	39,6	40,7	40,3	29,2	21,5	19,3	17,3	mg/kg
Mercurio	3,5	3,4	3,1	1,4	0,3	0,1	0,1	
PCDD con teq tot.	2,065	1,021	1,274	0,726	0,011	0,003	0,003	µg/kg
PCDF con teq tot.	9,886	7,111	7,820	4,386	0,087	0,012	0,009	
PCDD/F con teq tot.	11,95	8,132	9,094	5,112	0,098	0,015	0,012	
PCB totali	7970	8460	5170	3460	103	22	18	
decaclorobifenile (209)	5180	5570	3400	2380	50	8	7	

R2 bis	(0.0-0.1)	(0.1-0.2)	(0.2-0.3)	(0.3-0.4)	(0.4-0.6)	(0.6-0.8)	(0.8-1.0)	m
Arsenico	29	29,5	31,4	30,2	22	22,2	20,9	mg/kg
Mercurio	0,9	0,9	1	0,6	0,1	0,1	0,1	
PCDD con teq tot.	0,137	0,079	0,055	0,051	0,006	0,002	0,001	µg/kg
PCDF con teq tot.	0,437	0,401	0,374	0,32	0,008	0,006	0,003	
PCDD/F con teq tot.	0,61	0,481	0,429	0,371	0,014	0,007	0,004	
PCB totali	474	710	482	340	40	8	8	
decaclorobifenile (209)	264	421	272	185	11	3	2	

R3 bis	(0.0-0.1)	(0.1-0.2)	(0.2-0.3)	(0.3-0.4)	(0.4-0.6)	(0.6-0.8)	(0.8-1.0)	m
Arsenico	53,5	43,9	55	56,9	41,8	23,9	19	mg/kg
Mercurio	1,9	1,7	2,1	2	0,3	0,1	0,1	
PCDD con teq tot.	0,138	0,086	0,212	0,068	0,004	0,002	0,001	µg/kg
PCDF con teq tot.	0,37	0,33	0,479	0,271	0,013	0,005	0,002	
PCDD/F con teq tot.	0,508	0,416	0,692	0,338	0,017	0,006	0,003	
PCB totali	809	910	985	944	25	6	2	
decaclorobifenile (209)	458	541	530	634	9	1	0	



Legenda

- Sito Caffaro
- Confine aree agricole
- Confine SIN terreni
- Area A
- Area R
- Area T
- Punti di campionamento Fase 2

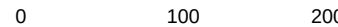
Legenda concentrazioni

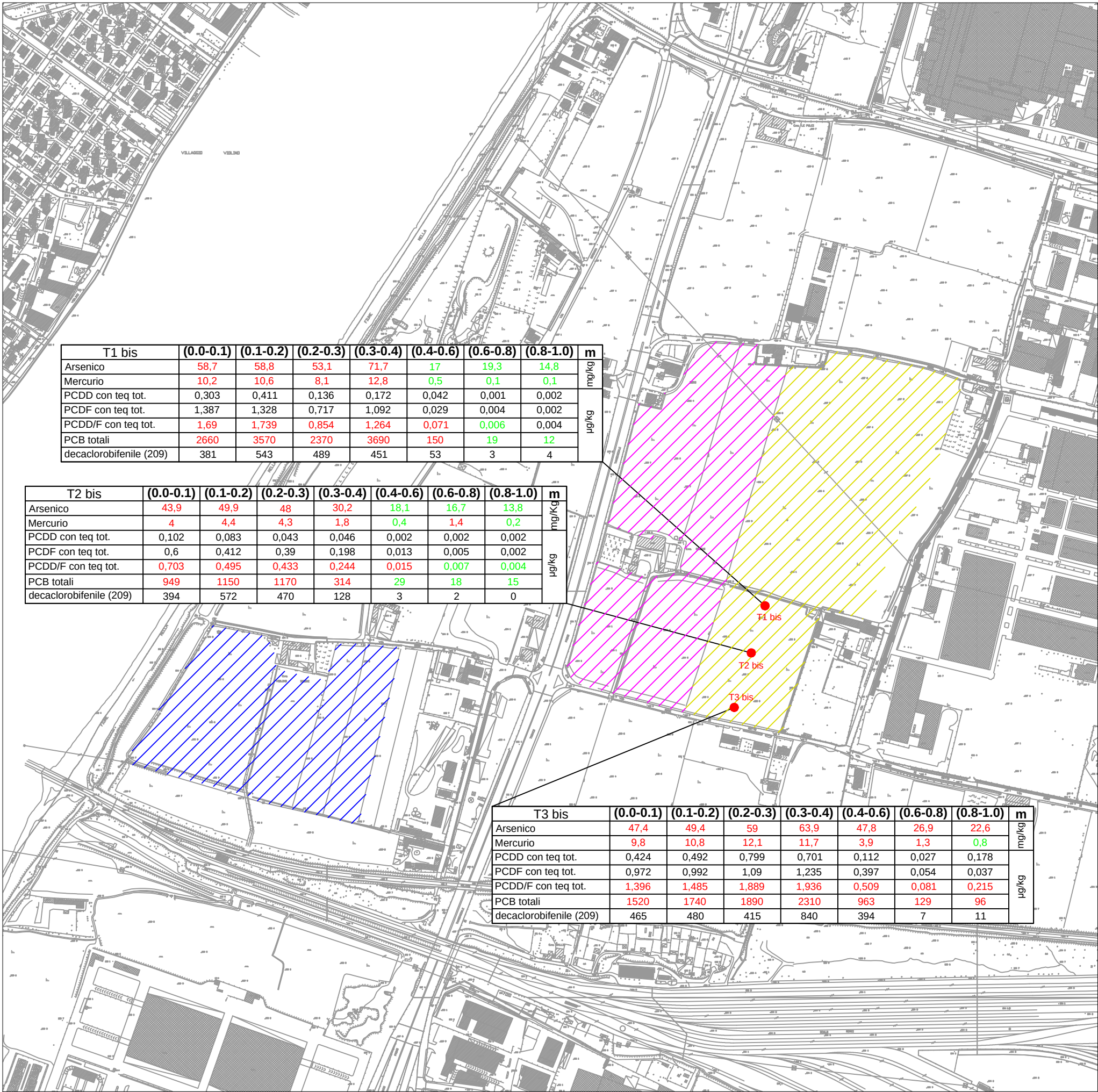
- 27,53 [in rosso] Concentrazione superiore alle CSC residenziali D.Lgs. 152/06
- 0,1 [in verde] Concentrazione inferiore alle CSC residenziali D.Lgs. 152/06
- 0,418 [in nero] Concentrazione non confrontabile con limiti di legge

1	07/02/2019	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
0	21/12/2018	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
Revisione	Data	Disegnato	Verificato	Approvato

Preparato da:	 ERSAF - ENTE REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE Via Pella, 12 - 20124 Milano - tel. (+039) 02/67404.1 - fax (+039) 02/67404.289 www.ersaf.lombardia.it - theof.ersaf@ersaf.lombardia.it P.E.C.: ersaf@pec.regione.lombardia.it C.F.P. 0200000099
---------------	---

Committente:	Regione Lombardia "incarico prot. T.1.2013.0005485 del 14/03/2013"
Progetto:	Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro
Sito:	Aree agricole iscritte nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale "Brescia-Caffaro"
Rif. Prg.	Prg: AdP 29/09/2009, Fase 2, Azione E
Elaborato:	Protocollo operativo per la progettazione degli interventi di bonifica con tecniche di bioremediation sui terreni delle agricole del SIN Brescia-Caffaro
Tavola N.	Titolo:

5b	Risultati della caratterizzazione Area R - fase 2	
Orientamento	Scala	Formato
	1:5000  0 100 200 m	A3



Legenda

Sito Caffaro

Confine aree agricole

Confine SIN terreni

Area A

Area R

Area T

Punti di campionamento Fase 2

Legenda concentrazioni

27,53

[in rosso]

Concentrazione superiore alle CSC residenziali D.Lgs. 152/06

0,1

[in verde]

Concentrazione inferiore alle CSC residenziali D.Lgs. 152/06

0,418

[in nero]

Concentrazione non confrontabile con limiti di legge

1	07/02/2019	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
0	21/12/2018	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
Revisione	Data	Disegnato	Verificato	Approvato

Preparato da:

ERSAF

Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste

ERSAF - ENTE REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE

Via Pda, 12 - 20124 Milano - tel. (+39) 02 67404.1 - fax (+39) 02 67404.289

www.ersaf.lombardia.it - theof.ersaf@ersaf.lombardia.it

P.E.C.: ersaf@pec.regione.lombardia.it

C.F. 01641020159

Committente:	Regione Lombardia "incarico prot. T.1.2013.0005485 del 14/03/2013"
Progetto:	Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro
Sito:	Aree agricole iscritte nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale "Brescia-Caffaro"
Rif. Prg.	Prg: AdP 29/09/2009, Fase 2, Azione E
Elaborato:	Protocollo operativo per la progettazione degli interventi di bonifica con tecniche di bioremediation sui terreni delle agricole del SIN Brescia-Caffaro

Tavola N.

5c

Titolo:

Risultati della caratterizzazione Area T - fase 2

Orientamento

Scala

Formato

N

1:5000

0100200 m

A3



		F3A1	F3A2	F3A3	F3A4	F3A5	F3A6	F3A7	F3A8	F3A9
Arsenico	mg/Kg	45.4	75.8	41.9	77.3	54.4	69.9	93.4	61.5	66.4
Mercurio	mg/Kg	2.4	2.0	1.2	3.6	1.1	1.8	1.6	1.0	0.9
PCDD con teq tot.	µg/kg	0.049	0.170	0.167	0.336	0.089	0.313	0.223	0.114	2.348
PCDF con teq tot.	µg/kg	0.218	0.908	0.215	1.698	0.221	0.527	0.462	0.288	0.115
PCDD/F con teq tot.	µg/kg	0.267	1.077	0.382	2.033	0.309	0.841	0.685	0.402	2.463
PCB totali	µg/kg	198	524	241	5340	703	476	1120	793	152
decaclorobifenile (209)	µg/kg	92	250	98	4250	489	286	833	579	73

		F3A10	F3A11	F3A12	F3A13	F3A14	F3A15	F3A16	F3A17
Arsenico	mg/Kg	219.0	94.8	137.0	71.4	102.0	77.9	94.7	87.2
Mercurio	mg/Kg	15.3	8.2	5.5	3.2	3.0	3.8	2.0	1.4
PCDD con teq tot.	µg/kg	0.762	0.218	0.404	0.250	0.059	0.377	0.052	0.047
PCDF con teq tot.	µg/kg	7.438	0.427	1.399	0.441	0.488	0.581	0.340	0.225
PCDD/F con teq tot.	µg/kg	8.200	0.645	1.803	0.691	0.548	0.957	0.392	0.271
PCB totali	µg/kg	15800	536	2870	761	583	1090	405	314
decaclorobifenile (209)	µg/kg	4860	270	1370	320	258	483	180	132



Legenda

Sito Caffaro

Confine aree agricole

Confine SIN terreni

Area A

Area R

Area T

Punti di campionamento Fase 2

Legenda concentrazioni

27,53

[in rosso]

Concentrazione superiore alle CSC residenziali D.Lgs. 152/06

0,1

[in verde]

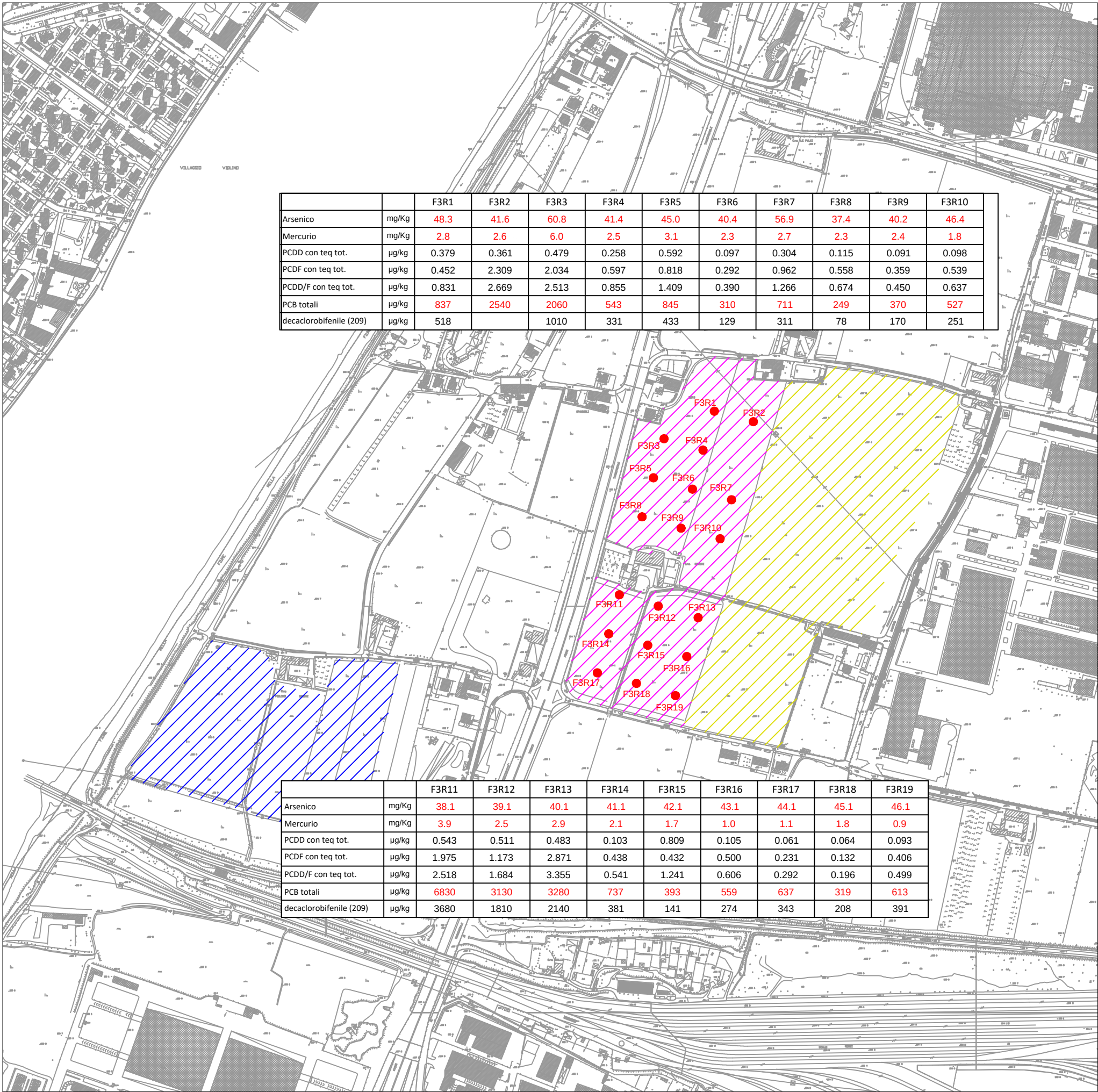
Concentrazione inferiore alle CSC residenziali D.Lgs. 152/06

0,418

[in nero]

Concentrazione non confrontabile con limiti di legge

1	07/02/2019	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
0	21/12/2018	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
Revisione	Data	Disegnato	Verificato	Approvato
Preparato da:	ERSAF Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste Via P.le 12 - 20124 Milano - Tel. (+02) 02/67406.1 - Fax (+02) 02/67404.269 www.ersaf.lombardia.it - info@ersaf.lombardia.it P.E.C. ersaf@ersaf.lombardia.it C.F./P.IVA 03693020969			
Committente:	Regione Lombardia "incarico prot. T1.2013.0005485 del 14/03/2013"			
Progetto:	Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro			
Sito:	Aree agricole iscritte nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale "Brescia-Caffaro"			
Rif. Prg.	Prg: AdP 29/09/2009, Fase 2, Azione E			
Elaborato:	Protocollo operativo per la progettazione degli interventi di bonifica con tecniche di bioremediation sui terreni delle agricole del SIN Brescia-Caffaro			
Tavola N.	Titolo:			
	Risultati della caratterizzazione Area A - fase 3			
Orientamento	Scala		Formato	
	1:5000		A3	



		F3R1	F3R2	F3R3	F3R4	F3R5	F3R6	F3R7	F3R8	F3R9	F3R10
Arsenico	mg/Kg	48.3	41.6	60.8	41.4	45.0	40.4	56.9	37.4	40.2	46.4
Mercurio	mg/Kg	2.8	2.6	6.0	2.5	3.1	2.3	2.7	2.3	2.4	1.8
PCDD con teq tot.	µg/kg	0.379	0.361	0.479	0.258	0.592	0.097	0.304	0.115	0.091	0.098
PCDF con teq tot.	µg/kg	0.452	2.309	2.034	0.597	0.818	0.292	0.962	0.558	0.359	0.539
PCDD/F con teq tot.	µg/kg	0.831	2.669	2.513	0.855	1.409	0.390	1.266	0.674	0.450	0.637
PCB totali	µg/kg	837	2540	2060	543	845	310	711	249	370	527
decaclorobifenile (209)	µg/kg	518		1010	331	433	129	311	78	170	251

		F3R11	F3R12	F3R13	F3R14	F3R15	F3R16	F3R17	F3R18	F3R19
Arsenico	mg/Kg	38.1	39.1	40.1	41.1	42.1	43.1	44.1	45.1	46.1
Mercurio	mg/Kg	3.9	2.5	2.9	2.1	1.7	1.0	1.1	1.8	0.9
PCDD con teq tot.	µg/kg	0.543	0.511	0.483	0.103	0.809	0.105	0.061	0.064	0.093
PCDF con teq tot.	µg/kg	1.975	1.173	2.871	0.438	0.432	0.500	0.231	0.132	0.406
PCDD/F con teq tot.	µg/kg	2.518	1.684	3.355	0.541	1.241	0.606	0.292	0.196	0.499
PCB totali	µg/kg	6830	3130	3280	737	393	559	637	319	613
decaclorobifenile (209)	µg/kg	3680	1810	2140	381	141	274	343	208	391



Legenda

- Sito Caffaro
- Confine aree agricole
- Confine SIN terreni
- Area A
- Area R
- Area T
- Punti di campionamento Fase 2

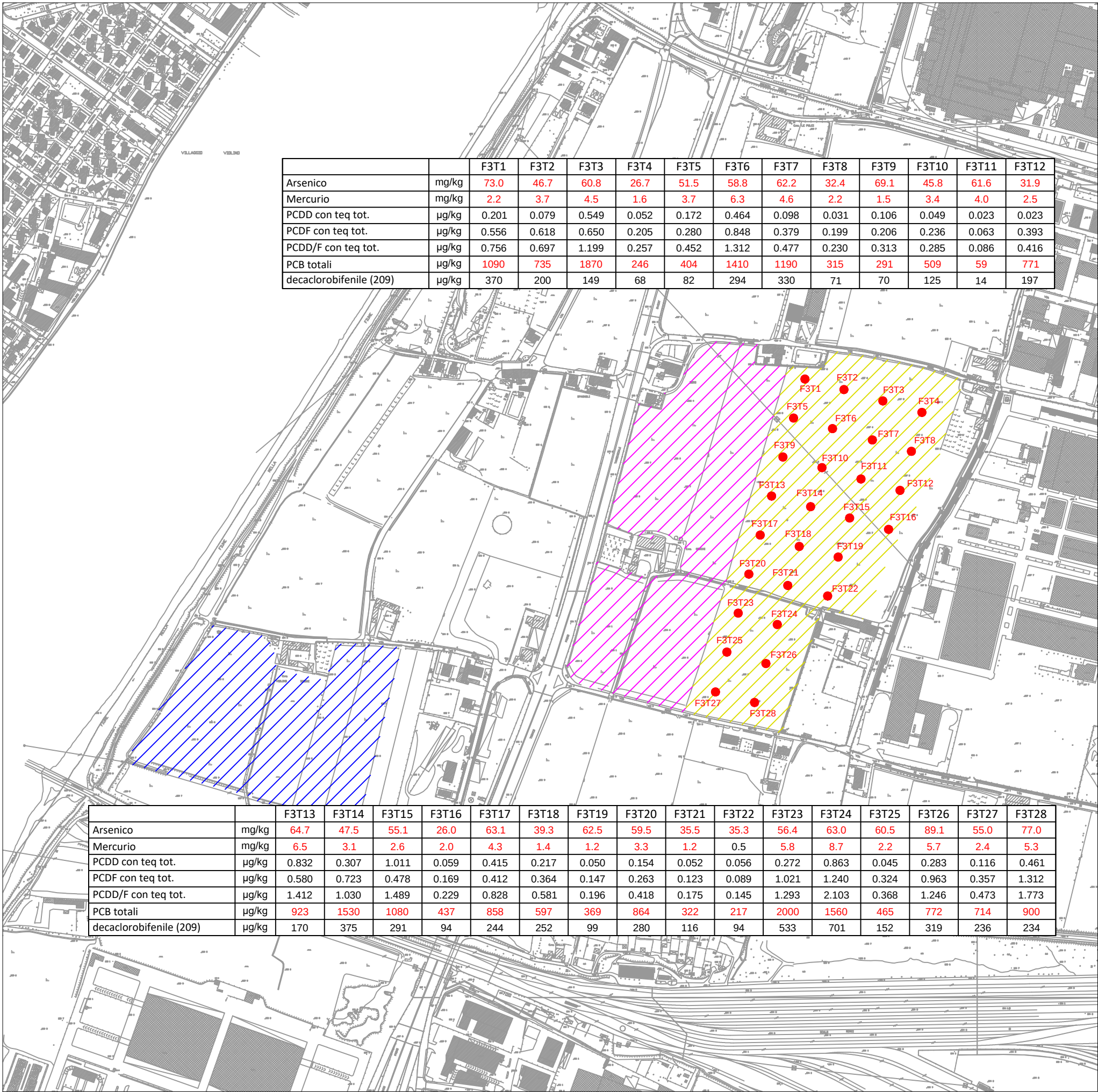
Legenda concentrazioni

- 27,53 [in rosso] Concentrazione superiore alle CSC residenziali D.Lgs. 152/06
- 0,1 [in verde] Concentrazione inferiore alle CSC residenziali D.Lgs. 152/06
- 0,418 [in nero] Concentrazione non confrontabile con limiti di legge

1	07/02/2019	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
0	21/12/2018	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
Revisione	Data	Disegnato	Verificato	Approvato

Preparato da:	 ERSAF - ENTE REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE Via P.le 12 - 20124 Milano - Tel. (+039) 02/67404.1 - Fax (+039) 02/67404.299 www.ersaf.lombardia.it - ersaf@ersaf.lombardia.it P.E.C. ersaf@ersaf.lombardia.it C.F./P.IVA 03693020969
---------------	---

Committente:	Regione Lombardia "incarico prot. T.1.2013.0005485 del 14/03/2013"		
Progetto:	Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro		
Sito:	Aree agricole iscritte nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale "Brescia-Caffaro"		
Rif. Prg.	Prg: AdP 29/09/2009, Fase 2, Azione E		
Elaborato:	Protocollo operativo per la progettazione degli interventi di bonifica con tecniche di bioremediation sui terreni delle agricole del SIN Brescia-Caffaro		
Tavola N.	Titolo:		
	Risultati della caratterizzazione Area R - fase 3		
Orientamento	Scala	Formato	
	1:5000 0 100 200 m	A3	



		F3T1	F3T2	F3T3	F3T4	F3T5	F3T6	F3T7	F3T8	F3T9	F3T10	F3T11	F3T12
Arsenico	mg/kg	73.0	46.7	60.8	26.7	51.5	58.8	62.2	32.4	69.1	45.8	61.6	31.9
Mercurio	mg/kg	2.2	3.7	4.5	1.6	3.7	6.3	4.6	2.2	1.5	3.4	4.0	2.5
PCDD con teq tot.	µg/kg	0.201	0.079	0.549	0.052	0.172	0.464	0.098	0.031	0.106	0.049	0.023	0.023
PCDF con teq tot.	µg/kg	0.556	0.618	0.650	0.205	0.280	0.848	0.379	0.199	0.206	0.236	0.063	0.393
PCDD/F con teq tot.	µg/kg	0.756	0.697	1.199	0.257	0.452	1.312	0.477	0.230	0.313	0.285	0.086	0.416
PCB totali	µg/kg	1090	735	1870	246	404	1410	1190	315	291	509	59	771
decaclorobifenile (209)	µg/kg	370	200	149	68	82	294	330	71	70	125	14	197

		F3T13	F3T14	F3T15	F3T16	F3T17	F3T18	F3T19	F3T20	F3T21	F3T22	F3T23	F3T24	F3T25	F3T26	F3T27	F3T28
Arsenico	mg/kg	64.7	47.5	55.1	26.0	63.1	39.3	62.5	59.5	35.5	35.3	56.4	63.0	60.5	89.1	55.0	77.0
Mercurio	mg/kg	6.5	3.1	2.6	2.0	4.3	1.4	1.2	3.3	1.2	0.5	5.8	8.7	2.2	5.7	2.4	5.3
PCDD con teq tot.	µg/kg	0.832	0.307	1.011	0.059	0.415	0.217	0.050	0.154	0.052	0.056	0.272	0.863	0.045	0.283	0.116	0.461
PCDF con teq tot.	µg/kg	0.580	0.723	0.478	0.169	0.412	0.364	0.147	0.263	0.123	0.089	1.021	1.240	0.324	0.963	0.357	1.312
PCDD/F con teq tot.	µg/kg	1.412	1.030	1.489	0.229	0.828	0.581	0.196	0.418	0.175	0.145	1.293	2.103	0.368	1.246	0.473	1.773
PCB totali	µg/kg	923	1530	1080	437	858	597	369	864	322	217	2000	1560	465	772	714	900
decaclorobifenile (209)	µg/kg	170	375	291	94	244	252	99	280	116	94	533	701	152	319	236	234



Legenda

Sito Caffaro

Confine aree agricole

Confine SIN terreni

Area A

Area R

Area T

Punti di campionamento Fase 2

Legenda concentrazioni

27,53

[in rosso]

Concentrazione superiore alle CSC residenziali D.Lgs. 152/06

0,1

[in verde]

Concentrazione inferiore alle CSC residenziali D.Lgs. 152/06

0,418

[in nero]

Concentrazione non confrontabile con limiti di legge

1	07/02/2019	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
0	21/12/2018	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
Revisione	Data	Disegnato	Verificato	Approvato

Preparato da:

ERSAF

REGIONE LOMBARDIA

ERSAF - ENTE REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE

Via P.le 12 - 20124 Milano - Tel. (+039) 02/67406.1 - Fax (+039) 02/67404.269

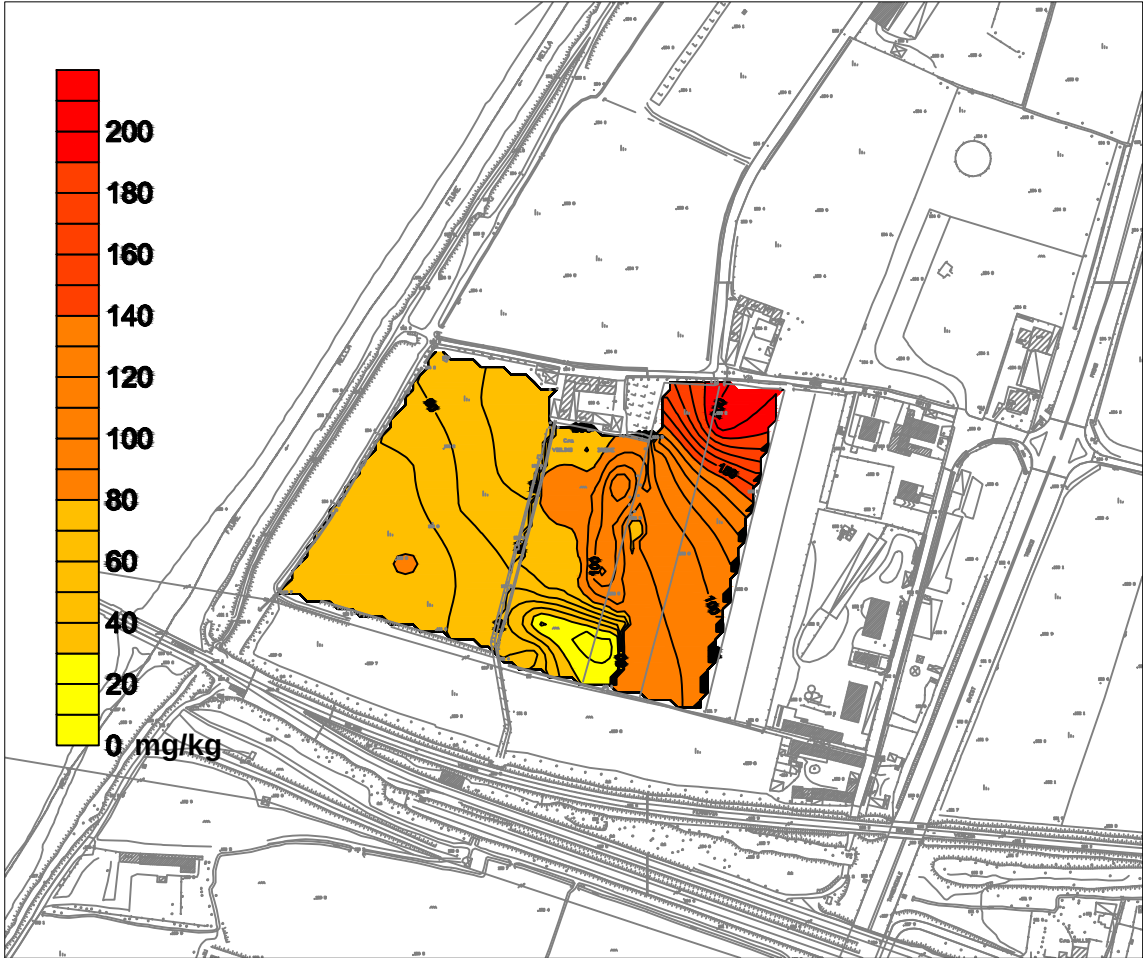
www.ersaf.lombardia.it - ersaf@ersaf.lombardia.it

P.E.C. ersaf@pec.ersaf.lombardia.it

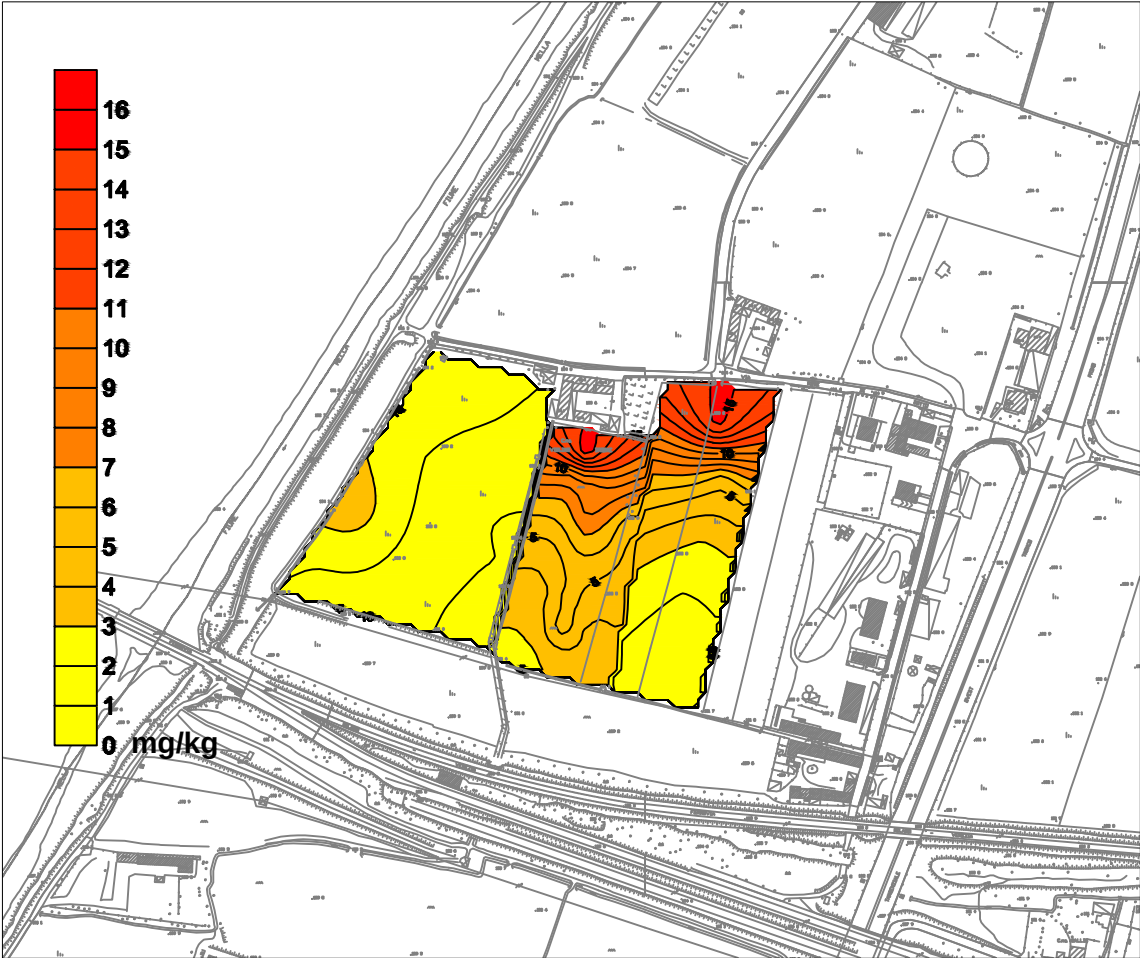
C.F./P.IVA 03693020969

Committente:	Regione Lombardia "incarico prot. T.1.2013.0005485 del 14/03/2013"		
Progetto:	Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro		
Sito:	Aree agricole iscritte nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale "Brescia-Caffaro"		
Rif. Prg.	Prg: AdP 29/09/2009, Fase 2, Azione E		
Elaborato:	Protocollo operativo per la progettazione degli interventi di bonifica con tecniche di bioremediation sui terreni delle agricole del SIN Brescia-Caffaro		
Tavola N.	Titolo:		
	Risultati della caratterizzazione Area T - fase 3		
	6c		
Orientamento	Scala	Formato	
	1:5000 0 100 200 m	A3	

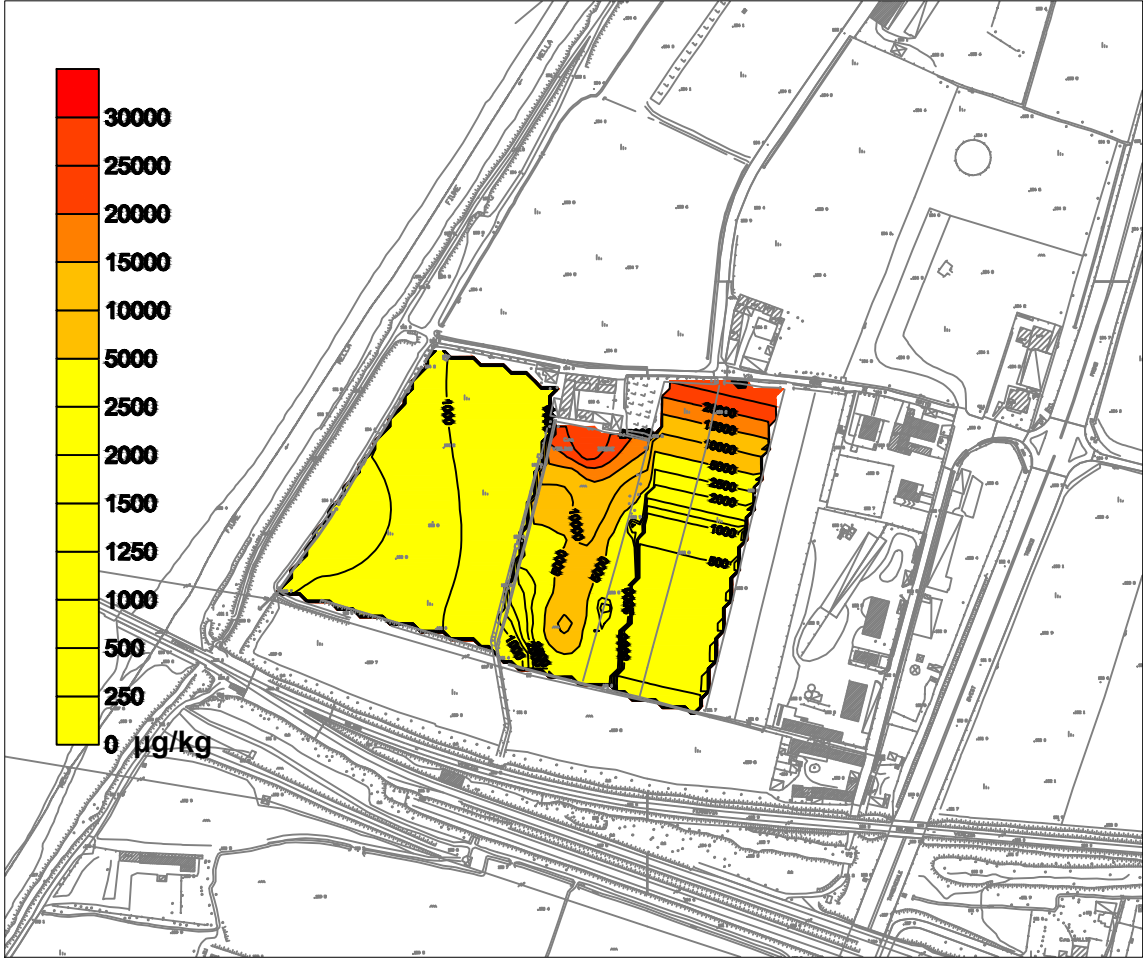
Arsenico



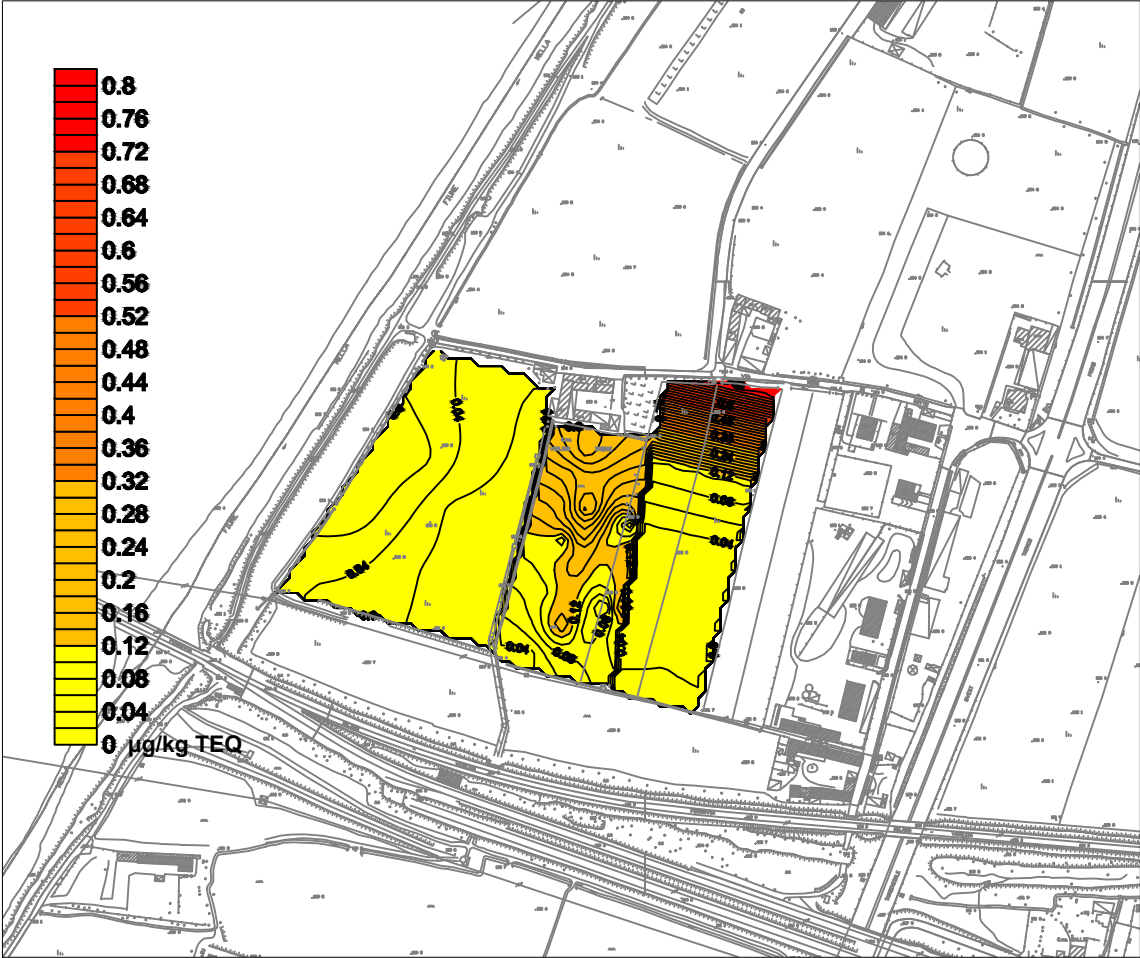
Mercurio



PCB



PCDD/PCDF



Legenda
Elaborazioni effettuate mediante kriging dai consulenti scientifici (prof. G. Raspa)

1	07/02/19	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
0	21/12/18	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
Revisione	Data	Disegnato	Verificato	Approvato

Preparato da:



ERSAF

REGIONE LOMBARDIA

ERSAF - ENTE REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE

Via Pila, 12 - 20124 Milano - Tel. (+039) 02/67406.1 - Fax (+039) 02/67404.299

www.ersaf.lombardia.it - chiedteersaf@ersaf.lombardia.it

P.E.C.: ersaf@pec.regione.lombardia.it

C.F./P.IVA 03693020969

Committente:	Regione Lombardia "incarico prot. T1.2013.0005485 del 14/03/2013"
Progetto:	Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro
Sito:	Aree agricole iscritte nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale "Brescia-Caffaro"
Rif. Prg.	Prg: AdP 29/09/2009, Fase 2, Azione E
Elaborato:	Protocollo operativo per la progettazione degli interventi di bonifica con tecniche di bioremediation sui terreni delle agricole del SIN Brescia-Caffaro

Tavola N.7a

Titolo:
Distribuzione spaziale della concentrazione dei contaminanti - Area A

Orientamento

Scala

Formato



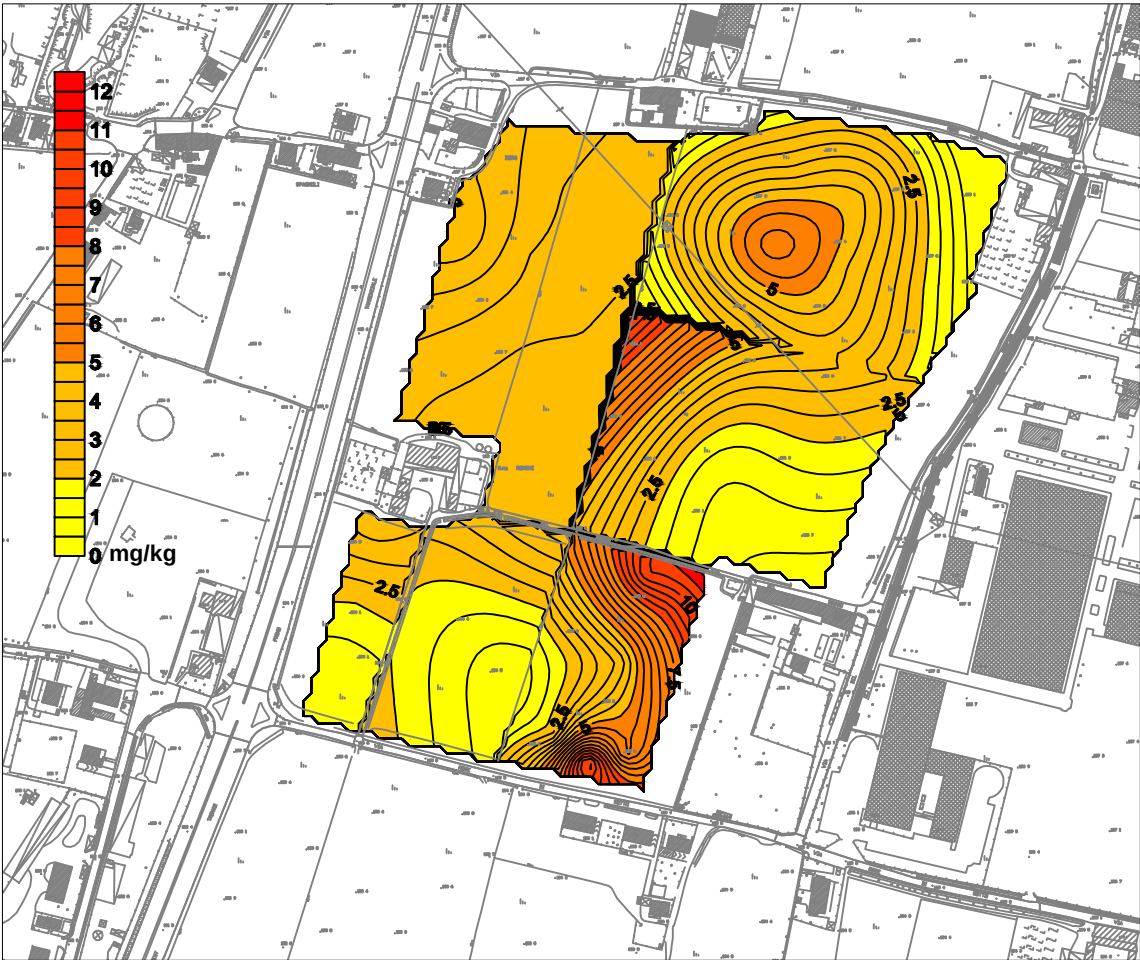
1:5000
0100200 m

A3

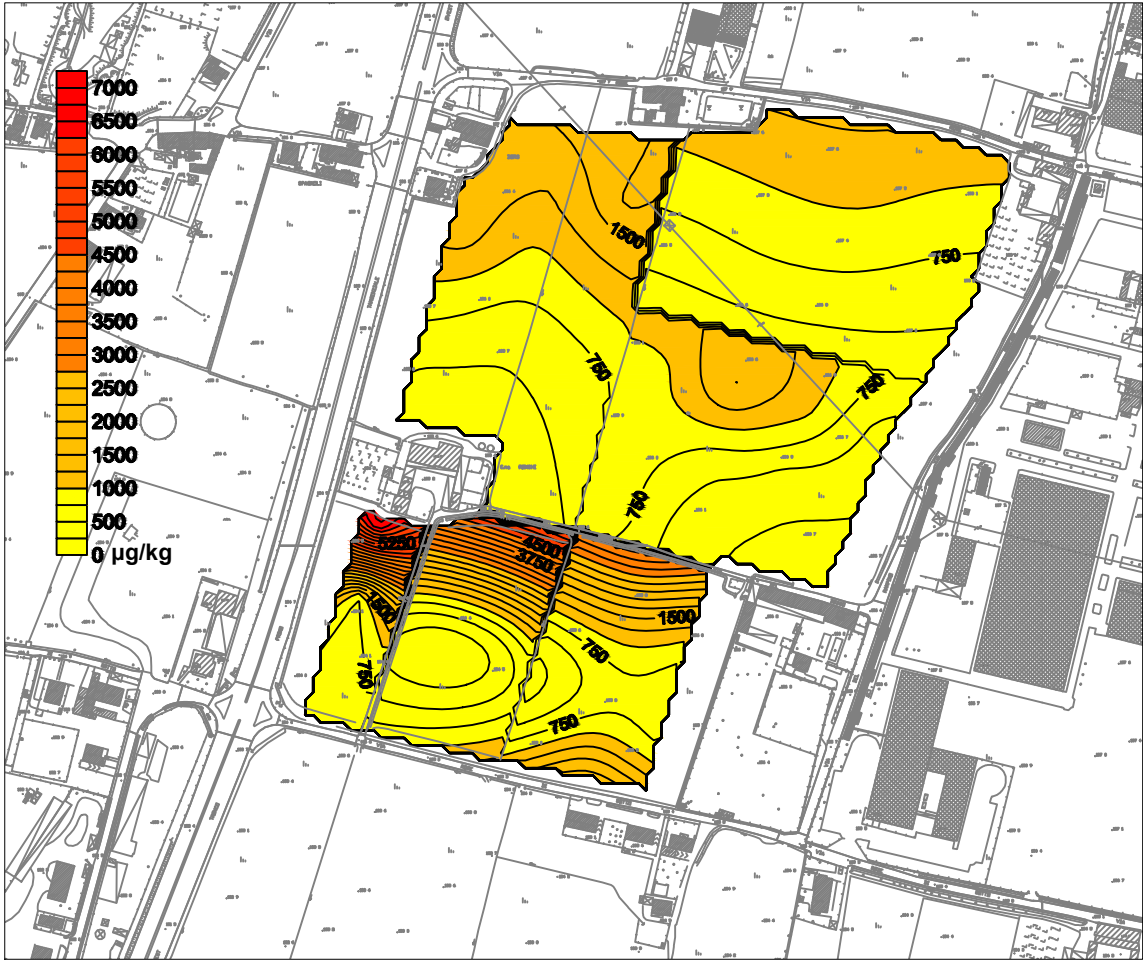
Arsenico



Mercurio



PCB



PCDD/PCDF



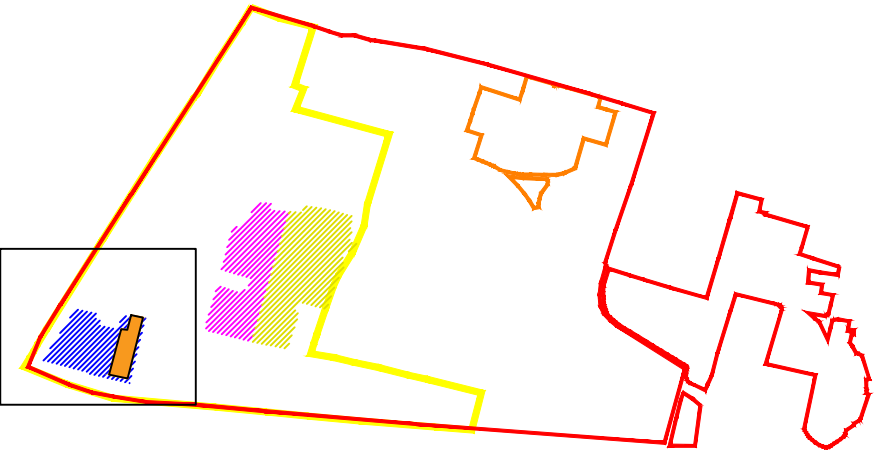
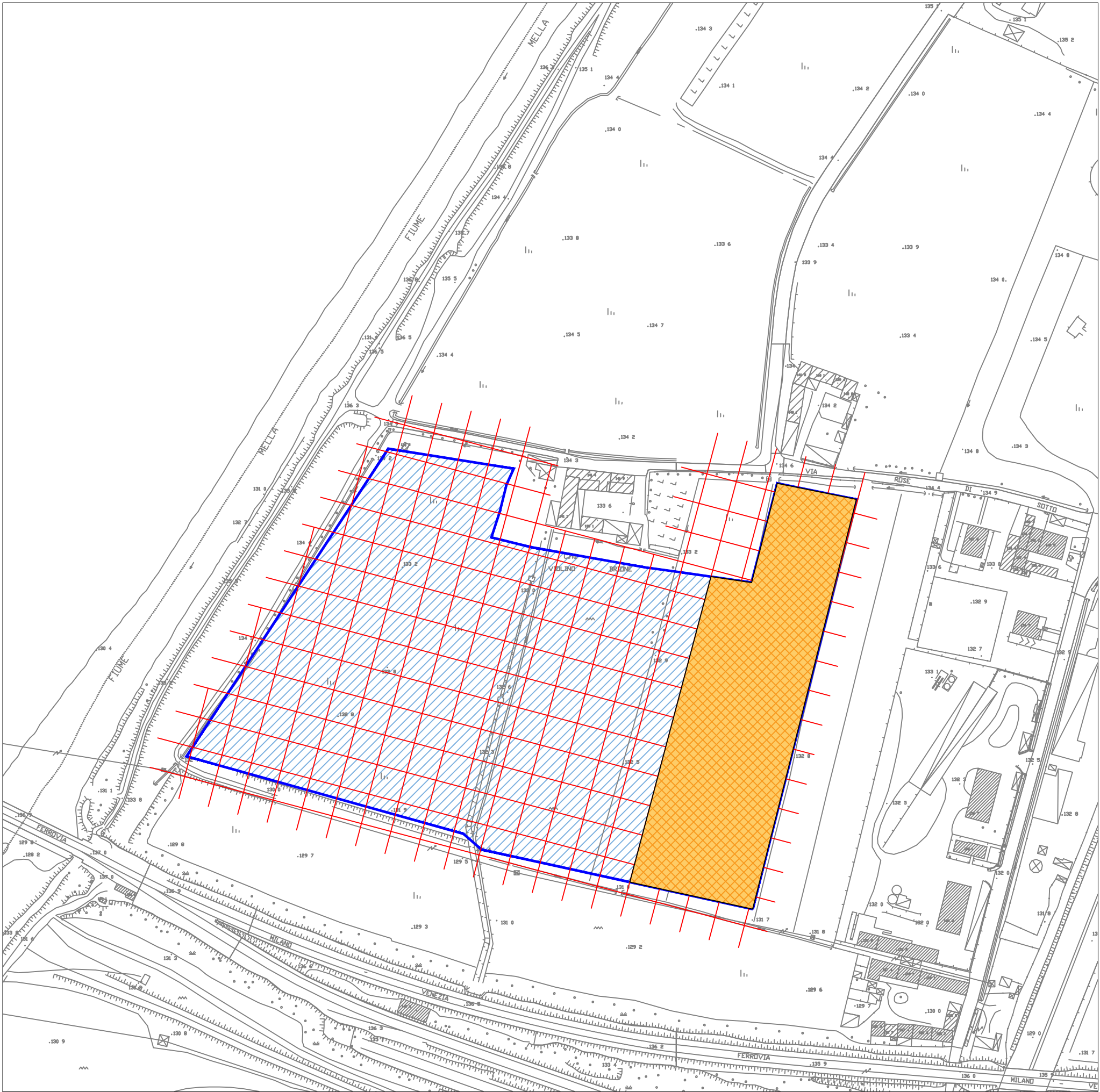
Nota
Elaborazioni effettuate mediante kriging dai consulenti scientifici (prof. G. Raspa)

1	07/02/19	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
0	21/12/18	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
Revisione	Data	Disegnato	Verificato	Approvato

Preparato da:	 ERSAF - ENTE REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE Via Pella, 12 - 20124 Milano - Tel. (+039) 02/67404.1 - Fax (+039) 02/67404.299 www.ersaf.lombardia.it - chiedteersaf@ersaf.lombardia.it P.E.C.: ersaf@pec.regione.lombardia.it C.F./P.IVA 03903020969
---------------	---

Committente:	Regione Lombardia "incarico prot. T1.2013.0005485 del 14/03/2013"
Progetto:	Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro
Sito:	Aree agricole iscritte nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale "Brescia-Caffaro"
Rif. Prg.	Prg: AdP 29/09/2009, Fase 2, Azione E
Elaborato:	Protocollo operativo per la progettazione degli interventi di bonifica con tecniche di bioremediation sui terreni delle agricole del SIN Brescia-Caffaro

Tavola N.	Titolo: Distribuzione spaziale della concentrazione dei contaminanti - Aree R e T		
	Orientamento	Scala	Formato
		1:5000 0 100 200 m	A3



- Legenda
- Sito Caffaro
 - Confine aree agricole
 - Confine SIN terreni
 - Area A
 - Area R
 - Area T
 - Griglia 15 x 15 m
 - Area laboratorio permanente

1	07/02/2019	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
0	21/12/2018	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
Revisione	Data	Disegnato	Verificato	Approvato

Preparato da:



ERSAF - ENTE REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE
Via P.le 12 - 20124 Milano - Tel. (+039) 02/67404.1 - Fax (+039) 02/67404.299
www.ersaf.lombardia.it - chiedteersaf@ersaf.lombardia.it
P.E.C.: ersaf@pec.regione.lombardia.it
C.F./P.IVA 03693030969

Committente:	Regione Lombardia "incarico prot. T.1.2013.0005485 del 14/03/2013"
Progetto:	Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro
Sito:	Aree agricole iscritte nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale "Brescia-Caffaro"
Rif. Prg.	Prg: AdP 29/09/2009, Fase 2, Azione E
Elaborato:	Protocollo operativo per la progettazione degli interventi di bonifica con tecniche di bioremediation sui terreni delle agricole del SIN Brescia-Caffaro
Tavola N.	Titolo:

8a

Ubicazione delle aree di intervento pilota - Area A e "Laboratorio Permanente"

Orientamento

Scala

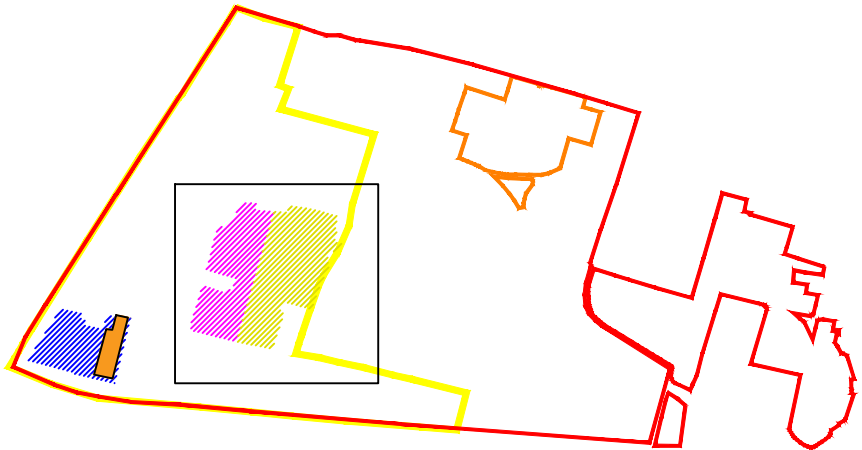
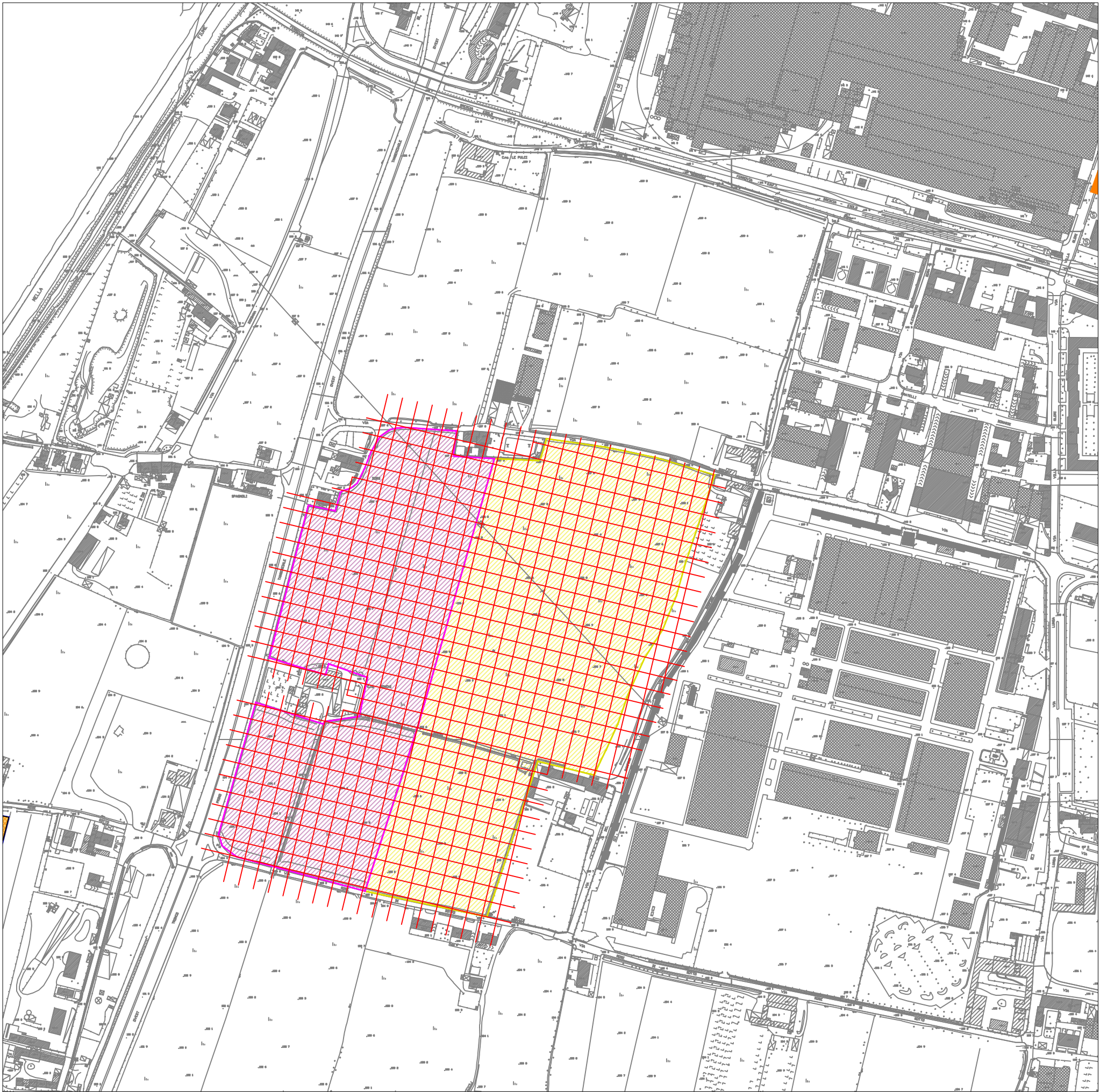
Formato



1:2000

0 40 80 m

A3



Legenda				
	Sito Caffaro			
	Confine aree agricole			
	Confine SIN terreni			
	Area A			
	Area R			
	Area T			
	Griglia 15 x 15 m			

0	21/12/2018	Crescini	Anelli/Iavazzo	Nastasio
Revisione	Data	Disegnato	Verificato	Approvato

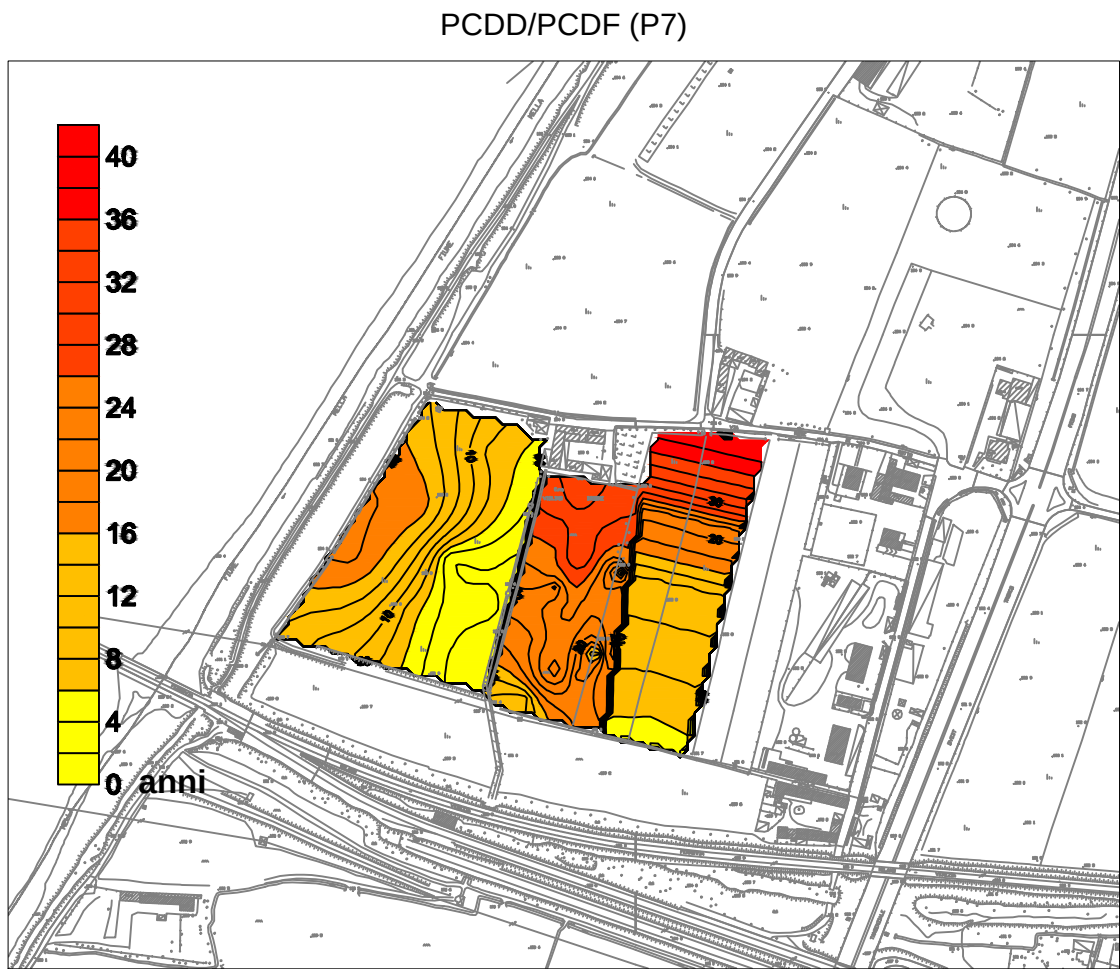
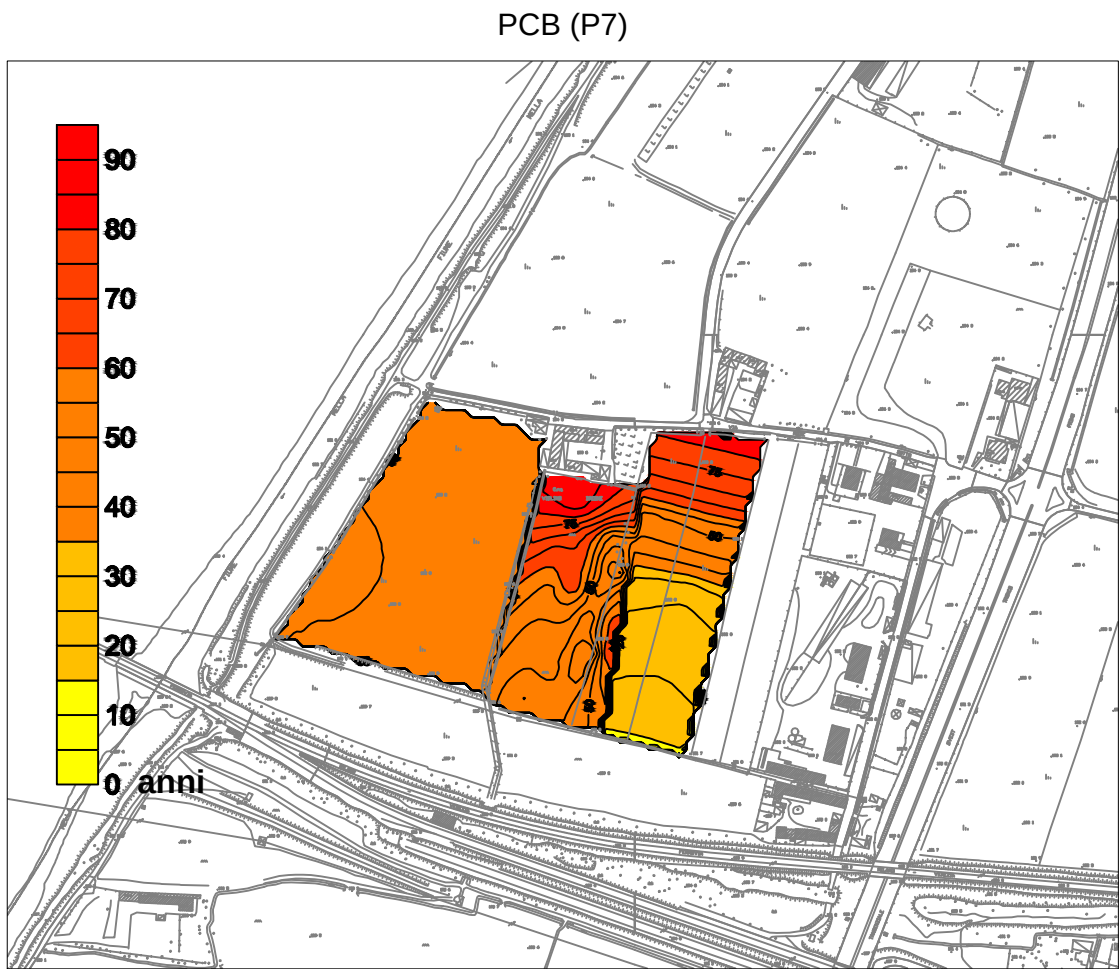
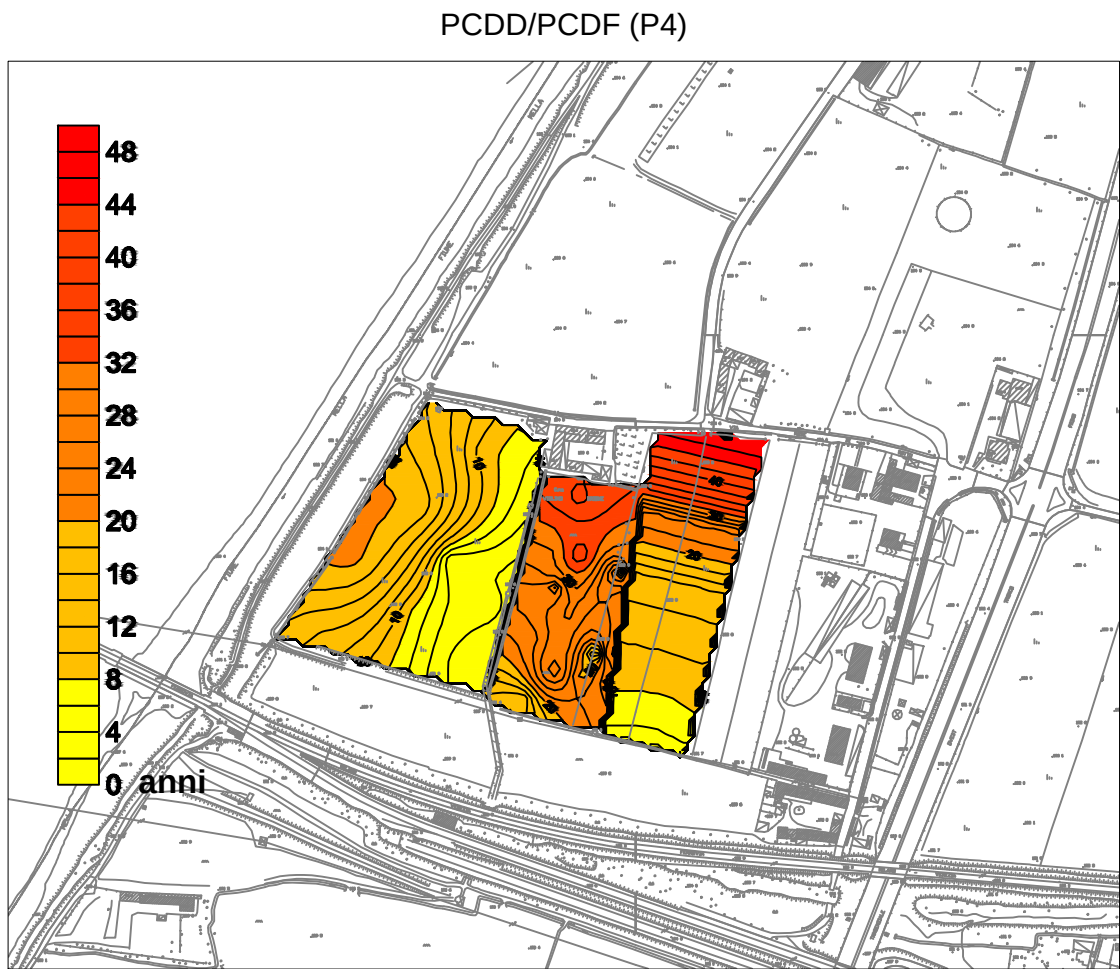
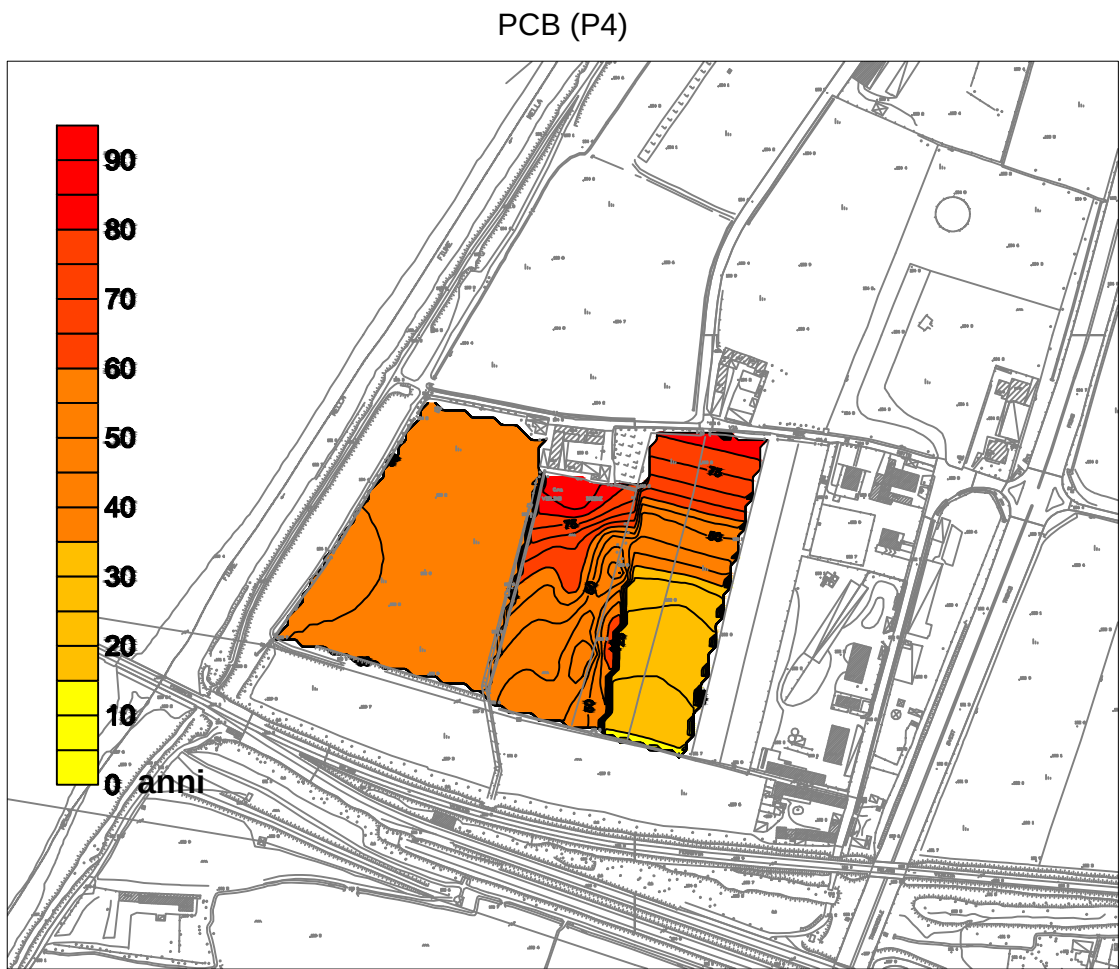
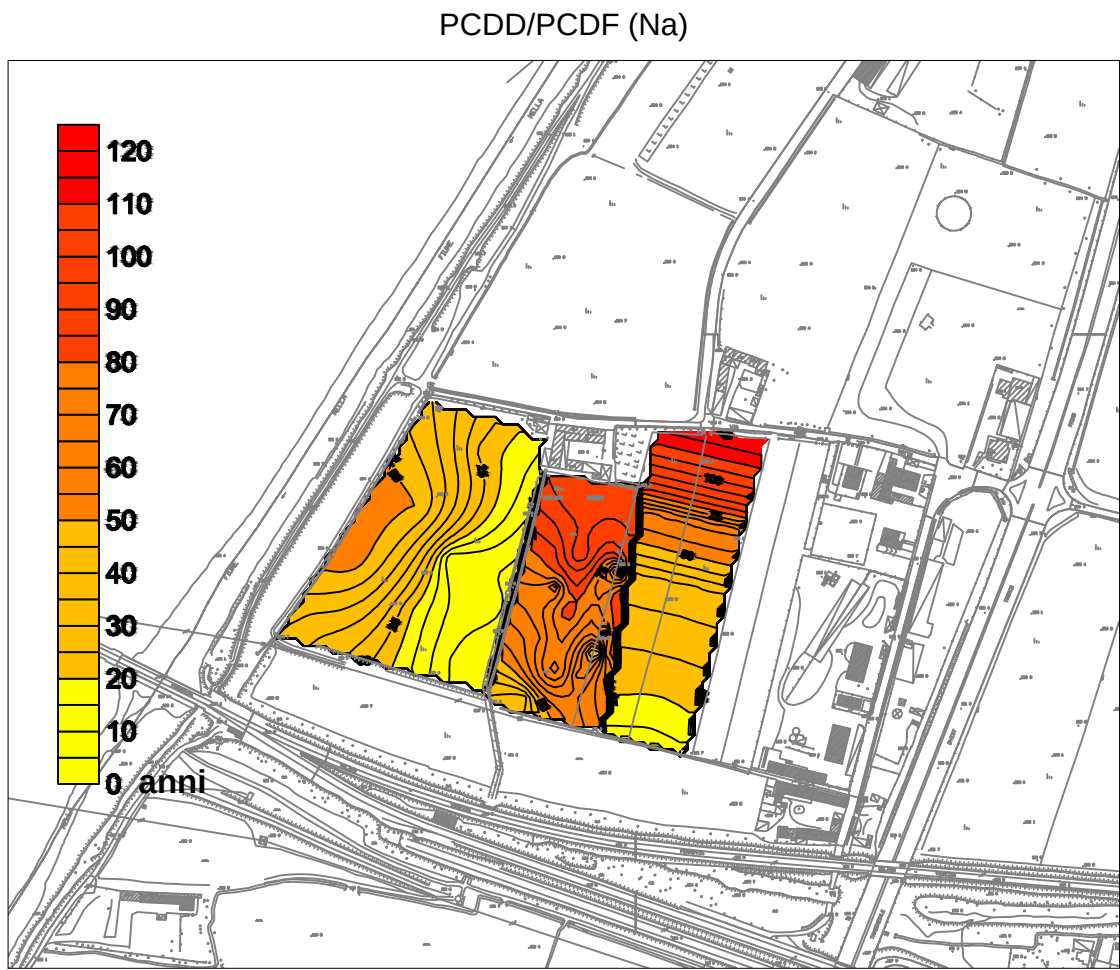
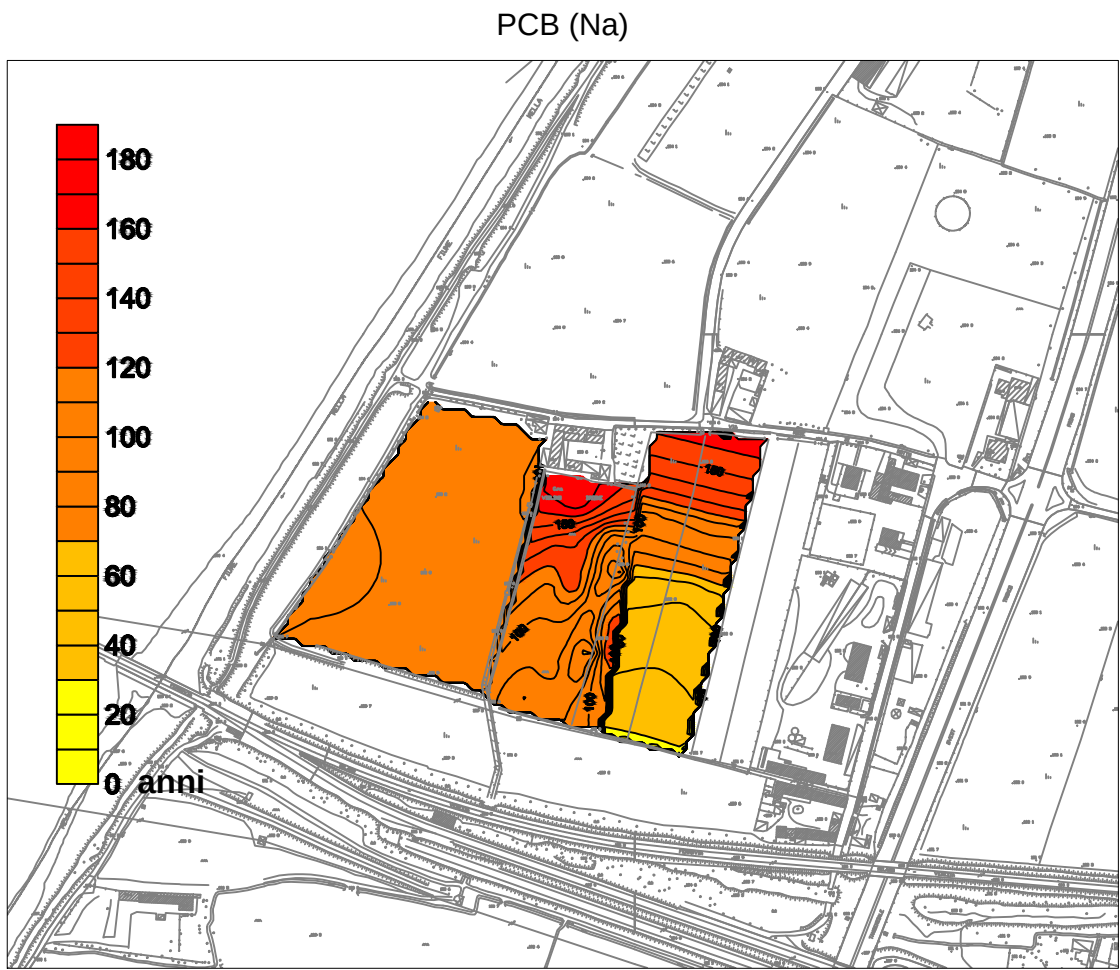
Preparato da:	 ERSAF - ENTE REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE Via P.le 12 - 20124 Milano - Tel. (+039) 02/67406.1 - Fax (+039) 02/67404.299 www.ersaf.lombardia.it - chiedteersaf@ersaf.lombardia.it P.E.C.: ersaf@ersaf.lombardia.it C.F./P.IVA 03690300969
---------------	--

Committente:	Regione Lombardia "incarico prot. T.1.2013.0005485 del 14/03/2013"
Progetto:	Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro
Sito:	Aree agricole iscritte nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale "Brescia-Caffaro"
Rif. Prg.	Prg: AdP 29/09/2009, Fase 2, Azione E
Elaborato:	Protocollo operativo per la progettazione degli interventi di bonifica con tecniche di bioremediation sui terreni delle agricole del SIN Brescia-Caffaro

Tavola N.	Titolo:
-----------	---------

8b	Ubicazione delle aree di intervento pilota - Aree R e T			
----	---	--	--	--

Orientamento	Scala	Formato		
	1:2500 0 50 100 m	A3		



Legenda

- NA: Scenario con Natural Attenuation
- P4: Scenario corrispondente a tesi sperimentale "Festuca + zucca"
- P7: Scenario corrispondente a tesi sperimentale "Erba medica"

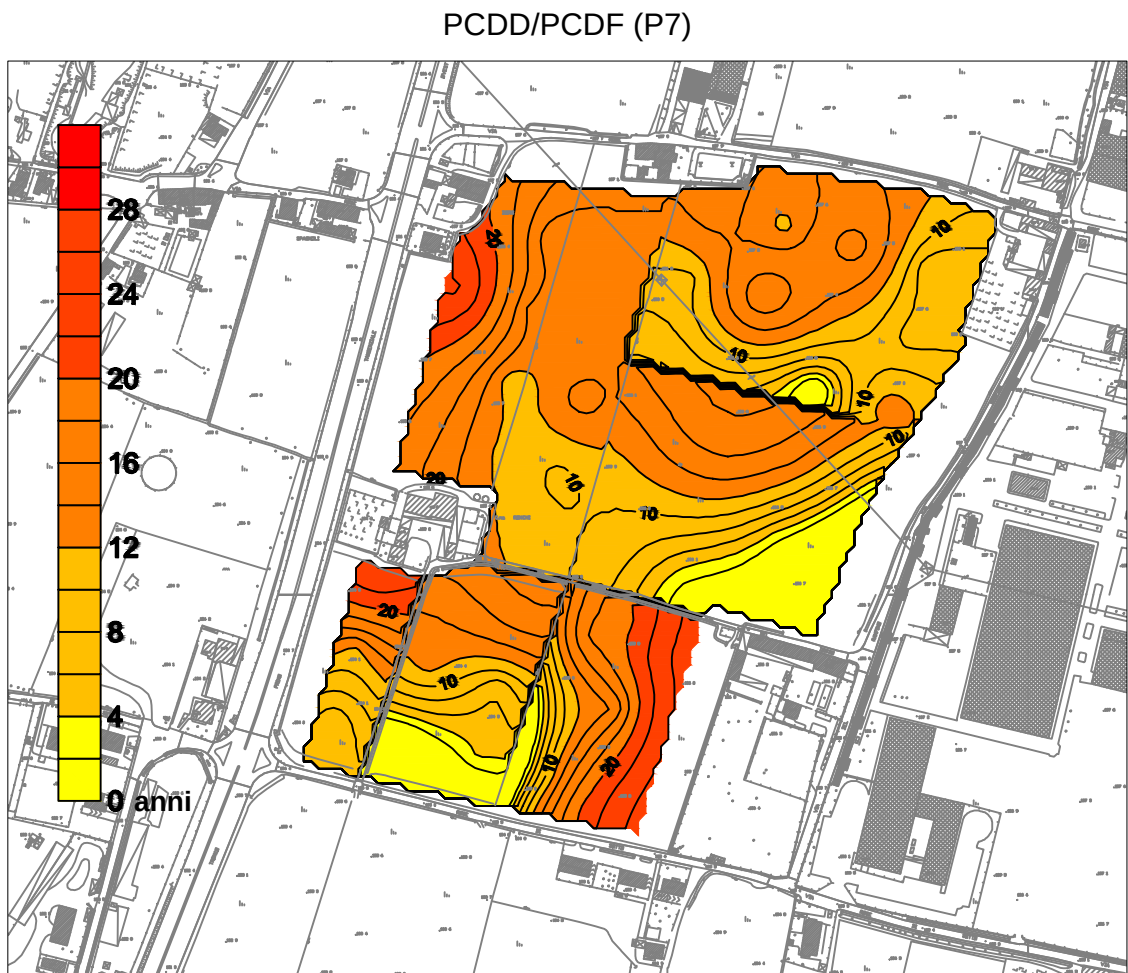
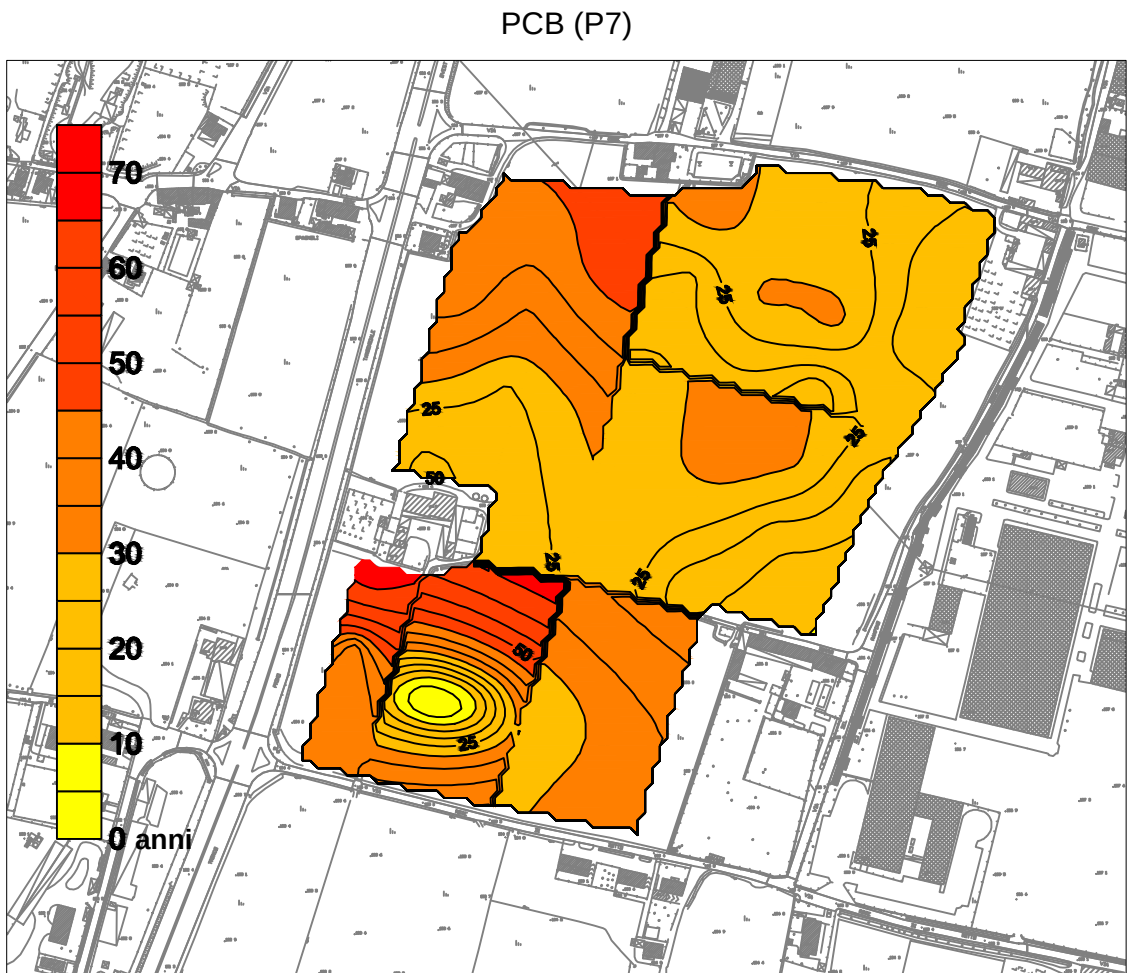
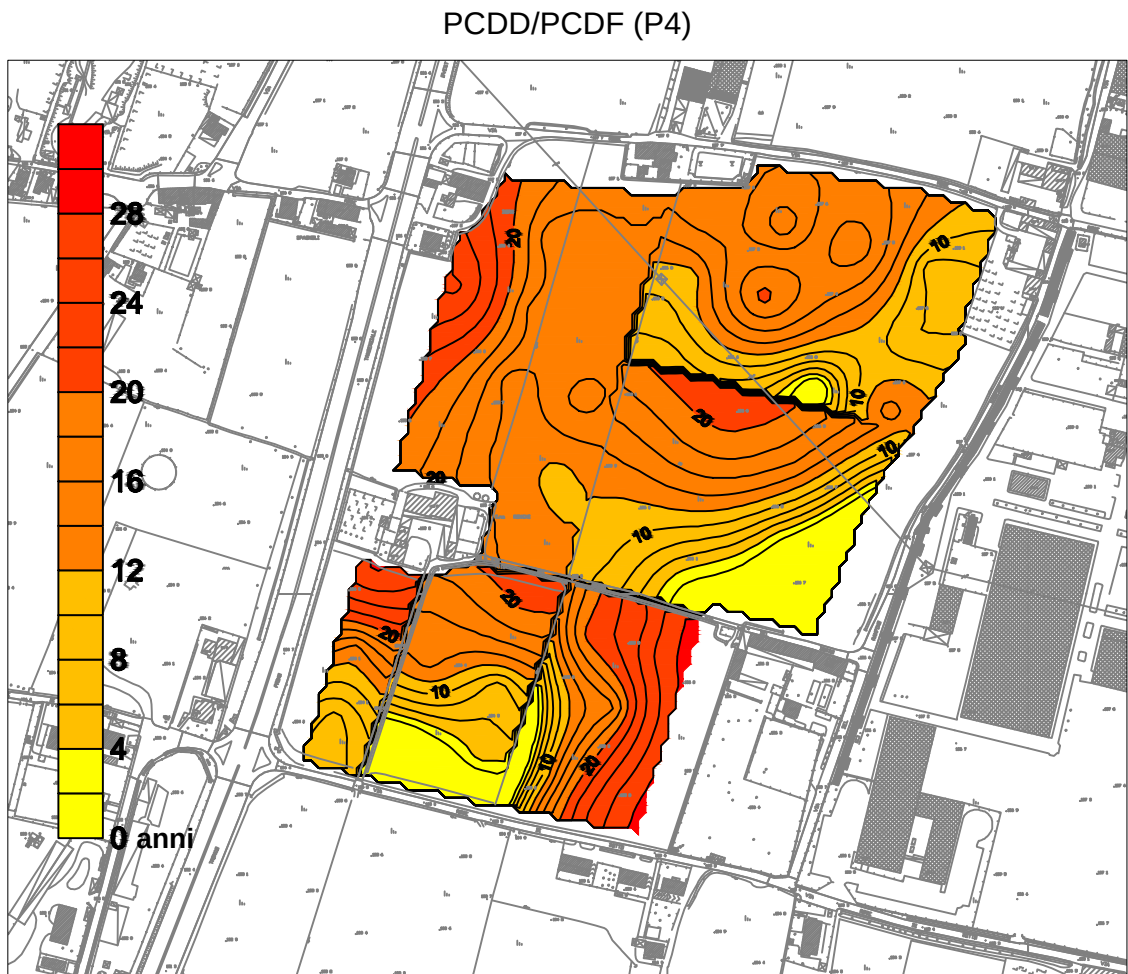
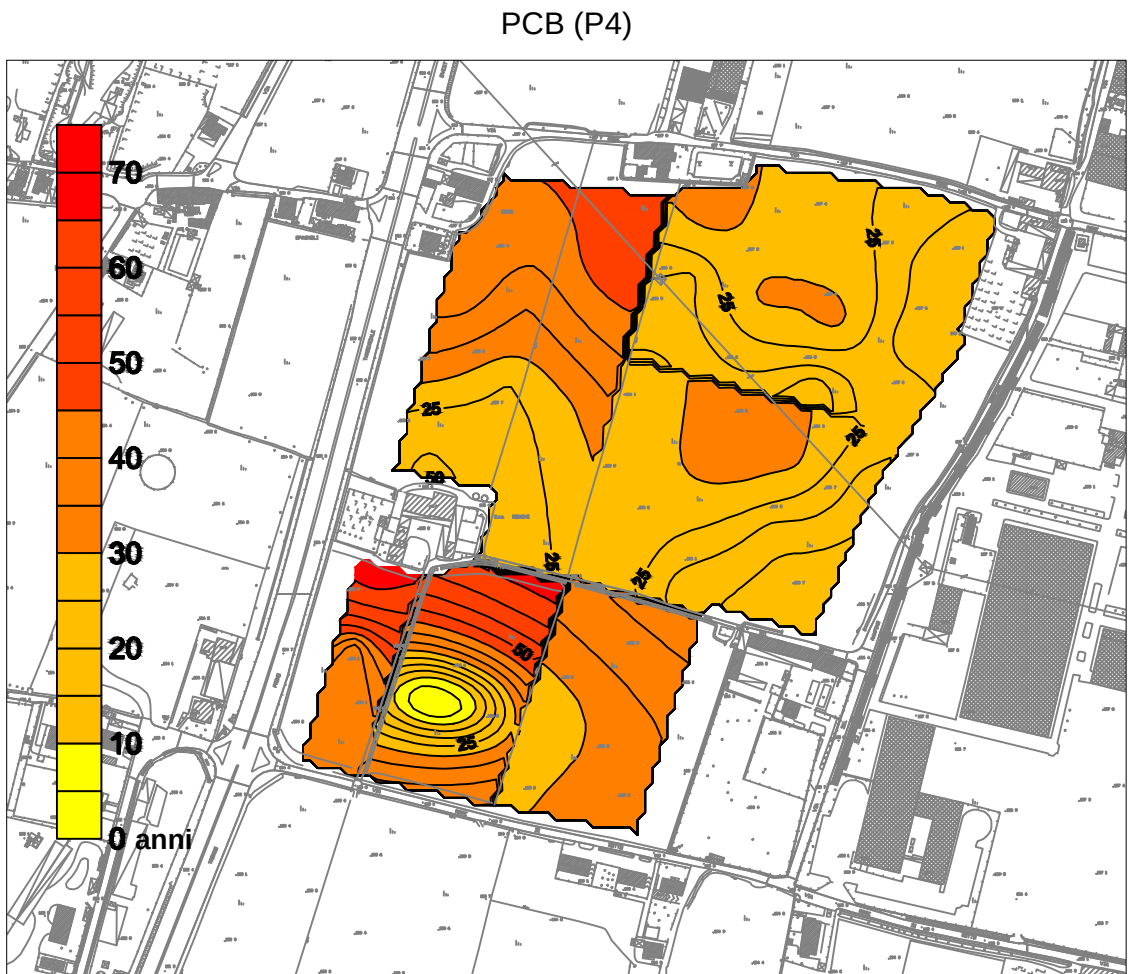
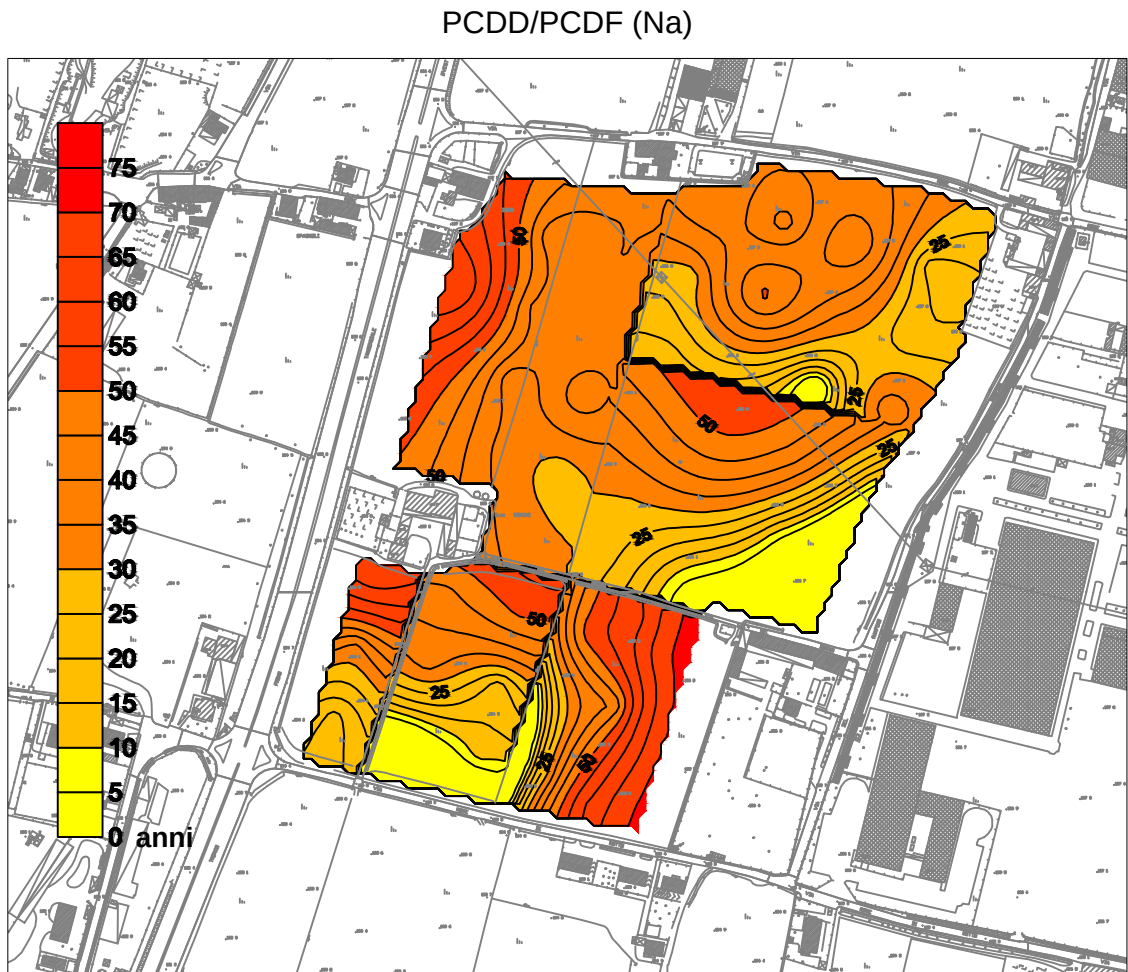
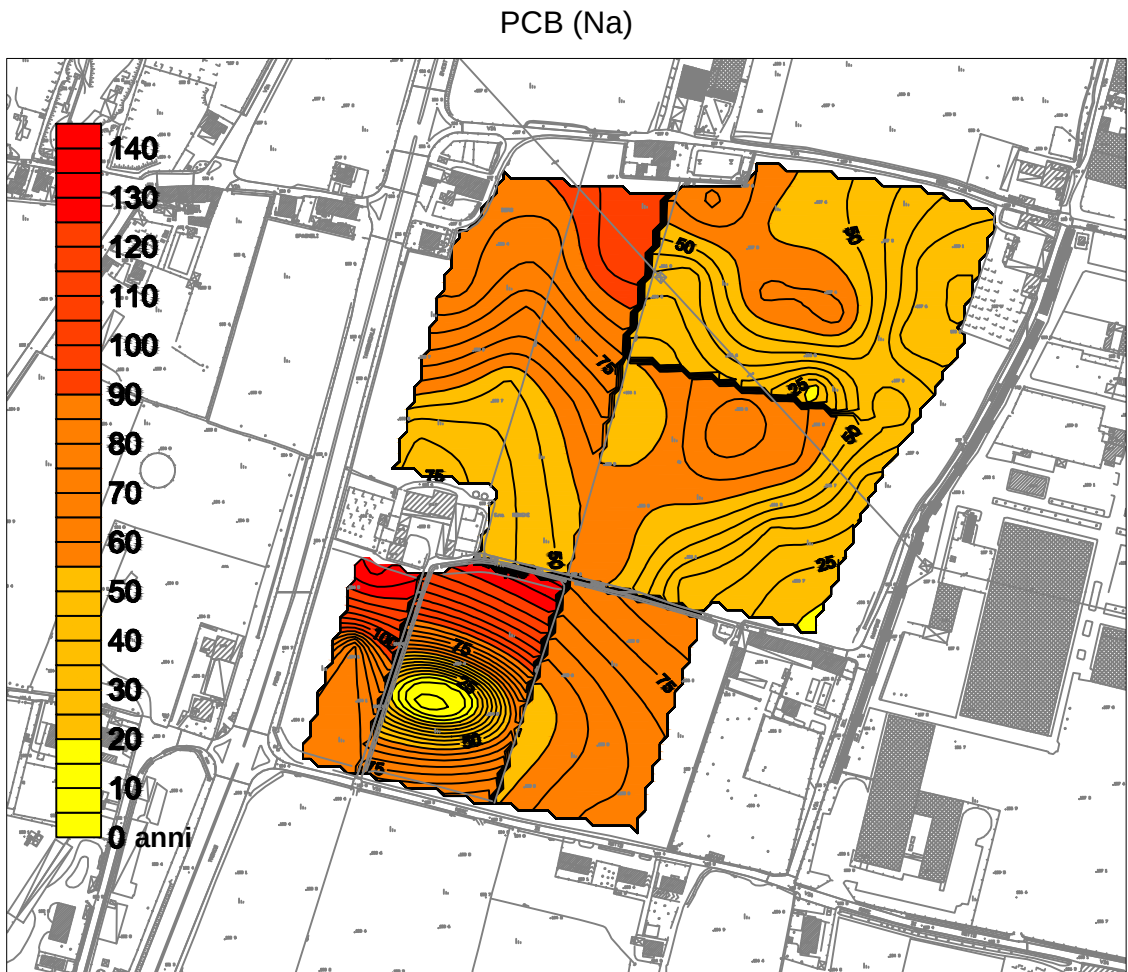
1	07/02/2019	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
0	21/12/2018	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
Revisione	Data	Disegnato	Verificato	Approvato

Preparato da:



ERSAF - ENTE REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE
Via Pola, 12 - 20124 Milano - tel. (+039) 02.67404.1 - fax (+039) 02.67404.299
www.ersaf.lombardia.it - chiedilo@ersaf.lombardia.it
P.E.C. : ersaf@pec.regione.lombardia.it
C.F.P./VA 03609320969

Committente:	Regione Lombardia "incarico prot. T1.2013.0005485 del 14/03/2013"	
Progetto:	Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro	
Sito:	Aree agricole iscritte nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale "Brescia-Caffaro"	
Rif. Prg.	Prg: AdP 29/09/2009, Fase 2, Azione E	
Elaborato:	Protocollo operativo per la progettazione degli interventi di bonifica con tecniche di bioremediation sui terreni delle agricole del SIN Brescia-Caffaro	
Tavola N.	Titolo:	
9a	Tempi di remediation per le 3 tesi sperimentali selezionate per l'area A	
Orientamento	Scala	Formato
	1:5000 	A2



Legenda

- NA: Scenario con Natural Attenuation
- P4: Scenario corrispondente a tesi sperimentale "Festuca + zucca"
- P7: Scenario corrispondente a tesi sperimentale "Erba medica"

1	07/02/2019	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
0	21/12/2018	Crescini	Anelli/lavazzo	Nastasio
Revisione	Data	Disegnato	Verificato	Approvato

Preparato da:



ERSAF - ENTE REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE
Via Pola, 12 - 20124 Milano - tel. (+039) 02.67404.1 - fax (+039) 02.67404.299
www.ersaf.lombardia.it - chiedilo@ersaf.lombardia.it
P.E.C. : ersaf@pec.regione.lombardia.it
C.F./P.IVA 03609320969

Committente:	Regione Lombardia "incarico prot. T1.2013.0005485 del 14/03/2013"		
Progetto:	Attività finalizzate alla messa in sicurezza di emergenza e progettazione della bonifica dei terreni delle aree agricole nel SIN Brescia-Caffaro		
Sito:	Aree agricole iscritte nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale "Brescia-Caffaro"		
Rif. Prg.	Prg: AdP 29/09/2009, Fase 2, Azione E		
Elaborato:	Protocollo operativo per la progettazione degli interventi di bonifica con tecniche di bioremediation sui terreni delle agricole del SIN Brescia-Caffaro		
Tavola N.	Titolo:		
Orientamento	Scala		Formato
	1:5000 0 150 300 m		A2