UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA Tuscia

Comune di Pesaro

ARPAM AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE AMBIENTALE

marche multiservizi

Area "Ex-Amga"

Via Morosini - Comune di Pesaro (PU)

Gara d'Appalto Lavoro

D.Lgs. 18 Aprile 2016 n.50

PROGETTO ESECUTIVO

Progetto di Bonifica "Area Ex-Amga" ai sensi del D.Lgs. 152/2006

ELABORATO 3

Relazione progetto di bonifica

Approvato	Ing. Franco Macor *Marche Multiservizi S.p.A.*		**Progetto di bonifica** UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA Tuscia ARPAM AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE AMBIENTALE Comune di Pesaro
Redatto	Ing. Andrea Amaducci *POLISTUDIO A.E.S.*	POLISTUDIO architecture & engineering	
Rev.	02	**Data**	Aprile 2021
Cod. Doc.	AMG 01 PU AL 01 E1 RS 03.02	**Pagine**	1 di **140**

A cura di:

DIBAF - UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA TUSCIA
Dipartimento per la Innovazione nei Sistemi Biologici Agroalimentari e Forestali

Progettista Responsabile: Prof. Paolo De Angelis *PhD*

Esperto *Bioremediation*: Dr.ssa Silvia Crognale

Esperto Botanico: Dott. Dario Liberati *PhD*

Esperto Cartografia: Dott. Diego Giuliarelli *PhD*

COMUNE DI PESARO
Servizio Sviluppo Economico, Sostenibilità e Servizi ai cittadini e alle imprese

Responsabile: Avv. Marco Fattore

U.O. Ambiente e Energia -Responsabile: Arch. Annarita Santilli

Esperto Tutela del Territorio: Ing. Antonio De Tullio

Esperta Ambientale: Dott.ssa Lara Gea Valsecchi

Esperto Sistemi Informativi Territoriali: Geom. Lucio Tonucci

ARPAM - Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale delle Marche
Direttore Generale: Dott. Giancarlo Marchetti

Direttore Dipartimento Pesaro: Dott. Biol. Patrizia Ammazzalorso

INDICE

LISTA DEGLI ALLEGATI 7

Documentazione citata 7

Tabelle formato A3 7

Schede Botaniche descrittive delle specie impiegate 7

Tavole grafiche in scala di rappresentazione in opera dei diversi elementi del progetto (in parentesi i formati di stampa) 7

1. PREMESSA E SCOPO DEI LAVORI 9

2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO 12

3. INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DEL SITO 16

3.1 Descrizione del sito 16

3.2 Inquadramento geografico, territoriale ed urbanistico 18

3.3 Inquadramento morfologico e geologico – stratigrafico 18

3.4 Inquadramento idrografico ed idrogeologico 19

4. CRONISTORIA DELLE ATTIVITÀ ESEGUITE 21

5. MODELLO CONCETTUALE DEL SITO 27

5.1 Fonti di contaminazione 27

5.1.1 Suolo Superficiale e Profondo 27

5.1.2 Acque sotterranee 29

5.2. Individuazione dei meccanismi di rilascio degli inquinanti, dei potenziali percorsi di diffusione e dei bersagli della contaminazione. 31

6. SINTESI DEGLI ESITI DELL'ANALISI DI RISCHIO SANITARIO-AMBIENTALE 32

7. STATO DI FATTO DELLA CONTAMINAZIONE 36

7.1 Estensione della contaminazione nel suolo superficiale e profondo 36

7.2 Estensione della contaminazione in falda 37

7.3 Attività eseguite per la bonifica della falda: *Enhanced Bioremediation* e collegamento del piezometro PM8 al sistema di *Pump&Treat* 40

7.4. Qualità dell'aria off-site 43

8. ATTIVITÀ DI MESSA IN SICUREZZA DELLA FALDA (*Pump&Treat*) 45

8.1. Monitoraggio dei livelli piezometrici 45

9. CRITERI UTILIZZATI PER LA SCELTA DELLA TECNOLOGIA DI BONIFICA 47

9.1 il riferimento normativo 47
9.2 Le analisi comparative per la scelta della tecnologia di bonifica 48
9.3 Conformità dell'intervento proposto ai principi della normativa tecnica 51
10. INTERVENTI PREVISTI: LA BONIFICA CON METODOLOGIE BIOLOGICHE 58
10.1 Premessa 58
Bioaugmentation: conoscenze e applicazione 58
Phytoremediation: conoscenze e criteri di applicazione 59
10.2 Applicazione di B*ioaugmentation* e P*hytoremediation* nei terreni e nella falda del sito ex-AGMA di Pesaro 60
Obiettivi 60
Verifica dell'applicabilità 61
10.3 Attuazione della *Bioaugmentation* nel terreno insaturo 65
Premessa 65
Terreno insaturo superficiale - Fase di avvio 65
Modalità operative per la messa in opera 66
Terreno insaturo superficiale - Fase di ricarica 68
10.4 Attuazione della P*hytoremediation* dei terreni - area a 68
Premessa 68
I processi nel sistema pianta-suolo 69
I processi nel sistema pianta-atmosfera 69
I processi associati al ciclo dell'acqua 69
Il modulo a Frassino minore 70
Il modulo a Vetiver 70
Il modulo ad arbusti sempreverdi (Fotinia - Eleagno - Fillirea) 70
Il modulo lineare a Tamerici 71
Gli alberi isolati (frassino maggiore) 71
Il modulo lineare a Pioppo cipressino 72
10.5 Interventi previsti sulla falda 72
10.5.1 Attuazione della *phytoremediation* della falda 72
Il modulo a Salici 74
Il modulo a Maonia 74
Il Pioppo bianco 75

10.5.2 Bonifica della falda: possibile test pilota di E*nhanced Bioremediation* con barriere ossidative (E*mitters*) 75
10.6 Ulteriori interventi per il miglioramento ambientale 77
Premessa 77
Il modulo lineare ad Alloro 77
Il modulo ad arbusti decidui (Cotogno - Forsizia) 78
Il muro di contenimento lato via morosini 78
Il muro verde lato benelli 79
Il modulo ad arbusti decidui (Maonia - Forsizia) 82
Gli alberi isolati 82
I moduli arbustivi-erbacei a gruppi (Erba della pampa – Buddleia) 83
Il modulo a Bambù 83
10.7 Le infrastrutture funzionali alla gestione dell'acqua 84
Premessa 84
Il Fitolago 84
Gestione del livello idraulico del fitolago 85
Modalità operative per la messa in opera 88
Scavo e impermeabilizzazione 88
Bordo interno 89
Impianto specie vegetali 89
Il canale di fitodepurazione 90
Modalità operative per la messa in opera 91
L'impianto di irrigazione 92
Criteri generali di progettazione 92
Criteri di progettazione del sistema di gestione e controllo dell'irrigazione 93
Il sistema idraulico 93
Modalità operative per la messa in opera 94
Il sistema di gestione e controllo dell'irrigazione: sezioni A-C 95
Il sistema di gestione e controllo dell'irrigazione: sezione D (area di scavo A) 96
Modalità di attuazione del controllo 97
Il sistema di gestione dell'irrigazione: sezioni F-H 98
10.8 Il monitoraggio operativo dei sistemi di bonifica 98
Premessa 98

Monitoraggio della comunità microbica del suolo 98
a) Vitalità microbica 98
b) attività microbica 99
c) struttura della comunità batterica 99
Monitoraggio dei sistemi vegetali 99
a) attecchimento e stato di vitalità 99
b) sviluppo e funzionalità degli organi epigei 100
c) sviluppo e funzionalità radicale 101
d) monitoraggio chimico fogliare 102
Il monitoraggio operativo ambientale 102
10.9. Biliografia 104
11. MONITORAGGI AMBIENTALI 106
11.1. Mitigazione e Controllo dei Contaminanti Aerodispersi 106
11.2. Il Monitoraggio dei Vapori 106
11.3 Il Monitoraggio della Qualità dell'Aria 112
11.4 Monitoraggio delle acque sotterranee 117
Bibliografia capitolo 11 120
12. CONTROLLI POST-OPERAM 121
13. ELEMENTI STRUTTURALI CONNESSI ALL'INTERVENTO DI BIORISANAMENTO 125
Muro di contenimento con gabbionate metalliche 125
Nuova rampa di accesso 126
Muro fiorito 126
Recinzione perimetrale area 127
Schermatura impianto P&T 127
Illuminazione area 127
14. COMPATIBILITÀ AMBIENTALE DEGLI INTERVENTI 128
14.1 Gestione dei materiali 128
14.1.1. Gestione dei materiali attualmente presenti sul sito 128
14.2. Gestione dei materiali che saranno prodotti durante l'attività di bonifica 130
Rimozione e Riutilizzo della Ghiaia 130
Rimozione e Riutilizzo della geomembrana in HDPE 130
Riutilizzo del Terreno derivante dallo scavo del Fitolago 131

14.3. Protezione salute, sicurezza e ambiente 131
14.3.1. Misure di sicurezza e criteri di protezione dei lavoratori 131
14.3.2. Organizzazione del cantiere di bonifica 131
14.3.3. Valutazione dei rischi 132
15. AUTORIZZAZIONI 133
16. CRONOPROGRAMMA 134
17. STIMA DEI COSTI DELLA BONIFICA 138

LISTA DEGLI ALLEGATI

DOCUMENTAZIONE CITATA

A. Determinazione n.218 del 06/02/2019;
B. Deliberazione di G.C. n. 46 del 05/03/2019;
C. Verbale tavolo tecnico 30/07/2019;
D. Verbale tavolo tecnico 10/12/2019;
E. Verbale tavolo tecnico 06/02/2020;
F. Verbale tavolo tecnico 26/05/2020;
G. Lettera di Marche Multiservizi S.p.A. integrativa al tavolo tecnico del 26/05/2020;
H. Autorizzazione allo scarico in pubblica fognatura (prot. 24009 del 23/03/2015);
I. Relazione sull'esito delle indagini microbiologiche sui suoli del sito e impostazione dei test in microcosmi (DIBAF – Università degli Studi della Tuscia);
J. Schermate del software RomePlus utilizzato per la verifica limiti flusso emissivo *indoor* e *outdoor*.
K. Schede SIRSI – progetto di bonifica

TABELLE FORMATO A3

Allegato TB1a – Dettagli costruttivi delle trincee per la *Bioaugmentation* sui terreni da bonificare

Allegato TB1b – Elementi per il calcolo di inoculo delle trincee per la *Bioaugmentation* sui terreni da bonificare

Allegato TB1c – Elementi per il calcolo del re-inoculo delle trincee per la *Bioaugmentation* sui terreni da bonificare

Allegato TB2(a) – Dettagli costruttivi dell'impianto di irrigazione per i terreni da bonificare

Allegato TB2(b) – Dettagli costruttivi dell'impianto di irrigazione per i terreni non da bonificare

SCHEDE BOTANICHE DESCRITTIVE DELLE SPECIE IMPIEGATE

Schede botaniche – I: arboree, arbustive ed erbacee dei terreni aerobici

Schede botaniche II: erbacee e acquatiche del Fitolago

TAVOLE GRAFICHE IN SCALA DI RAPPRESENTAZIONE IN OPERA DEI DIVERSI ELEMENTI DEL PROGETTO (IN PARENTESI I FORMATI DI STAMPA)

Tavola B1 – Quadro d'insieme (formato A0)

Tavola B2 – Contaminazione (formato A2)

Tavola B3 – Biobonifica suolo (formato A2)

Tavola B4 – Fitobonifica suolo (formato A2)

Tavola B5 - Fitobonifica falda (formato A2)

Tavola B6 – Piante Fitolago (formato A2)

Tavola B7 – Canale Fitolago (formato A2)

Tavola T1 – Scavi (formato A0)

Tavola T2 – Irrigazione (formato A0)

Tavola T3 – Opere (formato A0)

Tavola T4 – Picchettamento (formato A0)

1. PREMESSA E SCOPO DEI LAVORI

Esiste in Pesaro un'area iscritta nella Anagrafe dei siti contaminati, sita in via Morosini e distinta al c.t. foglio n. 20, mappale 3156, adibita fino al 1977 ad impianto di produzione del gas della locale Azienda Municipalizzata e successivamente ceduto in proprietà a società private (di seguito, il "*Sito Contaminato*" o *"l'Area EX AMGA"*). Durante i lavori propedeutici alla costruzione della terza torre in corrispondenza del sottocomparto 1 di cui al comparto edificatorio PN 5.6 Centro Direzionale Benelli (Area Ex-AMGA), sono stati rinvenuti nel sottosuolo i resti delle vasche in muratura della ex fabbrica del gas, alcune delle quali ancora intatte, contenenti catrame. In fase di messa in sicurezza di emergenza del sito si è quindi provveduto al loro completo svuotamento. Nell'anno 2013 il Comune di Pesaro ha dato avvio alla procedura di bonifica d'ufficio dell'area, ai sensi dell'art. 250 d.lgs. n. 152/2006, predisponendo un progetto operativo di bonifica che è stato approvato dalla Conferenza di Servizi prevista dall'art. 242 d.lgs. n. 152/2006 nella seduta del 04.07.2013 e reso esecutivo con delibera G.C. n. 145 del 7.8.2014.

Tale progetto prevedeva, per la matrice suolo, l'impiego della tecnologia di bonifica di *Dig&Dump* consistente nello scavo e rimozione di terreno contaminato, mentre, per la falda, l'installazione e messa a regime dell'impianto di *Pump & Treat (P&T)* e l'applicazione della tecnologia di *Enhanced Bioremediation (EB*) mediante distribuzione di sostanze a lento rilascio di composti bio-stimolanti, sia sul fondo dello scavo che direttamente in falda. Al termine della rimozione del terreno contaminato, gli esiti dei rilievi e delle verifiche effettuate da ARPAM hanno però evidenziato che, seppur l'intervento di bonifica di *Dig&Dump* abbia portato alla rimozione della maggior parte della contaminazione rinvenuta in sito, continuano a permanere inquinamenti del terreno anche in alcune zone limitrofe alla zona oggetto di bonifica originaria, mettendo pertanto in risalto il carattere non risolutivo degli interventi di bonifica eseguiti fino ad allora.

Il mancato raggiungimento degli obiettivi programmati di decontaminazione del sito è stato inoltre riconosciuto e confermato anche dalla "*Analisi di Rischio Sanitario Ambientale sito-specifica, applicata all'area EX AMGA*" redatta dall'Istituto Superiore di Sanità il 5.4.2018 e trasmessa al Comune di Pesaro in pari data.

Tutto ciò premesso, al fine di raggiungere il completamento della bonifica, il Comune di Pesaro ha avviato una collaborazione istituzionale con ARPA MARCHE e con l'Università della Tuscia di Viterbo per l'elaborazione di un nuovo progetto di bonifica, in prosecuzione alle attività già svolte sul sito, che preveda l'utilizzo di tecniche innovative di "*bio- phyto- remediation".*

Lo stesso Istituto Superiore di Sanità, nelle considerazioni conclusive del documento di Analisi di Rischio sopra richiamato, suggeriva di valutare la prosecuzione della bonifica del sito mediante l'applicazione di un intervento di biorisanamento, ambientalmente

compatibile ed economicamente sostenibile, in ragione della sua particolare efficacia per la rimozione della specifica tipologia di contaminazione rilevata nell'area EX AMGA.

Il qui presente progetto, che dovrà essere approvato in sede di Conferenza di Servizi prevista dall'art. 242 d.lgs. n. 152/2006, si basa sull'impiego combinato di microrganismi del suolo e piante (arboree, arbustive, erbacee), per la degradazione dei contaminanti organici ancora presenti nei terreni in una parte del sito. Il progetto va inoltre ad interagire anche con la contaminazione della falda, sia in modo indiretto che diretto. Sarà inoltre realizzato un sistema pilota di fitodepurazione delle acque di falda, per affiancare e rendere più sostenibile l'attuale sistema di messa in sicurezza (Pump & Treat).

Obiettivo del presente lavoro è la progettazione delle opere necessarie per pervenire alla bonifica delle matrici ambientali suolo, sottosuolo ed acque sotterranee.

Come emerso in sede dei due Tavoli Tecnici del 30/07/2019 e del 10/12/2019 propedeutici alla elaborazione del presente Progetto, al termine dei primi 5 anni ritenuti sufficienti per il pieno sviluppo dell'attività di biorisanamento, si valuterà la restituzione dell'area alla cittadinanza per gli scenari che, in base agli esiti del monitoraggio, saranno ritenuti accettabili coerentemente alla normativa vigente.

Di seguito viene riportato l'elenco della documentazione prodotta a partire dal mese di aprile 2010, già in possesso delle PP.AA.:

- Comunicazione ai sensi dell'art. 245 del D.Lgs. 152/2006, trasmessa dalle Società proprietarie dell'area in data 16 aprile 2010;
- Rapporto tecnico descrittivo degli interventi di Messa in Sicurezza di emergenza da adottare proposti (Petroltecnica, aprile 2010);
- Rapporto tecnico descrittivo degli interventi di Messa in Sicurezza eseguiti alla data del 05 maggio 2010 (Petroltecnica, maggio 2010);
- Piano della Caratterizzazione (Petroltecnica, maggio 2010);
- Rapporto tecnico descrittivo degli interventi di completamento della Messa in Sicurezza di Emergenza (Petroltecnica, luglio 2010);
- Piano della Caratterizzazione (Petroltecnica, agosto 2010);
- Indagini di caratterizzazione e Analisi di Rischio sanitario ambientale sito-specifica (Petroltecnica, gennaio 2012);
- Documentazione integrativa richiesta dalla Conferenza dei Servizi del 24/02/12 (Petroltecnica, marzo 2012).
- Progetto Operativo degli Interventi di Bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 (Petrotecnica, giugno 2013);
- Report di Conduzione Bonifica (B.Energy S.p.A., maggio 2015);

- Piano di Indagine Ambientale (B.Energy S.p.A., gennaio 2016);
- Report di Indagine Ambientale (B.Energy S.p.A., febbraio 2017);
- Report conduzione impianto Pump&Treat novembre 2017-gennaio 2018 (B. ENERGY, gennaio 2018);
- Relazione relativa agli interventi intrapresi per la bonifica dell'area ex-AMGA (Istituto Superiore di Sanità, marzo 2018);
- Elaborazioni di Analisi di Rischio igienico-sanitario relativa all'Area Ex-AMGA (Istituto Superiore di Sanità, febbraio 2018)
- Report conduzione impianto Pump&Treat febbraio 2018 - aprile 2018 (B. ENERGY, aprile 2018);
- Report conduzione impianto Pump&Treat maggio 2018 - luglio 2018 (B. ENERGY, luglio 2018);
- Report conduzione impianto Pump&Treat agosto 2018 - ottobre 2018 (B. ENERGY, novembre 2018);
- Report conduzione impianto Pump&Treat novembre 2018 - gennaio 2019 (B. ENERGY, gennaio 2019);
- Report conduzione impianto Pump&Treat febbraio 2019 - aprile 2019 (B. ENERGY, maggio 2019);
- Report conduzione impianto Pump&Treat maggio 2019 - luglio 2019 (B. ENERGY, agosto 2019);
- Report conduzione impianto Pump&Treat agosto 2019 – ottobre 2019 (B-ENERGY, novembre 2019).
- Report conduzione impianto Pump&Treat novembre 2019 – gennaio 2020 (B-ENERGY, gennaio 2020).
- Relazione sull'esito delle indagini microbiologiche sui suoli del sito e impostazione dei test in microcosmi (DIBAF – Università degli Studi della Tuscia, febbraio 2020).

2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Il presente Progetto di Bonifica è stato redatto secondo le indicazioni riportate nell'Allegato 3 al Titolo V, Parte Quarta del D.Lgs. 152/06 ed in conformità ai criteri, sotto riportati, individuati dal medesimo Allegato per la selezione e l'esecuzione degli interventi di bonifica e ripristino ambientale, di messa in sicurezza operativa o permanente, nonché per l'individuazione delle migliori tecniche di intervento a costi sostenibili (B.A.T.N.E.E.C. – *Best Available Technology Not Entailing Excessive Cost*).

L'Allegato 3 al Titolo V, Parte Quarta del D.Lgs 152/06 cita infatti testualmente *"(…) gli interventi di bonifica e di messa in sicurezza devono essere condotti secondo i seguenti criteri tecnici generali:*

a) privilegiare le tecniche di bonifica che riducono permanentemente e significativamente la concentrazione nelle diverse matrici ambientali, gli effetti tossici e la mobilità delle sostanze inquinanti;

b) privilegiare le tecniche di bonifica tendenti a trattare e riutilizzare il suolo nel sito, trattamento in-situ ed on-site del suolo contaminato, con conseguente riduzione dei rischi derivanti dal trasporto e messa a discarica di terreno inquinato;

c) privilegiare le tecniche di bonifica/messa in sicurezza permanente che blocchino le sostanze inquinanti in composti chimici stabili (ed es. fasi cristalline stabili per metalli pesanti).

d) privilegiare le tecniche di bonifica che permettono il trattamento e il riutilizzo nel sito anche dei materiali eterogenei o di risulta utilizzati nel sito come materiali di riempimento;

e) prevedere il riutilizzo del suolo e dei materiali eterogenei sottoposti a trattamenti off-site sia nel sito medesimo che in altri siti che presentino le caratteristiche ambientali e sanitarie adeguate;

f) privilegiare negli interventi di bonifica e ripristino ambientale l'impiego di materiali organici di adeguata qualità provenienti da attività di recupero di rifiuti urbani;

g) evitare ogni rischio aggiuntivo a quello esistente di inquinamento dell'aria, delle acque sotterranee e superficiali, del suolo e sottosuolo, nonché ogni inconveniente derivante da rumori e odori;

h) evitare rischi igienico-sanitari per la popolazione durante lo svolgimento degli interventi;

i) adeguare gli interventi di ripristino ambientale alla destinazione d'uso e alle caratteristiche morfologiche, vegetazionali e paesistiche dell'area.

j) per la messa in sicurezza privilegiare gli interventi che permettano il trattamento in situ ed il riutilizzo industriale dei terreni, dei materiali di risulta e delle acque

estratte dal sottosuolo, al fine di conseguire una riduzione del volume di rifiuti prodotti e della loro pericolosità;

k) *adeguare le misure di sicurezza alle caratteristiche specifiche del sito e dell'ambiente da questo influenzato;*

l) *l)evitare ogni possibile peggioramento dell'ambiente e del paesaggio dovuto dalle opere da realizzare.*

Alla luce del Certificato di Destinazione urbanistica dell'area, consegnato dal Comune di Pesaro – Servizio Pianificazione Urbanistica nel corso della Conferenza dei Servizi istruttoria del 24 giugno 2010, il sito comprende sia un uso verde pubblico, privato e residenziale, sia un utilizzo residenziale e terziario. Pertanto, ai fini della bonifica del sito in oggetto, sono state prese in considerazione per la matrice terreno le Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) indicate nell'Allegato 5 al Titolo V del D.Lgs. 152/06 per Siti ad uso Verde Pubblico, Privato e Residenziale (colonna A).

Nella seguente Tabella 1 vengono riportate le CSC relative ai parametri analitici selezionati per la matrice terreno, in funzione della specifica destinazione d'uso del sito.

Tabella 2.1. Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) nel suolo e sottosuolo (Tab.1 – Col.A – All.5- Parte Quarta- D.Lgs. 152/06)

Nome contaminante	CSC - D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 Col. A *Siti ad uso Verde pubblico, privato e residenziale (mg/kg ss)*	Nome contaminante	CSC - D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 Col. A *Siti ad uso Verde pubblico, privato e residenziale (mg/kg ss)*
Idrocarburi leggeri C<12	10	Dibenzo(a,h)antracene	0.1
Idrocarburi pesanti C>12	50	Dibenzo(a,h)pirene	0.1
antimonio	10	Dibenzo(a,i)pirene	0.1
arsenico	20	Dibenzo(a,l)pirene	0.1
berillio	2	indenopirene	0.1
cadmio	2	pirene	5
cobalto	20	naftalene	5
cromo	150	fluorene	5
manganese	2	fenantrene	5
mercurio	1	antracene	5
nichel	120	fluorantene	5
piombo	100	Sommatoria IPA	10
rame	120	cloroformio	0.1
selenio	3	clorometano	0.1
vanadio	90	Cloruro di vinile	0.01

zinco	150	1,2-dicloroetano	0.2
cianuri	1	1,1-dicloroetilene	0.1
mtbe	10	diclorometano	0.1
etbe	10	tetracloroetilene (PCE)	0.5
benzene	0.1	tricloroetilene	1
etilbenzene	0.5	1,1-dicloroetano	0.5
xileni	0.5	1,2-dicloroetilene	0.3
mp - xileni	0.5	1,2-dicloropropano	0.3
o-xilene	0.5	1,1,2,2-tetracloroetano	0.5
stirene	0.5	1,1,2-tricloroetano	0.5
toluene	0.5	1,2,3-tricloropropano	1
n-propilbenzene	0.5	fenolo	1
isopropilbenzene	0.5	metilfenolo(o-,m-,p-)	0.1
Sommatoria organici aromatici	1	2-clorofenolo	0.5
Benzo(a)antracene	0.5	2,4-diclorofenolo	0.5
Benzo(a)pirene	0.1	pentaclorobenzene	0.01
Benzo(b)fluorantene	0.5	2,4,6-triclorofenolo	0.01
Benzo(ghi)perilene	0.1	Tribromometano (bromoformio)	0.5
Benzo(k)fluorantene	0.5	1,2-dibromoetano	0.01
crisene	5	Dibromoclorometano	0.5
Dibenzo(a,e)pirene	0.1	bromodiclorometano	0.5

In riferimento alle acque sotterranee, il D.Lgs. 152/06 stabilisce un'unica categoria; le CSC sono riportate nella Tabella 2 dell'Allegato 5 al Titolo V del medesimo decreto e riassunte nella seguente Tabella 2.

Tabella 2.2. Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) nelle acque sotterranee (Tab. 2 – All. 5- Parte Quarta del D.Lgs. 152/06)

Nome contaminante	CSC- *D.Lgs. 152/2006 Tab. 2 (µg/L)*	Nome contaminante	CSC- *D.Lgs. 152/2006 Tab. 2 (µg/L)*
Idrocarburi totali	350	1,2,3-Tricloropropano	0.001
arsenico	10	2-clorofenolo	180
cromo	50	2,4-diclorofenolo	110
nichel	20	pentaclorofenolo	0.5
Cianuri li	50	2,4,6-triclorofenolo	5
benzene	1	ETBE	40
etilbenzene	50	MTBE	40
stirene	25	o-xilene	10
mp_xilene	10	1,3,5-trimetilbenzene	10

toluene	15	1,2,4-trimetilbenzene	10
Benzo(a)antracene	0.1	1,2,3-trimetilbenzene	10
Benzo(a)pirene	0.01	naftalene	5
Benzo(b)fluorantene	0.1	fluorene	5
Benzo(ghi)perilene	0.01	fenantrene	5
Benzo(k)fluorantene	0.05	antracene	5
crisene	5	fluorantene	5
Dibenzo(a,h)antracene	0.01	diclorometano	0.15
indenopirene	0.1	Dibenzo(a,e)antracene	0.05
pirene	50	1,2-dibromoetano	0.001
Sommatoria IPA	0.1	bromodiclorometano	0.17
cloroformio	0.15	dibromoclorometano	0.13
clorometano	1.5	Alluminio	200
Cloruro di Vinile	0.5	Antimonio	5
1,2 dicloroetano	3	berillio	4
esaclorobutadiene	0.15	boro	1000
1,1 Dicloroetilene	0.05	ferro	200
Tetracloroetilene (PCE)	1.1	manganese	50
tricloroetilene	1.5	cadmio	5
Sommatoria organoalogenati	10	mercurio	1
1,1-Dicloroetano	810	piombo	10
1,2-dicloroetilene	60	rame	1000
1,2-dicloropropano	0.15	selenio	10
1,1,2,2-tetracloroetano	0.05	vanadio	50
1,1,2-tricloroetano	0.2	zinco	3000

Si ricorda che lo scarico in pubblica fognatura delle acque sotterranee emunte dal sottosuolo e trattate dal sistema di messa in sicurezza installato ed attivo presso il sito in oggetto a partire dal 2010, avviene in ottemperanza a quanto indicato nell'autorizzazione rilasciata dal Comune di Pesaro il giorno 23/03/15 (prot. n. 24009 del 23/03/2015) riportata in allegato. In particolare, la succitata autorizzazione stabilisce che le caratteristiche qualitative dello scarico terminale devono sempre rispettare i limiti della Tabella 3 dell'Allegato 5 alla Parte Terza del D.Lgs. 152/2006 (per scarico in acque superficiali).

Si fa altresì presente che nella progettazione degli interventi di bonifica, si è tenuto conto delle indicazioni fornite dalle PP.AA. durante i tre tavoli tecnici svoltisi in data 30 luglio 2019, 10 dicembre 2019 e 6 febbraio 2020, riportati in allegato.

3. INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DEL SITO

3.1 DESCRIZIONE DEL SITO

Il sito in esame, identificato dal poligono rosso in Figura 3.1 deriva dalla suddivisione in due unità (denominate Sottocomparto 1, oggetto della presente revisione del progetto di bonifica, e Sottocomparto 2) del comparto edificatorio "*PN 5.6 Centro Direzionale Benelli*", compreso fra via Morosini, via Del Lazzaretto e via Del Monaco a Pesaro.

Figura 3.1. Area contaminata EX-AMGA

Dal 1882 al 1974 l'area fu destinata alla produzione e distribuzione del gas, attraverso la distillazione del carbon-fossile.

Al momento dei primi interventi di Messa in Sicurezza di Emergenza (MISE) condotti in sito nel periodo aprile 2010 – luglio 2010 (descritti al Capitolo 3 del *Piano della Caratterizzazione*), sono stati rinvenuti nel sottosuolo resti di sei vasche in muratura della ex fabbrica del gas, la cui ubicazione è riportata in **Figura 3.2**.

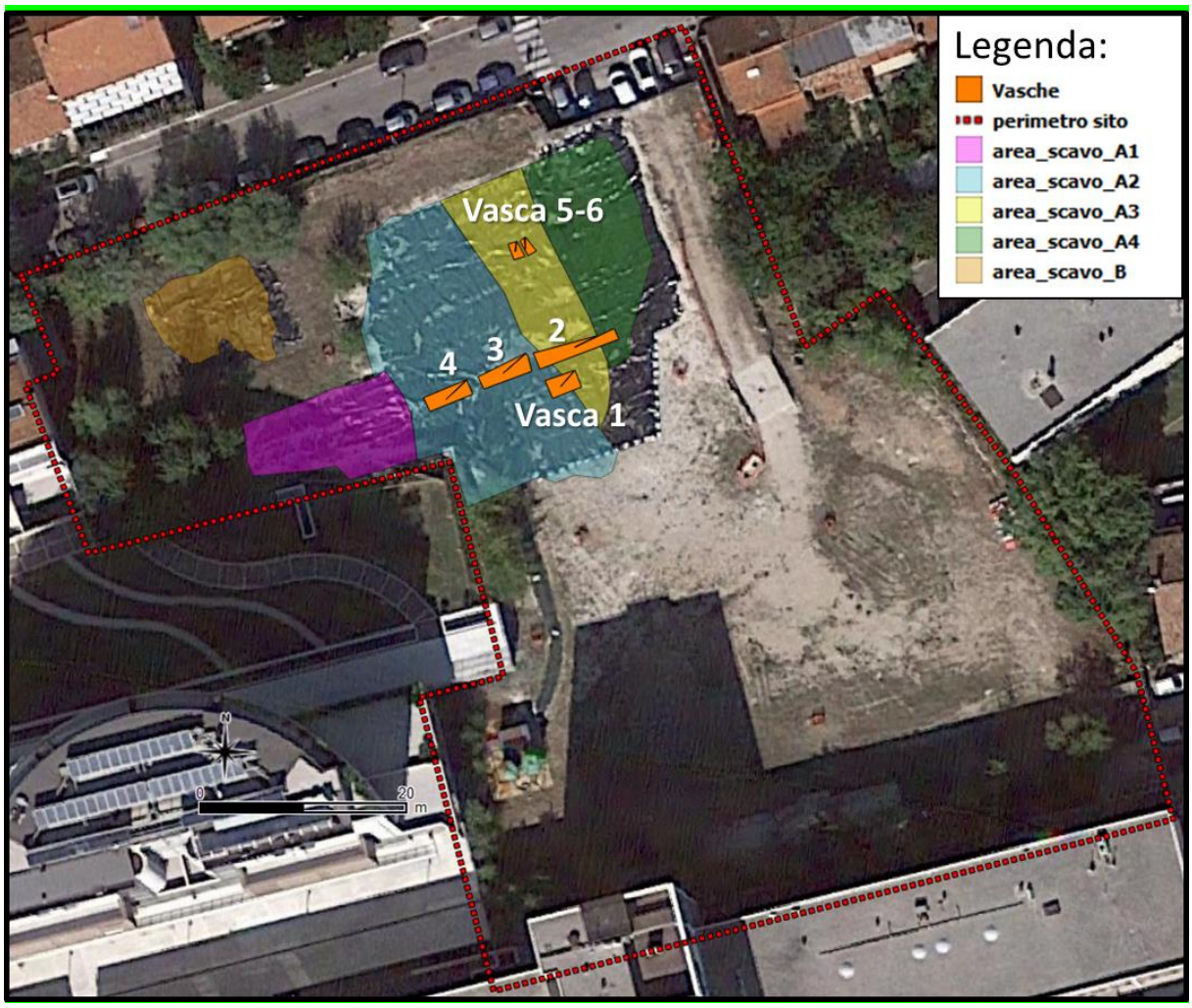


Figura 3.2 Ubicazione delle vasche in muratura rinvenute e successivamente rimosse con le attività di MISE.

Le suddette strutture interrate sono state rimosse nel corso del primo intervento di bonifica (*Dig&Dump*) condotto nel periodo gennaio 2015 - dicembre 2015, durante il quale è stata rimossa la maggior parte del terreno contaminato rinvenuto nel sito, come da progetto approvato con determinazione dirigenziale del Comune di Pesaro n. 1221 del 18/7/2013. Le aree oggetto di escavazione (Area A e Area B) sono riportate in **Figura 3.2**.

Allo stato odierno si evidenzia come l'attuale piano di calpestio dell'area risulti fortemente irregolare, con un dislivello massimo di circa 3,0 m tra la rampa di accesso al sito (via Morosini), non interessata da alcun intervento (area a nord-est), e la porzione centro-meridionale del Sottocomparto - 1 (verso via Del Lazzaretto). L'area nella quale sono stati rinvenuti i resti delle vasche e che è stata oggetto di operazioni di scavo e rimozione del terreno contaminato (*Dig&Dump*) nel 2015, risulta invece depressa di circa 2,0 m rispetto alla stessa via Morosini. Successivamente al ritombamento degli scavi, l'area è stata ricoperta da una geo-membrana in HDPE ancora presente.

3.2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, TERRITORIALE ED URBANISTICO

Il sito di intervento è ubicato nel tratto terminale della piana alluvionale del Fiume Foglia, ad un chilometro circa dalla sua foce e si sviluppa su una superficie pianeggiante estesa circa 5.200 m^2 posta ad una quota di circa 3,0 m sul livello del mare (piano campagna originario). Il sito ricade a Nord-Ovest del centro storico di Pesaro (**Figura 3.3**), in un contesto urbanistico di tipo commerciale e residenziale, ed è delimitato da via del Lazzaretto, via Morosini e via Del Monaco.

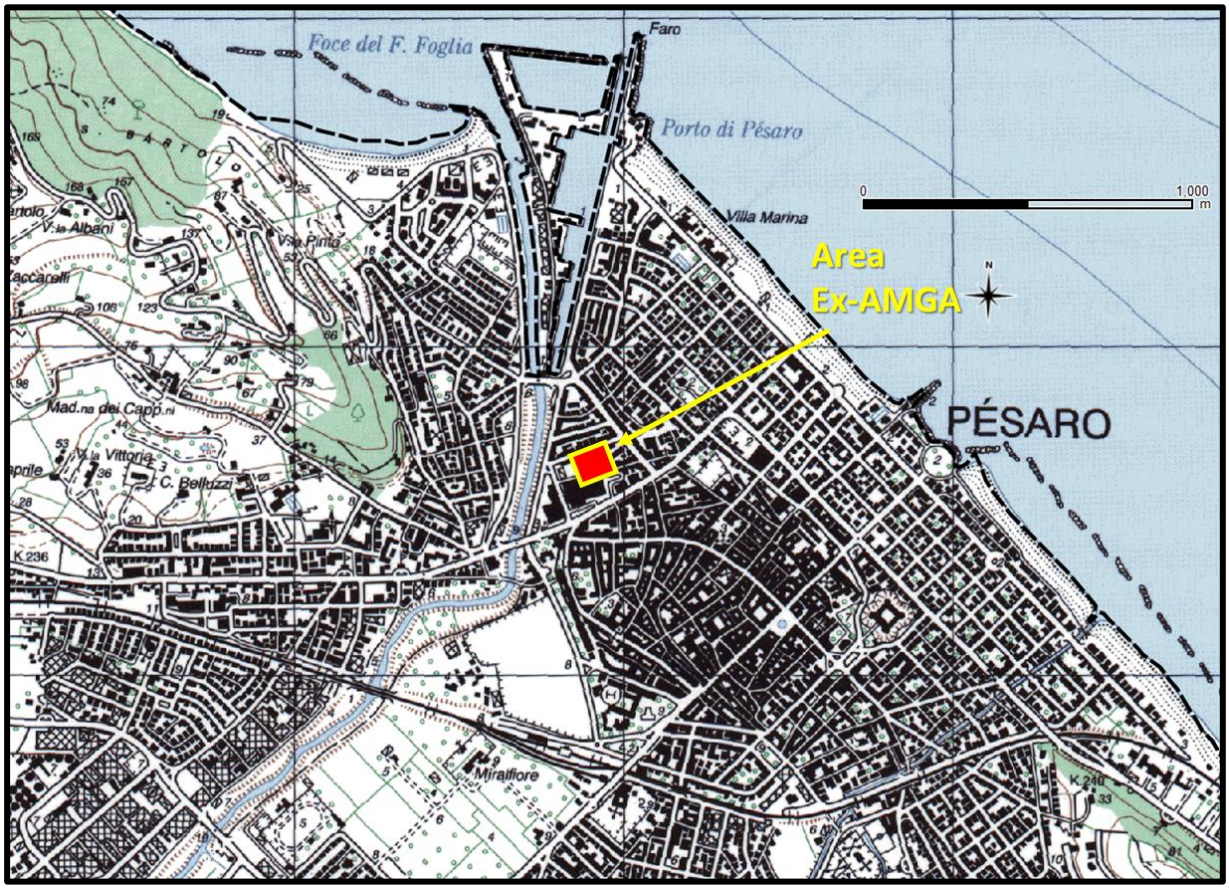


Figura 3.3 Ubicazione del sito ex-AMGA.

3.3 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO E GEOLOGICO – STRATIGRAFICO

Il sito in oggetto si trova nelle alluvioni fluviali terrazzate del Fiume Foglia, nel tratto terminale della relativa conoide. Le alluvioni sono costituite da sedimenti rappresentati in superficie da ghiaie con limo sabbioso e sabbia limosa, passanti a sottostanti ghiaie addensate. Il substrato roccioso, riferibile al Miocene superiore e al Pliocene inferiore e medio, si trova ad una profondità media di circa 50 m dal piano campagna ed è formato da sedimenti marini in facies arenaceo-marnosi. Nell'area di indagine, il Fiume Foglia attraversa con il suo asse, orientato da Sud-Ovest verso Nord-Est, una struttura con configurazione tipica a pieghe, con una serie di anticlinali e sinclinali disposti in direzione Nord-Ovest – Sud-Est, costituite da depositi pre-quaternari di origine marina in facies arenaceo-marnosa. In queste formazioni il corso d'acqua ha scavato la sua valle,

colmandola con abbondanti sedimenti alluvionali attraverso fasi alternate di erosione e deposizione nel corso del Pliocene e dell'Olocene.

A scala di dettaglio, è stato possibile ricostruire la stratigrafia del sito utilizzando i 54 sondaggi eseguiti all'interno del sito e 4 sondaggi esterni, la cui profondità massima raggiunge gli 8 metri da piano campagna.

In **Figura 3.4** è possibile vedere che l'area in oggetto (delimitata dal poligono verde) mostra una prevalenza di materiale ghiaioso in matrice sabbioso limosa variabile al di sotto di spessori variabili di riporto. Localmente si nota la presenza di lenti di limi sabbiosi e argille limose.

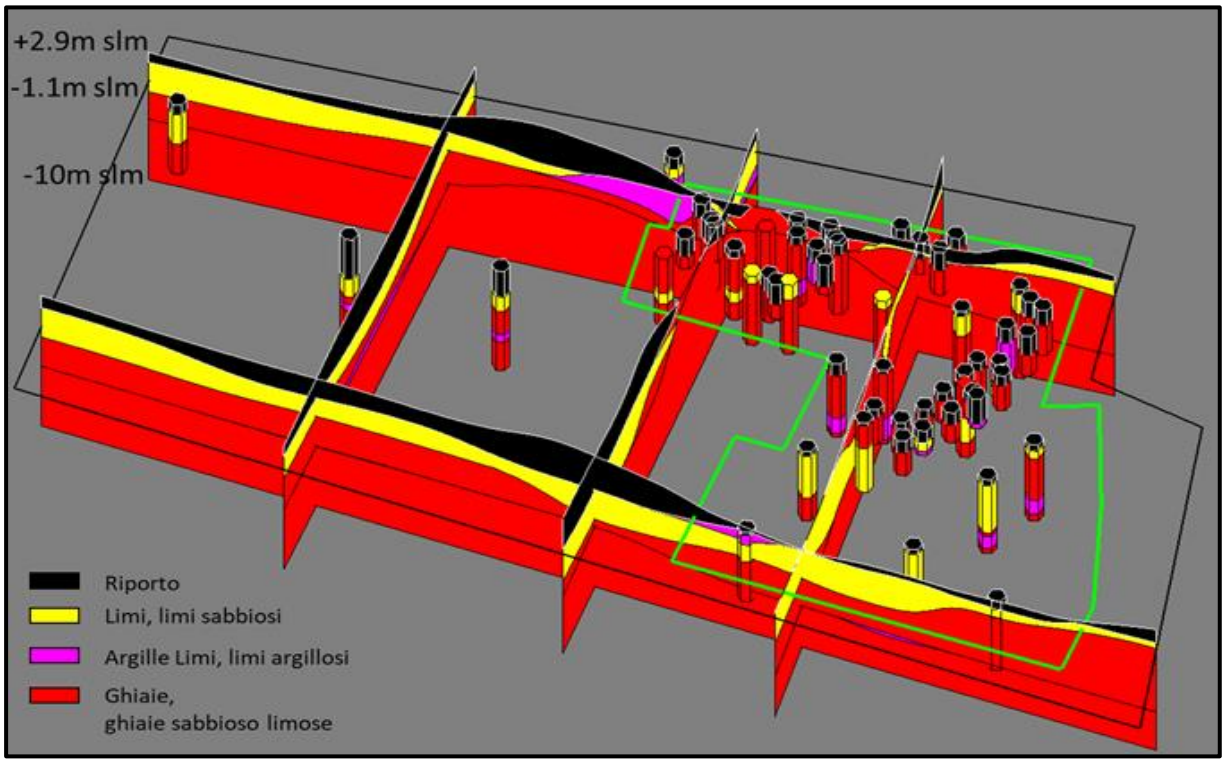


Figura 3.4 Ricostruzione stratigrafica del sito ex-AMGA (Area delimitata dal poligono verde).

3.4 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO

L'idrografia superficiale è caratterizzata dalla presenza del Fiume Foglia, che scorre da Sud verso Nord, a circa 100 metri di distanza in direzione Ovest dall'area in esame. Il regime idraulico del suddetto corso d'acqua è fortemente condizionato dall'andamento delle precipitazioni, con portate massime in autunno (e secondariamente in inverno e primavera) e minime nei mesi estivi di luglio e agosto.

Nella zona di studio la falda è molto superficiale, con una soggiacenza minima nel 2019 di 0.65 metri da boccapozzo nel PM6 e massima di 3.1 metri nel PM9, che però si trova a quote maggiori rispetto agli altri piezometri.

La direzione di flusso prevalente della falda in condizioni statiche è stata inizialmente determinata nel Piano di Caratterizzazione del 2011, in cui si evidenziava un flusso prevalente Nord/Nord-Ovest verso Sud/Sud-Est, probabilmente influenzata dalla presenza di pompe e dreni utilizzate per mantenere asciutti i garage degli edifici circostanti il sito EX AMGA. Per questo studio la mappa delle isofreatiche (**Figura 3.5)** è stata aggiornata con misurazioni in condizioni statiche a impianto di P&T spento per manutenzione. Rispetto alla elaborazione del 2010 (Piano della Caratterizzazione) sono stati inclusi anche tre piezometri esterni al sito (PZ C, PZ D e PZ E) non appartenenti alla rete di monitoraggio del sito EX AMGA (analizzati in passato non hanno mostrato contaminazione da idrocarburi).

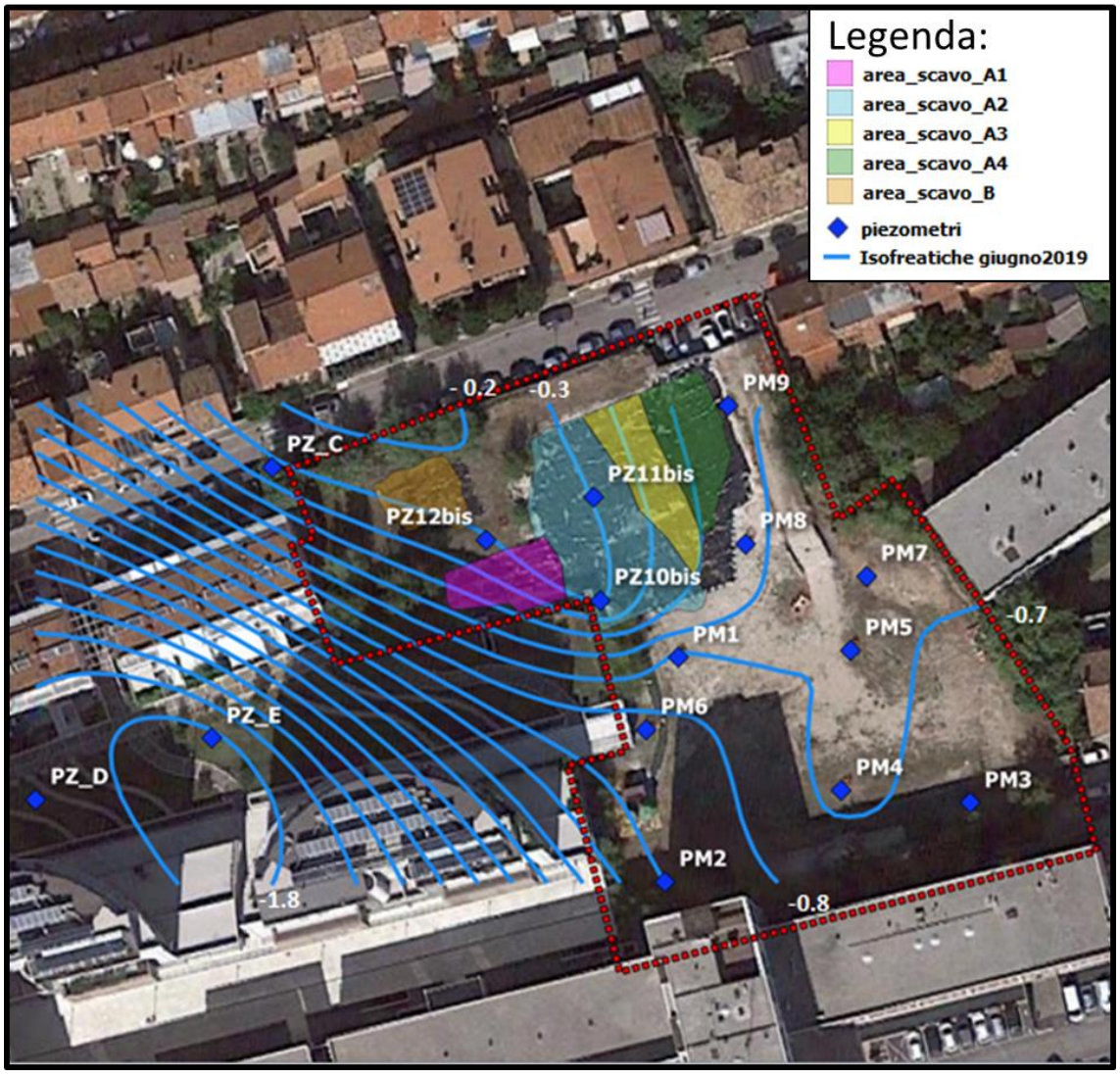


Figura 3.5 Andamento della falda in condizioni statiche – misurazioni di giugno 2019.

4. CRONISTORIA DELLE ATTIVITÀ ESEGUITE

A seguito del rilevamento di inquinanti sull'Area Ex-AMGA, verificatosi in data 07/04/2010 durante i lavori propedeutici alla costruzione della terza torre da parte della Società Edilgruppo Srl, Adriatica Costruzioni Srl, Immobiliare Ciemme s.n.c., Arcovallato Srl - proprietarie del sottocomparto 1 di cui al comparto edificatorio PN 5.6 Centro Direzionale Benelli (Area Ex-AMGA), le stesse società hanno provveduto, attraverso ditta abilitata (Petroltecnica S.p.A.) alla messa in opera dei primi interventi di *Messa in Sicurezza di Emergenza* (MISE). Durante gli interventi di Messa In Sicurezza di Emergenza, che hanno preso avvio il giorno 26 aprile del 2010 (data di rimozione dei sigilli al cantiere da parte del N.O.E. di Ancona) e si sono conclusi il giorno 10 maggio del 2010, sono stati rinvenuti nel sottosuolo resti di vasche in muratura della ex fabbrica del gas, alcune delle quali ancora intatte, contenenti catrame. In fase di MISE si è quindi provveduto al loro svuotamento e successiva ricopertura con lastra di cls armato. Oltre agli Interventi di *Messa In Sicurezza di Emergenza* e *Messa in sicurezza della falda idrica*, la ditta Petroltecnica SpA ha provveduto alla elaborazione di una *indagine idrogeologica preliminare* volta ad una prima valutazione dello stato di qualità delle acque sotterranee e dei terreni.

- Interventi di messa in sicurezza di Emergenza (MISE) svolti nel 2010:

1) Rimozione di parte del terreno evidentemente contaminato;
2) Aspirazione delle morchie oleose pompabili e delle acque di risulta derivanti dal lavaggio delle vasche interrate in cemento rinvenute nel sottosuolo;
3) Messa in Sicurezza della Falda Idrica (*Pump&Treat*), installato, inizialmente, in corrispondenza dei Piezometri PM-1 e PM-3.

- Indagine Idrogeologica Preliminare: Al fine di definire la direzione di deflusso, a scala locale, della falda idrica superficiale e valutare lo stato di qualità delle acque sotterranee e dei terreni, la ditta Petroltecnica SpA ha realizzato, nei giorni dal 5 al 7 maggio 2010, una *Indagine Idrogeologica Preliminare* tramite l'esecuzione di n.3 sondaggi geognostici, denominati PM-1, PM-2, PM-3 (i quali sono stati successivamente convertiti in pozzi di monitoraggio della falda idrica superficiale), con successivi prelievi, analisi e attività di rilievo .

- Presentazione da parte delle Ditte proprietarie del Piano della Caratterizzazione, approvato con la Conferenza dei Servizi del 27/09/2010.

- Esecuzione delle indagini di caratterizzazione (aprile-giugno 2011), conformemente al Piano approvato, condotte dalla ditta Petroltecnica SpA in contraddittorio con ARPAM;

- Interventi periodici di monitoraggio nell'ambito della messa in sicurezza della falda idrica (*Pump&Treat*);

➢ Elaborazione, sulla base dei risultati di Caratterizzazione, di un'A*nalisi di Rischio* sanitario ambientale sito-specifica, predisposta secondo le linee guida riportate nell'Allegato 1 al titolo V della parte Quarta del D.Lgs. 152/2006, con la definizione delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR), sulla base delle quali impostare i successivi interventi di bonifica.

A seguito di quanto emerso nel corso dei tavoli tecnici e delle Conferenze dei Servizi svolti con le PP.AA. nel periodo compreso tra i mesi di febbraio 2012 ed aprile 2013, con la Determinazione n. 1573 del 17/10/2012 e la successiva rettifica n. 1643 del 24/10/2012, emesse dal comune di Pesaro – Servizio Qualità Ambiente, l'Analisi di Rischio presentata da Petroltecnica per conto delle proprietà è stata ritenuta non applicabile, ed è stata richiesta la presentazione di un *Progetto Operativo di Bonifica* ed eventuale *Analisi di Rischio residua*.

➢ Presentazione da parte della ditta Petroltecnica S.p.A., su incarico del Comune di Pesaro sostituitosi ai sensi dell'Art. 250 del D.Lgs. 152/2006 (*bonifica da parte dell'amministrazione*) alle società proprietarie del sottocomparto 1 del Centro Direzionale Benelli, *del Progetto Operativo degli Interventi di Bonifica.* Tale Progetto prevedeva l'esecuzione delle seguenti attività:

1) *Dig&Dump* (D&D): scavo e rimozione dei terreni non conformi alle CSC fissate dal D.Lgs. 152/06 per Siti ad uso Verde Pubblico, Privato e Residenziale fino alla profondità di progetto prevista;
2) Campagna di monitoraggio dei gas interstiziali del sottosuolo (Soil Gas Survey) finalizzata a valutare le concentrazioni dei contaminanti che potenzialmente avrebbero potuto volatilizzarsi nell'atmosfera a seguito dell'attuazione degli interventi di bonifica mediante D&D;
3) Demolizione e rimozione delle strutture interrate e livellamento della superficie*;*
4) Installazione di un sistema di depressione della falda idrica *(Well Point);*
5) *Enhanced Bioremediation* (EB): applicazione diretta di composti a lento rilascio di ossigeno, sotto forma di *pellets,* sul fondo degli scavi realizzati per la rimozione dei terreni contaminati ed iniezione diretta (*direct push*) in falda di composti a lento rilascio di idrogeno in corrispondenza della restante porzione del sito, interessata prevalentemente dalla presenza di composti clorurati disciolti in falda;
6) *In Situ Chemical Oxidation (ISCO):* trattamento per mezzo di ossidazione chimica in situ dei terreni saturi e delle acque sotterranee da realizzare mediante l'iniezione di una miscela di acqua-agente ossidante in corrispondenza di punti di iniezione dedicati;
7) *Pump&Treat (P&T):* emungimento, trattamento e scarico in pubblica fognatura delle acque sotterranee in corrispondenza dei piezometri PM-1, PM-5 e PM-7.

➢ Con Deliberazione di G.C. 145 del 07/08/2014, a seguito della sua discussione in sede di Conferenza di Servizi, è stato approvato il Progetto Operativo di Bonifica redatto dalla ditta Petroltecnica Spa in nome e per conto del Comune di Pesaro.

Il giorno 19/01/2015 sono iniziati i lavori di bonifica, regolarmente appaltati ed affidati alla ditta B-ENERGY S.p.A. di Torino. Tali lavori hanno previsto l'esecuzione delle seguenti attività, sotto riportate in ordine cronologico:

1) Campagna di monitoraggio *Soil Gas Survey*;
2) Installazione del nuovo impianto *Pump & Treat* (P&T);
3) Attività di svuotamento e demolizione vasche;
4) Installazione di un sistema di depressione del livello piezometrico (Well Point);
5) Attività di *Dig & Dump* (D&D): effettuata in corrispondenza delle aree identificate nella Figura 3.2 (Aree A e B), con profondità di scavo rispettivamente pari a 3.0 metri e 2.0 metri dal p.c.
6) Accertamento della qualità ambientale in corrispondenza degli scavi eseguiti;
7) Applicazione della tecnologia di *Enhanced Bioremediation* (EB) direttamente in scavo;
8) Riposizionamento di una nuova geomembrana in HDPE a protezione dell'intera area di scavo.

Le attività di bonifica, consistite nello scavo e rimozione del terreno contaminato dalle aree indicate a progetto come A e B (Figura 3.2) sono terminate in data 22/12/2015, con il ripristino del settore 4;

Il collaudo ambientale, in contraddittorio con ARPA Marche, ha mostrato la non conformità di alcuni dei campioni di terreno prelevati dalle pareti e dal fondo scavo, agli obiettivi di bonifica.

Tabella 4.1. Sintesi delle attività di bonifica "*DIG&DUMP": 28/05/2015÷27/11/2015*

ATTIVITÀ	**AREA B**	**AREA A, settore 1**	**AREA A, settore 2**	**AREA A, settore 3**	**AREA A, settore 4**
Inizio lavori	28/05/2015	08/09/2015	10/09/2015	25/10/2015	10/11/2015
Messa in regime del sistema di *Well Point*	NO	07/09/2015	07/09/2015	06/11/2015	06/11/2015
Campionamento di Collaudo	01/06/2015 22/06/2015	10/09/2015 08/10/2015	17/09/2015 08/10/2015	26/11/2015	21/12/205
Allargamento dell'Area di	22/06/2015	NO	08/10/2015	NO	NO

Scavo					
Enhanced Bioremediation (EB)	SI	SI	SI	SI	SI
Ripristino dello scavo	24/06/2015	21-23/10/2015	21-23/10/2015	27/11/2015	22/12/2015
Esito del Collaudo	Limitati superamenti delle CSC per alcuni IPA nei campioni di parete dello scavo	Raggiungimento degli obiettivi di bonifica: Settore 1 collaudabile	L'area contaminata si estende oltre i confini progettuali lungo il lato SE dello scavo.	L'area contaminata si estende oltre i confini progettuali lungo il lato E dello scavo	L'area contaminata si estende oltre i confini progettuali lungo il lato E dello scavo

➢ A seguito delle non conformità emerse in sede di collaudo è stato approvato il *Piano di Indagine Ambientale* predisposto dalla Ditta B-Energy S.p.A. per conto del Comune di Pesaro, (CdS del 20/01/2016) per la definizione completa dell'estensione areale della contaminazione residua nella matrice terreno.

➢ Ad agosto 2016 sono state eseguite le attività di indagine previste dal suddetto Piano consistenti nell'esecuzione di n. 31 sondaggi geognostici (S0÷S30) a carotaggio continuo a secco, spinti sino alla profondità massima di - 6.5 metri dal p.c. I punti scelti per le indagini sono stati definiti per delimitare l'estensione areale della contaminazione esterna alle aree di scavo.

Le analisi di laboratorio effettuate sui campioni di terreno, i cui risultati sono compiutamente riportati nel documento "Report di Indagine Ambientale" redatto dalla Ditta B-Energy in data 16/02/2017 a cui si rimanda per un maggiore approfondimento, hanno mostrato la non conformità agli obiettivi di bonifica per 52 dei 93 campioni di terreno prelevati e fatti analizzare, rilevando superamenti delle CSC previste dal D.Lgs. 152/06 per Siti ad uso Verde pubblico, privato e residenziale per i seguenti parametri:

- Piombo
- Zinco
- Benzene
- o,m,p-xilene
- Stirene
- Toluene
- Sommatoria Organici Aromatici
- Benzo (a) antracene
- Benzo (a) pirene
- Benzo (b) fluorantene
- Dibenzo (a,h) antracene
- Dibenzo (a,h) pirene
- Dibenzo (a,i) pirene
- Dibenzo (a,l) pirene
- Indeno (1,2,3-c,d) pirene
- Pirene
- Sommatoria IPA
- Cloroformio
- Diclorometano
- Percloroetilene

- Benzo (g,h,i) perilene
- Benzo (k) fluorantene
- Crisene
- Dibenzo (a,e) pirene
- Fenolo, o,m,p-Metilfenolo
- Idrocarburi pesanti C>12
- Idrocarburi leggeri C≤12

➢ Su richiesta dell'Amministrazione Comunale, si è ottenuta in data 27/07/2017 la disponibilità da parte dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS) per effettuare una valutazione del rischio sull'area EX AMGA in relazione alle modalità e successiva ulteriore bonifica collegata ai possibili futuri scenari di intervento (Protocollo N. 0022421 del 25/07/2017).

➢ A seguito della formalizzazione di tale collaborazione, dalle prime risultanze delle analisi dell'ISS, sentita anche l'ARPAM nel tavolo tecnico del 12/10/2017, è stata evidenziata la necessità di proseguire con le attività di *Pump&Treat* anche a seguito della chiusura del cantiere, al fine di evitare eventuali aumenti e/o ulteriori inquinamenti della falda.

➢ L'analisi di Rischio redatta dall'Istituto Superiore di Sanità è stata approvata dalla Conferenza di Servizi di cui all'art. 242 D.Lgs. n. 152/2006 nella seduta del 14/01/2019 e recepita dal Comune di Pesaro con determinazione n. 218 del 06/02/2019, è stata condotta utilizzando il software RISK-NET (versione 2.1), in modalità diretta per quanto riguarda la sorgente di contaminazione secondaria Acqua Sotterranea (GW) e in modalità inversa per la sorgente di contaminazione Suolo – Suolo Superficiale (SS) e Suolo Profondo (SP).

L'Analisi di Rischio predisposta dall'ISS ha evidenziato il carattere non risolutivo degli interventi di bonifica eseguiti e pertanto riconoscendo il mancato raggiungimento degli obiettivi programmati di decontaminazione del sito. Lo stesso Istituto, nelle considerazioni conclusive del documento di cui sopra, ha suggerito di valutare la prosecuzione della bonifica del sito mediante l'applicazione di un intervento alternativo di biorisanamento (*bio-phyto-remediation*), ambientalmente compatibile ed economicamente sostenibile, in ragione della sua particolare efficacia per la rimozione della specifica tipologia di contaminazione rilevata nell'area, tenendo conto che "(…) *tali tecnologie di intervento potranno essere applicate direttamente in sito senza bisogno di escavazione o estrazione di suolo, presentando peraltro molteplici vantaggi tra cui: il disturbo minimo dell'area in esame, l'elevata compatibilità ambientale (mancato utilizzo di solventi, reagenti chimici, elevate temperature e pressioni, ecc..) e costi di applicazione relativamente bassi* (…)".

➢ In recepimento delle considerazioni contenute nell'Analisi di Rischio dell'ISS, al fine di raggiungere il completamento della bonifica, il Comune di Pesaro ha convenuto di addivenire alla sottoscrizione di una convenzione, stipulata ai sensi dell'art. 15 della Legge n. 241 del 1990 (Accordi tra Pubbliche Amministrazioni), con ARPA MARCHE e

con il Dipartimento per la Innovazione nei Sistemi Biologici Agroalimentari e Forestali (DIBAF) dell'Università della Tuscia di Viterbo per l'elaborazione di un nuovo progetto di bonifica, in prosecuzione alle attività già svolte sul sito, volto a completare la bonifica dell'area EX AMGA mediante l'impiego di tecniche innovative di "*phytoremediation*".

- Con Deliberazione di Giunta Comunale n. 46 del 05/03/2019 è stato approvato lo schema di convenzione sopra menzionato; tale convenzione è stata sottoscritta digitalmente dal DIBAF dell'Università della Tuscia in data 12/03/2019 (prot. 27073/2019), da ARPAM in data 14/03/2019 (prot. 28265/2019) e dal Comune di Pesaro in data 14/03/2019 (prot. n. 2897/2019).

- Nell'anno 2019 hanno preso avvio le indagini microbiologiche finalizzate alla stesura del presente Progetto di Bonifica.

Continua ad essere mantenuto attivo in sito il sistema di messa in sicurezza di emungimento e trattamento (*Pump&Treat)* delle acque di falda (descritto nel dettaglio al Capitolo 8) installato in corrispondenza dei piezometri PM-1; PM-5; PM-7 e PM-8 (quest'ultimo implementato a novembre del 2019). Nel corso dei monitoraggi periodici delle acque sotterranee sono state svolte le seguenti attività:

a) rilievi freatimetrici in corrispondenza di tutti i pozzi di monitoraggio installati;
b) verifica del corretto funzionamento dell'impianto;
c) campionamento delle acque di falda in ingresso (verifica del *trend* della contaminazione), intermedio ed uscita (verifica della qualità dello scarico) dall'impianto di trattamento a carboni attivi;
d) conduzione di analisi chimiche di laboratorio sui campioni di acqua prelevati.

- A partire dal giorno 19/09/2018, i Tecnici di ARPAM - Pesaro stanno provvedendo al monitoraggio periodico dell'aria off-site mediante campionatori passivi (radielli). Tale campagna di monitoraggio è consequenziale ai precedenti monitoraggi svolti sull'area durante l'arco temporale 2010 – 2016.

5. MODELLO CONCETTUALE DEL SITO

Sulla base delle informazioni raccolte nel corso delle diverse fasi di indagine che si sono susseguite a partire dal mese di maggio 2010, è stato possibile elaborare il seguente Modello Concettuale, in cui vengono sintetizzate le caratteristiche specifiche dell'area in termini di:

- ✔ fonti di contaminazione;
- ✔ meccanismi di rilascio degli inquinanti, dei potenziali percorsi di diffusione e dei bersagli della contaminazione;

5.1 FONTI DI CONTAMINAZIONE

Per l'area contaminata EX AMGA, la sorgente primaria di contaminazione è identificabile con le vasche interrate in muratura contenenti le morchie (residui di trattamento del carbone) rinvenute in situ nel corso delle attività edili di sbancamento e nei successivi interventi di messa in sicurezza dell'area. Tale sorgente di contaminazione non è più attiva in quanto rimossa nel corso delle attività di MISE nel periodo aprile-luglio 2010 e successivamente nel corso del primo intervento di bonifica del 2015.

Le sorgenti secondarie sono invece rappresentate dal terreno contaminato venuto a contatto con il materiale contenuto nelle vasche e dalla falda che è stata raggiunta per lisciviazione dai contaminanti presenti nel terreno.

5.1.1 SUOLO SUPERFICIALE E PROFONDO

Dalle caratterizzazioni effettuate nell'area in oggetto, i superamenti dei limiti normativi di Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) sono stati riscontrati nel *suolo superficiale*, compreso tra 0 ed 1 m di profondità dal piano campagna e nel *suolo profondo*, a profondità maggiore di 1 m dal piano campagna;

Il terreno maggiormente contaminato si trovava nell'intorno dell'area delle vasche (**Figura 3.2**) ed è stato escavato nel corso delle attività di bonifica Dig&Dump nel 2015. Tali attività non sono state completamente risolutive in quanto i campionamenti di collaudo degli scavi (Aree A e B) hanno evidenziato il permanere della contaminazione nei terreni, in concentrazioni superiori alle CSC, sia in alcuni campioni di fondo scavo, che di parete (vedi "*Report di Conduzione di Bonifica Rev 01 – 2015"*). Per delimitare l'estensione della contaminazione all'esterno delle aree escavate, nel 2016 si è proceduto ad effettuare 31 sondaggi integrativi le cui risultanze sono riportate nel "*Report di Indagine Ambientale*" presentato da BEnergy nel 2017.

I contaminanti rinvenuti nelle matrici suolo superficiale e profondo in concentrazioni superiori alle CSC per terreni a destinazione d'uso verde pubblico/residenziale sono riportati in **Tabella 5.1**.

Tabella 5.1. Contaminanti rinvenuti nella matrice Terreno con una Concentrazione superiore alle rispettive CSC

Contaminanti Suolo Superficiale	**Contaminanti Suolo Profondo**	**CSC - D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 Col. A *Siti ad uso Verde pubblico, privato e residenziale (mg/kg ss)***
Idrocarburi leggeri C<12	Idrocarburi leggeri C<12	10
Idrocarburi pesanti C>12	Idrocarburi pesanti C>12	50
	benzene	0.1
piombo		100
zinco		150
xileni	xileni	0.5
	toluene	0.5
Sommatoria organici aromatici	sommatoria organici aromatici	1
Benzo(a)antracene	Benzo(a)antracene	0.5
Benzo(a)pirene	Benzo(a)pirene	0.1
Benzo(b)fluorantene	Benzo(b)fluorantene	0.5
Benzo(ghi)perilene	Benzo(ghi)terilene	0.1
Benzo(k)fluorantene	Benzo(k)fluorantene	0.5
crisene	crisene	5
Dibenzo(a,e)pirene	Dibenzo(a,e)pirene	0.1
Dibenzo(a,h)antracene	Dibenzo(a,h)antracene	0.1
Dibenzo(a,h)pirene	Dibenzo(a,h)pirene	0.1
Dibenzo(a,i)pirene	Dibenzo(a,i)pirene	0.1
Dibenzo(a,l)pirene	Dibenzo(a,l)pirene	0.1
indenopirene	indenopirene	0.1
pirene	pirene	5
fenantrene		5
fluorantene		5
Sommatoria IPA	Sommatoria IPA	10
clorometano		0.1
diclorometano		0.1
Tetracloroetilene (PCE)	Tetracloroetilene (PCE)	0.5
fenolo		1
metilfeolo (o-,m-,p-)		0.1

Nel 2018 è stata presentata un'Analisi di Rischio, successivamente approvata a gennaio 2019, in sono state individuate le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) per il suolo superficiale e profondo.

5.1.2 ACQUE SOTTERRANEE

La falda presente nelle alluvioni ghiaiose del sito EX AMGA risulta essere molto superficiale (soggiacenza minima di 0.6 metri da boccapozzo) e con direzioni di flusso Nord-Ovest verso Sud e Nord verso Sud-Est (vedi paragrafo 3.4).

I piezometri collegati all'impianto di P&T sono PM1, PM5 e PM7 a cui si è aggiunto il PM8 a novembre 2019.

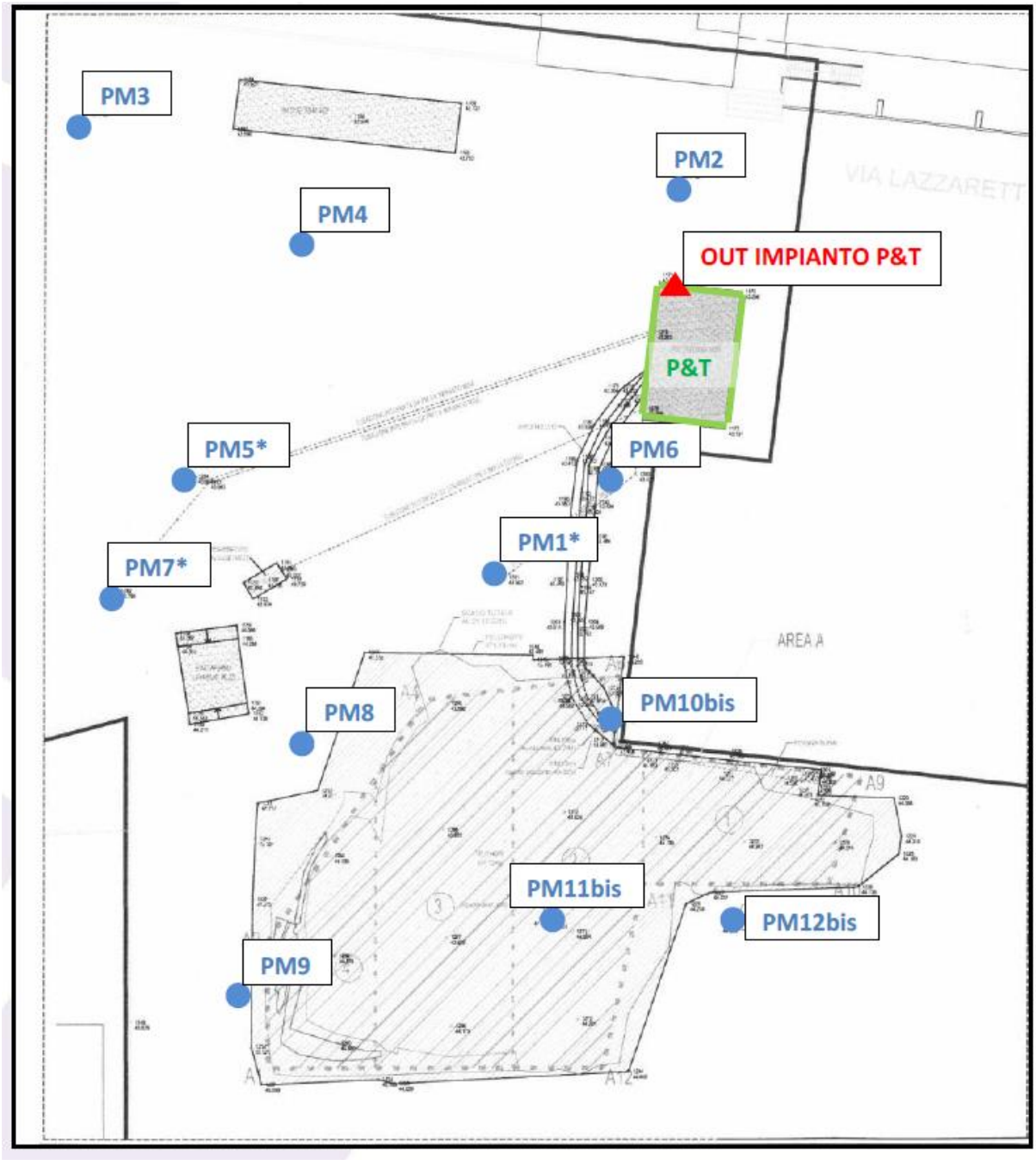


Figura 5.1 Planimetria del sito con ubicazione dei piezometri (il Nord è in basso)

I contaminanti rilevati in concentrazioni superiori alle CSC nelle acque sotterranee sono riportati in **Tabella 5.2**.

Tabella 5.2. Contaminanti rinvenuti nella matrice acque sotterranee con concentrazioni superiori alle CSC

Contaminanti Acqua Sotterranea	**CSC- *D.Lgs. 152/2006 Tab. 2 (µg/L)***	**Contaminanti Acqua Sotterranea**	**CSC- *D.Lgs. 152/2006 Tab. 2 (µg/L)***
Idrocarburi totali	350	Sommatoria organoalogenati	10
Etilbenzene	50	1,2-dicloroetilene	60
benzene	1	1,1,2 tricloroetano	0.2
mp_xilene	10	1,2,3 tricloropropano	0.001
toluene	15	1,2-dicloropropano	0.15
Benzo(a)antracene	0.1	o-xilene	10
Benzo(a)pirene	0.01	1,3,5-trimetilbenzene	10
Benzo(ghi)perilene	0.01	1,2,4-trimetilbenzene	10
Benzo(k)fluorantene	0.05	1,2,3-trimetilbenzene	10
Dibenzo(a,h)antracene	0.01	naftalene	5
Sommatoria IPA	0.1	fluorene	5
1,2 Dicloroetano	3	fenantrene	5
Cloruro di Vinile	0.5	fluorantene	5
1,1 Dicloroetilene	0.05	boro	1000
Tetracloroetilene (PCE)	1.1	ferro	200
tricloroetilene	1.5	manganese	50

I contaminanti riconducibili alle attività svolte sul sito (trattamento del carbone) includono BTEX, Idrocarburi totali e Idrocarburi Policiclici Aromatici.

La presenza di composti clorurati disciolti in falda non è verosimilmente ascrivibile alle attività svolte in pregresso nell'area

Tali contaminanti clorurati sono stati comunque inseriti nell'elaborazione dell'Analisi di Rischio elaborata dall'Istituto Superiore di Sanità nel 2018 (i cui esiti sono riportati nel sottostante capitolo 5) al fine di verificarne i rischi sanitari associati, e sono oggetto anche del presente progetto di bonifica.

I Punti di Conformità (POC) sono stati individuati nei piezometri PM2 e PM3 ubicati a valle idrogeologica della zona maggiormente contaminata (area di scavo) e dove si è rilevata la presenza di Benzene in concentrazione maggiore alle CSC durante il solo campionamento di giugno 2019.

5.2. INDIVIDUAZIONE DEI MECCANISMI DI RILASCIO DEGLI INQUINANTI, DEI POTENZIALI PERCORSI DI DIFFUSIONE E DEI BERSAGLI DELLA CONTAMINAZIONE.

Sulla base delle caratteristiche stratigrafiche ed idrogeologiche del sito, si ritiene che trasporto della contaminazione dalla sorgente secondaria (terreno) alle matrici ambientali circostanti (falda e gas interstiziali/aria), possa essere ricondotta ai seguenti meccanismi:

- volatilizzazione dei contaminanti presenti nella zona insatura e in falda e successiva migrazione in aria;
- lisciviazione dei contaminanti adsorbiti nel terreno verso la falda.

I bersagli della contaminazione sono stati individuati nell'Analisi di Rischio del 2018 e, vista la destinazione d'uso residenziale del sito, per tutti i percorsi di esposizione valutati attivi questi sono:

- residenti on-site adulti e bambini.

Per limitare la lisciviazione in falda dei contaminanti adsorbiti nel terreno si è proceduto, oltre a rimuovere la sorgente primaria di contaminazione (vasche in muratura), anche alla rimozione di volumi di terreno (Aree A e B).

Il contenimento della contaminazione nelle acque sotterranee è garantito dall'impianto di P&T che è stato implementato collegando un quarto piezometro, il PM8, garantendo un barrieramento idraulico più efficace.

6. SINTESI DEGLI ESITI DELL'ANALISI DI RISCHIO SANITARIO-AMBIENTALE

Nel presente Capitolo si riporta una sintesi dei risultati dell'Analisi di Rischio sito specifica, a cui si rimanda per un maggiore approfondimento, redatta ai sensi del D.Lgs. 152/06 dall'Istituto Superiore di Sanità in seguito all'accordo di collaborazione tra lo stesso Istituto ed il Comune di Pesaro.

L'Analisi di Rischio è stata condotta utilizzando il software RISK-NET (versione 2.1), in *modalità diretta* per quanto riguarda la sorgente di contaminazione secondaria *Acqua Sotterranea (GW)* e in *modalità indiretta* per la sorgente di contaminazione *Suolo – Suolo Superficiale* (SS) e *Suolo Profondo* (SP) con l'obiettivo di stimare il *rischio* per la salute umana connesso alle vie di esposizione attive per la sorgente acque sotterranee ed individuare, per la matrice ambientale Suolo (Superficiale e Profondo), le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) al di sopra delle quali il sito è considerato contaminato.

La presente analisi di rischio è stata condotta secondo quanto previsto dall'Allegato 1, Parte IV-Titolo V del D.Lgs. 152/06 e s.m.i., contenente i "*Criteri generali per l'analisi di rischio sanitario e ambientale sito specifica"* e seguendo principalmente quanto riportato nel documento *"Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati*" (Rev.2, marzo 2008) redatto dall' ex APAT (attuale ISPRA), ARPAs, ISS, ex ISPESL (attuale ISPRA) ed ex ICRAM (attuale ISPRA).

La sua stesura ha previsto le seguenti fasi operative:

a) ricostruzione del modello concettuale del sito;
b) definizione della geometria delle sorgenti di contaminazione e stima dei parametri sito specifici;
c) individuazione degli inquinanti indicatori e delle corrispondenti proprietà chimico-fisiche e tossicologiche;
d) stima dei parametri di esposizione;
e) applicazione del modello di calcolo, al livello 2;
f) verifica degli output (rischi e CSR), analisi e commento dei risultati.

Per il calcolo dei rischi sono stati utilizzati parametri il più possibile sito-specifici, derivanti dalle indagini svolte in sito, oppure desunti dalla bibliografia riconosciuta a livello Nazionale in materia di Analisi di Rischio. I percorsi di migrazione sono stati definiti coerentemente al modello concettuale definitivo relativo al sito e relativamente al recettore acque sotterranee è stato imposto il rispetto delle CSC al POC, assunto in corrispondenza dei piezometri PM2 e PM3, ubicati a valle idrogeologica della zona maggiormente contaminata (area di scavo).

La stima dei rischi ed il calcolo delle CSR, secondo quanto definito nell'Allegato 1 al Titolo V, Parte Quarta, del D.Lgs. 152/2006 e nei principali riferimenti tecnici nazionali,

ha permesso di valutare la non conformità delle matrici coinvolte (suolo superficiale, suolo profondo e acque sotterranee) e la non accettabilità del rischio per esposizione inalatoria di vapori da falda in ambiente indoor, imputabile alla presenza di sostanze volatili (benzene, cloruro di vinile, tetracloroetilene e naftalene).

In particolare, per quanto riguarda la sorgente di contaminazione *"acqua sotterranea"* l'applicazione dell'Analisi di Rischio in modalità diretta ha evidenziato rischi eccedenti i livelli di accettabilità per diversi contaminanti cancerogeni e non cancerogeni, **solo in ambiente indoor**.

In **Tabella 6.1** si riportano tutti i contaminanti per i quali sono stati calcolati rischi eccedenti i livelli di accettabilità.

Tabella 6.1. Rischi Sanitari eccedenti i livelli di accettabilità associati all'inalazione di vapori indoor e outdoor da falda

on-site	Inalazione Vapori Outdoor		Inalazione Vapori Indoor	
Contaminanti	**R**	**HI**	**R**	**HI**
Benzene	9.92E-07	2.35E-02	9.70E-05	2.30E+00
Cloruro di vinile	3.38E-07	2.88E-03	3.39E-05	2.90E-01
Tetracloroetilene (PCE)	1.07E-08	5.70E-03	1.06E-06	5.67E-01
Naftalene	3.60E-07	1.96E-02	2.51E-05	1.37E+00

Per quanto attiene le sorgenti di contaminazione Suolo Superficiale e Suolo Profondo, l'applicazione dell'Analisi di Rischio in modalità indiretta ha invece permesso di calcolare le CSR (Concentrazioni Soglia di Rischio) le quali sono state confrontate con le concentrazioni rappresentative alla sorgente (CRS) ovvero con i valori massimi di concentrazione rilevati in sito nel periodo di interesse, per ciascun parametro che abbia presentato almeno un'eccedenza alle CSC: i risultati ottenuti hanno mostrato che le CSR sito-specifiche per il suolo, calcolate considerando i percorsi potenzialmente attivi in sito, risultano inferiori alle concentrazioni rappresentative alla sorgente (CRS) per diversi contaminanti, cancerogeni e non cancerogeni.

In **Tabella 6.2** si riportano tutti i contaminanti per i quali sono state misurate concentrazioni eccedenti le CSR, sia nel suolo superficiale che nel suolo profondo.

Tabella 6.2. Concentrazioni eccedenti le CSR nel Suolo Superficiale e nel Suolo Profondo

Contaminanti	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CRS in sorgente Suolo Superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	CRS in sorgente Suolo Profondo [mg/kg s.s.]	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]
	SUOLO SUPERFICIALE		SUOLO PROFONDO		
Benzene	--	--	2.67E-02	3.07E-01	1.00E-01
Xileni	6.88E+00	9.72E+00	4.17E+00	1.42E+01	5.00E-01
Benzo(a)antracene	6.13E-01	9.90E+01	1.19E+01	1.05E+02	5.00E-01
Benzo(a)pirene	2.63E-02	9.40E+01	3.93E+00	5.10E+01	1.00E-01
Benzo(b)fluorantene	6.18E-01	7.80E+01	4.01E+01	2.02E+02	5.00E-01
Benzo(k)fluorantene	6.18E-01	4.60E+01	1.97E+01	1.40E+02	5.00E-01
Benzo(g,h,i)perilene	1.06E+01	6.50E+01	1.06E+01	2.71E+02	1.00E-01
Crisene	6.15E-01	9.20E+01	6.06E+02	2.08E+02	5.00E+00
Dibenzo(a,i)pirene	6.20E-01	2.71E+01	NA	2.19E+01	1.00E-01
Dibenzo(a,l)pirene	6.19E-02	3.23E+01	1.97E+04	2.69E+01	1.00E-01
Dibenzo(a,h)pirene	6.20E-01	3.80E+01	NA	3.60E+01	1.00E-01
Dibenzo(a,h)antracene	2.63E-02	3.80E+01	1.28E+01	2.52E+01	1.00E-01
Indenopirene	6.19E-01	7.40E+01	1.31E+02	9.00E+01	1.00E-01
Clorometano	2.79E-02	1.10E-01	--	--	1.00E-01
Tetracloroetilene (PCE)	8.30E-02	5.60E+00	8.30E-02	1.16E+01	5.00E-01
Aromatici C9-C10	6.03E+00	1.87E+02	7.34E+00	1.50E+02	1.00E+01
Aromatici C11-C22	2.16E+02	1.30E+03	2.62E+02	5.68E+03	1.00E+01

L'applicazione dell'analisi di rischio in modalità diretta ed inversa ha quindi evidenziato:

a) Rischi eccedenti i livelli di accettabilità per diversi contaminanti cancerogeni e non cancerogeni, associati all'inalazione di vapori da falda in ambienti confinati (indoor) da parte di un recettore residenziale on-site (adulto e bambino);

b) Superamenti delle Concentrazioni Rappresentative alla Sorgente (CRS) rispetto alle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) sito specifiche per diversi contaminanti, cancerogeni e non cancerogeni, calcolate per la sorgente di contaminazione *Suolo* (*Superficiale* e *Profondo*) considerando i percorsi potenzialmente attivi in sito.

Pertanto, alla luce di quanto riscontrato a seguito delle elaborazioni eseguite ed in accordo a quanto riportato all'*Art. 240 comma 1, lettera-e del Titolo V alla Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006*, l'Area in oggetto è da considerarsi contaminata.

7. STATO DI FATTO DELLA CONTAMINAZIONE

L'estensione della contaminazione rispetto ai superamenti delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione per le matrici suolo e acque sotterranee è stata determinata nell'Analisi di Rischio del 2018 e i contaminanti rilevati sono riportati in **Tabella 5.1 e Tabella 5.2**. Nella Stessa Analisi di Rischio sono state inoltre calcolate le Concentrazioni Soglia di Rischio per il suolo superficiale e profondo (vedi **Tabella 6.2**) e l'entità della contaminazione rispetto a questi valori è discussa in questa Sezione. Per quanto riguarda la falda, l'Analisi di Rischio non è stata condotta in modalità inversa, pertanto la discussione che segue prende a riferimento i superamenti delle CSC nelle acque sotterranee. Per quanto riguarda l'aria indoor e outdoor, i monitoraggi eseguiti non hanno mostrato criticità rispetto ai parametri analizzati.

7.1 ESTENSIONE DELLA CONTAMINAZIONE NEL SUOLO SUPERFICIALE E PROFONDO

Per la matrice suolo superficiale sono disponibili 54 campioni di terreno, di cui 27 mostrano concentrazioni superiori alle CSC e di questi 23 hanno superamenti delle CSR.

La distribuzione dei superamenti delle CSR nel suolo superficiale successivi alle attività di scavo sono riportati in **Figura 7.1** che mostra come la contaminazione si estenda per almeno 10 metri al di fuori delle aree scavate (cfr. Tavola B2).

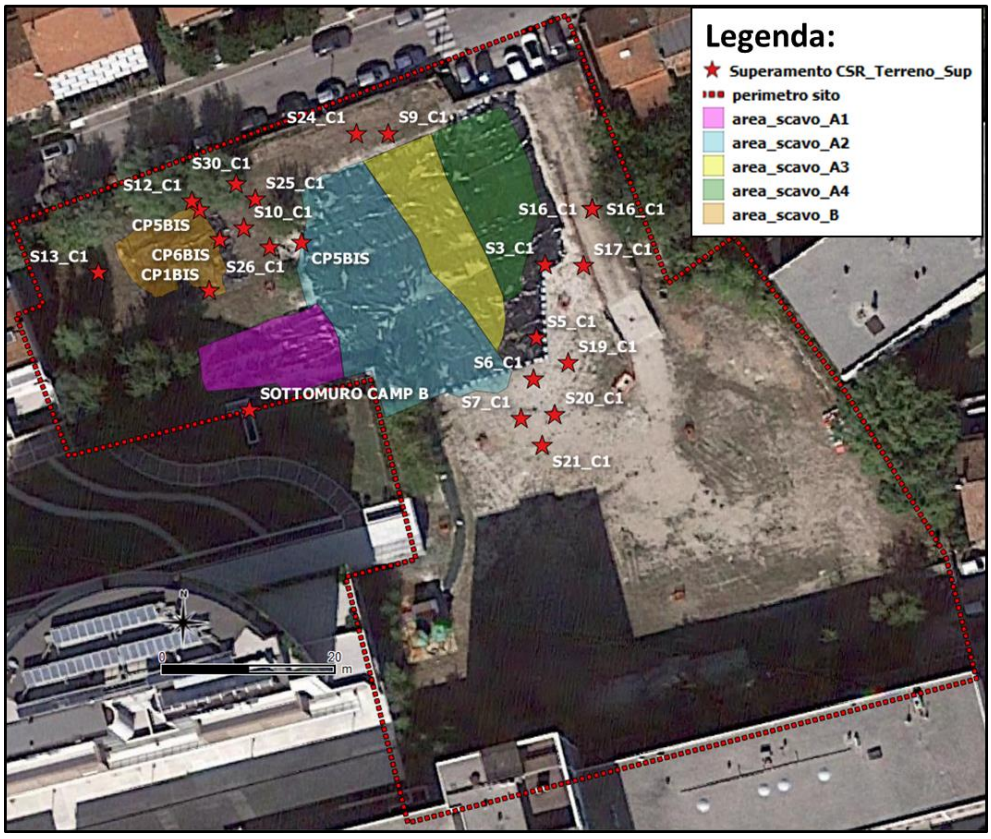


Figura 7.1 Superamenti delle CSR nei campioni di suolo superficiale.

Per quanto riguarda il suolo profondo sono stati considerati i campioni prelevati ad una profondità maggiore di 1 metro ma inferiore a 2.2 metri (valore di profondità del top della falda utilizzato nell'analisi di rischio). Su un totale di 65 campioni, 24 mostrano superamenti delle CSC e solo 5 superano invece le CSR. La loro distribuzione è riportata in **Figura 7.2**, da cui si evince una estensione della contaminazione più limitata rispetto al suolo superficiale che si estende per almeno 8 metri ad Est dall'area di scavo A4 (cfr. Tavola B2).

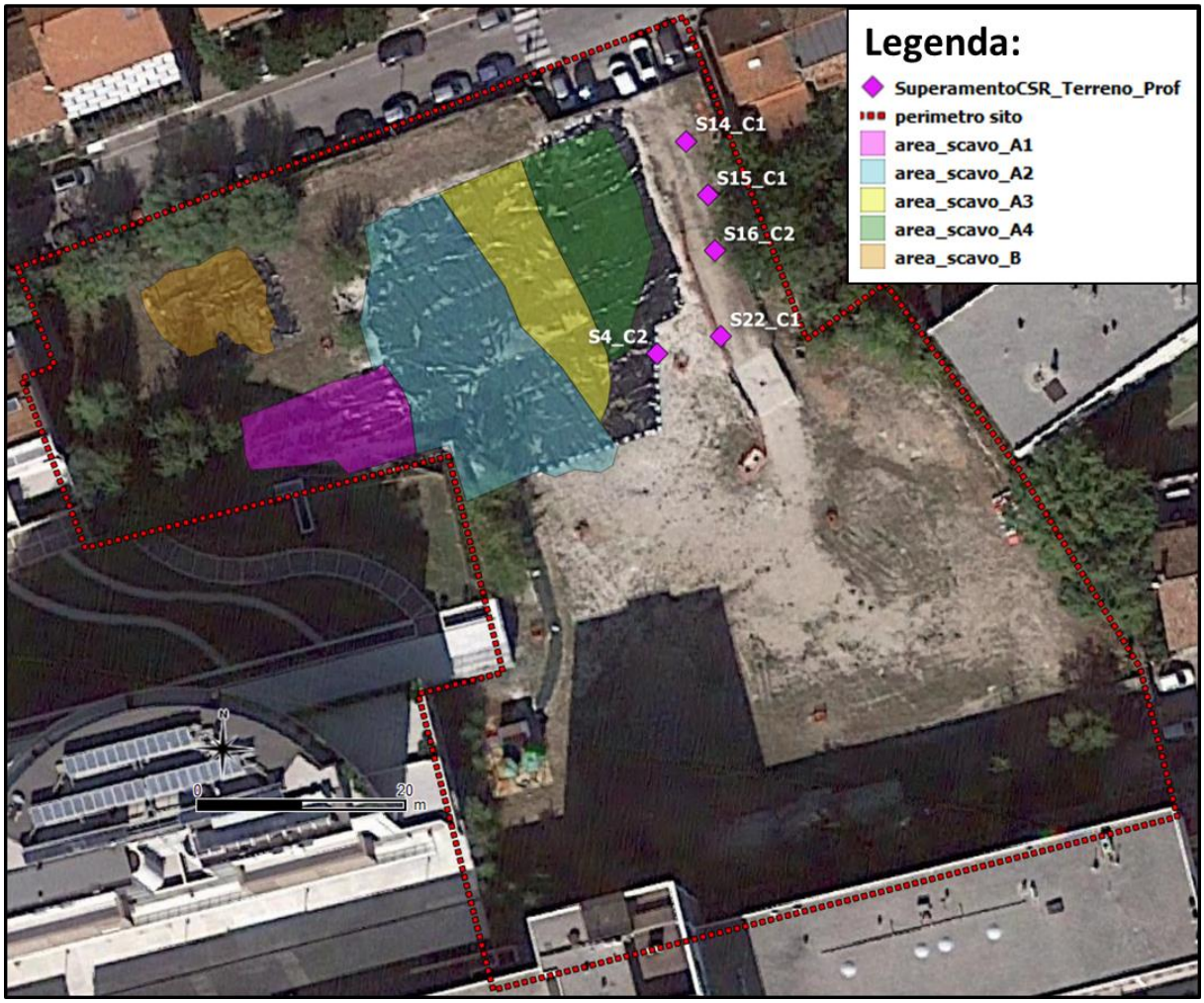


Figura 7.2 Superamenti delle CSR nei campioni di suolo profondo.

7.2 ESTENSIONE DELLA CONTAMINAZIONE IN FALDA

Le campagne di monitoraggio delle acque di falda condotte negli ultimi due anni (2018 - 2019) sia dalla Ditta incaricata al mantenimento della MISE che da ARPAM – Dipartimento Provinciale di Pesaro, hanno evidenziato superamenti delle CSC previste dal D.Lgs. 152/06 per le acque sotterranee. Fatto salvo il rispetto delle CSC ai Punti di Conformità PM3 e PM2, i contaminanti che creano rischio individuati con AdR per i percorsi di inalazione vapori sono solo: benzene, naftalene, tetracloroetilene e cloruro di

vinile. Di questi solo il benzene e naftalene sono direttamente riconducibili alle attività svolte sul sito. La loro presenza nei piezometri di monitoraggio, assieme ai valori massimi e minimi registrati nel biennio 2018 – 2019 sono riportati in **Figura 7.3**. Per completezza di informazione si riporta anche la concentrazione di idrocarburi totali nelle acque.

I risultati delle campagne di monitoraggio evidenziano la presenza di Idrocarburi totali, IPA, BTEX e solventi clorurati in concentrazioni superiori alle CSC prevalentemente nei piezometri localizzati nel settore Nord del sito, in corrispondenza e prossimità delle aree di scavo A e B. La situazione di maggiore criticità attualmente si rileva sul piezometro PM8 ubicato nella zona in cui l'indagine ambientale svolta nei mesi di luglio e agosto 2016 ha fatto emergere la maggiore contaminazione residua nel terreno.

Tutti i piezometri, ad eccezione del PM1 e PM6, mostrano concentrazioni di solventi clorurati dell'ordine di alcuni microgrammi/litro con il PM3 che invece ha valori di un ordine di grandezza superiore.

I due punti di conformità PM2 e PM3 hanno evidenziato presenza di benzene in concentrazioni superiori alle CSC nel solo monitoraggio di giugno 2018. Anche se i monitoraggi successivi hanno mostrato il rispetto delle CSC per il benzene, si è valutata la possibilità di migliorare la barriera idraulica ed a novembre 2019 è stato messo in pompaggio e collegato all'impianto di P&T il PM8.

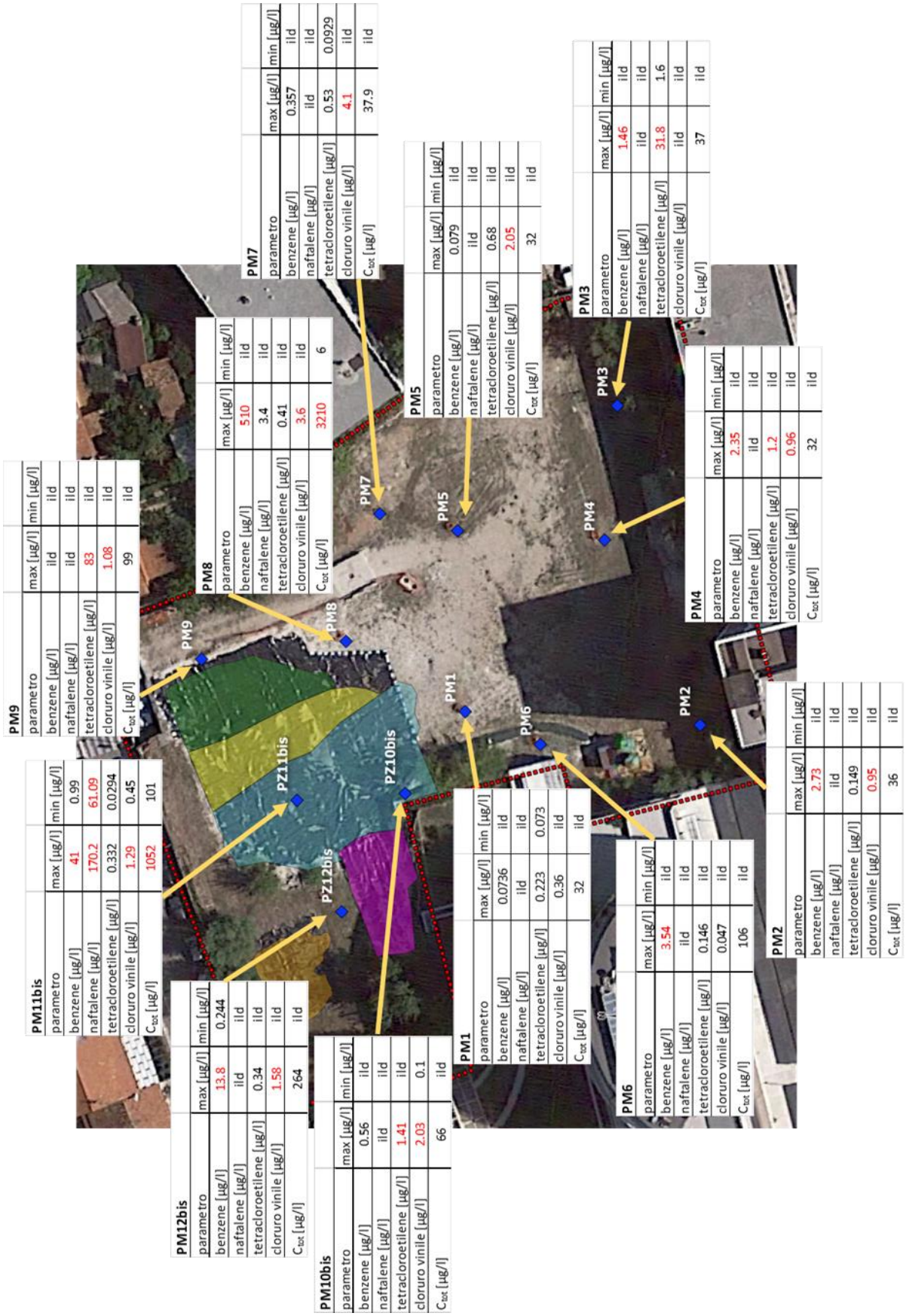


Figura 7.3 Superamenti delle CSC dei contaminanti indice e degli idrocarburi totali nelle acque sotterranee.

7.3 ATTIVITÀ ESEGUITE PER LA BONIFICA DELLA FALDA: *ENHANCED BIOREMEDIATION* E COLLEGAMENTO DEL PIEZOMETRO PM8 AL SISTEMA DI *PUMP&TREAT*

In esecuzione al progetto di bonifica approvato, al termine delle attività di bonifica del terreno tramite *Dig&Dump* eseguite nel 2016, si è proceduto a distribuire al fondo degli scavi ad una profondità massima di 3.5 metri dal piano campagna (la rimozione ha interessato la parte superficiale della zona satura) un composto a lento rilascio di ossigeno PermeOx® con l'obiettivo di stimolare la biodegradazione aerobica degli idrocarburi totali e dei BTEX. Le aree di scavo dove si è distribuito il composto sono indicate in **Figura 7.4**, assieme alla posizione dei piezometri di monitoraggio PM8, PM11bis e PM12bis storicamente maggiormente impattati dalla contaminazione. L'andamento delle concentrazioni di idrocarburi totali (C_{tot}) e benzene, i due contaminanti presenti in concentrazioni maggiori in questi 3 piezometri, assieme alla soggiacenza della falda è riportata in **Figura 7.5** e in **Tabella 7.1**.

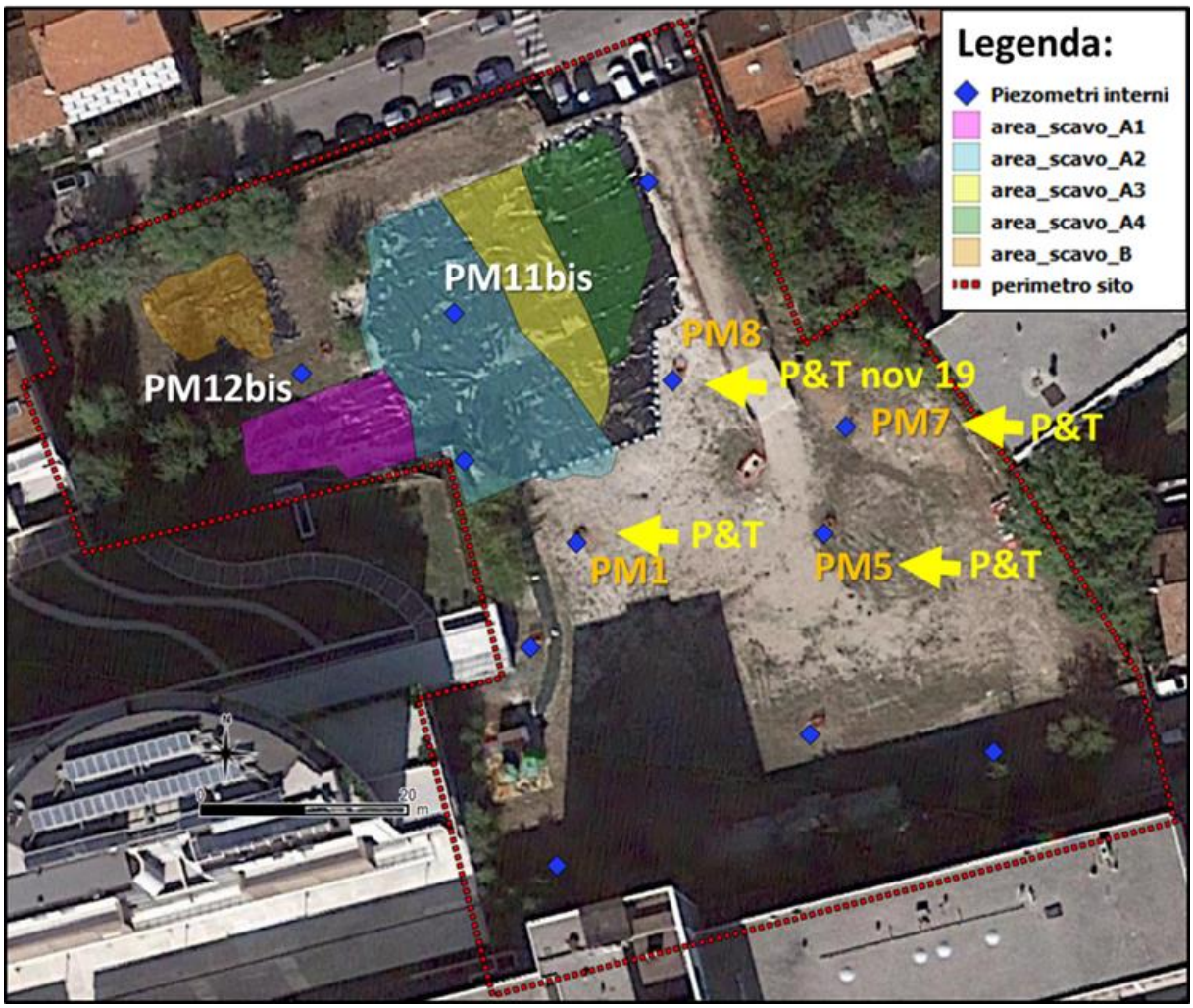


Figura 7.4 Planimetria con le aree di scavo, posizione dei piezometri PM8, PM11bis e PM12bis. In giallo sono indicati i piezometri barriera collegati all'impianto di P&T. Il PM8 è stato collegato successivamente a novembre 2019.

Per i piezometri PM11bis e PM12bis (**Figura 7.5** b, c) sono riportati i dati di concentrazione a partire da settembre 2017 in quanto tali piezometri sono stati interessati dalle attività di *Dig&Dump*, quindi distrutti e riperforati successivamente al ritombamento degli scavi.

I piezometri PM11bis e PM12bis hanno mostrano nel periodo settembre 2017 – dicembre 2019 un apprezzabile decremento della concentrazione di idrocarburi totali (asse del grafico a sinistra) successivamente allo spandimento di ossigeno. Rispetto agli idrocarburi totali, il PM12bis (**Figura 7.5** c) mostra valori conformi alle CSC da marzo 2018 mentre il PM11bis (**Figura 7.5** b), pur mostrando un trend discendente, presenta ancora superamenti sporadici.

Il PM8 (**Figura 7.5** a) mostra invece un incremento degli idrocarburi totali a partire da aprile 2018 fino a raggiungere un massimo di 3210 [µg/l] a settembre 2018, per poi successivamente decrescere.

Riguardo al parametro benzene (asse a destra nei grafici) la tendenza nel PM12bis è sovrapponibile a quello degli idrocarburi totali ma con valori ancora non conformi alle CSC nel monitoraggio di dicembre 2019. L'andamento nel PM11bis è più altalenante, seppur mostrando il rispetto delle CSC nell'ultimo monitoraggio. Il PM8 mostrava concentrazioni di benzene dell'ordine delle centinaia di µg/l anche prima delle attività di scavo (dati 2011 e 2015 non riportati nel grafico) raggiungendo un picco di 1360 [µg/l] a giugno 2017. Successivamente a quella data (**Figura 7.5** a) il benzene mostra un comportamento simile a quello degli idrocarburi, decrescendo da settembre 2019 e mostrando il rispetto delle CSC nell'ultimo campionamento di dicembre 2019.

Il sensibile decremento delle concentrazioni di idrocarburi totali e benzene nel PM8, riscontrato nell'ultimo monitoraggio di dicembre 2019, può essere ricondotto al suo collegamento nel mese di novembre 2019 all'impianto di *Pump&Treat* (in **Figura 7.5**) eseguito come modifica all'impianto di MISE, in considerazione degli sporadici superamenti di benzene (dell'ordine di qualche microgrammo litro) nei piezometri di valle.

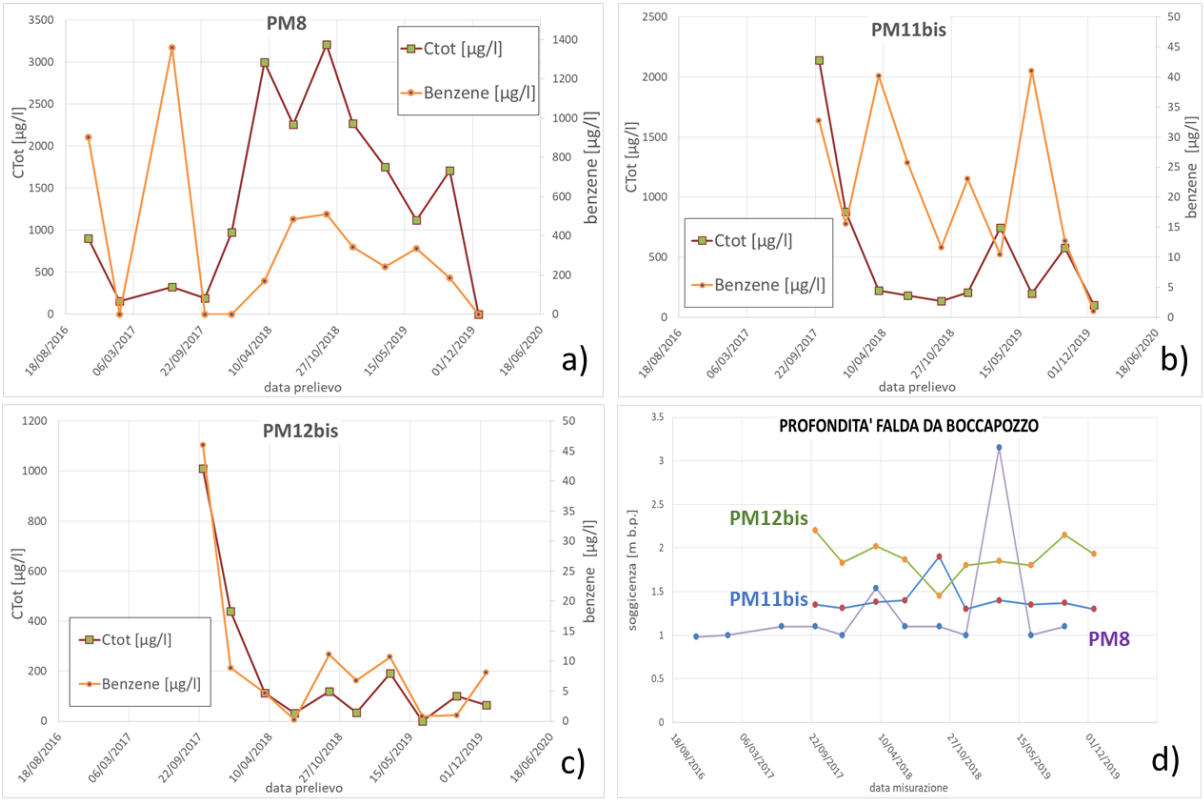


Figura 7.5 Andamento delle contrazioni di Idrocarburi Totali e Benzene nei piezometri PM8, PM11bis e PM12bis e soggiacenza della falda.

Tabella 7.1 Soggiacenza, concentrazione di benzene ed idrocarburi totali rilevate nei piezometri PM8, PM11bis e PM12bis.

PM8				PM11bis			PM12bis		
data	Benzene [µg/l]	Ctot [µg/l]	Soggiacenza [m]	Benzene [µg/l]	Ctot [µg/l]	Soggiacenza [m]	Benzene [µg/l]	Ctot [µg/l]	Soggiacenza [m]
24/10/2016	904	904	0.98	non ancora ripristinato			non ancora ripristinato		
24/01/2017	0.1	158	1	non ancora ripristinato			non ancora ripristinato		
28/06/2017	1360	323	1.1	non ancora ripristinato			non ancora ripristinato		
03/10/2017	0.016	190	1.1	32.7	2140	1.35	46	1010	2.2
21/12/2017	ild	976	1	15.5	879	1.31	8.9	440	1.83
28/03/2018	169	3000	1.54	40.2	222	1.38	4.7	112	2.02
20/06/2018	485	2260	1.1	25.7	179	1.4	0.244	32	1.87
27/09/2018	510	3210	1.1	11.6	137	1.9	11.1	118	1.45
13/12/2018	342	2270	1	23	207	1.3	6.8	34.7	1.8
19/03/2019	241	1750	3.15	10.4	746	1.4	10.7	192	1.85
19/06/2019	335	1120	1	41	197	1.35	0.83	ild	1.8
25/09/2019	185	1710	1.1	12.7	578	1.37	0.99	101	2.15
18/12/2019	ild	ild	in pompaggio	0.99	101	1.3	8.1	65	1.93

7.4. QUALITÀ DELL'ARIA OFF-SITE

In ottemperanza a quanto emerso in sede di Tavolo Tecnico del 15/05/2018 e del 06/11/2018 relativamente alla possibilità di poter eseguire ulteriori monitoraggi dell'aria off-site, in prosecuzione ai monitoraggi già svolti sul sito durante l'arco temporale 2010 - 2016, si fa presente che i Tecnici di ARPAM - Pesaro continuano il monitoraggio periodico dell'aria off-site mediante campionatori passivi (radielli). Tale campagna di monitoraggio è in linea con quanto indicato dall'Istituto Superiore di Sanità nella sua nota prot. n. 91373 del 05.09.2018.

In totale sono monitorati 9 punti, di cui 8 di aria outdoor e 1 di aria indoor, la cui ubicazione è riportata in Figura 7.6.

Dai risultati ottenuti fino ad oggi emerge che i valori di Benzene e degli altri inquinanti monitorati sono rimasti tutti al di sotto dei limiti di legge.

Figura 7.6 Dislocamento dei punti di monitoraggio passivo con radielli per la campagna di monitoraggio Aria.

Tabella 7.2 Denominazione dei punti di campionamento aria indoor/outdoor off-site.

Punto Campionamento	Posizione
1	Via Morosini
2	Giardino lato via Morosini
3	Giardino lato via del Lazzaretto
4	Ex Posizione mezzo mobile
5	Esterno Studio Ing. Pandolfi - Int. 204
6	Esterno scala A Via Mameli
7	Esterno Ufficio Int. 1 F.lli. Benelli 1
8	Piazzale Esterno Passaggio F.lli. Benelli
9	Studio Ing. Pandolfi Int. 204

8. ATTIVITÀ DI MESSA IN SICUREZZA DELLA FALDA (*PUMP&TREAT*)

A partire dal mese di settembre 2010 è attivo presso il sito in esame un sistema di Messa in Sicurezza di Emungimento e Trattamento (*Pump&Treat*) delle acque sotterranee, installato inizialmente in corrispondenza dei Piezometri PM1 e PM3, successivamente modificato nel 2015 con la messa in sicurezza dei piezometri PM1, PM5 e PM7 e nel 2019 implementato con l'installazione della pompa sul piezometro PM8.

In ottemperanza a quanto disposto dall'autorizzazione allo scarico in pubblica fognatura rilasciata dal Comune di Pesaro, in occasione delle visite di monitoraggio e manutenzione del sistema di P&T, continuano ad essere prelevati campioni di acqua in corrispondenza dell'ingresso, dell'intermedio e dell'uscita dall'impianto di trattamento a carboni attivi.

8.1. MONITORAGGIO DEI LIVELLI PIEZOMETRICI

Allo scopo di monitorare nel tempo la soggiacenza dell'acquifero intercettato in sito, nel corso dei monitoraggi trimestrali sono stati rilevati i livelli piezometrici di tutti i pozzi di monitoraggio installati.

Il dettaglio delle misurazioni effettuate nel periodo marzo 2018 – settembre 2019 è riportato nella seguente **Tabella 8.1**.

Tabella 8.1 Valori di soggiacenza della falda idrica misurati nell'anno 2018/2019 (m. slm)

id piez.	fondo pozzo	24-25/09/2019	18-19/06/2019	05/06/2019	19-20/03/2019	12-13/12/2018	26-27/09/2018	19-20/06/2018	27-28/03/2018
PM4	7.70	-0.89	-0.80	-0.67	-0.85	-0.75	-0.90	-0.80	-0.15
PM9	8.90	-0.81	-0.71	-0.58	-0.76	-0.71	-0.81	-0.73	-0.53
PM8	6.80	-0.76	-0.66	-0.57	-0.71	-0.66	-0.76	-0.76	-1.20
PM6	6.00	-0.87	-0.78	-0.23	-0.53	-0.78	-0.88	-0.83	-0.78
PM2	6.50	-1.11	-0.78	-0.90	-0.83	-0.78	-0.88	-0.83	-0.83
PM3	5.40	-0.96	-0.79	-0.76	-0.84	-4.59	-0.89	-0.84	-0.70
PM5	6.20	/	/	-0.70	/	/	/	/	/
PM12	2.90	/	/	/	/	/	/	/	/
PM1	4.60	/	/	-0.72	/	/	/	/	/
PM7	3.10	/	/	-0.69	/	/	/	/	/
PM10	6.80	/	/	/	/	/	/	/	/
PM11	6.70	/	/	/	/	/	/	/	/

PM10 bis*	6.90	-0.21	-0.13	-0.29	-0.18	-0.13	-0.13	-0.18	-0.28
PM12 bis*	7.30	-0.13	-0.11	-0.30	-0.16	-0.06	-0.66	-0.16	-0.14
PM11 bis*	6.80	-0.38	-0.03	-0.26	-0.08	-0.03	0.32	-0.10	-0.25

** PM10bis; PM11bis; PM12bis: Piezometri riterebrati in sostituzione dei preesistenti PM10; PM11; PM12*

9. CRITERI UTILIZZATI PER LA SCELTA DELLA TECNOLOGIA DI BONIFICA

9.1 IL RIFERIMENTO NORMATIVO

Nei procedimenti di bonifica viene posta una sempre crescente attenzione alle scelte progettuali. Dalla prima fase, quasi emergenziale (risalente ai primi anni del 2000), concentrata sul "cosa si fa" si è passati ad una visione più ampia dove è importante anche il "come si fa" valutando in dettaglio il grado di sostenibilità e gli effetti complessivi sull'ambiente dell'intervento da effettuare.

La norma chiede infatti (Art. 242 c 8 D.Lgs. 152/06) che la selezione e l'esecuzione degli interventi di bonifica e ripristino ambientale, di messa in sicurezza operativa o permanente, nonché per l'individuazione delle migliori tecniche di intervento a costi sostenibili si tenga conto dei criteri espressi nell'allegato 3 alla parte quarta titolo 5 del medesimo Decreto.

Detto allegato 3, illustra i criteri generali da seguire presentando le diverse opzioni da prendere in considerazione sia per pervenire ad un'effettiva eliminazione/riduzione della contaminazione, sia per conseguire un'efficace azione di protezione delle matrici ambientali. Questo a condizione che le scelte che risultino economicamente più sostenibili e compatibili con la prosecuzione delle attività produttive.

I contenuti dell'allegato 3 possono essere riorganizzati seguendo l'ordine di seguito:

1. Criteri tecnici per la bonifica:
    a. criteri legati alla quantità e proprietà dei contaminanti;
    b. criteri preferenziali associati alla tipologia di trattamento;
    c. criteri preferenziali associati all'impiego di materiali nel progetto di bonifica.
2. Criteri tecnici per la messa in sicurezza:
    a. criteri legati alle proprietà dei contaminanti;
    b. criteri preferenziali associati al destino dei materiali derivanti dalle attività di messa in sicurezza.
3. Criteri tecnici generali per il ripristino ambientale.
4. Criteri tecnici generali per la realizzazione delle opere e degli interventi.
5. Criteri per la riduzione dei rischi sanitari/ambientali:
    a. criteri preferenziali riguardanti gli aspetti ambientali e di salute e sicurezza associati alle attività di trasporto;
    b. Criteri preferenziali riguardanti gli aspetti ambientali associati alle attività svolte;

c. Criteri preferenziali riguardanti gli aspetti di salute e sicurezza associati alle attività svolte.

9.2 LE ANALISI COMPARATIVE PER LA SCELTA DELLA TECNOLOGIA DI BONIFICA

Nella scelta delle tecnologie di bonifica, si devono considerare fra quelle disponibili, quelle che risultino applicabili alle specifiche condizioni del sito e che siano in linea con quanto indicato nella normativa ed in particolare con l'Art. 242 c 8 D.Lgs. 152/06, introdotto al punto precedente.

Una prima valutazione delle tecnologie può essere fatta sulla base dei contaminanti target dell'intervento di bonifica, utilizzando la matrice di applicabilità predisposta da ISPRA e riportata di seguito (Tabella 9.1.).

La valutazione sito specifica può essere basata sulla comparazione qualitativa delle diverse tecnologie risultate applicabili dalla prima valutazione. Per la comparazione sono utilizzati i criteri generali della normativa, declinati in punteggi sintetici: positivi, neutri o negativi.

Nella tabella 9.2 sono comparate le diverse tecnologie di bonifica applicabili alle condizioni specifiche del sito, oggetto di questa relazione.

Alla luce dei risultati dell'analisi, la scelta che è risultata più adeguata alle condizioni sito specifiche è quella che vede l'integrazione della *Bioremediation* con la *Phytoremediation*. Infatti, con queste due tecnologie combinate è possibile favorire l'attività degradativa dei microrganismi creando un habitat favorevole e al contempo interrompere i potenziali percorsi dei contaminanti verso la falda e l'atmosfera (vapori), ottimizzando i vantaggi ambientali derivanti dall'intervento. Ulteriori vantaggi ambientali non direttamente inclusi nella tabella, sono: la rimozione della CO_2 atmosferica, la riduzione dell'effetto di riscaldamento associato all'urbanizzazione, il miglioramento della qualità dell'aria, la regolazione dei processi idrologici, l'incremento della biodiversità.

Tale risultato è in linea con le conclusioni dell'Istituto Superiore di Sanità, riportate nel documento: "Elaborazioni di Analisi di Rischio igienico-sanitario relativa all'Area Ex-AMGA" del febbraio 2018.

Gli elementi di maggiore criticità per le altre tecnologie di intervento di tipo "degradativo" sono associati al contesto fortemente urbanizzato e alla falda poco profonda. Infatti, queste due condizioni escludono l'applicabilità dei trattamenti che comportino la produzione di vapori e/o il rilascio in falda di prodotti intermedi di degradazione potenzialmente cancerogeni. Diversamente soluzioni quali il *capping* non andrebbero nella direzione di una bonifica del sito, con impatti ecologici molto significativi (forte innalzamento termico, elevato scorrimento superficiale delle piogge, ridotta aerobicità dei terreni superficiali con rallentamento dei processi naturali di degradazione dei contaminanti organici.

Per quanto riguarda lo scavo e il trattamento o smaltimento ex-situ, lo svantaggio è legato ai costi energetici ed economici e alla scarsa sostenibilità ambientale.

L'ultima analisi è quella di conformità della tecnologia scelta con i criteri tecnici di cui all'allegato 3 del D.Lgs. 152/06. L'analisi è riportata nel successivo paragrafo 9.3.

Tabella 9.1. Matrice di screening delle tecnologie di bonifica sulla base dei contaminanti target

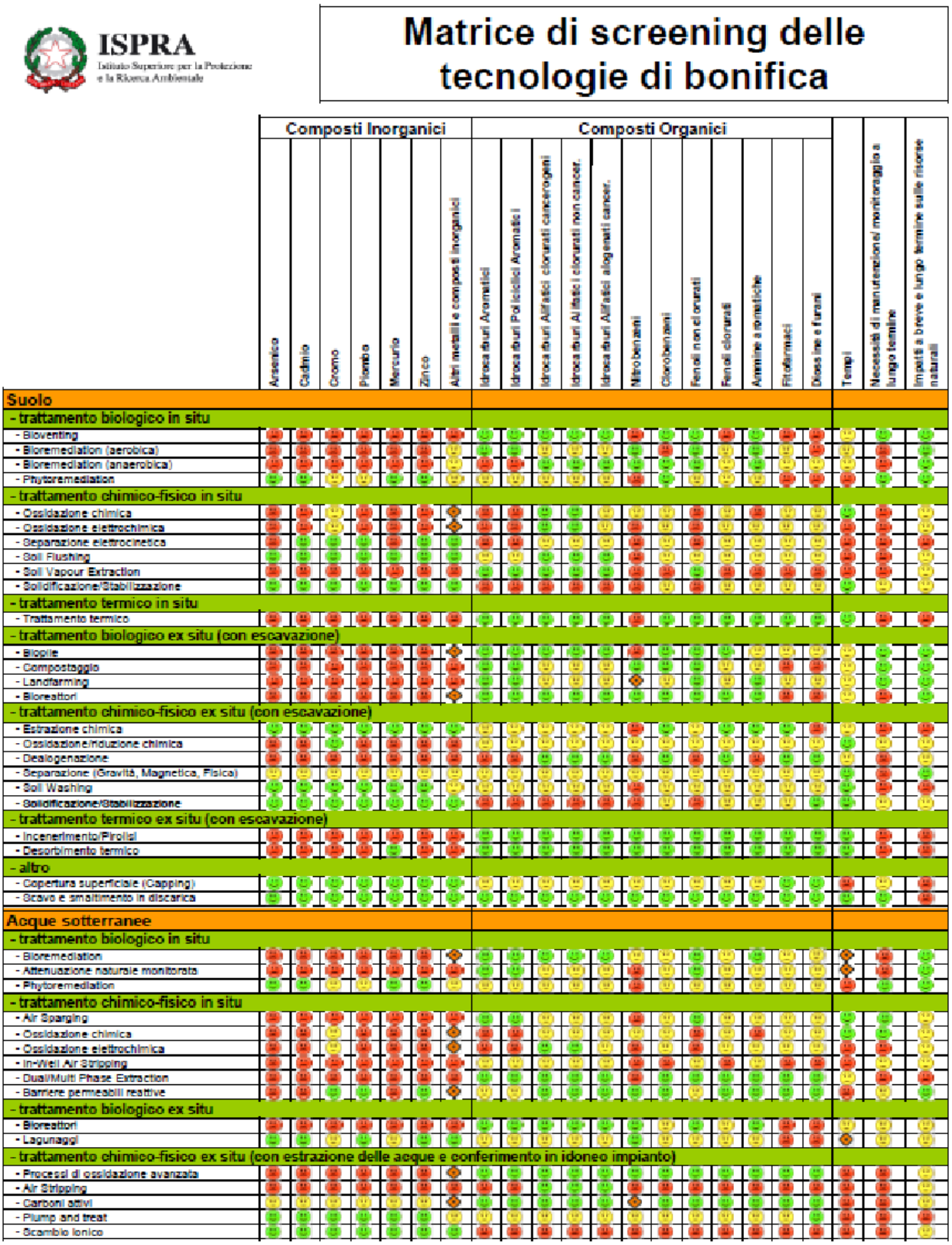


Tabella 9.2. Applicabilità delle tecnologie di bonifica alle condizioni specifiche del sito EX-AMGA

Matrice qualitativa di comparazione delle alternative di intervento

Item	Descrizione	Stato dell'arte	Applicabilità sito specifica	Valutazione matrice ISPRA	Gestione materiali	Qualità ecologica del sito	Utilizzo di energia e risorse naturali	Impatto fruizione locale	Salute e sicurezza	Tempi	Costi	Totale
1	*Bioremediation & Phytoremediation*	+	+	++	++	++	++	++	++	-	+	14
2	Trattamenti chimico-fisici *in-situ*	+	--	-	++	-	-	/	--	+	-	-4
3	Trattamento termico *in-situ*	+	--	+	++	-	--	/	--	+	/	-2
4	Capping	++	+	+	++	--	-	--	/	+	-	2
5	Scavo e trattamenti biologici / chimico-fisici *ex-situ*	+	+	/	--	/	--	/	++	++	--	0
6	Scavo e smaltimento	++	+	++	--	/	--	/	++	++	--	3

Legenda: ++ molto positivo (+2), + positivo (+1), / neutro (0), - negativo (-1), -- molto negativo (-2)

Totale: somma algebrica dei valori numerici associati ai giudizi qualitativi

9.3 CONFORMITÀ DELL'INTERVENTO PROPOSTO AI PRINCIPI DELLA NORMATIVA TECNICA

L'intervento di bonifica proposto si basa sull'impiego combinato e sinergico di due approcci di bonifica su basi biologiche: *bioaugmentation* e *phytoremediation*. Gli obiettivi generali dell'intervento proposto sono quelli di:

a) accelerare i processi degradativi dei contaminanti organici presenti nei terreni (superficiali e profondi) e in falda;

b) evitarne la loro diffusione e migrazione verso target sensibili grazie all'azione combinata delle due tecnologie biologiche già menzionate.

La seguente tabella contiene una riorganizzazione ragionata dei criteri contenuti nell'Allegato 3 secondo lo schema sopra riportato. Nella tabella 9.3 sono anche evidenziate le valutazioni sull'applicabilità delle bio- fito-tecnologie proposte anche in confronto ad altre tecnologie. I criteri non applicabili sono scritti in grigio chiaro.

Tabella 9.3. Criteri Tecnici per la scelta della Bonifica (Allegato 3 D.Lgs. 152/06) e verifica della coerenza del presente progetto (in colore grigio corsivo i criteri non applicabili)

<table>
<tr><th colspan="2">CRITERI TECNICI PER LA BONIFICA</th><th>Criterio rispettato</th></tr>
<tr><td colspan="2">1. Criteri legati alla quantità e proprietà dei contaminanti:
1.1 Riduzione permanente e significativa di:</td><td></td></tr>
<tr><td>a) concentrazione degli inquinanti</td><td rowspan="3">Le tecnologie identificate mirano ad intervenire sulla degradazione dei contaminanti organici presenti nel sito.
[molte altre tecnologie rispettano questi criteri]</td><td>SÌ</td></tr>
<tr><td>b) effetti tossici degli inquinanti (o dei prodotti in cui si trasformano)</td><td>SÌ</td></tr>
<tr><td>c) Mobilità degli inquinanti, bloccando le sostanze inquinanti in composti chimici stabili (ed es. fasi cristalline stabili per metalli pesanti).</td><td>n.a.</td></tr>
<tr><td colspan="2">2. Criteri preferenziali associati alla tipologia di trattamento
2.1 In ordine di priorità (preferenza) decrescente:</td><td></td></tr>
<tr><td>a) trattamento in-situ (trattamenti che non comportano la movimentazione di suolo/acqua)</td><td rowspan="4">Gli interventi proposti di bioaugmentation e phytoremediation rientrano in questa categoria preferenziale di trattamento di cui alla lett. a).
L’attività di bonifica, demandata alle complesse interazioni tra apparato radicale – batteri – terreno – acqua, una volta raggiunta la configurazione operativa finale, avviene all’interno del sito senza che vi siano ulteriori movimenti di materiali.
Parte del processo di trattamento dell’acqua di falda può rientrare anche nei trattamenti di cui alla lett. b) trattamento on- site.
Resta comunque evidente che i trattamenti proposti risultano appartenere a quelli maggiormente</td><td>SÌ</td></tr>
<tr><td>b) trattamento on-site (trattamenti che comportano la movimentazione di suolo/acqua nel sito) con il riutilizzo nel sito stesso, anche dei materiali eterogenei o di risulta come materiali di riempimento (riporti o EOW)</td><td>SÌ</td></tr>
<tr><td>c) *trattamento on-site (trattamenti che comportano la movimentazione di suolo/acqua nel sito) con il riutilizzo in altro sito anche dei materiali eterogenei o di risulta come materiali di riempimento (riporti o EOW)</td><td>n.a.</td></tr>
<tr><td>d) *trattamento on-site (trattamenti che comportano la movimentazione di suolo/acqua nel sito) senza il riutilizzo</td><td>n.a.</td></tr>
</table>

dei materiali eterogenei o di risulta (il trattamento ha la sola finalità di ridurre la pericolosità del rifiuto comunque destinato a smaltimento).	raccomandati. [solo alcune tra le alternative tecnologiche rispettano tali criteri con pari valore di sostenibilità]	
*e) *trattamento off-site con il riutilizzo del suolo e dei materiali eterogenei sottoposti a trattamento nel sito di provenienza*		*n.a.*
*f) *trattamento off-site con il riutilizzo del suolo e dei materiali eterogenei sottoposti a trattamenti off-site in altro sito diverso da quello di provenienza*		*n.a.*
g) trattamento off-site senza il riutilizzo del suolo e dei materiali eterogenei sottoposti a trattamenti off-site (il trattamento ha la sola finalità di ridurre la pericolosità del rifiuto comunque destinato a smaltimento).		*n.a.*
3. Criteri preferenziali associati all'impiego di materiali nel progetto di bonifica		
3.1 Privilegiare:		
a) Il riutilizzo di suolo (*non coinvolto nelle operazioni di bonifica*) nel sito (*NB: anche i riporti fanno parte della matrice suolo*)	Il suolo è sempre un elemento utile e prezioso nella progettazione di interventi di bio- fito- bonifica, il criterio è rispettato anche nel caso specifico che prevede la minimizzazione della movimentazione di materiale per il raggiungimento della configurazione finale del sito. [solo alcuni approcci alternativi consentono di rispettare in egual misura il criterio]	SÌ
b) l'impiego di materiali organici di adeguata qualità provenienti da attività di recupero di rifiuti urbani		*n.a.*

CRITERI TECNICI GENERALI PER IL RIPRISTINO AMBIENTALE		Criterio rispettato
1. Adeguatezza e coerenza degli interventi:		
a) alla destinazione d'uso dell'area, b) alle caratteristiche morfologiche, c) alle caratteristiche vegetazionali d) alle caratteristiche paesaggistiche dell'area.	Gli interventi previsti dal presente progetto rispondo a questi criteri di adeguatezza proprio per la loro peculiarità di coniugare aspetti di bonifica con quelli di ripristino ambientale. L'area svolgerà da subito positive funzioni ambientali e costituirà elemento paesaggistico di pregio per il contesto urbano in cui è collocata. [Solo pochi approcci alternativi consentono un equivalente grado di coerenza. Molti necessitano di un successivo progetto di ripristino ambientale]	SÌ
2. Privilegiare l'impiego di materiali organici di adeguata qualità provenienti da attività di recupero di rifiuti urbani		
	Questo criterio non è associato a nessuna tecnologia in particolare. Allo stato attuale non risulta preso in considerazione. Può tuttavia rappresentare una prescrizione qualora ritenuto necessario.	
CRITERI TECNICI GENERALI PER LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE (finalizzate alla bonifica) E DEGLI INTERVENTI		**Criterio rispettato**
1 Evitare nella realizzazione delle opere:		
a) ogni possibile peggioramento dell'ambiente b) ogni possibile peggioramento del paesaggio	Gli interventi in progetto rispondo a questi criteri di adeguatezza proprio per la loro peculiarità di incidere in maniera estremamente limitata sul paesaggio e sull'ambiente comportando prevalentemente la piantumazione. [Poche tecnologie alternative consentono il rispetto del presente	SÌ

	criterio] NB: gli interventi di fitorimedio possono essere addirittura migliorativi per l'ambiente e per il paesaggio grazie ad altri effetti complementari (raffrescamento naturale, assorbimento particolato atmosferico ecc..).	
RIDUZIONE DEI RISCHI SANITARI/AMBIENTALI		**Criterio rispettato**
1 Criteri preferenziali riguardanti gli aspetti ambientali e di salute e sicurezza associati alle attività di trasporto		
I) minimizzazione delle distanze percorse per il trasporto di risorse materiali	Tutti i criteri da I a III sono minimizzati nel progetto adottato (in situ ma anche on site). Per quanto riguarda il criterio IV lo stesso è minimizzato perché, fatta eccezione per le attività di monitoraggio e impianto, la conduzione colturale dell'impianto di fitobonifica coinvolge maestranze locali. [solo poche tecnologie alternative consentono un analogo rispetto dei criteri I-IV]	SÌ
II) minimizzazione dei quantitativi di materiali movimentati		SÌ
III) minimizzazione della pericolosità dei materiali trasportati		SÌ
IV) minimizzazione del movimento fisico di risorse umane (km x gg/uomo)		SÌ
2 Criteri preferenziali riguardanti gli aspetti ambientali associati alle attività svolte		
2. Minimizzazione di:		
a) quantitativi di terreno inquinato destinati a discarica (minimizzazione del suolo classificato come rifiuto)	Intervento *in-situ* senza produzione di terreni da portare in discarica	
b) quantità e pericolosità delle emissioni atmosferiche prodotte,	L'attività degradativa dei microrganismi in-situ, non è previsto possa generare intermedi pericolosi per la salute	
c) quantità e pericolosità degli scarichi	Il trattamento di fitodepurazione delle	

idrici recapitanti nelle acque superficiali,	acque reflue dall'impianto di P&T, determina un miglioramento della qualità allo scarico	
d) eventuali ricadute/trasferimento di contaminanti sul suolo e sottosuolo,	I processi radicali di immobilizzazione e degradazione, in combinazione con il flusso di massa generato dall'attività evapotraspirativa delle piante annulla i potenziali trasferimenti in profondità	
e) eventuali ricadute/trasferimento di inquinanti sulle acque sotterranee		
3 Criteri preferenziali riguardanti gli aspetti di salute e sicurezza associati alle attività svolte		
a) minimizzazione rischi igienico-sanitari per la popolazione durante lo svolgimento degli interventi	Fatta eccezione per la fase di allestimento dell'impianto, gli interventi progettati sono caratterizzati da rischi igienico - sanitari minimi per l'assenza di impianti, macchinari e mezzi. Vanno inoltre ricordati gli aspetti positivi consistenti nella riduzione della polverosità grazie all'interazione dell'apparato fogliare con gli inquinanti e della variazione dell'interfaccia suolo/aria. [Non ci sono approcci alternativi che consentono lo stesso grado di raggiungimento dei criteri]	SÌ
b) minimizzazione di rumori e odori percepiti negativamente dalla popolazione durante lo svolgimento degli interventi	Fatta eccezione per la fase di allestimento dell'impianto, gli interventi progettati sono caratterizzati da rumore/odori nulli. Vanno ricordati gli aspetti positivi consistenti nella riduzione del rumore/odore ad opera della schermatura fisica delle chiome e dell'interazione dell'apparato fogliare con gli inquinanti. [Non ci sono approcci alternativi che consentono lo stesso grado di raggiungimento dei criteri]	SÌ

In conclusione, nella tabella 9.3 è stata valutata la rispondenza del progetto proposto ai criteri riportati all'allegato 3 previsti dal D.Lgs. 152/06 per la selezione e l'esecuzione degli interventi di bonifica e ripristino ambientale. La verifica condotta ha evidenziato un alto livello di conformità con i criteri proposti e come pochi altri approcci possano garantire un equivalente risultato. Sulla base delle valutazioni fatte si ritiene, in linea con quanto asserito dall'ISS, che l'approccio tecnologico proposto risulti adeguato allo stato della contaminazione e alle caratteristiche del sito.

10. INTERVENTI PREVISTI: LA BONIFICA CON METODOLOGIE BIOLOGICHE

10.1 PREMESSA

La scelta della tecnologia proposta in questo progetto deriva da una valutazione delle diverse tecnologie utilizzabili per la bonifica di terreni e falda contaminati da idrocarburi e descritta in dettaglio nel Capitolo 9. Tenuto conto delle indicazioni della normativa con particolare riguardo agli aspetti di sostenibilità ambientale, l'intervento di bonifica proposto si basa sull'impiego combinato e sinergico di due approcci di bonifica su basi biologiche*: bioaugmentation* e *phytoremediation*. La fattibilità di questo approccio al sito ex-AMGA è stata verificata sia con una verifica bibliografica di casi studio simili, che con esperimenti sito specifici con microcosmi su campioni di terreno e acque prelevati dal sito in oggetto.

***BIOAUGMENTATION*: CONOSCENZE E APPLICAZIONE**

I microrganismi, grazie alla loro versatilità metabolica e alla propria capacità di resistere a condizioni estreme, sono largamente distribuiti nella biosfera. Il principio fondamentale del biorimedio microbico sfrutta proprio la versatilità nutrizionale dei microrgansmi di promuovere la biodegradazione dei contaminanti, utilizzando i pool enzimatici microbici come biocatalizzatori per facilitare le cinetiche di degradazione dei contaminanti.

L'efficienza della "*bioremediation*" può dipendere da diversi fattori fra cui la natura chimica e la concentrazione del contaminante, le caratteristiche chimico fisiche dell'ambiente, la biodisponibilità dei contaminati ai microrganismi (Moliterni 2012).

Ad oggi sono possibili diversi tipi di approcci per la bonifica *in-situ* mediata da microrganismi, di cui si riportano di seguito gli elementi distintivi essenziali (Adams et al. 2015).

"*Natural attenuation*": la comunità indigena (autoctona) è responsabile nella degradazione di contaminanti nel sito. Risulta essere un approccio vincente quando la comunità microbica si è adattata alla presenza del contaminante e quando ci sono le condizioni ambientali per l'instaurarsi della biodegradazione (pH, elementi nutritivi essenziali, disponibilità di O_2);

"*Biostimulation*": sono aggiunti appropriati nutrienti (fosforo azoto) o vengono alterate alcune condizioni ambientali limitanti (O_2, surfattanti), per favorire l'attività microbica indigena;

"*Bioaugmentation*": sono aggiunti microrganismi selezionati dal sito e specializzati nella biodegradazione dei contaminanti target, al fine di attivare/accelerare i processi degradativi di interesse per la bonifica del sito.

Gli approcci di *bioremediation* trovano particolare applicazione in siti con contaminazioni organiche, di diversa origine, di suoli e falde (Vinas et al 2005; Nichols et al. 2014; Jiménez et al. 2016).

***PHYTOREMEDIATION*: CONOSCENZE E CRITERI DI APPLICAZIONE**

Con *phytoremediation* si intende l'applicazione di fitotecnologie agli interventi di bonifica e messa in sicurezza di siti contaminati. Infatti, utilizzando i processi metabolici e fisiologici caratteristici delle piante è spesso possibile contenere, eliminare o ridurre, al disotto di valori di concentrazione stabiliti dalla legge, la presenza nell'ambiente di alcune sostanze organiche e inorganiche classificate come pericolose (ITRC 2009; Wenzel 2009).

Le attività di fitobonifica possono essere indirizzate alla rimozione delle sostanze contaminanti attraverso la loro diretta degradazione metabolica, ovvero attraverso la mediazione di microrganismi, ovvero grazie all'assorbimento radicale e alla traslocazione nei tessuti della pianta. Tali processi risultano particolarmente efficaci su contaminati organici (EPA 2000; Susarla 2002; Alagić et al 2015).

In aggiunta alle interazioni con i microrganismi del suolo, la presenza di endofiti può sviluppare ulteriori capacità di degradazione dei contaminanti organici fra cui: IPA, Idrocarburi, BTEX, TCE ed altri (Feng et al 2017).

Gli interventi di fitobonifica possono essere efficaci anche per i loro effetti sulla falda. Infatti, analizzando gli effetti sul lungo termine (16 anni) di un intervento di *phytoremediation* in un sito di produzione di gas, in cui la falda era fortemente contaminata da benzene (10'200 µg/l), toluene (2'420 µg/l) e naftalene (6840 µg/l), Landmeyer & Effinger (2016), hanno verificato una significativa riduzione dei tre composti con contestuale incremento dell'ossigeno disciolto.

Specificamente, i processi che riguardano la metabolizzazione parziale o totale di sostanze organiche sono indicati come rizodegradazione se hanno luogo nella rizosfera a carico dei microrganismi e fitodegradazione se hanno luogo nella pianta. L'attivazione di processi degradativi si esercitano su varie classi di contaminanti organici, molti dei quali sono inclusi nella lista dei 20 contaminanti ambientali più pericolosi.

I processi che riguardano l'assorbimento radicale e la traslocazione verso altri organi della pianta sono indicati come fitoestrazione. Questi processi indicano l'assorbimento da parte delle piante dei contaminanti presenti nel terreno o nelle acque e il loro accumulo negli organi ipogei o epigei, che devono poi essere rimossi. Alcune specie di piante, note come iperaccumulatrici, hanno un'elevata capacità di traslocazione dei metalli pesanti in organi epigei (fusti, rami e foglie). Tuttavia, le piante iperaccumulatrici al momento conosciute sono in generale poco adatte al fitorimedio in quanto, pur avendo un'elevata tolleranza nei confronti dei metalli pesanti e un alto tasso di accumulo interno per unità di peso secco della pianta rispetto ad altre specie, possiedono una ridotta biomassa.

Un'altra fitotecnologia, importante quanto il fitorimedio, è il fitocontenimento. Esso si prefigge di immobilizzare o comunque di minimizzare la circolazione idro-veicolata dei

contaminanti nel suolo verso la falda sfruttando l'elevata capacità evapotraspirativa delle piante che sposta l'acqua libera verso l'atmosfera. Le stesse piante depositano ed essudano dalle radici molte sostanze semplici e complesse a base carboniosa che incrementano la capacità adsorbente, polimerizzante o legante del suolo nei confronti di molti contaminanti. Le piante usate in questo processo possiedono un'elevata capacità di assorbire i contaminanti, di immobilizzarli nelle radici e/o traslocarli in parte, variabile a seconda della specie, nel fusto. Alcune di esse producono essudati radicali che riducono la biodisponibilità di alcuni contaminanti nel terreno; inoltre sono piante molto tolleranti e longeve, con un lento e ridotto rinnovo dei tessuti in cui si accumula il contaminante. Il fitocontenimento si differenzia dunque dal fitorimedio per le finalità dell'intervento: il primo ha come obiettivo la limitazione della diffusione del contaminante, il secondo mira invece a ridurne o eliminarne la presenza.

A metà tra fitocontenimento e fitorimedio si può collocare anche la fitotecnologia delle fasce arboree o arbustive tampone vegetate (*riparian buffer strips, vegetation strips, bio-curtains, bio-filters, rhizo-filters*) realizzate con l'obiettivo di creare una fitobarriera rizofiltrante ed eventualmente fitoestraente o fitodegradante di contaminanti di provenienza agricola e zootecnica, come nutrienti azotati e fosforici, pesticidi e vari prodotti sanitari, idroveicolati nel drenaggio verso corpi idrici superficiali. Questo processo sfrutta le capacità delle radici di trattenere i contaminanti sia chimicamente per adsorbimento, che fisicamente.

Fitobarriere possono anche considerarsi le alberate e le foreste urbane che filtrano l'aria, che attraversa o lambisce la loro chioma, trattenendone le polveri sottili e i contaminanti veicolati per assorbimento chimico o fisico. Le chiome di questi alberi assimilano la CO_2, rilasciano ossigeno e migliorano significativamente il microclima delle aree verdi urbane. È importante rilevare che alcune piante possono anche trattenere i pollini, le spore fungine, i batteri e altri patogeni. In particolare, le caratteristiche che aumentano l'azione di aerofiltrazione sono la tomentosità, la rugosità e i rivestimenti cerosi delle foglie. Per esempio, le foglie rugose dell'olmo mostrano una capacità di filtrazione delle polveri doppia rispetto alle foglie di quercia, e circa sei volte superiore a quella delle foglie del pioppo. I rivestimenti cerosi delle foglie possono anche assorbire i composti lipofilici volatili, a cui appartengono gli idrocarburi policiclici aromatici (PAHs). Tra le fitobarriere sono, infine da includere le fito-barriere acustiche, le fito-barriere frangivento, le fito-recinzioni di sicurezza di aree pubbliche o residenze private con arbusti densi e all'occorrenza spinosi.

10.2 APPLICAZIONE DI B*IOAUGMENTATION* E P*HYTOREMEDIATION* NEI TERRENI E NELLA FALDA DEL SITO EX-AGMA DI PESARO

OBIETTIVI

Obiettivi generali dell'intervento proposto sono quelli di:

- accelerare i processi degradativi dei contaminanti organici presenti nei terreni (superficiali e profondi insaturi),

- ridurre le concentrazioni dei contaminanti presenti in falda, con il ricircolo dell'acqua trattata nell'impianto di P&T e con l'assorbimento e degradazione da parte delle piante,
- di evitare la diffusione e migrazione dei contaminanti verso target sensibili, grazie all'azione combinata delle due tecnologie biologiche già menzionate.

Obiettivo specifico della *bioaugmentation* è quello di attivare/accelerare i processi degradativi di interesse per la bonifica, attraverso l'aggiunta di microrganismi selezionati dal sito e specializzati nella biodegradazione dei contaminanti target.

Obiettivo specifico della *phytoremediation* è quello di interrompere i percorsi di migrazione dei contaminanti (falda-suolo-atmosfera), di favorire lo sviluppo di comunità microbiche complesse e resilienti attraverso la creazione di microhabitat rizosferici favorevoli, di attivare ulteriori processi degradativi mediati da microrganismi presenti all'interno dei tessuti vegetali (endofiti) e dall'attività metabolica di detossificazione. Ulteriori positività ambientali determinate dalla messa a dimora di organismi vegetali sono relative alla riattivazione di processi ecologici di scala superiore (servizi ecosistemici) quali: la rimozione della CO_2 atmosferica, la riduzione dell'effetto di riscaldamento associato all'urbanizzazione, il miglioramento della qualità dell'aria, la regolazione dei processi idrologici, l'incremento della biodiversità. A questi benefici ambientali, si aggiungono quelli estetici-paesaggistici e più in generale di benessere della popolazione.

VERIFICA DELL'APPLICABILITÀ

Al fine di verificare la fattibilità dell'intervento di bio-bonifica, sono state condotte indagini preliminari con l'obiettivo di:

- caratterizzare la comunità microbica (funghi e batteri) già presente nel sito, in diverse condizioni di contaminazione e di saturazione idrica;
- isolare dal sito microrganismi (batteri e funghi) coltivabili e quindi potenziali candidati per il biorimedio in-situ (*bioaugmentation*);
- selezionare fra i microrganismi coltivabili, quelli con note e significative capacità degradative nei confronti dei contaminanti target;
- classificare dal punto di vista tassonomico i ceppi microbici di potenziale interesse per l'approccio di biorimedio;
- validare le capacità degradative dei microrganismi e dei consorzi selezionati in test con microcosmi.

Le attività condotte nei laboratori del DIBAF – Università degli Studi della Tuscia hanno riguardato sia i terreni che la falda. I risultati sono riportati in dettaglio nella relazione allegata.

Le indagini microbiologiche sono state organizzate in due fasi distinte:

- caratterizzazione quali-quantitativa delle comunità microbiche presenti nel sito e analisi delle possibili relazioni con la eterogeneità della contaminazione e delle caratteristiche ambientali;

- selezione e test in microcosmi dei microrganismi candidati per la *bioaugmentation in-situ*.

Per la caratterizzazione delle comunità microbiche sono stati prelevati campioni di terreno in prossimità dei sondaggi che avevano mostrato valori elevati di contaminazione, in esito all'indagine ambientale del 2016, sia dello strato insaturo (S3, S16) che di quello saturo (S4, S22). Per confronto, sono stati prelevati ulteriori due campioni a due profondità in un'area che non aveva mostrato evidenze di contaminazione (bianco).

Gli isolamenti sono stati effettuati dai campioni rappresentativi delle due condizioni ambientali: insaturo (S16) e saturo(S22).

Gli organismi isolati sono stati quindi testati per la loro capacità di degradare un idrocarburo di riferimento, il 2,6-diclorofenolindofenolo, per mezzo di un saggio rapido.

Dall'insieme degli organismi isolati, per i test in microcosmo sono stati selezionati tre batteri e un fungo che sulla base dei risultati del saggio rapido e di un set di criteri, sono stati identificati come promettenti per l'applicazione della *Bioagumentation*.

Nella tabella di seguito sono riportate le tesi del test in microcosmo.

Microcosmi test suolo			
#	**Processo**	**Configurazione**	**Sigla**
1	*Natural attenuation-A*	solo suolo	NA
2	*Natural attenuation-B*	suolo + carrier	NA+C
3	*Biostimulation*	suolo + surfattante	NA+S
4	*Bioaugmentation-A*	suolo + consorzio batterico ternario	CB3
5	*Bioaugmentation-B*	suolo + fungo	F
6	*Bioaugmentation-C*	suolo + fungo + carrier	F+C
7	*Bioaugmentation-D*	suolo + fungo + carrier + consorzio batterico ternario	CB3+F+C
8	*Biostimulation & Bioaugmentation*	suolo + surfattante + fungo + consorzio batterico ternario	CB3+F+S
9	*Controllo abiotico*	suolo + cloruro di mercurio	CA

Le conclusioni dei test in microcosmi per il suolo insaturo sono state riassunte nei seguenti sei punti:

1) I processi degradativi naturalmente attivi nel sito non sono sufficienti a produrre una degradazione significativa dei contaminanti testati;

2) La permanenza di condizioni ottimali per l'attività microbica deve essere garantita in-situ nel corso delle stagioni termicamente favorevoli;
3) L'aggiunta del surfattante non ha determinato effetti incrementali nella degradazione dei contaminanti analizzati;
4) L'aggiunta del carrier non ha avuto un effetto migliorativo per la degradazione, ma supporta la vitalità dei funghi indigeni;
5) L'aggiunta del fungo (F) *P. lilacinum* non risulta essere efficiente nelle condizioni testate;
6) Il consorzio batterico (CB3) ha dimostrato capacità degradative molto interessanti per gli IPA ma apparentemente più limitate per gli idrocarburi lineari.

Sulla base di queste conclusioni si è quindi proceduto a definire l'intervento a scala reale di cui alla sezione seguente.

Al fine di valutare l'applicabilità della *bioaugmentation*, per il trattamento diretto in falda, per mezzo di biobarriere reattive, sono stati ulteriormente condotti dei test utilizzando gli inoculi in combinazione con matrici di adsorbimento e scambio. Anche in questo caso, dopo aver effettuato dei test preliminari sulla matrice e sulla quantità di inoculo, sono stati predisposti dei microcosmi secondo lo schema riportato di seguito.

Test		Componenti	Sigla
1	**Natural attenuation-A**	agriperlite	NA
2	**Biostimulation**	agriperlite + M9	NA_M9
3	**Bioaugmentation-A**	agriperlite + M9 + consorzio batterico ternario	B_M9
4	**Bioaugmentation-B**	agriperlite + M9 + consorzio batterico ternario + aria	B_M9+ARIA
5	**Natural attenuation-B**	suolo S22 saturo	SAT_NA
6	**Bioaugmentation-C**	suolo S22 saturo + consorzio batterico ternario	SAT_B

I risultati sono analizzati come confronto nel tempo, dove T0 rappresenta lo stato inziale, T1 dopo 10 giorni e T2 dopo 30 giorni e tra le diverse tesi testate.

Le conclusioni dei test in microcosmi per la falda insaturo sono state riassunte nei seguenti tre punti:

1. tutte le tesi portano ad una forte riduzione degli idrocarburi in soluzione totali dopo 30 giorni (T2);

2. la riduzione del contaminante testato è significativa in condizioni di *natural attenuation* e mostra una certa proporzionalità con la dimensione della comunità batterica aerobica.
3. l'impiego di agriperlite non ha prodotto un miglioramento nella capacità di rimozione, mentre l'aggiunta di aria sembra favorirla.

Per quanto riguarda la falda, le conclusioni hanno quindi evidenziato lo scarso miglioramento ottenibile con l'inoculo diretto per mezzo delle biobarriere, essendo la comunità presente già molto attiva nella degradazione dei contaminanti presenti (in linea con le osservazioni di una progressiva naturale attenuazione delle concentrazioni riscontrate nei piezometri monitorati).

D'altra parte, i risultati hanno evidenziato potenziali benefici di un incremento del contenuto di O_2 in falda. Si è quindi scelto di verificare l'azione degli interventi di fitorimedio, per agire eventualmente in un secondo momento con sistemi di diffusione di O_2 in falda.

10.3 ATTUAZIONE DELLA *BIOAUGMENTATION* NEL TERRENO INSATURO

PREMESSA

I microorganismi autoctoni selezionati da campioni di suolo prelevati nel sito, identificati e testati per la loro capacità degradativa nei confronti degli Idrocarburi Policiclici Aromatici e lineari (C>12), saranno addizionati alle matrici da bonificare con modalità distinte per tipologia di matrice da trattare, al fine di garantirne la vitalità, la permanenza e l'efficacia di azione degradativa.

L'immissione degli inoculi sarà realizzata a più profondità in modo tale da poter agire su tutta l'area con evidenze di contaminazione, sia nel terreno superficiale che in quello profondo, anche grazie alla diffusione naturale nel sistema di microcircolazione idrica superficiale generata dalle piogge, dalle fluttuazioni dei livelli di falda e dall'irrigazione a goccia sub-superficiale.

In considerazione dei risultati ottenuti con i test preliminari, sarà utilizzato come substrato "*carrier*" la fibra di cocco.

Inoltre, con l'introduzione di una copertura vegetale, arbustiva e arborea, si vengono a generare gradienti idraulici all'interno del suolo con effetti sulla microcircolazione degli inquinanti disciolti. Tale processo contribuisce a ridurre il trasporto dei contaminanti verso la falda e al contempo "rifornisce" di nuovi substrati le comunità microbiche aerobie, più attive negli strati superficiali. L'effetto sinergico è paragonabile a quello che si potrebbe ottenere con un sistema di ricircolo.

L'addizione dei microrganismi sarà realizzata con modalità differenti: per la fase di avvio/impianto e per le successive fasi di mantenimento (ove necessarie).

TERRENO INSATURO SUPERFICIALE - FASE DI AVVIO

Sulla base dei risultati ottenuti con i test in microcosmo (vedi allegata "*Relazione sull'esito delle indagini microbiologiche sui suoli del sito e dei test in microcosmi*") e delle conoscenze scientifiche sull'ecologia dei microorganismi, la prima addizione di avvio è realizzata sia irrorando direttamente il terreno sia il materiale organico "*carrier*" che in fase di test in microcosmi ha mostrato di svolgere una funzione utile sulla vitalità della comunità fungina del suolo.

L'immissione dei microrganismi selezionati in-situ e prodotti in bio-reattore, è realizzata con l'apertura di **trincee** di circa 40 cm di larghezza e di profondità variabile (in accordo con il profilo verticale della contaminazione) poste a distanza fra loro di 1.5 metri. Le trincee, la cui posizione è riportata in tavola B3, in parte coincidenti con le file di piantumazione delle specie vegetali, sono posizionate in modo da agire su tutte le zone in cui sono stati riscontrati superamenti delle CSC dei terreni insaturi. A tal fine è posta come assunzione progettuale una capacità di diffusione laterale e verticale dei

microrganismi di almeno 50 cm dalla zona di inoculo, grazie all'effetto combinato dell'irrigazione e delle piogge. In particolare, i batteri flagellati hanno una mobilità attiva nel film di acqua che si viene a determinare con la microcircolazione nel suolo. Inoltre, lo sviluppo degli apparati radicali della vegetazione messa in opera determina la diffusione nel suolo di un habitat rizosferico favorevole allo sviluppo e diffusione delle comunità microbiche che vi sono associate.

Complessivamente saranno realizzate 27 trincee, per una lunghezza complessiva di circa 500 metri. La superficie del sito che sarà in questo modo direttamente inoculata sarà complessivamente di circa 200 m^2, indirettamente di circa 750 m^2, mentre il volume di terreno trattato pari a 243 m^3.

Nella tavola B3 sono riportate le posizioni delle trincee, con evidenziata l'area di diffusione laterale e la profondità, mentre nella tavola B4 la sovrapposizione con la piantumazione delle diverse specie vegetali.

Nella tabella allegata TB1a sono riportati gli elementi costruttivi di ogni trincea, mentre nella tabella allegata TB1b gli elementi per il calcolo dell'inoculo da impiegare.

La densità microbica di inoculo definita in Unità Formanti Colonie (UFC) per unità di massa di terreno da trattare sarà quella individuata come efficace nella fase test in microcosmo (10E+9 / kg p.s.). Assumendo una massa volumica (anidra) media dei terreni da trattare di 1.7 g cm^{-3}, la massa complessiva da inoculare sarà pari a circa 416 tonnellate di terreno asciutto. Pertanto, le UFC da produrre e rilasciare nei terreni sono complessivamente pari a circa 4.16E+14.

Considerando che la concentrazione attesa in fase di produzione è stimata in 10E+12 UFC x litro di sospensione, il volume di sospensione complessivamente da fornire è pari a circa 416 litri.

La sospensione sarà fornita in fusti da 100 litri, da diluire in fase di immissione con acqua nel rapporto 1:10.

L'inoculo del consorzio batterico selezionato, è distribuito in sospensione liquida con le seguenti modalità:

a) irrorando la sospensione cellulare direttamente sulle pareti di scavo e sul terreno scavato, in fase di reinserimento in sede

b) irrorando diversi strati di *carrier organico* (fibra di cocco), di circa 10 cm di spessore, posti all'interno delle trincee intercalati a strati di terreno di circa 50 cm di spessore; il numero di strati è funzione della profondità della trincea (minimo 2)

Modalità operative per la messa in opera

La prima operazione sarà quella di effettuare il picchettamento dei riferimenti di inizio e fine di ogni trincea, in accordo alla disposizione riportata nella tavola B3.

L'apertura delle trincee dovrà essere realizzata con un escavatore dotato di cucchiaia rovescia di larghezza circa 40 cm; il terreno scavato sarà collocato lateralmente alla traccia, facendo attenzione a separare gli strati profondi da quello più superficiale (i primi 20 cm circa): per esempio depositando a sinistra i profondi e a destra il superficiale. Tale separazione ha lo scopo di evitare di portare in superficie gli strati più contaminati e al contempo di lasciare la sede necessaria per la piantumazione delle diverse specie arboree/arbustive.

Al fine di ridurre al minimo le emissioni dei composti volatili presenti nei terreni, l'apertura delle trincee, l'inoculo e la messa a dimora delle piante (ove previste) dovranno essere contestuali. Pertanto, si procederà con il completamento della messa in opera di ogni trincea prima dell'apertura della successiva – anche per garantire la sicurezza delle operazioni. In considerazione della diversa fenologia delle specie impiegate, si procederà nell'ordine indicato nel cronoprogramma.

La sequenza delle fasi operative per la realizzazione di una trincea è riportata di seguito:

1. apertura della trincea con posizionamento dei terreni scavati ai bordi, separando il primo strato superficiale (circa 20 cm) da quelli profondi;
2. irrorazione della sospensione cellulare batterica sulle pareti di scavo;
3. posizionamento di uno strato di *carrier organico* sul fondo e irrorazione la sospensione cellulare batterica;
4. irrorazione della sospensione cellulare batterica sul terreno in fase di re-immissione (uno strato di circa 50 cm);
5. ripetizione delle operazioni 3 e 4 per gli eventuali strati intermedi (vedi all. B1b);
6. concimazione con perfosfato triplo 46% (P_2O_5) granulare sull'ultimo strato di terreno con la dose di 5 qli/ha;
7. posizionamento dell'ultimo strato di *carrier organico* (come in 3) ad una profondità di 20 cm;
8. disposizione delle due linee di ali gocciolanti (vedi paragrafo irrigazione) lungo i margini laterali dello scavo, direttamente a contatto con l'ultimo strato di *carrier organico*;
9. posizionamento delle piante al centro della trincea (ove previste) e copertura della stessa con il terreno superficiale precedentemente abbancato;
10. rincalzo del terreno alla base delle piante

<u>Le operazioni di scavo e inoculo sono a volume invariato (non ci sono terreni in eccesso)</u>

TERRENO INSATURO SUPERFICIALE - FASE DI RICARICA

Al fine di poter ricaricare le comunità microbiche selezionate, nel caso di una loro evidente riduzione (cfr. Piano di Monitoraggio), saranno utilizzate le ali gocciolanti poste in opera in fase di impianto ai margini di ogni trincea, a circa 20 cm di profondità. La disposizione laterale consente di diffondere il consorzio batterico selezionato anche nei suoli tra le file, non direttamente inoculati all'avvio. Nella fase di ricarica si dovrà by-passare l'impianto di filtrazione posto in ingresso alle linee irrigue. Sarà inoltre necessario predisporre alla partenza delle linee irrigue di alimentazione delle sezioni A, B e C una valvola manuale a tre vie per l'attacco di una pompa di rilancio dell'inoculo.

La diffusione dell'inoculo nel suolo avviene per percolazione del liquido carrier all'interno della macroporosità, sia lungo l'asse verticale che lungo gli assi perpendicolari a questo secondo la tipica forma a goccia. Le "ali gocciolanti" saranno utilizzate in via ordinaria per il mantenimento di uno stato idrico ottimale per lo svolgimento delle attività degradative, in particolare nel periodo estivo, come riportato nella sezione "Gestione Irrigua".

Nella tabella allegata B1c sono riportati i dati per il calcolo dell'inoculo da impiegare.

10.4 ATTUAZIONE DELLA P*HYTOREMEDIATION* DEI TERRENI - AREA A

PREMESSA

I moduli di vegetazione descritti in questa sezione saranno tutti posti in opera nelle trincee utilizzate per la *bioagumentation*. La messa in opera sarà quindi contestuale alla realizzazione delle trincee e al loro inoculo. Le piante saranno disposte al centro della trincea, al di sopra dell'ultimo strato superiore di fibra di cocco (-20 cm), come riportato nella tavola B4. Parte delle specie impiegate sono caratteristiche di zone umide, in considerazione della soggiacenza media della falda relativamente superficiale e della loro diffusione nel contesto locale e anche all'interno del sito (ricolonizzazione spontanea). Nella zona di raccordo fra due livelli (scarpata) la specie utilizzata è caratterizzata da una elevata capacità di consolidamento del terreno, grazie ad un denso apparato radicale. Nella parte superiore del sito, più distante dalla falda, sono state scelte specie arbustive caratterizzate da una buona allocazione negli apparti radicali, che si sviluppano anche in profondità. Le informazioni di dettaglio delle specie impiegate sono riportate nelle allegate Schede Botaniche – I.

Per quanto riguarda i processi rilevanti ai fini della bonifica e di riqualificazione ambientale della vegetazione, questi si sviluppano nel complesso delle relazioni pianta-suolo e pianta-atmosfera, a loro volte connesse per mezzo delle relazioni idriche nel *continuum* falda-suolo-pianta-atmosfera.

I processi nel sistema pianta-suolo

Con lo sviluppo radicale si viene a costituire uno strato superficiale particolarmente reattivo: la rizosfera. In questa interfaccia viene regolato lo scambio fra gli elementi in soluzione e la pianta, così come lo scambio fra la pianta e i microrganismi del suolo (micorrizici e non). Ai fini del presente progetto, l'effetto atteso è quello di un supporto ai processi di degradazione microbica e l'attivazione di ulteriore attività di rizodegradazione dei contaminanti organici. Ulteriore effetto è quello di immobilizzazione di contaminati inorganici eventualmente presenti nel suolo in *hot spots* non rilevati.

Lo sviluppo e il turnover radicale determinano anche modificazioni strutturali del suolo, incrementando la formazione di aggregati organo-minerali con effetti sulle proprietà idrologiche e di scambio gassoso. Ai fini del presente progetto, l'effetto atteso è quello di un incremento dell'aerobicità degli strati più superficiali con accelerazione dei processi degradativi e riduzione dei rischi di tipo diretto (contatto, ingestione). In aggiunta nelle macroporosità potranno insediarsi microrganismi degradatori delle componenti volatili.

Le piante inoltre con il loro turnover fogliare vanno a costituire lo strato organico superficiale di lettiera, che nei suoi diversi stati di frammentazione e decomposizione modifica la quantità e qualità dei flussi gassosi in entrata e in uscita dal sistema. Ai fini del presente progetto, l'effetto atteso è quello di un incremento dell'intrappolamento di vapori organici, sia per interazione diretta dei materiali lignocellulosici con i COV che per effetto indiretto di habitat per microrganismi degradatori.

I processi nel sistema pianta-atmosfera

Questi processi sono regolati dalle caratteristiche specifiche fogliari: morfologiche (dimensioni, spessore, forma), funzionali (capacità fotosintetica e conduttanza stomatica), di sviluppo (densità fogliare di chioma – LAI, ciclo di vita). Ad ognuno di questi "tratti" si associano specifiche performances di processo e funzioni ecologiche, che vanno dal bilancio energetico a quello idrico e del carbonio.

Ai fini del presente progetto, gli effetti attesi sono relativi: alla modifica del microclima, con riduzione degli estremi termici diurni e quindi riduzione dei processi volatilizzazione dal suolo; alla diffusione dei COV che possono essere intercettati e degradati per mezzo di endofiti fogliari (microrganismi specializzati); alla cattura del particolato atmosferico sia derivante da attività nel sito che da sorgenti esterne (traffico veicolare, aerosol marini, altre fonti).

I processi associati al ciclo dell'acqua

In accordo al progressivo sviluppo della vegetazione, anche i flussi evapotraspirativi andranno ad incrementare nel tempo, utilizzando la falda soggiacente il sito: sia

direttamente con gli appartati radicali delle piante poste in opera, sia indirettamente per mezzo del ricircolo della falda con l'irrigazione.

Con il flusso evapotraspirativo le piante andranno a mobilizzare ed intercettare le sostanze in soluzione, in parte immobilizzandole nel suolo e in parte trasferendole nei loro diversi organi (radici - fusto e rami - foglie). In aggiunta, grazie alla copertura fogliare e all'attività evapotraspirativa si andrà a ridurre la percolazione verso la falda che passa attraverso il terreno contaminato, così come il trasferimento per scorrimento superficiale di terreno dall'Area A (contaminata) a quella B (non contaminata).

Ai fini del presente progetto di bonifica, il ruolo della vegetazione sul bilancio idrologico risulterà determinante per la protezione e bonifica della falda, così come per il miglioramento del microclima locale.

IL MODULO A FRASSINO MINORE

La specie che sarà impiantata è *Fraxinus oxycarpa*, albero deciduo tipico degli ambienti umidi che tollera periodi di sommersione radicale (vedi scheda botanica allegata).

Complessivamente saranno messe in opera 62 piante, distribuite su 6 file spaziate fra loro di 3 metri, con distanza fra le piante sulla fila di 2 metri.

Le piante saranno fornite con zolla di terra in contenitore di volume non inferiore a 3 litri e di diametro non superiore a 20 cm. La posa in opera è contestuale allo scavo delle trincee. Le piante sono collocate al centro della trincea, nei primi 20 cm di terreno.

La messa a dimora è strettamente primaverile (marzo-aprile).

IL MODULO A VETIVER

La specie che sarà impiantata è *Chrysopogon zizanioides*, erbacea perenne di origine tropicale con apparato radicale profondo e denso, ampiamente utilizzata per il consolidamento scarpate, anche in aree climaticamente simili (vedi allegata scheda botanica).

Complessivamente saranno messe in opera 84 piante, distribuite su 3 file spaziate fra loro di 1 metro, con distanza fra le piante sulla fila di 0.5 metri.

Le piante saranno fornite con zolla di terra in contenitore di volume non inferiore a 0.5 litri e di diametro non superiore a 10 cm. La posa in opera è contestuale allo scavo delle trincee. Le piante sono collocate al centro della trincea, nei primi 20 cm di terreno.

La messa a dimora è strettamente primaverile (marzo-aprile).

IL MODULO AD ARBUSTI SEMPREVERDI (FOTINIA - ELEAGNO - FILLIREA)

Di questo modulo fanno parte tre arbusti a fogli persistenti (sempreverdi): *Photynia x fraseri, Eleagnus x ebbingei, Phyllirea latifolia*. I primi due sono di origina asiatica, il terzo

mediterraneo (vedi schede botaniche allegate). Sono arbusti caratterizzati da una buona rusticità, vigoria e da apparati radicali profondi; adattate ad ambienti temperati in condizioni di pieno sole e in terreni anche con ridotta umidità estiva. Ampiamente utilizzate in campo ornamentale, sono di facile reperimento sul mercato.

Complessivamente saranno messe in opera 32 piante (8 Fotinia, 16 Eleagno, 8 Fillirea), distribuite su 2 file spaziate fra loro di 2 metri, con distanza fra le piante sulla fila di 1 metro. In una fila sono intercalate Fotinia e Eleagno, nell'altra Fillrea ed Eleagno.

Le piante saranno fornite con zolla di terra in contenitore di volume non inferiore a 3 litri e di diametro non superiore a 20 cm. La posa in opera è contestuale allo scavo delle trincee. Le piante sono collocate al centro della trincea, nei primi 20 cm di terreno.

La messa a dimora può essere primaverile (marzo-aprile) o autunnale (settembre-ottobre).

IL MODULO LINEARE A TAMERICI

La specie che sarà impiantata è *Tamarix africana*, albero semi-deciduo tipico degli ambienti ripariali e delle zone umide e dunali costiere del Mediterraneo, a cui è adattata grazie alla capacità di tollerare periodi anche prolungati di sommersione radicale e di utilizzare acque salmastre (vedi scheda botanica allegata). È una specie "freatofita", cioè che sviluppa radici profonde per raggiungere la falda, anche quando questa è molto profonda.

Complessivamente saranno messe in opera 18 piante, distribuite su 1 fila, con distanza fra le piante di 2 metri.

Le piante saranno fornite con zolla di terra in contenitore di volume non inferiore a 3 litri e di diametro non superiore a 20 cm. La posa in opera è contestuale allo scavo delle trincee. Le piante sono collocate al centro della trincea, nei primi 20 cm di terreno.

La messa a dimora è strettamente primaverile (marzo-aprile).

GLI ALBERI ISOLATI (FRASSINO MAGGIORE)

In prossimità dell'area di scavo B e in coincidenza di 5 trincee di *bioaugmentation*, sarà impiantata una pianta isolata di *Fraxinus excelsior*, albero di prima grandezza caratteristico degli ambienti boschivi temperati in condizioni di piena esposizione luminosa (vedi scheda botanica allegata).

La pianta sarà fornita con altezza non inferiore a 150 cm e non superiore a 300 cm, con zolla di terra in contenitore di volume non inferiore a 3 litri e di diametro non superiore a 20 cm. La posa in opera è contestuale allo scavo delle trincee. La pianta è collocata al centro della trincea, nei primi 20 cm di terreno.

La messa a dimora è strettamente primaverile (marzo-aprile).

IL MODULO LINEARE A PIOPPO CIPRESSINO

La specie che sarà impiantata è *Populus nigra* 'italica', albero deciduo di prima grandezza tipico degli ambienti temperati con buona disponibilità idrica, ampiamente presente in zona e anche nel sito (vedi scheda botanica allegata).

Questo modulo si sviluppa per una prima parte su trincea, in prossimità della rampa di accesso, per una parte nell'area di scavo A e per una parte su terreni della zona A e B.

Complessivamente saranno messe in opera 42 piante, distribuite su doppio filare (ad esclusione di un primo gruppo di 6 piante che sono in trincea su singolo filare), con distanza fra le piante sulla fila di 2 metri, con alcune interruzioni in coincidenza di punti luce (16) e del piezometro PM12.

10.5 INTERVENTI PREVISTI SULLA FALDA

La contaminazione della falda è schematizzabile (riferimento al capitolo 7 stato attuale della contaminazione) in:

- BTEX E IDROCARBURI prevalentemente nell'area oggetto dell'attività di Dig&Dump fino al PM8,
- IPA in concentrazioni limitate nel PM11 con tracce nel PM6,
- Clorurati con concentrazioni non riconducibili a sorgenti in sito e con distribuzione non sovrapponibile a quella degli idrocarburi, ma in concentrazioni in grado di dare rischio (tetracloroetilene e cloruro di vinile)

In assenza di CSR individuate dall'analisi di rischio non è possibile indicare obiettivi di bonifica ma l'intervento si concentrerà su meccanismi in grado di ridurre le concentrazioni presenti tramite l'accelerazione di processi degradativi e di limitazione della diffusione con applicazione di tecniche di *phytoremediation* che interessano la falda (e il sito) nella sua totalità e interventi più localizzati

Sui clorurati, data la variabilità della contaminazione riscontrata e l'assenza di una sorgente riconosciuta le attività si focalizzeranno sul monitoraggio dei vapori e l'interruzione dei percorsi. Su questi contaminati ci si aspetta che l'effetto della *phytoremediation* sia comunque significativo.

10.5.1 ATTUAZIONE DELLA *PHYTOREMEDIATION* DELLA FALDA

L'azione dell'intervento di bonifica sulla falda soggiacente al sito di cui al presente progetto, si sviluppa secondo due diverse azioni:

- diretta con il ricircolo dell'acqua pompata dai piezometri PM1, PM7 e PM8 collegati all'impianto di P&T. L'acqua derivante dai piezometri PM7 e PM8 continuerà ad essere trattata nell'impianto e sarà utilizzata per l'irrigazione dei

sistemi vegetali posti in opera nelle zone di scavo A e B (vedi Tavola B5). Vista l'assenza di contaminazione nel PM1, questo sarà collegato direttamente al Fitolago.

- indiretta attraverso l'insieme dei processi attivati dalle piante messe in opera nell'area A del sito (vedi sopra) e per l'azione di barriera della vegetazione posta nelle aree di scavo A e B.

In una prima fase, in cui gli apparati radicali delle piante messe a dimora non avranno ancora raggiunto la falda profonda, l'azione di ricircolo (diretta) sarà dominante e porterà alla immissione in falda dell'acqua depurata in parte dai carboni attivi del *P&T* e in parte dal sistema di fitodepurazione costituito dal canale e dal Fitolago (descritto in maggior dettaglio nella sezione 10.7). In pratica, attraverso una gestione dell'irrigazione in eccesso rispetto ai consumi idrici dei moduli messi in opera nelle due sezioni di scavo, sarà possibile effettuare un ricambio della falda con acqua priva di contaminanti, riducendone le concentrazioni riscontrabili ai piezometri di intercettazione e controllo e al POC. In aggiunta, le piogge potranno ricaricare la falda attraverso le aree di scavo nella stagione in cui la vegetazione sarà meno attiva e le precipitazioni più abbondanti.

Con il progredire dello sviluppo della vegetazione ed un progressivo approfondimento degli apparati radicali dei moduli posti in opera nelle zone di scavo A e B, ma anche della vegetazione fuori trincea, l'approvvigionamento idrico delle piante, direttamente dalla falda (comunque poco profonda), potrà esercitare un'azione barriera al movimento di questa ai confini del sito. Le indicazioni provenienti dal monitoraggio dei piezometri, potranno guidare la scelta operativa di proseguire con il ricircolo, ovvero di lasciare unicamente all'azione evapotraspirativa della vegetazione il compito di controllo idraulico.

Nell'area del PM8, dati gli alti valori di benzene e idrocarburi totali riscontrati, si prevede invece di agire in maniera attiva tramite l'impianto di P&T e, se necessario, con l'implementazione di una barriera ossidativa.

Il progetto di bonifica prevede quindi il mantenimento della configurazione del P&T con i piezometri PM1, PM7 e PM8 in pompaggio. Mentre per il PM1 e PM7 il pompaggio è utilizzato come barriera alla migrazione a valle dei contaminanti, per il PM8 assume una azione attiva di riduzione della massa di contaminante presente nell'area del *plume* di contaminazione residua. Questo in quanto l'area interessata è contigua a quella oggetto di escavazione ma non ha beneficiato degli effetti del trattamento del saturo.

Nonostante i primi dati di monitoraggio posteriori alla messa in pompaggio del PM8 mostrino un abbattimento delle concentrazioni di idrocarburi e BETX (vedi Capitolo 7) il trend di diminuzione dovrà essere confermato dai monitoraggi successivi. Qualora i monitoraggi delle acque sotterranee non confermassero una riduzione significativa della contaminazione nella zona interessata, verrà valutata la messa in opera di una barriera ossidativa a monte del PM8.

IL MODULO A SALICI

Le specie che saranno impiantate sono *Salix eleagnos* e *Salix purpurea*, entrambe con portamento policormico arbustivo, tipiche di ghiaioni e suoli poco evoluti in prossimità di torrenti o ripe fluviali (vedi scheda botanica allegata).

Complessivamente saranno messe in opera 42 (22 e 20 rispettivamente), distribuite su 5 file spaziate fra loro di 1 metro, con distanza fra le piante sulla fila di 1 metro. Le due specie sono intercalate sulla fila.

Le piante saranno fornite come talee lunghe circa 50 cm. La posa in opera avviene con l'inserimento della talea in un foro di diametro 3-4 cm (almeno doppio di quello della talea) con contestuale riempimento dello spazio vuoto periferico con sabbia di tipo fluviale, che dovrà essere ben appressata alla talea. Nell'inserimento deve essere rispettata l'originale direzione di sviluppo verticale della talea e lasciate alcune gemme vitali fuori terra (circa 5-10 cm). Le talee prima della posa in opera sono tenute almeno 24 ore sommerse in acqua, al buio.

Concimazione superficiale post-impianto (circa 1 mese): 25 g di Osmocote Exact Standard 12-14M (con titolo 15-9-11+2MgO+TE).

La messa a dimora è strettamente primaverile (marzo-aprile).

IL MODULO A MAONIA

La specie che sarà impiantata è *Mahonia aquifolium*, arbusto sempreverde di origine americana dove si sviluppa all'interno di boschi misti, in condizioni di medio ombreggiamento. La chioma è espansa in senso orizzontale e offre una buona copertura del suolo (vedi scheda botanica allegata).

Complessivamente saranno messe in opera 21 piante distribuite su 6 file di diversa lunghezza (a formare un triangolo) spaziate fra loro di 1 metro, con distanza fra le piante sulla fila di 2 metri.

Le piante saranno fornite con zolla di terra in contenitore di volume non inferiore a 3 litri e di diametro non superiore a 20 cm. Per la posa in opera si procederà con l'apertura di una piccola buca (circa 25x25x25 cm), il posizionamento della pianta in posizione centrale e con il colletto al piano di campagna. Per il riempimento dello spazio intorno alla pianta si utilizzerà il terreno della buca mescolato con fibra di cocco.

Concimazione: 75 g di Osmocote Exact Standard 12-14M (con titolo 15-9-11+2MgO+TE) mescolato con il terreno di riempimento.

La messa a dimora può essere primaverile (marzo-aprile) o autunnale (settembre-ottobre).

IL PIOPPO BIANCO

Al centro dell'area di scavo B e in prossimità del modulo a salici, saranno impiantate due piante di *Populus alba*, albero deciduo di prima grandezza ampiamente presente in zona e anche nel sito (vedi scheda botanica allegata).

Le piante saranno fornite come barbatelle di 1 anno di lunghezza non inferiore a 100 cm e non superiore a 150 cm. La posa in opera avviene con l'inserimento della barbatella in buca circa 30x30 e di profondità circa 30-50 cm in accordo allo sviluppo radicale presente. La buca sarà riempita con il terreno di scavo in mescolanza con della sabbia fluviale, evitando di provocare ferite e rotture degli abbozzi radicali.

Concimazione superficiale post-impianto (circa 1 mese): 300 g di Osmocote Exact Standard 12-14M (con titolo 15-9-11+2MgO+TE).

La messa a dimora è strettamente primaverile (marzo-aprile).

10.5.2 BONIFICA DELLA FALDA: POSSIBILE TEST PILOTA DI E*NHANCED BIOREMEDIATION* CON BARRIERE OSSIDATIVE (E*MITTERS*)

Qualora non si dovessero riscontrare evidenti miglioramenti della qualità della falda, si potrà intervenire con sistemi diretti di biostimolazione della comunità microbica dei suoli profondi attraverso il rilascio di ossigeno per diffusione. A tale proposito dopo una prima fase di test, sarà possibile installare dei sistemi a diffusione già brevettati per la contaminazione da idrocarburi in falda.

La stimolazione della biodegradazione aerobica è un processo che si è dimostrato efficace per la bonifica degli idrocarburi presenti nella falda dell'area ex-AMGA, visto il decremento della contaminazione riscontrata nel PM11bis e PM12bis successivamente allo spandimento di composti a lento rilascio di ossigeno a fondo scavo. Inoltre, la presenza di colonie autoctone di batteri aerobici nel saturo è stata verificata tramite test microbiologici condotti dall'Università della Tuscia (allegato G).

Attualmente si ritiene che la fattibilità di questo test pilota debba venire valutata successivamente alle attività di piantumazione in quanto sia la rimozione del telo in HDPE che aumenterà l'infiltrazione delle acque piovane che la pressione di suzione delle radici delle piante potrebbero avere effetti non trascurabili sull'andamento della falda. Questo permetterà la valutazione degli effetti della nuova configurazione della barriera idraulica.

Qualora la concentrazione residua degli inquinanti residui lo rendesse opportuno, si intende utilizzare una serie di 3 e*mitters* (brevetto Waterloo Emitter™, o simili) per aumentare la concentrazione di ossigeno in falda. L' Emitter™ è uno strumento che permette il rilascio controllato di ossigeno in falda per stimolare la biodegradazione aerobica (Wilson and MacKay 2002, Wilson et al. 2002).

I metodi tradizionali di stimolazione della biodegradazione aerobica che consistono nell'iniezione diretta di aria nell'acquifero o pompando e re-iniettando acqua "aerata" hanno spesso mostrato delle limitazioni dovute alla distribuzione non uniforme di ossigeno e i costi di mantenimento dell'impianto.

Nell'ottica di limitare il ricorso a impianti e trattamenti di tipo "attivo" si ritiene opportuno utilizzare un metodo di iniezione "passivo" che consiste nell'utilizzo di tubi in silicone come membrana semipermeabile collegati a bombole di ossigeno (Fig. 10.1). Il trasferimento dell'ossigeno dal tubo all'acquifero avviene per diffusione e il raggio di influenza di ogni emitter è stimato raggiungere massimo 1.5 metri.

Si procederà alla realizzazione di 3 sondaggi a distruzione di nucleo della profondità massima di 4 metri per mantenere l'Emitter, che verrà collocato all'interno, sempre sotto il livello freatico. La profondità della perforazione potrà necessitare una rivalutazione sulla base delle misure di soggiacenza future, qualora si riscontrassero valori simili a quello anomalo di -3.5 metri registrato ad aprile 2019 (Capitolo 7 - Fig. 7.5 d, Tabella 7.1).

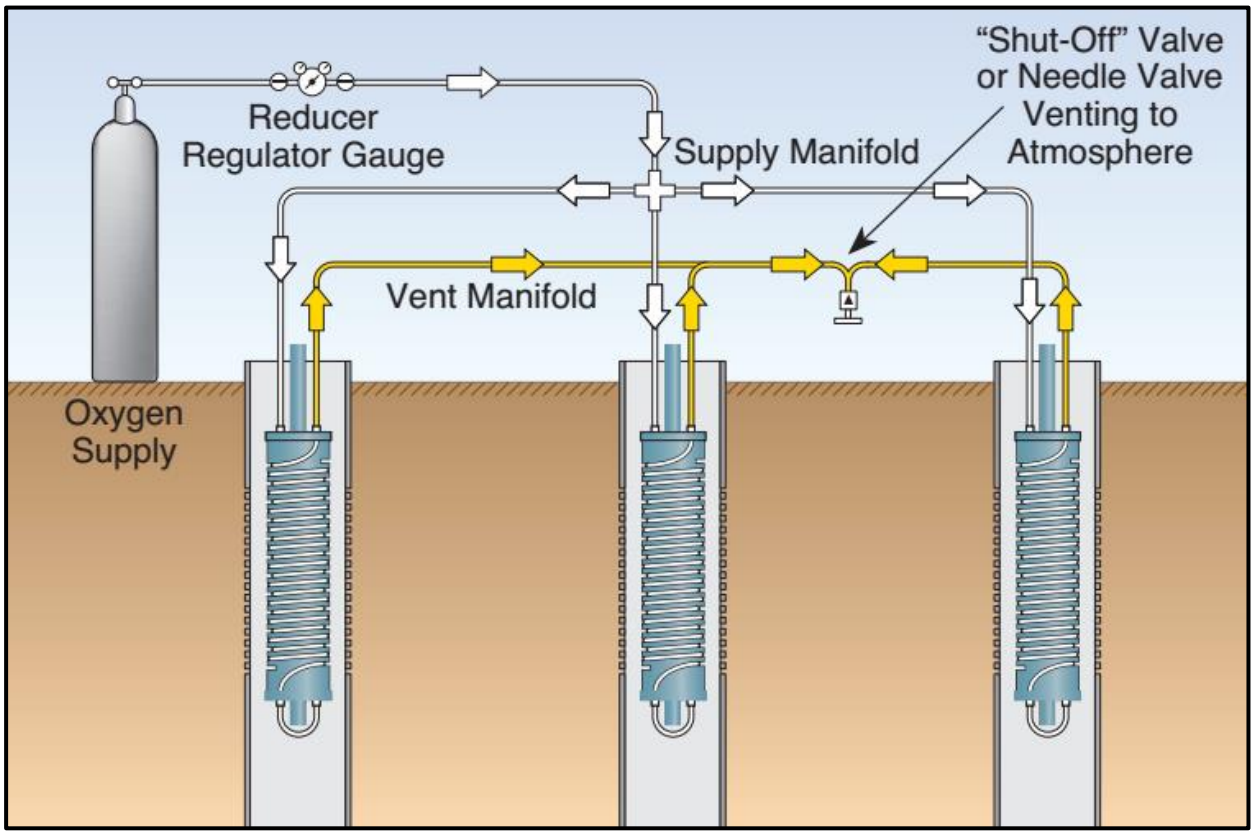


Figura 10.1. Schema di disposizione di un sistema di *Emitters* (figura di proprietà ®Solinst).

Qualora la barriera ossidativa con Emitters venga realizzata nelle vicinanze del PM8 verrà valutato lo scollegamento del piezometro dal *Pump and Treat*. Infatti, le reazioni di

biodegradazione non sono istantanee e necessitano la concomitante presenza dell'accettore di elettroni (in questo caso l'ossigeno) e del donatore di elettroni (idrocarburi). Il pompaggio del PM8, aumentando la velocità advettiva della falda, potrebbe quindi ridurre l'efficacia dell'intervento.

10.6 ULTERIORI INTERVENTI PER IL MIGLIORAMENTO AMBIENTALE

PREMESSA

Ulteriori moduli di vegetazione saranno impiantati lungo il perimetro del sito e nei terreni dell'area B, al fine di ottenere ulteriori benefici ambientali, quali:

- il miglioramento della qualità dell'aria (assorbimento di particolato atmosferico e di altri inquinanti tipici dell'ambiente urbano),
- la riduzione del riscaldamento dovuto all'irraggiamento degli edifici e murature perimetrali,
- la creazione di habitat con effetti positivi sulla biodiversità,
- la riduzione del ristagno idrico invernale negli strati di terreno sub-superficiali (anche in considerazione dell'abbassamento del piano di campagna che espone ad infiltrazioni gli edifici perimetrali),
- l'intercettazione dello scorrimento di acque meteoriche durante piogge intense ed il loro consumo all'interno del sito,
- il contenimento della diffusione di eventuali vapori organici derivanti dalla contaminazione ancora residuale durante il periodo di sviluppo della bonifica,
- riutilizzare in sito il terreno di scavo del Fitolago.

IL MODULO LINEARE AD ALLORO

Questo si sviluppa lungo tutto il perimetro Est del sito ed è costituito da un filare di *Laurus nobilis*, albero di seconda grandezza sempreverde dal carattere spiccatamente mediterraneo (vedi scheda botanica allegata). La parte del filare ricadente nell'area A del sito avrà anche la funzione di fitobonifica, lungo il perimetro dove non è possibile realizzare trincee per la presenza di strutture murarie di edifici confinanti.

Complessivamente saranno messe in opera 35 piante, distribuite su una fila, con distanza fra le piante di 2 metri.

Le piante saranno fornite con zolla di terra in contenitore di volume non inferiore a 3 litri e di diametro non superiore a 20 cm. Per la posa in opera si procederà con l'apertura di una piccola buca (circa 25x25x25 cm), il posizionamento della pianta in

posizione centrale e con il colletto al piano di campagna. Per il riempimento dello spazio intorno alla pianta si utilizzerà il terreno della buca mescolato con fibra di cocco.

Concimazione: 75 g di Osmocote Exact Standard 12-14M (con titolo 15-9-11+2MgO+TE) mescolato con il terreno di riempimento.

La messa a dimora può essere primaverile (marzo-aprile) o autunnale (settembre-ottobre).

IL MODULO AD ARBUSTI DECIDUI (COTOGNO - FORSIZIA)

Di questo modulo, che si sviluppa lungo la base del muro di confine Ovest, fanno parte due arbusti a foglie decidue: *Chaenomeles japonica, Forsythia x intermedia*. Entrambe sono di origina asiatica, dove si sviluppano in aree boschive fresche e in prossimità di corsi d'acqua. Sono arbusti caratterizzati da una discreta capacità di accrescimento, adattate ad ambienti temperati in condizioni parzialmente ombreggiate (vedi schede botaniche allegate). Ampiamente utilizzate in campo ornamentale, sono di facile reperimento sul mercato.

Complessivamente saranno messe in opera 20 piante (10 per ognuna delle due specie), alternate su una fila, con distanza fra le piante di 1 metro.

Le piante saranno fornite con zolla di terra in contenitore di volume non inferiore a 3 litri e di diametro non superiore a 20 cm. Per la posa in opera si procederà con l'apertura di una piccola buca (circa 25 x 25 x 25 cm), il posizionamento della pianta in posizione centrale e con il colletto al piano di campagna. Per il riempimento dello spazio intorno alla pianta si utilizzerà il terreno della buca mescolato con fibra di cocco.

Concimazione: 75 g di Osmocote Exact Standard 12-14M (con titolo 15-9-11+2MgO+TE) mescolato con il terreno di riempimento.

La messa a dimora è strettamente primaverile (marzo-aprile).

IL MURO DI CONTENIMENTO LATO VIA MOROSINI

Il muro di contenimento lungo via Morosini sarà realizzato con gabbionate portanti, riempite di materiale lapideo. Al fine di ridurre l'effetto termico dovuto all'irraggiamento diretto durante il periodo estivo, vista anche l'esposizione a sud, si procederà con l'impianto da terra di specie rampicanti idonee a dare copertura alla parete.

La specie che verrà utilizzata è *Parthenocissus tricuspidata*, nota come Vite del Canadà a foglie intere o Partenocisso tricuspidato, è una specie lianosa, decidua, a rapido sviluppo e con ottime capacità di coprire pareti verticali senza necessità di sostegni.

Complessivamente saranno messe in opera 23 piante lungo una fila alla base del muro, con distanza fra le piante di 2 metri.

Le piante saranno fornite con zolla di terra in contenitore di volume non inferiore a 3 litri e di diametro non superiore a 20 cm. Per la posa in opera si procederà con l'apertura di una piccola buca (circa 25x25x25 cm), il posizionamento della pianta in posizione centrale e con il colletto al piano di campagna. Per il riempimento dello spazio intorno alla pianta si utilizzerà il terreno della buca mescolato con fibra di cocco.

Concimazione: 75 g di Osmocote Exact Standard 12-14M (con titolo 15-9-11+2MgO+TE) mescolato con il terreno di riempimento.

La messa a dimora è strettamente primaverile (marzo-aprile).

IL MURO VERDE LATO BENELLI

Il muro di contenimento lungo la scarpata di contatto con le nuove zone costruite (ovest) sarà realizzato con moduli prefabbricati a riempimento di terreno, che possono ospitare vegetazione - "muri verdi". I moduli di una fila sono posizionati con una spaziatura di circa 20 cm, i moduli della fila sottostante sono alternati ai superiori, facendo da base di appoggio per circa metà modulo da ambo i lati. Si vengono quindi a determinare delle posizioni di impianto sfalsate su due file.

Per il riempimento si utilizzerà del terreno vegetale di buona qualità, privo di corpi estranei e ben compattato. Il posizionamento della vegetazione seguirà uno schema lungo il profilo verticale e uno lungo il piano orizzontale.

Le specie che verranno poste a dimora sono tutte con foglie persistenti (sempreverdi) tipiche degli ambienti rocciosi e semiaridi mediterranei, ben adattate ad una relativa carenza idrica estiva. Unica eccezione, il *Cotoneaster horizontalis* arbusto di origine asiatica che presenta habitus deciduo. Di seguito sono riportati gli elementi principali caratterizzanti le specie e la loro collocazione, assumendo una distanza orizzontale fra il centro dei moduli pari a circa 60 cm. Nella figura 10.2 la disposizione delle specie in un modulo lungo circa 1.5 metri e alto circa 3 metri.

Mirto (*Myrtus communis*) var. microfillo- arbusto Mediterraneo che in questa varietà è caratterizzato da foglie piccole e accrescimento limitato, può essere lasciato al libero sviluppo per formare piccoli alberelli.

Rosmarino (*Rosmarinus officinalis*) var. prostrata – arbusto Mediterraneo che in questa varietà tende a sviluppare i diversi apici di accrescimento verso il basso lungo muri o rocce.

Cotonastro *Cotoneaster horizontalis* – arbusto di origine asiatica a foglie caduche con rami disposti orizzontalmente a spina di pesce, tende a sviluppare i diversi apici di accrescimento verso il basso lungo muri o rocce.

Lavanda (*Lavandula angustifolia*) – specie con portamento cespitoso-arbustivo, è caratterizzata da uno sviluppo sferico della chioma e dalle foglie profumate.

Elicriso (*Helichrysum italicum*) – specie con portamento cespitoso-arbustivo, è caratterizzate da infiorescenze profumate.

Le posizioni delle specie da impiantare nelle file di moduli dei diversi piani e le sequenze orizzontali, sono riportare di seguito. La prima fila è sporgente di circa 10 cm dal livello del terreno adiacente.

- 1° fila: [Mirto];
- 2° fila: [Rosmarino-Lavanda];
- 3° fila: [Lavanda-Elicriso-Elicriso];
- 4° fila: [Vuoto-Cotonastro-Vuoto];
- 5° fila: [Elicriso-Lavanda-Lavanda].

Le restanti file verso il basso non sono impiantate e sono lasciate allo sviluppo spontaneo di specie ruderali. Le sequenze orizzontali si ripetono per tutta la lunghezza del muro.

Impianto: questo sarà effettuato a mano con materiale vivaistico di buona qualità, 2-3 anni di età, in vaso di almeno 3 litri di volume.

Concimazione: Al momento della posa in opera si aggiungerà del concime a lento rilascio del tipo Osmocote Exact Standard 12-14M (con titolo 15-9-11+2MgO+TE) con dose pari a 20 g per modulo impiantato.

Prime cure colturali: dopo l'impianto e fino al superamento della prima stagione estiva, si procederà con regolari innaffiature della prima e seconda fila. Negli anni successivi, si procederà con 3-4 innaffiature durante la stagione estiva. Le innaffiature, anche se abbondanti, non dovranno provocare fenomeni di micro-erosione del terreno delle prime due file.

Figura 10.2. Disposizione delle specie da impiantare sul muro "verde" lato ovest - Benelli.

IL MODULO AD ARBUSTI DECIDUI (MAONIA - FORSIZIA)

Di questo modulo, che si sviluppa lungo la base del muro di confine Ovest, fanno parte due arbusti a foglie decidue: *Mahonia aquifolium, Forsythia x intermedia* (vedi descrizioni precedenti e schede botaniche allegate).

Complessivamente saranno messe in opera 15 piante (8 di maonia e 7 di forsizia), alternate su una fila, con distanza fra le piante di 1 metro.

Le piante saranno fornite con zolla di terra in contenitore di volume non inferiore a 3 litri e di diametro non superiore a 20 cm. Per la posa in opera si procederà con l'apertura di una piccola buca (circa 25x25x25 cm), il posizionamento della pianta in posizione centrale e con il colletto al piano di campagna. Per il riempimento dello spazio intorno alla pianta si utilizzerà il terreno della buca mescolato con fibra di cocco.

Concimazione: 75 g di Osmocote Exact Standard 12-14M (con titolo 15-9-11+2MgO+TE) mescolato con il terreno di riempimento.

La messa a dimora è strettamente primaverile (marzo-aprile).

GLI ALBERI ISOLATI

Organizzati ai vertici di un triangolo equilatero di 5 metri di lato saranno impiantate tre individui di Farnia (*Quercus robur* var. 'fastigiata') della varietà a chioma ristretta. Grandi querce costituenti primarie delle foreste planiziali dell'Europa centrale, prediligono terreni freschi con falda superficiale (vedi scheda botanica allegata).

Isolato e in prossimità del Fitolago (a cui fornirà un parziale ombreggiamento) sarà impiantato un Salice piangente (*Salix babylonica*), albero di seconda grandezza di origine asiatica dove si sviluppa in ambienti ripariali, è ampiamente utilizzato per scopi ornamentali.

Sempre in posizione isolata, saranno impiantati un Pioppo bianco e un Frassino maggiore (vedi descrizioni precedenti e schede botaniche allegate)

Le piante saranno fornite con zolla di terra in contenitore di volume non inferiore a 5 litri e altezza delle piante compresa fra 150 e 200 cm. Per la posa in opera si procederà con l'apertura di una piccola buca (circa 30x30x30 cm), il posizionamento della pianta in posizione centrale e con il colletto al piano di campagna. Per il riempimento dello spazio intorno alla pianta si utilizzerà il terreno della buca mescolato con agriperlite (tipo AGRILIT® 3 con dimensioni dei granuli 2-6 mm).

Concimazione: 150 g di Osmocote Exact Standard 12-14M (con titolo 15-9-11+2MgO+TE) mescolato con il terreno di riempimento.

La messa a dimora è strettamente primaverile (marzo-aprile).

I MODULI ARBUSTIVI-ERBACEI A GRUPPI (ERBA DELLA PAMPA – BUDDLEIA)

Costituiti da gruppi di 3 piante poste ai vertici di un triangolo equilatero di 2 metri di lato, alternando un gruppo con Erba della pampa (Cortaderia selloana) specie erbacea perenne con foglie persistenti di origine americana, con uno di Buddleia (Buddleja davidii) arbusto di medie dimensioni, deciduo di origine asiatica.

Complessivamente saranno impiantati 2 gruppi per specie (12 piante in totale), in prossimità della punta Nord-Est del Fitolago.

Le piante saranno fornite con zolla di terra in contenitore di volume non inferiore a 5 litri e di diametro non inferiore a 15 cm. Per la posa in opera si procederà con l'apertura di una piccola buca (circa 30x30x30 cm), il posizionamento della pianta in posizione centrale e con il colletto al piano di campagna. Per il riempimento dello spazio intorno alla pianta si utilizzerà il terreno della buca mescolato con agriperlite (tipo AGRILIT® 3 con dimensioni dei granuli 2-6 mm).

Concimazione: 150 g di Osmocote Exact Standard 12-14M (con titolo 15-9-11+2MgO+TE) mescolato con il terreno di riempimento.

La messa a dimora è strettamente primaverile (marzo-aprile).

IL MODULO A BAMBÙ

Questo modulo si sviluppa lungo una striscia di circa 140 metri quadri (55 x 2.5 m), in prossimità del confine con il centro Benelli, dove sarà abbancato parte del terreno di scavo del Fitolago (26 mc).

Le specie di Bambù che saranno impiegate sono: *Phyllostachis bambusoides* in alternanza sulla fila con *Phyllostachis aureosulcata* var. 'spectabilis'.

In considerazione dell'elevata capacità di sviluppo orizzontale, per stoloni, saranno impiantati 13 nuclei per specie (26 nuclei in totale), che in poche stagioni andranno a coprire l'intera superficie disponibile.

Preparazione dell'area di impianto e del terreno: definito il perimetro dell'area, in accordo a quanto riportato nella tavola T1, si procederà allo scavo di una stretta trincea di circa 50 cm di profondità. All'interno della trincea, si andrà a porre in opera in posizione verticale una guaina di contenimento in polietilene ad alta densità di 2 mm di spessore (tipo Bambustop) e di altezza 1 metro. La trincea sarà quindi chiusa con il materiale scavato che verrà compattato per una completa adesione alla guaina, che sporgerà di circa 50 cm dall'attuale piano di campagna. Parte del materiale di risulta dallo scavo del Fitolago (circa 26 mc) sarà steso sulla striscia precedentemente confinata con la guaina dopo essere stato mescolato in proporzione 1:1 con compost vegetale di qualità superiore, privo di componenti volatili odorigene. In questo modo si verrà a realizzare un piano rilevato di circa 40 cm dall'attuale piano di campagna, su cui sarà effettuato l'impianto delle due specie di bambù.

Per la messa in opera si procederà posizionando i nuclei a distanza di 4 metri, alternando le due specie, lungo due file distanti fra loro 2 metri.

I nuclei composti da più culmi saranno forniti con zolla di terra in contenitore di volume non inferiore a 3 litri e di diametro non inferiore a 15 cm. Per la posa in opera si procederà con l'apertura di una piccola buca (circa 25x25x25 cm), il posizionamento della pianta in posizione centrale e con il colletto al piano di campagna. Per il riempimento dello spazio intorno alla pianta si utilizzerà il terreno della buca.

Concimazione: 75 g di Osmocote Exact Standard 12-14M (con titolo 15-9-11+2MgO+TE) mescolato con il terreno di riempimento.

La messa a dimora è strettamente primaverile (marzo-aprile).

10.7 LE INFRASTRUTTURE FUNZIONALI ALLA GESTIONE DELL'ACQUA

PREMESSA

Al fine di consentire un reimpiego *in-situ* dell'acqua derivante dall'impianto di MISE - *Pump & Treat,* con effetti positivi di riduzione dello scarico[1] e a sostegno dei sistemi di BIO- FITO-bonifica, sono messi in opera i sistemi descritti nelle sezioni seguenti.

IL FITOLAGO

Nell'area in cui non sono presenti superamenti dei limiti di contaminazione, sarà realizzato un piccolo bacino di stoccaggio dell'acqua che sarà utilizzata per l'irrigazione dei sistemi messi in opera con gli interventi di bonifica, descritti nelle sezioni precedenti. Il prelievo dell'acqua necessaria per l'irrigazione è realizzato con una derivazione dalla tubazione esistente in uscita dall'impianto di *P&T*, tramite una elettrovalvola comandata dal sistema di gestione e controllo acque.

Nella tabella di seguito (10.1) sono riportati i principali elementi costruttivi del Fitolago.

Tabella 10.1. Dimensioni del Fitolago.

Lunghezza massima	m	20
Larghezza massima	m	10
Perimetro	m	66
Superficie specchio d'acqua (al netto di franco libero superficiale h= 20 cm)	m^2	100
Superficie zona profonda	m^2	56
Superficie scarpate interne	m^2	55

[1] Lo scarico in pubblica fognatura esistente (già autorizzato - Allegato F), situato nell'angolo Sud-Est del sito - Via del Lazzaretto, non viene alterato nelle sue caratteristiche qualitative se non con una riduzione quantitativa.

Profondità	m	1
Scavo zona profonda	m^3	56
Scavo scarpate interne	m^3	28
Scavo totale	m^3	84

Gestione del livello idraulico del fitolago

La gestione del livello del fitolago sarà realizzata attraverso il controllo automatizzato del flusso in ingresso dal P&T e del reimpiego in-situ. Il sensore di livello presente all'interno del fitolago, collegato alla centrale di gestione acque, abiliterà l'apertura dell'elettrovalvola di derivazione dal tubo in uscita dal *P&T* e il ripristino del livello predefinito.

Per la gestione nel breve termine della quota di acqua eventualmente eccedente, per esempio in giornate di pioggia autunnali-invernali, ma anche nel caso di eventi intensi primaverili ed estivi, il livello del Fitolago sarà costantemente mantenuto con un franco di 20 cm dal bordo (quindi capacità di buffer fino a 200 mm di pioggia). Il livello eccedente sarà quindi dissipato utilizzando l'impianto di irrigazione, in particolare la sezione D (Saliceto) in considerazione della sua elevata porosità (area di scavo A) e della tolleranza alla sommersione periodica delle specie messe in opera (vedi Tabella 10.2).

Tabella 10.2. Bilancio idrologico medio giornaliero Fitolago (m^3 / 24 ore).

	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Evento estremo[a]
INPUTS					
Prelievo da *P&T*[b]					
per esigenze vegetazione	1.53	3.81	4.48	3.20	0
per ricircolo e controllo Fitolago	0 - 3	0 - 3	0 - 3	0 - 3	
Piogge	0.23	0.26	0.24	0.34	23.50
OUTPUTS					
Evapotraspirazione Fitolago	0.08	0.29	0.52	0.19	0
Consumi irrigui vegetazione in opera(standard)	1.68	3.77	4.19	3.36	0
Ricircolo / Dissipazione nel saliceto[c]	0 - 3	0 - 3	0 - 3	0 - 3	23.50

Note:

a) *Come evento estremo è stata considerata una intensità di pioggia di 200 mm in 24 ore (pari al franco del livello del lago dal bordo) nel periodo autunnale e un consumo idrico della vegetazione pari a 0.*

b) *portata media disponibile 40.8 m^3 / giorno*

c) *la portata massima nominale di irrigazione della sezione D (Saliceto) è di 6.8 m^3 in 20 ore (considerando stop tecnici della pompa).*

Il bacino sarà reso biologicamente attivo con la messa in opera di specie vegetali idonee a migliorarne la qualità prima dell'utilizzo *in-situ*. In aggiunta, tenuto conto della collocazione al centro di un'area residenziale, nel bacino saranno introdotti pesci del genere *Gambusia* specie *holbrooki* per il controllo dello sviluppo larvale delle zanzare.

Il sistema è stato quindi progettato per favorire l'instaurarsi dei processi biologici di riciclo degli elementi minerali tipici dei sistemi naturali, in cui la sostanza organica prodotta dalle piante e dagli animali viene decomposta e mineralizzata dai microrganismi presenti nell'acqua, nei sedimenti e associati alle radici delle piante, rendendo nuovamente disponibili i nutrienti per lo sviluppo delle piante.

Un problema tipico dei piccoli bacini artificiali è lo sviluppo eccessivo di alghe, che se non controllato può minare il mantenimento dell'equilibrio dell'ecosistema e della qualità (torbidità) dell'acqua. Per questo motivo nella progettazione del "Fitolago" sono state inserite piante in grado di ridurre la disponibilità di luce e di utilizzare i nutrienti, fattori che sono i principali responsabili dell'eccessivo sviluppo di alghe. In particolare, sono state inserite piante ombreggianti, piante ossigenanti e piante palustri.

Le piante ombreggianti, come le ninfee, svolgono la funzione di ridurre la quantità di luce che penetra all'interno del bacino inibendo lo sviluppo algale e al contempo riducendo i fenomeni di surriscaldamento (estivi) e di associata ipossia. Un'efficace riduzione della penetrazione della radiazione solare può essere ottenuta quando circa il 60 % della superficie dell'acqua è coperta dal fogliame delle piante ombreggianti.

Le piante ossigenanti sommerse, rilasciando ossigeno nell'acqua favoriscono la decomposizione dei residui vegetali e il riciclo dei nutrienti. Inoltre, grazie al loro rapido accrescimento assorbono i nutrienti disciolti nell'acqua limitando in questo modo lo sviluppo algale. Per garantire l'efficacia di questi processi, queste specie devono occupare circa un terzo del fondo del bacino.

Lo sviluppo algale è anche contrastato con l'inserimento di piante palustri lungo il perimetro interno del bacino, in posizione rialzata. Queste specie svolgono il doppio ruolo di assorbimento dei nutrienti e di rilascio di ossigeno nella rizosfera.

In accordo ai criteri sopra menzionati sono state quindi individuate le specie idonee da porre in opera all'interno del Fitolago. Nelle schede botaniche allegate ne sono riportati i principali tratti descrittivi e autoecologici, di seguito la loro collocazione e funzione operativa.

Per quanto riguarda la <u>funzione ombreggiante</u>, sono state individuate tre varietà di ninfee, caratterizzate da fiori di colore diverso:

- *Nynphaea* varietà "*Hever white*" (a fiore bianco),
- *Nynphaea* varietà "*Madame Wilfron Gonnere*" (a fiore rosa).
- *Nynphaea* varietà "*Almost black*" (a fiore fucsia)

La densità di impianto è di 0.5 piante per metro quadro e sono poste in opera in vasi microforati, da posizionare direttamente sul fondo del laghetto, nell'area di massima profondità.

Per quanto riguarda la funzione ossigenante, sono state selezionate tre specie:

- *Ceratophyllum demersum* (Ceratofillo comune)
- *Potamogeton crispus* (Brasca increspata)
- *Myriophyllum spicatum* (Millefoglio d'acqua comune)

La densità di impianto è di 3 piante per metro quadrato e sono poste in opera in vasi microforati da posizionare direttamente sul fondo del laghetto, nell'area di massima profondità.

Per quanto riguarda la funzione di assorbimento dei nutrienti, sono state selezionate due specie palustri:

- *Acorus gramineus* (piccolo calamo)
- *Juncus* spp (giunco)

Le piantine verranno posizionate su di un gradino perimetrale sommerso (circa 50 cm di profondità) all'interno di piccoli moduli prefabbricati (es. vedi scheda tecnica allegata), aperti sul fondo e poggianti su di un letto di ghiaia, in modo da consentire agli apparati radicali di svilupparsi liberamente in acqua. Questi moduli serviranno anche definire e stabilizzare il perimetro del Fitolago.

Nella tabella seguente (10.3) sono riportati i quantitativi di piante da porre in opera all'interno del Fitolago.

Tabella 10.3.

Vegetazione acquatica interna	superficie zona profonda occupata		densità d'impianto	numero piante - vasi
	%	m²	piante/m²	n
Vegetazione sommersa - ossigenante				
Myripophyllum spicatum	10%	5.6	3	17
Ceratophyllum demersum	10%	5.6	3	17
Potamogeton crispus	10%	5.6	3	17
sub-totali	***30%***	***16.8***		***51***
Vegetazione galleggiante - ombreggiante	%	m²	piante/m²	n
Nynphaea "Hever White" - fiore color bianco	20%	11.2	0.5	6
Ninfea varietà "Almost black" - fiore color fucsia	20%	11.2	0.5	6
Ninfea varietà "Madame Wilfron Gonnere"	20%	11.2	0.5	6

- fiore color rosa				
sub-totali	***60%***	***33.6***		***18***
TOTALI	**90%**	**50.4**		**120**
Vegetazione palustre bordo interno	Perimetro occupato		Dimensione minima modulo*	N. piante - supporti
	%	m	cm	n
Acorus gramineus	50%	33	27	120
Juncus effusus	50%	33	27	120
TOTALI	**100%**	**66**		**240**

* il numero complessivo di piante palustri dipende dalle dimensioni minime del modulo di impianto perimetrale

Modalità operative per la messa in opera

Scavo e impermeabilizzazione

Per la definizione sul terreno dell'area di scavo, si procederà con il picchettamento dei vertici di riferimento del perimetro superiore e di quelli della zona di scavo profondo, in accordo a quanto riportato nella tavola T1 Scavi.

Lo scavo profondo potrà essere realizzato utilizzando il "picciolo" come rampa di ingresso per i mezzi meccanici. Parte del terreno rimosso dovrà essere abbancato nell'area precedentemente picchettata destinata all'impianto del bambù. Considerando quindi che tale area si sviluppa su una superficie di 137 m^2 e che il volume di terreno da reimpiegare è pari a circa 41 m^3, l'altezza del materiale abbancato sarà pari a circa 30 cm.

Per le operazioni di scavo si procederà partendo dallo scavo per 50 cm di profondità e 1 m di larghezza del perimetro (interno) superiore, che servirà ad ospitare le due specie palustri; quindi si procederà con la parte centrale del fondo lago e con le scarpate di raccordo con il perimetro superiore con un angolo di 45°.

Per il consolidamento del fondo e delle scarpate si procederà con la posa in opera di una geogriglia bidimensionale, ovvero con un geocomposito che integri la funzione di contenimento con quella di un geotessile antiforatura. La copertura dovrà estendersi per almeno 50 cm sul piano di campagna lungo il perimetro superiore e fissata con picchetti o altra modalità.

Per l'impermeabilizzazione si procederà a stendere un telo impermeabilizzante su tutta l'area di scavo (incluso picciolo), con riporto sul piano di campagna come per il punto precedente. Il bordo esterno sul piano di campagna sarà opportunamente fissato, quindi coperto con ghiaia, o copriscalino, o altra pavimentazione, con moduli di lunghezza 40-50 cm e larghezza di 20-30 cm (per consentire di seguire le curvature del perimetro).

Bordo interno

Al fine di porre in opera le specie palustri lungo il bordo interno, in cui è stato realizzato un gradino di 50 cm di altezza e 1 m di larghezza, saranno posti in opera elementi prefabbricati a sezione circolare interrotta da un incavo che ne consente la disposizione lungo linee curve. Nella figura di seguito (10.3) è riportato un esempio del modulo e della posa.

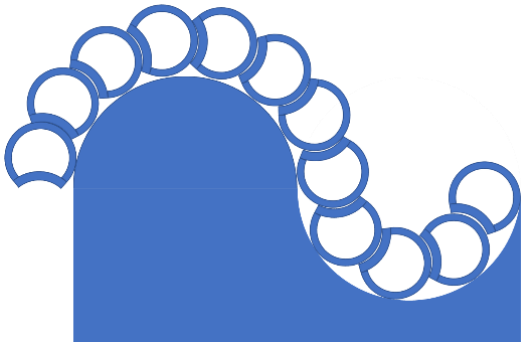


Figura 10.3. Disposizione dei moduli per specie palustri, lungo il bordo interno del Fitolago.

Impianto specie vegetali

Le diverse specie saranno collocate sul fondo del lago in accordo allo schema di impianto riportato nella tavola B6. Di seguito (tab. 10.4) sono riportate le caratteristiche di fornitura e le modalità di impianto per le diverse specie vegetali interne al Fitolago.

Tabella 10.4.

Acquatiche ombreggianti			
Specie	*Nynphaea candida*	*Ninfea varietà "Firecrest"*	*Ninfea varietà "Almost black"*
Fornitura	piante vegetanti a radice nuda		
Profondità rizoma	30 (15-40) cm	40 (20-60) cm	60 (20-80) cm
Contenitore	vaso con fori 1-3 mm di circa 14 litri e altezza 18-20 cm		
Altezza basamento*	50 cm	40 cm	30 cm
Substrato	terreno di scavo (argilloso-sabbioso) con rimozione dello scheletro maggiore di 1 cm + 2 cm circa di ghiaia sul fondo		
Concime	20 g di concime a lento rilascio, aggregato, nella formulazione 14-8-2 + 2MgO + micro (ovvero in ordine: azoto, fosforo, potassio, magnesio, e altri micronutrienti come ferro, manganese, boro, rame, molibdeno, zinco)		
Acquatiche ossigenanti			
Specie	*Ceratophyllum demersum*	*Potamogeton crispus*	*Myriophyllum spicatum*

Fornitura	piante vegetanti a radice nuda		
Profondità rizoma	sul fondo	sul fondo	sul fondo
Contenitore	vaso con fori 1-3 mm di circa 3 litri e altezza 8-10 cm		
Substrato	terreno di scavo (argilloso-sabbioso) con rimozione dello scheletro maggiore di 1 cm + 2 cm circa di ghiaia sul fondo		
Concime	20 g di concime a lento rilascio, aggregato, nella formulazione 14-8-2 + 2MgO + micro (ovvero in ordine: azoto, fosforo, potassio, magnesio, e altri micronutrienti come ferro, manganese, boro, rame, molibdeno, zinco)		

*come basamento si utilizzano gabbioni metallici (zincati) a base quadrata con lato di circa 25-30 cm e altezza 40-60 cm, riempiti con pietrame grossolano (possibilmente con bassa massa volumica) con caratteristiche idonee per l'impiego in acqua.

Le due specie **palustri** (*Acorus gramineus e Juncus* spp) saranno fornite in zolla di terra e saranno messe a dimora piante all'interno dei moduli prefabbricati, collocati sul gradino perimetrale sommerso. Ogni modulo sarà riempito con il terreno di scavo del Fitolago in miscela 50/50 (volume) con fibra di cocco e circa 10 g di concime a lento rilascio, aggregato, nella formulazione 14-8-2 + 2MgO + micro (ovvero in ordine: azoto, fosforo, potassio, magnesio, e altri micronutrienti come ferro, manganese, boro, rame, molibdeno, zinco).

IL CANALE DI FITODEPURAZIONE

L'immissione nel Fitolago del refluo proveniente dall'impianto di MISE - *Pump & Treat* avverrà dopo un trattamento di fitodepurazione, finalizzato a ridurre l'eccesso di ferro in sospensione (residuale) e in prospettiva per il trattamento delle acque emunte dai piezometri scarsamente contaminati, in sostituzione della filtrazione a carboni attivi. A tale scopo, a partire dal secondo anno di funzionamento, potranno essere fatti dei test per verificare la possibilità di ridurre / sostituire la quota di refluo trattato a carboni attivi inviando una quota delle acque emunte dai piezometri meno carichi direttamente al canale di fitodepurazione.

Il canale è costituto da moduli prefabbricati in cemento armato vibrato. Ha ingombro massimo in larghezza di 1 m, altezza interna utile di circa 1 m e di lunghezza complessiva pari a 17.5 metri.

Il canale è strutturato in 4 diverse sezioni funzionali (vedi figura allegati B2a, b):

1. zona di sedimentazione (priva di inerti): è il primo tratto di ingresso del refluo, lungo 1 metro, in cui avviene il deposito di eventuali solidi grossolani sospesi; con copertura superiore e tombino per ispezione, è separato dal resto del canale con un setto impermeabile di circa 80 cm di altezza; questo primo tratto può essere sostituito da un pozzetto di analoghe dimensioni, con conseguente riduzione della lunghezza del canale;

2. zona di infiltrazione: è un tratto di 1.5 metri di canale riempito con pietrisco (80-120 mm; h=70 cm), in cui il flusso laminare in ingresso dal primo tratto si fraziona, su tutta la sezione idraulica del canale, in micro-flussi orizzontali; con copertura superiore e tombino per ispezione;
3. zona di fitodepurazione: è un tratto di 13 metri in cui sono disposte le piante macrofite del genere *Carex* e *Iris;* le piante sono messe a dimora su uno strato superficiale di circa 10 cm di terriccio, separato con una stuoia di fibra di cocco dalla parte inferiore riempita con ghiaia media (8-16 mm; h=70 cm). Circa 20 cm dal bordo superiore sono lasciati come franco libero dai materiali, per l'accumulo temporaneo delle acque di pioggia;
4. zona di filtrazione e uscita: è il tratto terminale di 2 metri riempito con ghiaia fine (4-8 mm; h=90 cm), in cui sono inseriti 4 tubi drenanti (con calza filtrante) di diametro esterno di circa 15 cm, collocati ad una altezza dal fondo di 60 cm (riferita al centro del tubo), passanti nel setto finale di chiusura del canale e aggettanti per circa 10 cm, con terminale a gomito rivolto verso il basso.

Tabella 10.5. quantitativi di piante da porre in opera all'interno del canale di fitodepurazione

Specie palustri messe a dimora su 3 file; *Iris* spp. alternati sulla fila	Posizione	spaziatura (m)	N. file	N. piante
Carex acutiformis	file laterali	0.5	2	52
Iris pseudacorus	fila centrale	1	1	13
Iris versicolor varietà "Dark aurea"	fila centrale	1	1	13
TOTALE				**78**

Modalità operative per la messa in opera

Il canale è collocato nella zona centrale del lago foglia (profonda 1 metro) appoggiato su gabbioni riempiti in pietra, di altezza 0.5 metri e di larghezza pari a quella del canale o superiore. I gabbioni sono a loro volta appoggiati su geogriglia di rinforzo e membrana di protezione del telo di impermeabilizzazione. I giunti fra i diversi elementi del canale sono sigillati ad arte e dovranno garantire la tenuta del sistema nelle due direzioni: dal canale al lago e viceversa. Considerando il livello "normale" dell'acqua nel lago, il canale sporgerà da questo per circa 70 cm (1 m canale + 0.5 m gabbioni – 0.8 m livello dell'acqua). La quota dei tubi di uscita sarà a circa 30 cm dal livello normale del lago, determinando un piccolo effetto cascata utile per l'ossigenazione dell'acqua.

L'IMPIANTO DI IRRIGAZIONE

L'impianto di irrigazione è alimentato con l'acqua fitodepurata del Fitolago, a sua volta alimentato dallo scarico dell'impianto di P&T. In considerazione dei riscontri analitici dell'acqua pompata dal piezometro PM1, che non ha mostrato superamenti per nessuno dei parametri monitorati, questo potrà essere immesso direttamente nel canale di fitodepurazione senza subire la filtrazione dell'impianto di P&T. Inoltre, al fine di evitare la salinizzazione dei suoli con il trasferimento di acqua salmastra in superficie con effetti negativi sulla attività di degradazione dei contaminanti organici, sarà interrotto il pompaggio del PM5 che non presenta superamenti direttamente riconducibili al sito.

Criteri generali di progettazione

Per il corretto ed efficiente funzionamento degli impianti bio- e fito- tecnologici di bonifica, è necessario garantire le condizioni ottimali per lo svolgimento delle attività metaboliche delle piante e delle comunità microbiche nel suolo insaturo durante tutta la stagione vegetativa. Considerato l'inquadramento climatico del sito e le caratteristiche dei terreni oggetto di intervento, questa garanzia si ottiene utilizzando un sistema di irrigazione che consenta di reintegrare giornalmente il contenuto idrico del suolo (insaturo) in modo particolare nella stagione estiva.

I criteri per la scelta degli elementi costituenti l'impianto di irrigazione sono direttamente collegati alla tipologia dei sistemi bio- fito- tecnologici che verranno posti in opera nelle diverse aree all'interno del sito.

In sintesi questi sono:

- modularità: il sito è suddiviso in sette sezioni con gestione autonoma, manuale o automatica (vedi sotto);
- autonomia gestionale e di controllo: le quattro sezioni che riforniscono le aree oggetto di bio- fito-bonifica e di ricircolo in falda, sono gestite con un sistema di monitoraggio dello stato idrico del suolo e controllo automatico della valvola di attivazione; le altre sezioni sono gestite manualmente;
- automazione della gestione: per le quattro sezioni a controllo automatizzato la gestione dell'irrigazione si basa su algoritmi di attivazione/disattivazione che utilizzano i dati prodotti dalla sensoristica installata in-situ; l'accesso ai dati e la gestione degli algoritmi è realizzata da remoto attraverso un portale web ad accesso riservato;
- somministrazione irrigua differenziata: l'apporto irriguo è distinto e autonomo per i diversi sistemi bio- fito- tecnologici presenti nelle diverse sezioni idriche;
- irrigazione funzionale: gli apporti irrigui sono direttamente proporzionali allo stato funzionale dei sistemi bio- fito- tecnologici posti in trincea;

- gestione del picco stagionale: il dimensionamento dell'impianto di irrigazione deve garantire i flussi di picco stagionali, almeno su base giornaliera (24 h) al fine di evitare condizioni di stress per le piante.

Criteri di progettazione del sistema di gestione e controllo dell'irrigazione

In accordo ai criteri generali di cui sopra, l'impianto dovrà poter gestire la diversità funzionale delle specie vegetali messe in opera e la variabilità delle caratteristiche del terreno anche su piccola scala.

In considerazione di quanto sopra l'impianto di irrigazione dovrà basarsi sulla misura quasi in continuo (10-30 minuti) del contenuto idrico del terreno, in prossimità delle diverse specie e a diverse profondità, per l'apertura e chiusura delle valvole di controllo in modalità automatica.

Al fine di poter controllare la funzionalità dei diversi impianti irrigui, il sistema dovrà consentire l'accesso ai dati da remoto con una frequenza al massimo giornaliera. La gestione da remoto dovrà anche consentire l'impostazione dei parametri di regolazione dell'apertura e chiusura delle valvole, in particolare nella prima fase di messa a punto del sistema ma anche successivamente in relazione allo stato di sviluppo della vegetazione.

Il sistema idraulico

Gli elementi costituivi del sistema idraulico sono rappresentati nella loro collocazione nel sito, nella tavola T2. Gli elementi dimensionali negli allegati B3(a) e B3(b).

Tabella 10.6. Elementi del sistema idraulico

Q.ta	Descrizione
1	Elettrovalvola per la derivazione dello scarico dall'impianto di MISE P&T comandata dal sistema di gestione e controllo
1	Pompa di adduzione dell'acqua dal Fitolago, con pre-filtrazione – portata massima 4-6 mc/ora, pressione in uscita di 3-5 bar
1	Quadro elettrico di alimentazione della pompa ad intensità variabile (inverter) e controllo di accensione da input esterno
12 m	linea idrica di carico – portata massima 4-6 mc/ora, con pressione di esercizio 3-5 bar
1	Impianto di filtrazione con sistema automatico di controlavaggio – portata massima 4-6 mc/ora, con pressione in ingresso 3-4 bar e in uscita 2-3 bar
15 m	Linea idrica di scarico controlavaggio dell'impianto di filtrazione
4	Elettrovalvole comandate dal sistema di gestione e controllo, per le sezioni irrigue A, B, C, D con portate di esercizio fino a 1 mc/ora e pressione in ingresso 2-3 bar
3	Valvole manuali per il controllo irriguo delle sezioni F, G, H, con portate di esercizio fino a 0.8 mc/ora e pressione in ingresso 2-3 bar

500 m	Linee idriche di connessione delle diverse sezioni (vedi dettagli di portata nella tabella allegata B3b), con pressione di esercizio 2-3 bar
1’100 m	Ali gocciolanti sezioni A-C: tipo pluristagionale, autocompensante e antisifone con sistema di inibizione della intrusione radicale per impiego in subirrigazione di colture arboree – NETAFIM UNIRAMTM AS XR - distanza fra gocciolatori 60 cm, portata gocciolatori variabile da 1 a 1.6 litri/ora (vedi allegato B3a)
500 m	Ali gocciolanti sezioni D-H: tipo pluristagionale, autocompensante e con gocciolatore autopulente per impiego in superficie – NETAFIM DRIPNET PC - distanza fra gocciolatori 60 cm, portata gocciolatori variabile da 1.6 a 3.5 litri/ora (vedi allegato B3b)
33	Raccordi primari di collegamento linee idriche portanti e ali gocciolanti
27	Raccordi secondari con testata per il raccordo di ali gocciolanti “doppie” (lunghezza testata 40 cm)
q.b.	Raccorderia

Modalità operative per la messa in opera

La prima operazione sarà quella di effettuare il picchettamento dei riferimenti di inizio e fine di ogni tratta di linea idrica, in accordo alla disposizione riportata nella tavola T2.

Per la posa delle linee idriche di alimentazione delle diverse sezioni irrigue, si procederà con scavo di tracce di 50 cm di profondità e di larghezza variabile da 30 a 60 cm, per tratte, in relazione al numero di linee idriche da posizionare. I dati dimensionali delle diverse tratte di scavo sono riportati nell’allegato B4; complessivamente saranno scavate tracce per 416 metri. Anche in questo caso le operazioni di scavo saranno contemporanee alla posa in opera delle linee idriche, con posa delle stesse e chiusura. Parte delle tracce saranno anche utilizzate per la posa in opera delle linee elettriche che alimentano l’illuminazione di sicurezza interna al sito.

Le ali gocciolanti delle sezioni irrigue A-C (in doppio) saranno poste ai margini laterali delle trincee per la *bioaugmentation* (vedi sezione 7.5) a 20 cm di profondità, prima della loro chiusura e piantumazione. Le ali gocciolanti di ogni trincea sono collegate alla linea idrica portante con un raccordo a “T” (all’interno della traccia) ed un secondo raccordo a T per la testata di connessione delle due ali della trincea (a –20 cm di profondità, lunghezza 40 cm). Le connessioni primarie complessive per queste sezioni sono 28.

Le ali gocciolanti delle sezioni D, F, G, H, saranno posizionate in superficie, appena concluse le operazioni di piantumazione, in prossimità della base delle piante. Le ali saranno fissate al terreno per evitare accidentali spostamenti. Le ali sono collegate alla linea portante con un raccordo a “T” (all’interno della traccia). Le connessioni primarie complessive per queste sezioni sono 25.

IL SISTEMA DI GESTIONE E CONTROLLO DELL'IRRIGAZIONE: SEZIONI A-C

In considerazione della rilevanza dello stato idrico del suolo nel controllo dei processi biologici di bonifica, sia a livello microbico del suolo che per la vegetazione, le sezioni idriche A, B, e C sono gestite in modo automatizzato sulla base del controllo di stato dei diversi sistemi vegetali.

L'organizzazione funzionale che saranno svolte dai diversi sistemi per garantire le condizioni ottimali, autonomamente per le tre sezioni idriche, è descritta di seguito.

Sistemi periferici: sono centraline localizzate in prossimità delle aree da monitorare di ogni sezione idrica, che svolgono le seguenti funzioni:

- acquisire il valore di contenuto idrico del suolo (SWC) e della temperatura (Ts) a due diverse profondità (-20 cm e -50/70 cm) e in diversi punti all'interno di 2-3 trincee campione, sulla base di un intervallo temporale programmato e modificabile anche da remoto; per la numerosità dei punti di misura si veda la tabella 10.7 di seguito;
- memorizzare i valori acquisiti localmente e per ogni sensore separatamente, con identificazione del periodo temporale di riferimento della misura (una lettura dei sensori ogni 10 minuti, filtrazione di dati anomali e memorizzazione dei valori medi su 30 minuti);
- trasmettere i dati ad un sistema centrale di gestione dell'impianto irriguo.

Tabella 10.7. Numerosità dei punti di misura di SWC e Ts

Sez. irrigua	n. trincee totali	n. trincee monitorate	n. sensori x trincea	n. sensori totali x area	n. centraline
A	11	2	4	8	1
B	6	3	4	12	1
C	10	2	4	8	1
			Totali	**28**	**3**

Sistema centrale: raccoglie i dati delle centraline periferiche e svolge le seguenti funzioni:

- acquisire e memorizzare i dati medi trasmessi dalle centraline periferiche;
- acquisire (ogni minuto) e memorizzare (media, minima e massima calcolata su un intervallo di 30 minuti) il valore di pressione sulla linea in uscita dalla pompa di rilancio;
- acquisire e memorizzare i valori dei contatori posti all'uscita dalle elettrovalvole di controllo delle tre sezioni irrigue;

- acquisire (ogni 10 minuti) e memorizzare (valore medio su 30 minuti) i valori di livello e temperatura profonda del Fitolago;
- acquisire (ogni 10 minuti) e memorizzare (valore medio su 30 minuti) i valori di conducibilità e temperatura superficiale del Fitolago;
- acquisire (ogni 10 minuti) e memorizzare (valore medio su 30 minuti) i valori di torbidità del Fitolago;
- svolgere funzioni di calcolo (media per sezione) e di confronto con i valori di soglia ON/OFF definiti per l'attivazione dell'irrigazione, o di avviso, programmati e modificabili anche da remoto;
- attivare per un ciclo di 30 minuti la pompa di rilancio e contestualmente aprire le valvole di collegamento delle sezioni in cui nei 30 minuti precedenti si siano verificate le seguenti condizioni:
    - i valori di contenuto idrico del suolo (media dei sensori superficiali) sono minori dei valori soglia (≈ capacità di campo) prefissati per ogni sezione idrica;
    - i valori di contenuto idrico del suolo (media dei sensori profondi) sono minori o uguali dei valori soglia (≈ saturazione) prefissati per ogni sezione idrica;
    - <u>il ciclo di irrigazione non è attivabile se</u>:
        - il livello del Fitolago è al di sotto della soglia minima preimpostata
        - la temperatura del Fitolago è inferiore alla soglia minima preimpostata;
        - la conducibilità (salinità) del Fitolago è superiore alla soglia preimpostata;
        - i valori di pressione acquisiti ad elevata frequenza sono inferiori o superiori al campo di funzionalità dell'impianto di irrigazione.
- inviare i dati memorizzati ad un server web, accessibile all'utenza qualificata per il controllo e la gestione

<u>IL SISTEMA DI GESTIONE E CONTROLLO DELL'IRRIGAZIONE: SEZIONE D (AREA DI SCAVO A)</u>

In accordo con l'elevata porosità della matrice utilizzata per il riempimento dell'area di scavo (A) e della sua diretta connessione con la falda acquifera sottostante, questa sezione sarà utilizzata per il ricircolo della falda ai fini di bonifica e a servizio del Fitolago. In particolare, a servizio del Fitolago la sezione servirà a dissipare le precipitazioni piovose eccedenti la sua capacità massima e per favorire il ricambio di acqua, al fine di controllarne le caratteristiche qualitative (temperatura – torbidità – salinità) grazie all'azione di mitigazione termica dell'acqua di falda (più fresca in estate più calda in inverno) e all'effetto diluizione.

Dopo una prima fase di attecchimento delle piante poste in opera in questa sezione (salici, maonia e pioppi cipressini), in cui l'irrigazione dovrà seguire l'andamento

stagionale e garantire le migliori condizioni per la loro radicazione e sviluppo, si potrà procedere con una gestione mirata alle funzioni di bonifica e di servizio sopracitate.

Modalità di attuazione del controllo

Gli algoritmi di controllo dell'elettrovalvola di alimentazione di questa sezione si basano sui dati forniti in modo continuo da un sensore di contenuto idrico multilivello, posto al centro dell'area di scavo.

In una prima fase, si procederà a definire il livello di saturazione specifico dei diversi strati di terreno come il valore massimo raggiunto a seguito di eventi piovosi rilevanti, ovvero, in assenza di piogge sufficienti, effettuando un test di saturazione con irrigazione continua. Analogamente, si definirà il valore di capacità di campo (minimo) come il valore per cui si interrompe la percolazione verso gli strati profondi.

Successivamente, si procederà con cicli automatici ON/OFF di 30 minuti in accordo allo svolgimento delle diverse funzioni sopracitate e sulla base dello stato dei sistemi riportato di seguito.

- Attivazione della funzione di ricircolo, quando:
  - i valori di contenuto idrico misurati fino alla profondità di -40 cm sono inferiori ai valori soglia minimi impostati (≈ capacità di campo);
- Attivazione della funzione di dissipazione, quando:
  - il livello del Fitolago è al di sopra della soglia massima preimpostata
  - i valori di contenuto idrico misurati fino alla profondità di -10 cm sono inferiori ai valori soglia massimi (≈ saturazione);
- Attivazione della funzione di controllo della qualità del Fitolago, quando:
  - i valori di contenuto idrico misurati fino alla profondità di -40 cm sono inferiori ai valori soglia minimi impostati (≈ capacità di campo);
  - la temperatura del Fitolago è superiore alla soglia preimpostata / la conducibilità elettrica (salinità) del Fitolago è superiore alla soglia preimpostata / la torbidità del Fitolago è superiore alla soglia preimpostata.
- Il ciclo non è attivabile se:
  - il livello del Fitolago è al di sotto della soglia di sicurezza preimpostata
  - la temperatura del Fitolago è inferiore alla soglia minima preimpostata;

Al fine di valutare gli effetti diretti del ricircolo, nei giorni successivi ad uno dei riempimenti potrà essere fatta una valutazione della qualità della falda al PM11 e al PM8.

IL SISTEMA DI GESTIONE DELL'IRRIGAZIONE: SEZIONI F-H

L'irrigazione di queste sezioni è limitata a garantire l'attecchimento delle piante poste in opera ed il loro regolare sviluppo durante il primo anno di impianto. Successivamente, gli interventi irrigui saranno limitati al periodo asciutto estivo.

La gestione è manuale e si effettua con l'apertura delle valvole poste alla testa dell'impianto, dopo aver temporaneamente sospeso l'attivazione automatica delle elettrovalvole delle sezioni A-C.

10.8 IL MONITORAGGIO OPERATIVO DEI SISTEMI DI BONIFICA

PREMESSA

Al fine di monitorare l'evolversi dei sistemi messi in opera per la bio- e fito-bonifica dei suoli, della falda e per il trattamento delle acque, nel corso del tempo verranno effettuati dei controlli sullo stato della comunità microbica e della vegetazione.

A questo monitoraggio discontinuo si andranno ad aggiungere i dati raccolti in modalità automatica dal sistema di gestione e controllo dell'impianto di irrigazione e del Fitolago.

MONITORAGGIO DELLA COMUNITÀ MICROBICA DEL SUOLO

Finalità di questa attività è quella di valutare nel tempo lo sviluppo della comunità microbica e la sua capacità degradativa per i composti target, in risposta all'intervento di *bioaugmentation* e di *phytoremediation*. Le determinazioni che verranno condotte saranno le seguenti:

a) Vitalità microbica

La vitalità microbica sarà determinata mediante conte colturali su terreni agarizzati non selettivi. Verranno prodotti degli elutriati dal suolo campionato (5 g) di cui verrà determinato il carico microbico mediante coltivazione.

Tempi: subito dopo l'inoculo (T0), dopo sei mesi dall'inoculo (T6), dopo un anno (T12) e a seguire dopo ogni anno (T24, 36, 48 ,60). *Nota: Sulla base dell'andamento della vitalità nell'arco del primo anno verrà valutata la possibilità di reintrodurre l'inoculo nella successiva stagione di crescita.*

Punti di campionamento: 3 punti in 2 trincee nell'area impiantata a Frassino + 3 punti in 2 spazi esterni alle trincee nell'area impiantata a Frassino

Totale analisi: 12(T0), 12(T6), 12(T12), 12(T24), 12(T36), 12(T48), 12(T60) = 84

b) attività microbica

L'attività degradativa sarà determinata mediante saggi colorimetrici come decolorazione del DCPIP (diclorofenoloindofenolo), mentre quella metabolica con la metodologia CLPP (community level physiological profile utilizzando piastre multipozzetto BIOLOG®). Le analisi verranno condotte sugli stessi elutriati prodotti per determinare la vitalità microbica (vedi punto 1). Entrambi prevedono l'incubazione dell'intera comunità' microbica e non dei singoli isolati su substrati carboniosi in presenza di un agente redox e sono pertanto metodi che prescindono dalla coltivazione.

Tempi: subito dopo l'inoculo (T0), dopo sei mesi dall'inoculo (T6), dopo un anno (T12) e a seguire dopo ogni anno (T24, 36, 48 ,60). *Nota: Sulla base dell'andamento della vitalità nell'arco del primo anno verrà valutata la possibilità di reintrodurre l'inoculo nella successiva stagione di crescita.*

Punti di campionamento: 3 punti in 2 trincee nell'area impiantata a Frassino + 3 punti in 2 spazi esterni alle trincee nell'area impiantata a Frassino

Totale analisi: 12(T0), 12(T6), 12(T12), 12(T24), 12(T36), 12(T48), 12(T60) = 84

c) struttura della comunità batterica

La struttura e la dinamica della comunità batterica verrà condotta mediante analisi NGS. Verrà estratto il DNA metagenomico dal suolo campionato (1-2 g) e saranno sequenziate le regioni ipervariabili della regione 16s per l'assegnazione tassonomica delle specie presenti. La struttura verrà determinata in trincee inoculate e fuori trincea.

Tempi: (T0) e (T24) *Nota: I campioni saranno raccolti e conservati in congelatore e saranno processati al T24 simultaneamente*.

Punti di campionamento: 3 punti in 2 trincee nell'area impiantata a Frassino + 3 esterni, 3 punti in 2 trincee nell'area impiantata a Tamerici + 3 esterni, 3 punti in 2 trincee nell'area impiantata a Vetiver + 3 esterni. I campioni saranno mescolati per tipologia: Frassino, Esterno Frassino, Tamerici, Esterno Tamerici, Vetiver, Esterno Vetiver. Totale analisi: 6(T0), 6(T24) = 12

Totale analisi: 6(T0), 6(T24) = 12

MONITORAGGIO DEI SISTEMI VEGETALI

Finalità di questa attività è quella di controllare nel tempo lo sviluppo dei diversi sistemi vegetali posti in opera e di valutarne il ruolo ambientale. Le determinazioni che verranno condotte saranno le seguenti:

a) attecchimento e stato di vitalità

Nei tre mesi successivi all'impianto delle diverse specie, sarà effettuato un primo censimento della vitalità delle piante messe in opera, sulla base di almeno due

sopralluoghi a distanza di circa un mese fra loro. Insieme alla valutazione dello stato di vitalità, si procederà anche ad annotare eventuali danni visibili prodotti in fase di impianto, eventuali danni di insetti o da altri patogeni.

Successivamente il censimento sarà effettuato su base annuale alla fine di ogni stagione vegetativa (autunno).

b) sviluppo e funzionalità degli organi epigei

In accordo alla fenologia delle diverse specie impiantate nell'area A del sito, si procederà a quantificare lo sviluppo dimensionale della componente epigea. Per le specie legnose questa sarà realizzata misurando altezze e diametri al temine di ogni stagione di crescita, diversamente, per le specie erbacee le misure dei due elementi dimensionali, verticali e orizzontali, saranno effettuate nel periodo di massimo sviluppo stagionale (31 piante campione).

Inoltre, a partire dalla seconda stagione di crescita saranno effettuate misure morfometriche e del contenuto di azoto, su foglie mature campionate al picco della stagione vegetativa (primavera-estate). Le foglie da analizzare saranno campionate tenendo conto della naturale eterogeneità morfologica all'interno delle chiome. Il materiale da campionare sarà utilizzato preventivamente per la determinazione *in-vivo* della capacità e funzionalità del sistema fotosintetico.

Al fine di quantificare lo sviluppo complessivo delle chiome a livello di modulo, si procederà a misurare con sistemi indiretti l'indice di area fogliare (LAI - superficie fogliare per unità di terreno) al picco stagionale.

Nella tabella di seguito (tab. 10.8) sono riepilogati i parametri funzionali che saranno analizzati al picco della stagione vegetativa, su piante campione messe in opera nell'area A del sito.

Tabella 10.8. Numero di piante che saranno campionate per tipologia di indagine funzionale

Specie	Morfologia fogliare[1]	Capacità fotosintetica[2]	Efficienza fotosintetica[3]	Conduttanza stomatica[5]	Contenuto di Azoto[4]	LAI[6]
Frassino maggiore	1	-	-	-	1	-
Vetiver	3	3	3	3	3	1
Fotinia	3	3	3	3	3	1
Eleagno	3	3	3	3	3	
Fillirea	3	3	3	3	3	
Tamerice	3	3	3	3	3	-
Frassino minore	3	3	3	3	3	1
Pioppo	3	3	3	3	3	3

cipressino						
Salice ripaiolo	3	-	-	3	3	1
Salice rosso	3	-	-	3	3	1
Maonia	3	-	-	3	3	1
Totali	**31**	**21**	**21**	**30**	**31**	**9**

Note metodologiche: 1 – superficie e massa fogliare media (LMA); 2 – tasso fotosintetico in condizioni standard (Asat); 3 – efficienza di conversione della luce del fotosistema II (Fv/Fm e ΔF/Fm); 4 - analisi elementale; 5 – grado di apertura stomatica in condizioni standard; 6 - superficie fogliare per unità di terreno.

c) sviluppo e funzionalità radicale

La densità radicale sarà monitorata nei moduli dove è realizzata la *bioaugmentation*, per mezzo di campionamenti autunnali del suolo superficiale (0-30 cm) e successiva separazione manuale delle radici fini (0-2 mm). Il campionamento sarà effettuato tra le piante sulla fila, mentre nel caso di piante isolate i punti saranno nell'intorno della stessa. Il campionamento sarà annuale al termine della stagione vegetativa (novembre)

Nei punti dove è effettuato il carotaggio per la determinazione della densità radicale, saranno inseriti dei sistemi per la determinazione della crescita annuale (*in-growth cores*), che analizzate nell'anno successivo forniranno una stima della produttività.

Al fine di valutare il metabolismo complessivo del sistema pianta-suolo e il ruolo della componente radicale, saranno effettuate misure di flusso di CO_2 sia su trincee impiantate che su trincee non impiantate. Le misure saranno effettuate almeno 1 volta per stagione (4 x anno).

Tabella 10.9. Numero di punti di misura nei moduli oggetto del monitoraggio operativo ipogeo, per le diverse tipologie di determinazione.

Modulo	Densità radicale	Produttività radicale	Flussi CO_2 in trincee con piante	Flussi CO_2 in trincee senza piante
Frassino maggiore	2	2	4	4
Vetiver	4	4	4	4
Fotinia-Elegano	4	4	4	
Fillirea-Eleagno	4	4	4	
Tamerice	4	4	4	4
Frassino min.	8	8	8	8
Pioppo cipressino	4	4	4	4
Totali	**28**	**28**	**32**	**24**

d) monitoraggio chimico fogliare

Al fine di monitorare l'attività di fitodegradazione dei contaminati presenti nei terreni e in falda, nel caso in cui parte di questi siano trasferiti nelle foglie, ovvero assorbiti per via aeree, e quindi degradati a livello fogliare, si procederà a monitorarne il *pool* annualmente nel periodo di maggiore attività vegetativa. Al picco della stagione vegetativa (giugno) le foglie mature dell'anno saranno campionate ed analizzate in laboratorio, in accordo allo schema riportato nella tabella seguente (Tab. 10.10).

Tabella 10.10. Schema per il monitoraggio chimico fogliare

Specie	N. piante	Numero di analisi			
		BTEX	IPA	Tetracloro-etilene (PCE)	Cloruro di vinile
Impianti su trincea					
Frassino maggiore	1	1	1		
Vetiver	3	3	3		
Fotinia	3	3	3		
Eleagno	3	3	3		
Fillirea	3	3	3		
Tamerice	3	3	3		
Frassino minore	6	6	6		
Pioppo cipressino	3	3	3		
Sub-totali	*22*	*22*	*22*		
Impianti su area scavo A					
Pioppo cipressino	3	3	3	3	3
Salice ripaiolo	3	3	3	3	3
Salice rosso	3	3	3	3	3
Maonia	3	3	3	3	3
Sub-totali	12	12	12	12	12
Impianti su area scavo B					
Pioppo bianco	1	1	1	1	1
Totali	**35**	**35**	**35**	**13**	**13**

Nota: per ogni pianta campionata l'analisi sarà su un unico pool fogliare

IL MONITORAGGIO OPERATIVO AMBIENTALE

Il sistema di gestione e controllo dell'irrigazione acquisisce in modo pressoché continuo anche i dati ambientali necessari a regolare l'impianto, ma al contempo fornisce informazioni importanti sullo stato di funzionamento dei diversi sistemi.

Di seguito sono riepilogati i sensori posti in opera e i parametri monitorati con il loro significato ecologico.

ID sensore	TEROS 11 (MeterGroup)
Quantità	28
Parametri misurati	Contenuto idrico e Temperatura del suolo a due profondità nelle sezioni idriche A-B-C (trincee inoculate e piantate)
Frequenza di acquisizione	Ogni 10 minuti
Frequenza di memorizzazione	Ogni 30 minuti (valore medio)
Ruolo ecologico	Determinanti ambientali del metabolismo microbico e radicale
Ulteriori informazioni	L'analisi della evoluzione nel tempo delle fluttuazioni del contenuto idrico su base giornaliera fornisce indicazioni sul ciclo idrologico e indirettamente sullo sviluppo e funzionalità della vegetazione

ID sensore	SoilVUE 10 (Campbell Scientific)
Quantità	1
Parametri misurati	Contenuto idrico e Temperatura del suolo a sei profondità (5, 10, 20, 30, 40 e 50 cm)
Frequenza di acquisizione	Ogni 10 minuti
Frequenza di memorizzazione	Ogni 30 minuti (valore medio)
Ruolo ecologico	Determinanti ambientali del metabolismo microbico e radicale
Ulteriori informazioni	Il dato acquisito su un profilo centrale dell'area di scavo A servirà per la gestione guidata del ricircolo della falda

ID sensore	ClimaVUE50 (Campbell Scientific)
Quantità	1
Parametri misurati	Temperatura e Umidità relativa aria (pressione atmosferica, radiazione solare, velocità e direzione del vento)
Frequenza di acquisizione	Ogni 10 minuti
Frequenza di memorizzazione	Ogni 30 minuti (valore medio)
Ruolo ecologico	Determinanti ambientali dell'attività fisiologica della vegetazione e delle interazioni con i componenti organici volatili
Ulteriori informazioni	L'analisi della evoluzione nel tempo dei valori microclimatici fornisce indicazioni sul ruolo della vegetazione sul benessere climatico dell'area

ID sensore	CS547A-L (Campbell Scientific)
Quantità	1
Parametri misurati	Conducibilità elettrica e Temperatura dell'acqua del Fitolago
Frequenza di	Ogni 10 minuti

acquisizione	
Frequenza di memorizzazione	Ogni 30 minuti (valore medio)
Ruolo ecologico	Determinanti ambientali dell'attività fisiologica della vegetazione acquatica e del metabolismo di pesci e altri organismi acquatici
Ulteriori informazioni	L'analisi comparativa con i dati dei piezometri consente di valutare il ruolo del sistema canale di fitodepurazione e Fitolago sui due parametri

ID sensore	OBS501 (Campbell Scientific)
Quantità	1
Parametri misurati	Torbidità dell'acqua del Fitolago
Frequenza di acquisizione	Ogni 10 minuti
Frequenza di memorizzazione	Ogni 30 minuti (valore medio)
Ruolo ecologico	Determinante ambientale dell'attività fisiologica della vegetazione acquatica profonda
Ulteriori informazioni	

ID sensore	CS451 (Campbell Scientific)
Quantità	1
Parametri misurati	Livello del Fitolago e Temperatura dell'acqua profonda
Frequenza di acquisizione	Ogni 10 minuti
Frequenza di memorizzazione	Ogni 30 minuti (valore medio)
Ruolo ecologico	Determinante ambientale dell'attività fisiologica della vegetazione palustre lungo il bordo interno del Fitolago (livello), e del metabolismo di pesci e altri organismi acquatici (temperatura)
Ulteriori informazioni	I due parametri sono fondamentali per mantenere condizioni adeguate all'interno del Fitolago, interrompendo il prelievo per l'irrigazione in caso di eccessi termici o di un livello troppo basso che avrebbe anche effetti negativi sulla vegetazione palustre

10.9. BILIOGRAFIA

Alagić, S. Č., Maluckov, B. S., & Radojičić, V. B. (2015). How can plants manage polycyclic aromatic hydrocarbons? May these effects represent a useful tool for an effective soil remediation? A review. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17(3), 597–614. https://doi.org/10.1007/s10098-014-0840-6

Enviromental Protection Agency. (2000). Introduction to Phytoremediation. U.S. *Environmental Protection Agency*, (February), 1–72. https://doi.org/EPA/600/R-99/107

Feng, N. X., Yu, J., Zhao, H. M., Cheng, Y. T., Mo, C. H., Cai, Q. Y., … Wong, M. H. (2017). Efficient phytoremediation of organic contaminants in soils using plant–endophyte partnerships. *Science of the Total Environment*, 583, 352–368. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.075

Godleads Omokhagbor Adams, Prekeyi Tawari Fufeyin, Samson Eruke Okoro, and Igelenyah Ehinomen, "Bioremediation, Biostimulation and Bioaugmention: A Review." *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*, vol. 3, no. 1 (2015): 28-39. doi: 10.12691/ijebb-3-1-5.

Interstate Technology & Regulatory Council – ITRC (2009). Technical / Regulatory Guidance Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees, Revised, (February).

Jiménez, N., Richnow, H. H., Vogt, C., Treude, T., & Krüger, M. (2016). Methanogenic Hydrocarbon Degradation: Evidence from Field and Laboratory Studies. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*, 26(1–3), 227–242. https://doi.org/10.1159/000441679

Landmeyer, J. E., & Effinger, T. N. (2016). Effect of phytoremediation on concentrations of benzene, toluene, naphthalene, and dissolved oxygen in groundwater at a former manufactured gas plant site, Charleston, South Carolina, USA, 1998–2014. *Environmental Earth Sciences*, 75(7), 605. https://doi.org/10.1007/s12665-016-5408-9

Moliterni, E., Rodriguez, L., Fernández, F. J., & Villaseñor, J. (2012). Feasibility of Different Bioremediation Strategies for Treatment of Clayey and Silty Soils Recently Polluted with Diesel Hydrocarbons. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(5), 2473–2482. https://doi.org/10.1007/s11270-011-1040-1

Nichols, E. G., Cook, R. L., Landmeyer, J. E., Atkinson, B., Malone, D. R., Shaw, G., & Woods, L. (2014). Phytoremediation of a Petroleum-Hydrocarbon Contaminated Shallow Aquifer in Elizabeth City, North Carolina, USA. Remediation Journal, 24(2), 29–46. https://doi.org/10.1002/rem.21382

Susarla, S., Medina, V. F., & McCutcheon, S. C. (2002). Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering*, 18(5), 647–658.

Vinas, M., Sabate, J., Espuny, M. J., & Solanas, A. M. (2005). Bacterial Community Dynamics and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Degradation during Bioremediation of Heavily Creosote-Contaminated Soil. Applied and Environmental Microbiology, 71(11), 7008–7018. https://doi.org/10.1128/AEM.71.11.7008-7018.2005

Wenzel, W. W. (2009). Rhizosphere processes and management in plant-assisted bioremediation (phytoremediation) of soils. *Plant and Soil*, 321(1–2), 385–408. https://doi.org/10.1007/s11104-008-9686-1

Wilson RD and MacKay DM (2002). Diffusive oxygen emitters for enhancement of aerobic in situ treatment. *Ground water monitoring and remediation*. 22 (2): 88 - 98.

Wilson, R.D., D.M. Mackay et K.M. Scow. 2002. In Situ MTBE Biodegradation Supported by Diffusive Oxygen Release. *Environmental Science and Technology*. 36 (2): 190-199.

11. MONITORAGGI AMBIENTALI

11.1. MITIGAZIONE E CONTROLLO DEI CONTAMINANTI AERODISPERSI

Il traffico veicolare e le attività di scavo e ricomposizione da eseguire nel sito potranno creare lievi disagi riguardo l'aumento di polveri nell'area.

Il sito risulta delimitato in tutto il suo perimetro da una recinzione e pareti alte circa 2.0 metri. Sarà cura degli operatori in campo mettere in atto gli accorgimenti per minimizzare la produzione e dispersione di polveri, quali la copertura dei cumuli di terreno prodotti nel corso delle attività di scavo con teli impermeabili e l'inumidimento dei materiali movimentati e della viabilità interna di cantiere.

Si dovrà privilegiare l'attuazione degli interventi nelle stagioni fredde, evitando il periodo estivo e comunque le giornate particolarmente calde e/o ventose. In ogni caso sarà necessaria la dotazione in cantiere di un anemometro.

Durante le attività di scavo al fine di contenere e abbattere le polveri che potrebbero sollevarsi si propone di utilizzare cannoni per la nebulizzazione di acqua, la cui ubicazione sarà funzionale al settore di intervento in modo da massimizzare l'effetto di abbattimento delle polveri sulla base della direzione del vento.

Per il trasporto in cantiere del materiale necessario al completamento del progetto sarà necessario l'impiego di automezzi. Il traffico dei camion è limitato alle fasi più critiche del progetto, sia contestualmente alle opere civili e sia contestualmente alla realizzazione delle trincee con relative piantumazioni, in linea con il cronoprogramma.

L'impiego di un laboratorio mobile o di un campionatore portatile (da parte della ditta esecutrice dei lavori) durante le fasi ritenute più critiche, consentirà il monitoraggio in tempo reale delle polveri nell'aria ambiente.

11.2. IL MONITORAGGIO DEI VAPORI

Onde verificare in corso d'opera l'efficacia degli interventi di bonifica per rendere accettabile il rischio di inalazione di vapori, si prevede il monitoraggio, per tutta la durata dell'intervento, del flusso emissivo di contaminanti dal suolo all'atmosfera.

I composti che risultano rappresentare un rischio per la salute umana per il percorso inalazione di vapori indoor outdoor per le matrici suolo superficiale, suolo profondo e falda, sono stati determinati tramite l'Analisi di Rischio e sono riportati nella **Tabella 11.1**. Come evidenziato dalle linee guida 17/2018, "*Le sostanze per le quali si ritiene opportuno attivare il percorso di "inalazione di vapori" sono quelle di interesse per il monitoraggio dei vapori riportate nell'Allegato 1 al documento "Progettazione del monitoraggio di composti volatili" in accordo con i criteri stabiliti dalla Banca Dati ISS-INAIL del marzo 2018 (ISS-INAIL, 2018)*. In tale allegato non vengono incluse, perché non

volatili, le sostanze Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Crisene, Dibenzo(a,h)antracene e la catena idrocarburi aromatici C11-C22. Verranno quindi escluse dal monitoraggio vapori tali sostanze, mentre si provvederà a monitorare la catena idrocarburi aromatici C11 – C12, contenuta in quella C11-C22.

Nell'ottica di massima cautela, sono stati invece inseriti nel monitoraggio i composti in concentrazioni superiori alle C_{soglia} delle linee guida SNPA 17/2018 rilevati durante la campagna di campionamento su 14 sonde soil gas. I contaminanti così determinati (Etilbenzene e Stirene) sono stati aggiunti alla **Tabella 11.1**. Tale campagna era stata eseguita dalla ditta BEnergy nel febbraio 2015 prima dell'inizio delle attività di bonifica con *Dig & Dump* con sonde installate nell'area oggetto di successiva escavazione.

Tabella 11.1 Contaminanti che presentano rischio per il percorso inalatorio indoor/outdoor calcolato tramite Analisi di Rischio (AdR) e contaminanti con concentrazioni superiori alle C_{soglia} rilevati nel monitoraggio *soil gas* del 2015. I contaminanti oggetto di monitoraggio sono quelli presenti nelle linee guida e indicati nella quarta colonna.

CONTAMINANTI CHE PRESENTANO RISCHIO - PERCORSO INALAZIONE VAPORI					
	INDOOR	OUTDOOR	Par. LINEE GUIDA	C_{soglia} indoor mg/m^3	C_{soglia} outdoor mg/m^3
Benzene	X		SI	$3.31*10^{-3}$	$7.18*10^{-2}$
Xileni	X		SI	1.12	$1.32*10^{1}$
Benzo(a)antracene		X	NO	No inalazione	No inalazione
Benzo(a)pirene		X	NO	No inalazione	No inalazione
Crisene		X	NO	No inalazione	No inalazione
Dibenzo(a,h)antracene		X	NO	No inalazione	No inalazione
Clorometano	X		SI	$1.43*10^{-2}$	$3.11*10^{-1}$
Cloruro Vinile	X		SI	$4.99*10^{-3}$	$1.12*10^{-1}$
Tetracloroetilene	X		SI	$9.93*10^{-2}$	2.15
Naftalene	X		SI	$7.59*10^{-4}$	$1.65*10^{-2}$
C9-C10	X		SI	$2.79*10^{-1}$	3.29
C11-C22*	X	X	SI *solo catena C11-C12 nelle linee guida	$2.79*10^{-1}$	3.29
CONTAMINANTI RILEVATI NEI SOIL GAS CON CONCENTRAZIONI SUPERIORI C_{soglia} indoor / outdoor					
Etilbenzene	X	X	SI	$1.03*10^{-2}$	$2.24*10^{-1}$
Stirene	X	X	SI	$5.16*10^{-2}$	1.12

Considerata la modesta soggiacenza della falda da piano campagna (valore minimo di 0.9 metri da piano campagna, rilevato il 03/10/2017), si prevede il monitoraggio dei vapori tramite camera di flusso invece che con sonde soil gas. Infatti, come indicato nelle Linee guida SNPA 15/2018 Allegato A, le profondità di campionamento *soil gas* devono

avvenire sempre nell'insaturo almeno 1 m sopra il livello massimo del livello freatimetrico, condizioni incompatibili con le caratteristiche del sito.

Il monitoraggio con camera di flusso previsto consiste in:

1. **Campagna di monitoraggio pre-intervento**, in seguito alla rimozione del telo in HDPE e successivo alle attività di scavo e piantumazione. Le attività di monitoraggio previste consisteranno in:
    a. *Screening con camera di accumulo* (o camera di flusso statica non stazionaria aperta) per identificare le zone a maggiore flusso emissivo valutando i VOC totali su 33 punti **Figura 11.1**. I punti di campionamento sono stati definiti applicando una maglia regolare con spaziatura più ampia nell'area Sud ritenuta meno critica. In quell'area i campioni di terreno prelevati durante la costruzione dei piezometri PM1, PM2, PM3, PM4, PM5, PM6 e PM7 non hanno rilevato superamenti delle CSC nei terreni. All'interno di ogni poligono è stato previsto almeno un punto di campionamento, posizionato in prossimità di punti in cui la concentrazione dei contaminanti nel terreno, acque o gas interstiziali è stata indagata precedentemente. Questo permetterà di verificare una eventuale corrispondenza tra zone più contaminate e maggiore flusso emissivo. Inoltre sono state previste misure più dettagliate in corrispondenza delle trincee di inoculo e immediatamente all'esterno di queste. L'obiettivo è quello di verificare l'influenza della attività microbica sulle emissioni di vapori dal sottosuolo.
    b. *Misura quantitativa con camera di flusso aperta dinamica nelle aree a maggiore flusso emissivo* di VOC identificate sulla base dello screening al punto a). Sono previsti un massimo di 4 punti di campionamento che verranno posizionati successivamente ai risultati della campagna con camera di accumulo nei punti a maggiore flusso emissivo. Il supporto di campionamento da utilizzare (fiale desorbimento chimico, termico o canister) dipenderà dalle concentrazioni totali di composti volatili riscontrate in fase di screening.
2. **Monitoraggio durante le attività di bonifica** (sviluppo e crescita delle specie arboree e attività di *rhizodegradation*)
    a. *Screening biennale con camera di accumulo* (o camera di flusso statica non stazionaria aperta) per identificare le zone a maggiore flusso emissivo valutando i VOC totali sui 33 punti come indicato in **Figura 11.1**.
    b. *Misura quantitativa con camera di flusso aperta dinamica nelle aree a maggiore flusso emissivo* con cadenza stagionale per il primo anno mentre per gli anni seguenti la frequenza potrà essere ridotta sulla base delle risultanze del primo anno. Sono previsti un massimo di 4 punti di campionamento che verranno posizionati successivamente ai risultati della campagna con camera di accumulo.

c. *Monitoraggio con campionamento di tipo passivo dei contaminanti di interesse tramite radielli* installati a varie altezze su supporto verticale simile a quello utilizzato in Liu et al. (2019) e riportato in **Figura 11.2**. L'obiettivo è quello di: 1) verificare il contributo esterno dei contaminanti di interesse, 2) verificare l'influenza della crescita della vegetazione rispetto al gradiente verticale di concentrazione. Il radiello più vicino al suolo fornirà indicazioni sull'efficacia della copertura vegetale del *capping* di vegetazione, quello intermedio verificherà un eventuale accumulo di contaminanti tra il suolo e la copertura fogliare, mentre quello a 2 metri fornirà indicazioni riguardo apporti esterni o effetti di *phytovolatilization*. Si prevede l'installazione di un supporto in acciaio di altezza massima di 2 metri con installati tre radielli, il primo a 20 cm (distanza sufficiente per evitare influenze di polveri dal suolo), il secondo a 1.2 metri e l'ultimo a 2 metri dal piano campagna. Onde evitare che i campionatori si influenzino tra loro bloccando il flusso di contaminante, questi saranno orientati in tre direzioni diverse. Si prevedono 4 campagne stagionali per tutta la durata dell'intervento di bonifica. Il campionatore verrà posizionato in prossimità del punto a maggiore flusso emissivo, determinato sulla base delle misure di camera di flusso. Maggiori dettagli sono riportati nell'articolo di Liu et al. (2019) disponibile su richiesta.

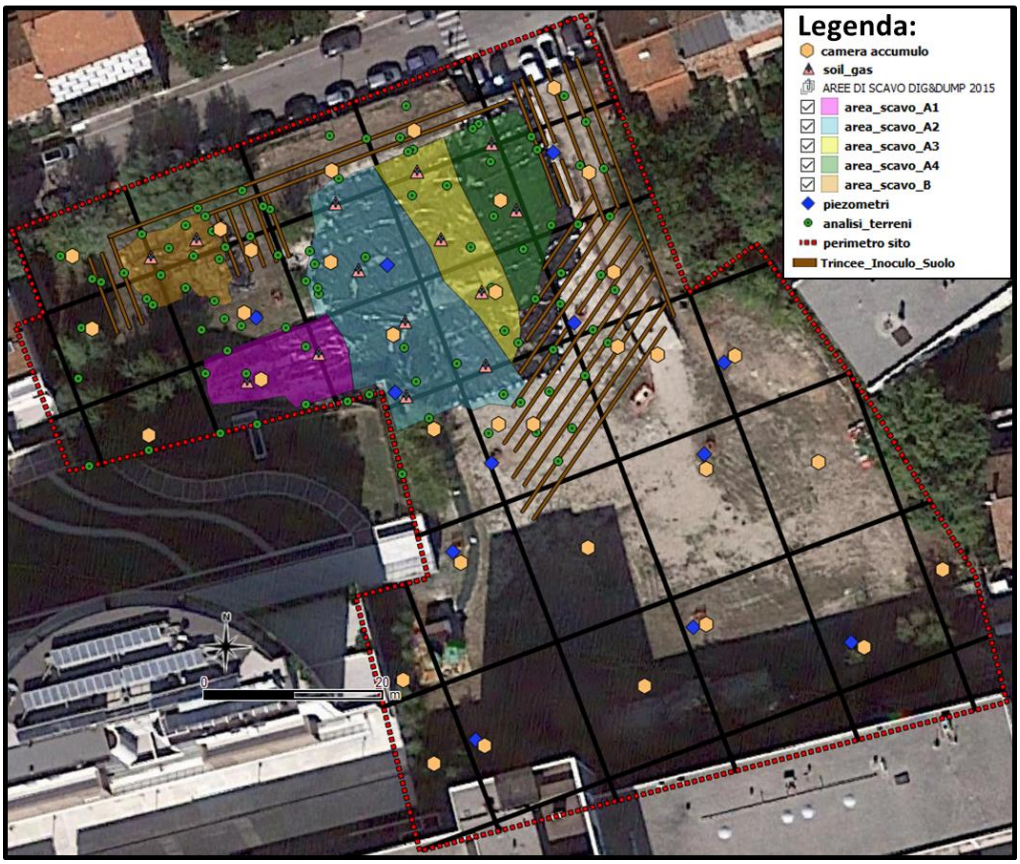


Figura 11.1 posizionamento dei punti di screening con camera di accumulo relativamente alla griglia poligonale ed alle indagini esistenti (sondaggi, piezometri e soil gas) e alle trincee di inoculo.

Figura 11.2 dispositivo proposto per il monitoraggio passivo di contaminanti in atmosfera utilizzato da Liu et al. (2019).

Si è proceduto inoltre a definire i limiti di rilevabilità indicativi necessari per il campionamento con camere di flusso, come indicato in Appendice B alle Linee Guida 15/2018.

Il limite di rilevabilità (LR) è stato determinato effettuando una valutazione preliminare di rischio considerando il recettore più sensibile per il percorso di inalazione vapori utilizzando il software RomePlus. Occorre comunque precisare che "*tali valutazioni non sono finalizzate ad una Analisi di Rischio ma ad operazioni preliminari operative*".

In **Tabella 11.2** sono riportate le misure di flusso e le concentrazioni accettabili $\mathbf{C}_{acc}$ calcolate per singolo contaminante, al di sopra delle quali si ha rischio per il percorso di inalazione di vapori indoor e outdoor on-site. I dettagli della simulazione, inclusi i dati di input, sono riportati in Allegato H, di seguito si fornisce invece un breve riassunto del procedimento che ha portato ai risultati di **Tabella 11.2.**

Il software RomePlus richiede, come dati di input, misure di flusso **J** [mg/m^2/min] e non di concentrazione. Queste ultime sono calcolabili sulla base della portata del gas inerte in ingresso alla camera $\mathbf{Q_{in}}$ [l/min] e la superficie della camera esposta al suolo $\mathbf{A_{fc}}$ [m^2]. Attraverso il software, è stato determinato il flusso che fornisce un rischio accettabile per il singolo parametro, mentre la concentrazione risultante **C** e quindi il limite di rilevabilità **LR**, è stata calcolata considerando un valore $\mathbf{Q_{in}}$ di 5 l/min e $\mathbf{A_{fc}}$ di 0.5 m^2 e applicato la relazione [1]

$$J = \frac{C \cdot Q_{in}}{A_{fc}} \text{ mg min m}^{-3} \quad [1]$$

Occorre precisare che la geometria delle camere di flusso varia tra 0.3 e 0.6 m^2 e le portate Q_{in} posso essere opportunamente aggiustate, quindi i LR potrebbero essere differenti variando tali parametri *(da circa 0,60 LR a circa 1,2 LR)*.

Qualora con le strumentazioni analitiche attuali non fosse possibile raggiungere i LR calcolati, si farà riferimento ai limiti di quantificazione riportati in Appendice 1 della linea guida SNPA 17/2018.

Tabella 11.2 Concentrazioni accettabili indoor e outdoor e limiti di rilevabilità determinati per il percorso inalazione vapori indoor utilizzando il software RomePlus

Parametro	Flusso Outdoor [mg/m^2/ min]	$C_{outdoor}$ *[mg/m^3]	Flusso Indoor [mg/m^2/ min]	C_{indoor} *[mg/m^3]	**LR [mg/m^3]**
Benzene	$1.51*10^{-2}$	1.51	$5.5*10^{-6}$	$5.5*10^{-4}$	***$5.5*10^{-5}$***
Etilbenzene	$4.7*10^{-2}$	4.7	$1.72*10^{-5}$	$1.72*10^{-3}$	***$1.72*10^{-4}$***
Stirene	$2.35*10^{-1}$	23.5	$8.65*10^{-5}$	$8.65*10^{-3}$	***$8.65*10^{-4}$***
Xileni	2.76	27.6	$1.87*10^{-3}$	$1.87*10^{-1}$	***$1.87*10^{-2}$***
Clorometano	$6.55*10^{-2}$	6.55	$2.4*10^{-5}$	$2.4*10^{-3}$	***$2.4*10^{-4}$***
Cloruro Vinile	$1.18*10^{-2}$	1.18	$4.165*10^{-6}$	$4.165*10^{-4}$	***$4.165*10^{-5}$***
Tetracloroetilene	$4.52*10^{-1}$	45.2	$1.66*10^{-4}$	$1.66*10^{-2}$	***$1.66*10^{-3}$***
Aromatici C_9-C_{10}	$6.9*10^{-1}$	69	$4.658*10^{-4}$	$4.658*10^{-2}$	***$4.658*10^{-3}$***
Aromatici C_{11}-C_{12}	$6.9*10^{-1}$	69	$4.658*10^{-4}$	$4.658*10^{-2}$	***$4.658*10^{-3}$***
Naftalene	$3.45*10^{-3}$	0.345	$1.27*10^{-5}$	$1.27*10^{-3}$	***$1.27*10^{-4}$***

* Concentrazioni calcolate considerando una portata di gas inerte in ingresso alla camera di 5 l/min e una superficie della camera esposta al suolo di 0.5 m^2.

Le concentrazioni dei VOC determinate con camera di flusso permetteranno di valutare l'efficacia degli interventi di bonifica, verificando la presenza di un trend discendente delle concentrazioni dei contaminanti nei punti monitorati. Inoltre, i valori rilevati durante le campagne di monitoraggio non potendo essere confrontati direttamente con le C_{soglia} definite solamente per i *soil gas*, verranno confrontati con i criteri di accettabilità (C_{acc}) calcolati tramite l'utilizzo del software RomePlus.

Le modalità di campionamento con camera di flusso seguiranno le indicazioni dell'Appendice B alle Linee Guida 15/2018.

11.3 IL MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

Al fine di controllare e mitigare i contaminanti che potenzialmente potrebbero volatilizzarsi in atmosfera durante le attività di bonifica, dalla rimozione della membrana in HDPE posta a copertura dell'area oggetto di intervento al posizionamento in sede di tutte le specie arboree del fitorimedio, dovranno essere messi in atto tutti gli accorgimenti necessari a salvaguardia della popolazione residente e degli operatori, ivi compreso il Piano di Monitoraggio Ambientale.

Il monitoraggio della qualità dell'aria previsto sarà suddiviso in tre fasi operative:

1. Monitoraggio Ante Operam
2. Monitoraggio di controllo dei processi di bonifica o monitoraggio in Corso d'Opera
3. Monitoraggio Post Operam

Il **monitoraggio *Ante Operam***, da eseguire prima dell'avvio dei lavori, ha l'obiettivo di fornire una descrizione dello stato dell'ambiente prima dell'inizio del progetto di bonifica; funge da base per la previsione delle variazioni che potrebbero verificarsi durante la fase di realizzazione del progetto, proponendo eventuali contromisure, costituisce il punto di riferimento cui rapportare le misure in corso d'opera.

Il **monitoraggio in Corso d'Opera** ha l'obiettivo di documentare l'evolversi della situazione ambientale al fine di verificare se la dinamica dei fenomeni ambientali sia coerente con le previsioni del progetto, segnalare il manifestarsi di eventuali emergenze ambientali, affinché sia possibile intervenire in modo da evitare che si producano eventi compromissivi la qualità dell'ambiente, controllare situazioni specifiche in modo da adeguare la conduzione dei lavori a particolari esigenze ambientali. Questa fase è quella che presenta maggiore variabilità in quanto legata all'avanzamento dello stato dei lavori di bonifica.

Ad ulteriore tutela della salute dei residenti nelle aree limitrofe al sito verrà effettuato un **monitoraggio in aria Post Operam** per effettuare una misura diretta delle concentrazioni degli inquinanti rappresentativi della contaminazione della falda e consentire una valutazione della possibile esposizione dei recettori attraverso il

percorso di inalazione di vapori. Il **monitoraggio *Post Operam*** è da eseguire al termine dei lavori di bonifica ambientale.

Nel corso delle attività, per le quali è da privilegiare l'attuazione nelle stagioni fredde (compatibilmente con i periodi specifici di messa a dimora delle specie arboree) evitando la stagione estiva o comunque le giornate particolarmente calde e/o ventose, verrà condotto un monitoraggio periodico della qualità dell'aria esterna al sito di bonifica (off-site outdoor) con cadenza stagionale (4 campionamenti all'anno) attraverso il posizionamento, in prossimità dell'area di intervento e lungo il perimetro del sito, di 7 postazioni fisse di campionamento outdoor e una stazione di campionamento indoor, posizionate come riportato in **Figura 11.3**, per un totale di nove punti di monitoraggio.

Sia il monitoraggio *ante operam* che il monitoraggio *post operam* verranno condotti a cadenza stagionale (4 campionamenti all'anno) negli stessi punti che saranno monitorati in corso d'opera.

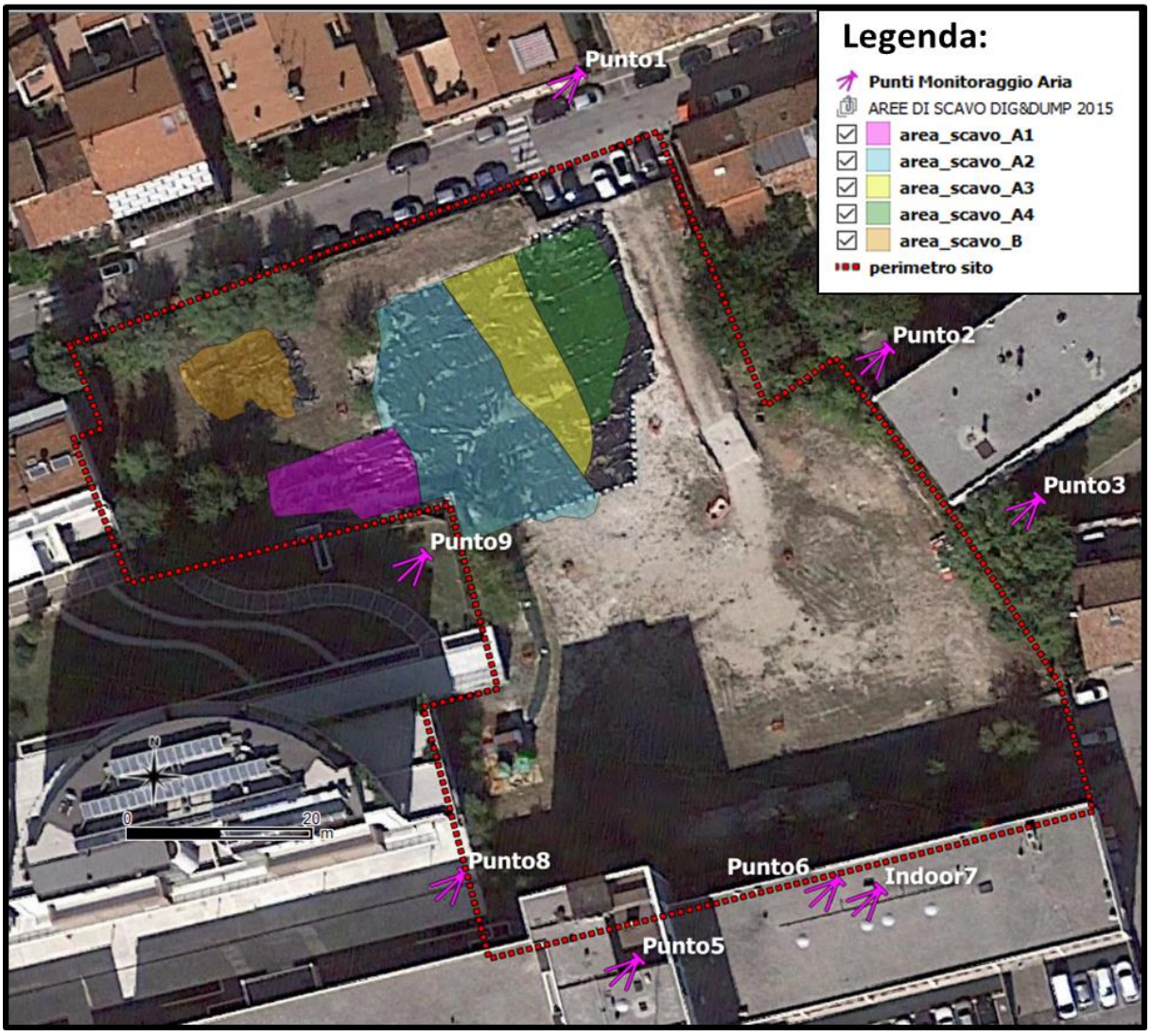


Figura 11.3 Ubicazione delle 7 stazioni di campionamento aria outdoor del punto indoor off-site.

In tali postazioni saranno utilizzati sia fiale per campionamento di tipo passivo (esempio: Radiello) sia fiale con campionamento di tipo attivo, a seconda del tipo di inquinante da ricercare:

1. **Desorbimento tipo Radiello TERMICO**: BENZENE, m-XILENE, o-XILENE, p-XILENE, TETRACLOROETILENE, Etilbenzene, Stirene
2. **Desorbimento tipo Radiello CHIMICO:** BENZENE, m-XILENE, o-XILENE, p-XILENE, TETRACLOROETILENE, Etilbenzene, Stirene
3. **Desorbimento chimico fiale AIR TOXICS MARKES:** BENZENE, m-XILENE, o-XILENE, p-XILENE, Clorometano, Cloruro di Vinile, TETRACLOROETILENE, Etilbenzene, Stirene, Naftalene, Frazione HC Aromatici con catena C9-C10, Frazione HC Aromatici con catena C11-C12

I campioni (fiale di adsorbimento) verranno successivamente analizzati mediante analisi chimiche di laboratorio, producendo valori di tipo quantitativo sulla qualità dell'aria ambiente. I risultati dovranno essere prodotti entro 48 ore e successivamente confrontati con i limiti normativi previsti dal D.Lgs. 155/2010 (qualità dell'aria) e con i valori OEA (valori di riferimento indicati dall'Osservatorio Epidemiologico ARPAM). In **Tabella 11.3** si riportano i valori di riferimento per le varie sostanze presenti nella legislazione italiana (solo per il benzene) e quelli proposti da vari organismi nazionali ed internazionali. In **Tabella 11.4** si riportano i valori di riferimento derivati dalla **Tabella 11.3** da applicare al caso in oggetto.

Tabella 11.3 Parametri tossicologici, per esposizione inalatoria, delle sostanze oggetto di campionamento in ambiente outdoor nell'ambito della procedura di bonifica del sito ex-AMGA. Valori limite normati, valori di qualità dell'aria e parametri di riferimento indicati da D.Lgs. 155/2010, WHO, ATSDR, EPA e ISS-INAIL, sia per effetti cancerogeni che non cancerogeni

SOSTANZE	**D.Lgs. 155/10 VL**[1] µg/m³	**WHO VQ**[2] µg/m³	**ATSDR MRL**[3] µg/m³			**EPA RSL c.**[4] µg/m³	**EPA RSL n.c.**[4] µg/m³	**ISS-INAIL IUR**[5] [µg/m³]$^{-1}$	**ISS-INAIL RfC**[6] µg/m³
			in. acuta	*in. intermedia*	*in. cronica*				
Benzene	5.0E+00	1.7E-01*	2.9E+01	1.9E+01	9.6E+00	3.6E-01	3.1E+01	7.8E-06	3.0E+01
Toluene		2.6E+02	7.5E+03		3.8E+03		5.2E+03	-	5.0E+03
Etilbenzene			2.2E+04	8.7E+03	2.6E+02	1.1E+00	1.0E+03	2.5E-06	1.0E+03
Xileni			8.7E+03	2.6E+03	2.2E+02		1.0E+02	-	1.0E+02
Stirene		2.6E+02	2.1E+04		8.5E+02		1.0E+03	5.00E-07	1.0E+03
Tetracloroetilene		2.5E+02**	4.1E+01	4.1E+01	4.1E+01	1.1E+01	4.2E+01	2.6E-07	4.0E+01
Clorometano			1.0E+03	4.1E+02	1.0E+02		9.4E+01	1.8E-06	9.0E+01
Cloruro di vinile		1.0E+00*	1.3E+03	7.7E+01		1,7E-01	1.0E+02	8.8E-06 (bambino) 4.4E-06 (adulto)	1.0E+02
Naftalene				3.7E+00		8.3E-02	3.1E+00	3.4E-05	3.0E+00
Aromatici C9-C10							▲		2.5E+01
Aromatici C11-C12							▲		2.5E+01

Legenda della Tabella 11.3

1. VL, Valore Limite: livello fissato in base alle conoscenze scientifiche, incluse quelle relative alle migliori tecnologie disponibili, al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso, che deve essere raggiunto entro un termine prestabilito e che non deve essere successivamente superato.
2. VQ, Valori guida di qualità dell'aria: livelli di concentrazione in aria degli inquinanti per i quali non sono attesi effetti avversi per la salute. *Poiché il Benzene e il Cloruro di Vinile sono cancerogeni per l'uomo, il WHO non raccomanda alcun valore di qualità dell'aria. Le concentrazioni di 0.17 μg/m^3 e di 1 μg/m^3 possono, rispettivamente, essere ritenute un valore di accettabilità del rischio cancerogeno in quanto sono quelle che il WHO stima essere associate ad un rischio, per un'esposizione alla singola sostanza e per tutta la vita, di 1.0E-06. **Per la definizione del valore di qualità del Tetracloroetilene l'OMS ha considerato i soli effetti non cancerogeni.
3. MRL, *Minimal Risk Level*: livello di concentrazione minima di una sostanza alla cui esposizione non si verifichino rischi per la salute. I MRL sono individuati per la determinazione dei soli effetti non cancerogeni, per una esposizione inalatoria, acuta (≤ 14 giorni), intermedia (15-364 giorni) e cronica (≥ 365 giorni).
4. RSL, *Regional Screening Level:* stima dei livelli di inquinante a cui anche i soggetti sensibili possono essere esposti, giornalmente e per tutta la vita, senza che si verifichino rischi per la salute. Sono riportate le concentrazioni per la determinazione degli effetti cancerogeni (c.) e non cancerogeni (n.c.). *Carcinogenic Cancer Risk* = 1.00E-06 e *Hazard Index* = 1.
5. IUR, *Inhalation Unit Risk:* l'unità di rischio inalatorio rappresenta la probabilità di casi incrementali di tumore per esposizione giornaliera per via inalatoria e per tutta la vita a una concentrazione di 1 μg/m^3 della sostanza.
6. RfC, *Reference Concentration*: la concentrazione di riferimento è una stima dell'esposizione continua per via inalatoria alla sostanza da parte di una popolazione, compresi i gruppi sensibili, in assenza di un rischio apprezzabile di effetti sanitari avversi in tutto l'arco della vita.

▲ L'EPA per il gruppo di composti denominati "aromatic low molecular weight hydrocarbons" individua un RSL pari a 3,1E+01 μg/m^3.

Tabella 11.4 Valori di riferimento proposti per il sito ex-AMGA

SOSTANZE	**D.Lgs. 155/10 VL(1)** µg/m³	**ATSDR MRL(3)** µg/m³			**EPA RSL n.c.(4)** µg/m³
		in. acuta	*in. intermedia*	*in. cronica*	
Benzene	5.0E+00	2.9E+01	1.9E+01	9.6E+00	
Toluene		7.5E+03		3.8E+03	
Etilbenzene		2.2E+04	8.7E+03	2.6E+02	
Xileni		8.7E+03	2.6E+03	2.2E+02	
Stirene		2.1E+04		8.5E+02	
Tetracloroetilene		4.1E+01	4.1E+01	4.1E+01	
Clorometano		1.0E+03	4.1E+02	1.0E+02	
Cloruro di vinile		1.3E+03	7.7E+01		
Naftalene			3.7E+00		
Aromatici C9-C10					3,1E+01
Aromatici C11-C12					3,1E+01

Durante i campionamenti, dovranno essere rilevati i parametri meteoclimatici quali: temperatura media dell'aria, direzione del vento, velocità media del vento, umidità relativa aria, entità precipitazioni, pressione atmosferica. Data la vicinanza con l'Osservatorio Valerio di Pesaro, saranno utilizzati i dati (report meteorologici) forniti da questo stesso ente.

Nel caso in cui i risultati evidenziassero un superamento dei limiti di riferimento, verranno messi in atto tutti gli accorgimenti atti a evitare l'insorgere di rischi ambientali ed igienico-sanitari durante lo svolgimento degli interventi, quali nebulizzazione con soluzioni acquose contenenti opportuni disinquinanti, copertura provvisoria delle aree di scavo con teli impermeabili fino alla temporanea sospensione dell'attività.

11.4 MONITORAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Per assicurare l'efficacia delle misure di PUMP & TREAT poste in atto sull'area, è previsto un controllo periodico all'impianto con cadenza mensile, svolto da personale tecnico specializzato e la redazione di un report mensile nel quale verranno indicate le attività di controllo e manutenzione svolti e verrà relazionato circa il funzionamento del sistema. L'attività del *Pump&Treat* sarà inoltre associata a un monitoraggio e controllo con periodicità trimestrale delle acque sotterranee che consisterà nel prelievo e nell'analisi dell'acqua in uscita dal fito-lago scaricata in pubblica fognatura a valle del processo di filtrazione del sistema di *Pump&Treat* e nel prelievo e nell'analisi dell'acqua

di falda prelevata dai piezometri esistenti sull'area. Si specifica che tale attività di monitoraggio e controllo avverrà sempre in contraddittorio con i tecnici di ARPAM.

I punti di campionamento dell'acqua sotterranea attualmente presenti in cantiere risultano essere n. 12. Questi sono tutti piezometri del diametro di 4" e di questi i PM1; PM5; PM7 e PM8 sono in emungimento mentre i PM10bis; PM11bis; PM12bis sono quelli riperforati in sostituzione dei precedenti andati persi in seguito ai lavori di scavo eseguiti per la bonifica.

Durante il campionamento verranno effettuate misure di campo per stabilire la soggiacenza della falda e i principali parametri chimico-fisici dell'acqua sotterranea (pH, Temperatura, redox, conducibilità, ossigeno disciolto). Il campionamento sarà preceduto, per tutti i piezometri meno quelli in emungimento, da uno spurgo condotto a stabilizzazione dei parametri chimico-fisici, eseguito da tecnico di laboratorio e coadiuvato da geologo in campo.

Le analisi sui campioni di acqua sotterranea verranno poi svolte da un laboratorio specializzato e certificato secondo il seguente programma analitico (**Tabella 11.5**) previsto dal presente progetto di bonifica.

Tabella 11.5 Parametri - Analisi Acque Sotterranee - D.Lgs. 152/06 Parte Quarta – Titolo V e s.m.i.

Metalli su filtrato (0,45 µm)	Arsenico, Cromo totale, Nichel
Inquinanti Inorganici	Cianuri liberi
Composti Organici Aromatici	Etilbenzene, Stirene, Benzene, Toluene, m+p Xilene
IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici):	Naftalene, Benzo (g,h,i) perilene, Indeno (1,2,3-c,d) pirene, Pirene, Benzo (a) antracene, Benzo (a) pirene, Benzo (b) fluorantene, Benzo (k) fluorantene, Crisene, Dibenzo (a,h) antracene, Sommatoria IPA
Alifatici Clorurati Cancerogeni	Cloroformio (Triclorometano), Clorometano (Cloruro di metile), Cloruro di vinile (CVM), 1,2- Dicloroetano (DCE), 1,1- Dicloroetilene (Cloruro di vinilidene), Esaclorobutadiene (HCBD), Percloroetilene (Tetracloroetilene), Tricloroetilene (Trielina), Sommatoria Organoalogenati cancerogeni
Alifatici Clorurati non Cancerogeni	1,1- Dicloroetano, 1,2- Dicloroetilene, 1,2- Dicloropropano (Dicloruro dipropilene), 1,1,2,2- Tetracloroetano, 1,1,2- Tricloroetano, 1,2,3-Tricloropropano
Fenoli e Clorofenoli	2- Clorofenolo, 2,4- Diclorofenolo, Pentaclorofenolo, 2,4,6- Triclorofenolo

Ammine Aromatiche	Anilina, Difenilammina, p- Toluidina
Idrocarburi	Idrocarburi totali (come n-esano)
Altre sostanze	Richiesta Biochimica di Ossigeno (BOD5), Richiesta Chimica di Ossigeno (COD) Conteggio delle colonie a 22°C, Conteggio delle Colonie a 37°C, Clostridi Solfito-riduttori.

Contestualmente al campionamento delle acque sotterranee si procederà anche al campionamento delle acque in uscita all'impianto di trattamento – P&T. Il programma analitico svolto sarà quello di **Tabella 11.6,** in ottemperanza a quanto stabilito dalla vigente autorizzazione allo scarico.

Tabella 11.6 Parametri - Analisi Acque di Scarico - D.Lgs. 152/06 All. 5, Parte Terza - Tabella 3 (completa)

Colore, Odore, pH, Temperatura, Materiali grossolani, Solidi sospesi totali, Richiesta biochimica di ossigeno (BOD), Richiesta chimica di ossigeno (COD)
Alluminio, Arsenico, Bario, Boro, Cadmio, Cromo esavalente, Cromo totale, Ferro, Fosforo totale, Manganese, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Selenio, Stagno, Zinco, Aldeidi, Azoto ammoniacale, Azoto nitroso, Cianuri totali, Cloro attivo libero, Cloruri, Fenoli totali, Fluoruri, Nitrati (Azoto nitrico), Solfati, Solfiti, Solfuri, Tensioattivi totali, Oli e Grassi animali e vegetali, Sostanze oleose totali, Idrocarburi totali, IPA, Saggio di Tossicità (*Daphnia magna*), *Escherichia coli*
Solventi Organici Aromatici (Propilbenzene, Viniltoluene, Benzene, Etilbenzene, Isopropilbenzene (Cumene), Stirene, Toluene, Xileni (o+p+m))
Solventi Organici Azotati (2 Nitropropano, Acetonitrile, Acrilonitrile (cianuro di vinile), Propionitrile)
Solventi Clorurati (1,2,4 Triclorobenzene, 1,1 Dicloroetilene (Cloruro di vinilidene), 1,1,1-Tricloroetano, 1,1,2 Tricloroetano, 1,1,2,2 Tetracloroetano, 1,2 Dicloroetano (DCE), 1,2 Dicloropropano (Dicloruro di propilene)

Anche in questo caso le analisi saranno svolte da un laboratorio specializzato e certificato.

A conclusione di ciascuna periodica attività di monitoraggio consistente nel campionamento e nell'analisi delle acque di falda e dell'acqua di scarico a valle del processo di trattamento, la Ditta addetta al mantenimento della MISE procederà con la redazione di un report sull'attività eseguita corredata dai Rapporti di Prova Definitivi delle analisi svolte che sarà trasmesso in nome e per conto del Committente Comune di Pesaro alle PP.AA. interessate a mezzo PEC.

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 11

Liu Y., Xie S., Zheng L., Li T., Sun Y., Ma L., Lin Z., Grathwohl P., Lohmann R. (2019). Air-Soil Diffusive Exchange of PAHs in an Urban Park of Shanghai Based on Polyethylene Passive Sampling: Vertical Distribution, Vegetation Influence and Diffusive Flux. Science of the Total Environment 689, 734–742

12. CONTROLLI POST-OPERAM

Al termine dei primi 5 anni ritenuti sufficienti per il pieno sviluppo dell'attività di biorisanamento, si procederà ai controlli *post-operam*/collaudo delle matrici terreno (superficiale e profondo) e acque sotterranee per verificare la restituzione dell'area ai suoi usi legittimi.

Le concentrazioni obiettivo di bonifica per il suolo superficiale e profondo sono quelle determinate tramite Analisi di Rischio e sono riportate in Tabella 12.1 Per il suolo superficiale, le Concentrazioni Soglia di Rischio erano state calcolate per i percorsi di esposizione: ingestione di suolo, contatto dermico, inalazione di vapori indoor e outdoor. Per il suolo profondo era stata considerata l'inalazione di vapori indoor e outdoor. Tali superamenti erano stati rinvenuti in concentrazioni più elevate nei sondaggi S6, S30 e S3 (profondità inferiori a 1 m da p.c.) per il suolo superficiale e nei sondaggi S4, S22 e S16 (profondità comprese tra 1,0 e 1.6 m da p.c.) per il suolo profondo. Le coordinate di tali sondaggi sono riportate in Tabella 12.2 nel sistema di coordinate ED50 UTM Zona 33N (EPSG 23033).

Al termine degli interventi di bonifica, per il collaudo della matrice terreno, superficiale e profondo, si prevede l'esecuzione di 6 sondaggi posizionati a distanza di circa 1 metro da quelli risultati più critici come indicato in Figura 12.1, da spingere fino alla profondità massima di 2 metri o prima, qualora si intercettasse la falda a profondità inferiore. La posizione dei sondaggi dovrà essere verificata in campo sulla base della accessibilità al punto previsto considerando la presenza di specie arboree. Si prevede il prelievo di 2 campioni: il primo nel suolo superficiale tra 0 e 1 m da piano campagna, mentre il secondo nel suolo profondo tra 1 e 2 m da piano campagna. I parametri da ricercare sono quelli riportati in Tabella 12.1 e le concentrazioni obiettivo di bonifica corrispondono alle CSR determinate nell'analisi di rischio e riportate nella stessa tabella. Occorre precisare che qualora le CSR individuate fossero inferiori alle CSC, si è posto come obiettivo la CSC stessa, come indicato al punto 1 – definizione degli obiettivi di bonifica in presenza dei CSR<CSC delle Linee Guida del 18/11/2014 per l'applicazione dell'analisi di rischio sito-specifica. L'assenza di rischio per i percorsi di inalazione di vapori viene garantita dai risultati delle misurazioni previste di vapori dal suolo e aria indoor/outdoor.

Tabella 12.1. Concentrazioni Soglia di Rischio considerate obiettivi di bonifica per il suolo superficiale e profondo per i contaminanti le cui CRS sono superiori alle CSR. I valori contrassegnati dal simbolo # indicano che le CSR calcolate sono inferiori alle CSC e pertanto viene riportato il valore di quest'ultima.

CSR OBIETTIVO BONIFICA

Contaminante CRS > CSR	Conc. Obiettivo [mg/kg] Suolo Superficiale	Conc. Obiettivo [mg/kg] Suolo Profondo
Benzene	--	$0.1^{\#}$
Xileni	6.88	4.17
Benzo(a)antracene	$6.13*10^{-1}$	$1.19*10^{1}$
Benzo(a)pirene	$0.1^{\#}$	3.93
Benzo(b)fluorantene	$6.18*10^{-1}$	$4.01*10^{1}$
Benzo(k)fluorantene	$6.18*10^{-1}$	$1.97*10^{1}$
Benzo(g.h.i)perilene	$1.06*10^{1}$	$1.06*10^{1}$
Crisene	$5.0^{\#}$	--
Dibenzo(a,i)pirene	$6.20*10^{-1}$	--
Dibenzo(a,l)pirene	$0.1^{\#}$	--
Dibenzo(a,h)pirene	$6.20*10^{-1}$	--
Dibenzo(a,h)antracene	$0.1^{\#}$	$1.28*10^{1}$
Indenopirene	$6.19*10^{-1}$	--
Clorometano	$0.1^{\#}$	--
Tetracloroetilene	$0.5^{\#}$	$0.5^{\#}$
Aromatici C9-C10	6.03	7.34
Aromatici C11-C22	$2.16*10^{2}$	$2.62*10^{2}$

Tabella 12.2. Ubicazione dei sondaggi con i maggiori superamenti nel suolo superficiale e profondo

Sondaggio	Coordinata X	Coordinata Y
Suolo Superficiale		
S30	331892.979	4864675.587
S3	331928.603	4864666.287
S6	331927.282	4864653.074
Suolo Profondo		
S22	331934.650	4864664.458
S4	331928.501	4864662.831
S16	331934.041	4864672.690

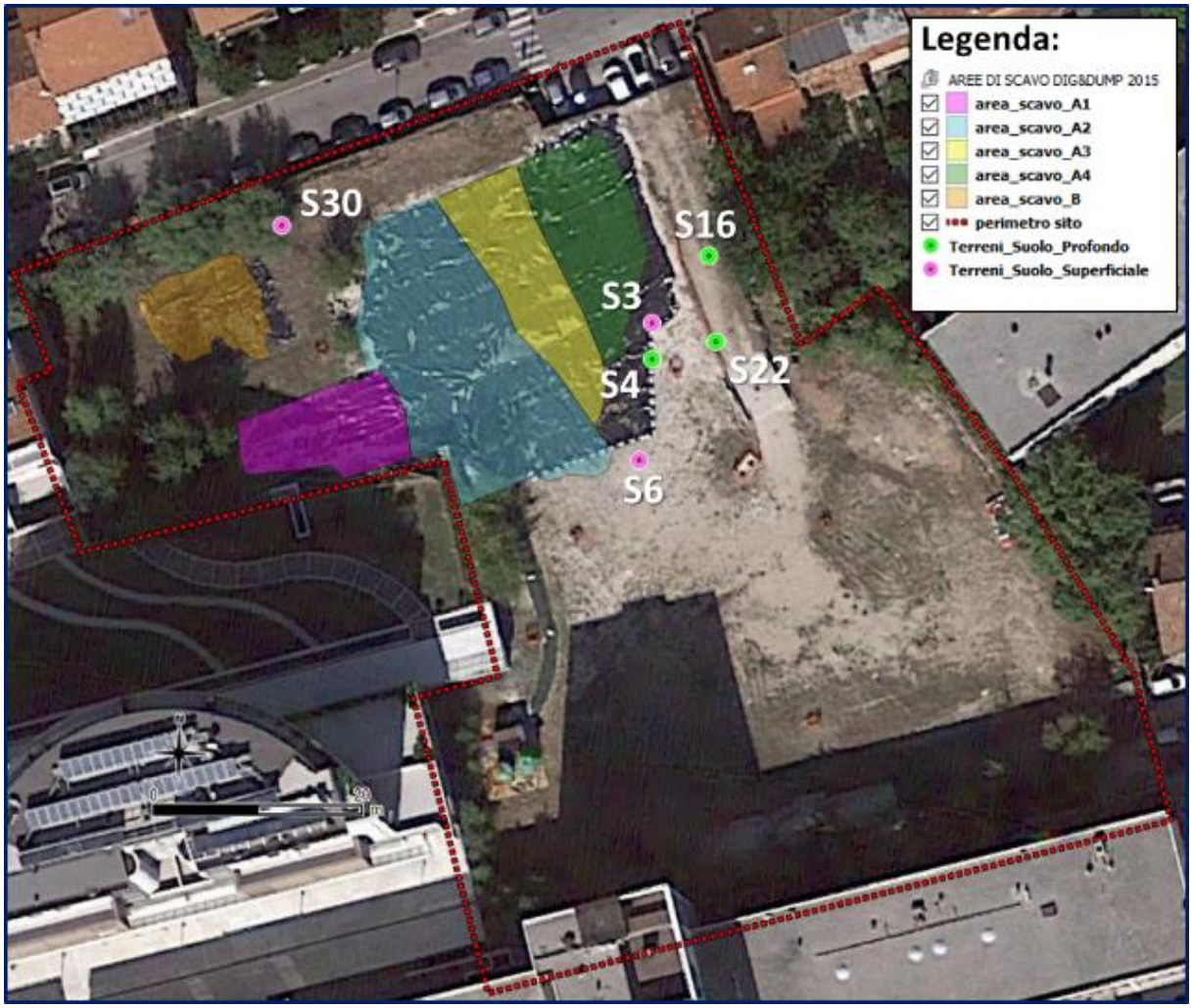


Figura 12.1. posizione dei sondaggi che hanno CRS superiori alle CSR per suolo superficiale e profondo

Per il collaudo della matrice acque sotterranee, le concentrazioni obiettivo di bonifica sono le CSC della Tabella 2 Allegato 5, Parte IV del D.Lgs. 152/06 e quelle dei pareri ISS per i contaminanti non normati. Si è scelto il raggiungimento dei valori tabellari in quanto più cautelativo, visto che il sito in oggetto si trova in un'area fortemente urbanizzata, circondato da edifici ad uso residenziale con piani interrati adibiti a parcheggio. I parametri oggetto di bonifica per la falda sono quelli identificati nell'analisi di rischio e sono riportati in Tabella 12.3. Nonostante nell'analisi di rischio siano stati considerati i parametri Ferro e Manganese, si ritiene che questi non siano riconducibili alla contaminazione in esame, quanto a potenziali di ossido-riduzione negativi (come indicato dai valori redox rilevati durante i monitoraggi delle acque) che danno luogo alla mobilizzazione dei due metalli. Una volta raggiunte le CSC obiettivo di bonifica per tre monitoraggi consecutivi delle acque sotterranee, si provvederà allo spegnimento dell'impianto e a monitorare le concentrazioni dei contaminanti per un anno con campionamenti trimestrali.

Tabella 12.3. Contaminanti nelle acque sotterranee e concentrazioni obiettivo di bonifica

Concentrazioni obiettivo bonifica – Acque Sotterranee

Contaminante > CSC	CRS [µg/l]	CSC [µg/l]	Contaminante > CSC	CRS [µg/l]	CSC [µg/l]
Idrocarburi tot	2140	350	Fenantrene	33.61	5
Benzene	1360	1	Antracene	11.15	5
mp xilene	262	10	Fluorantene	10.27	5
o-xilene	58.8	10	Sommatoria IPA	2.56	0.1
Toluene	112	15	Cloroformio	0.2	0.15
MTBE	282	40	Cloruro di vinile	100	0.5
1,3,5-trimetilbenzene	42.5	10	1,1 dicloroetilene	0.275	0.05
1,2,4-trimetilbenzene	95.4	10	Tetracloroetilene	255	1.1
1,2,3-trimetilbenzene	42.6	10	Tricloroetilene	5.9	1.5
Benzo(a)antracene	0.91	0.1	1,2 dicloroetilene	93	60
Benzo(a)pirene	0.63	0.01	1,2 dicloropropano	0.3	0.15
Benzo(b)fluorantene	0.84	0.1	Diclorometano	3.7	0.15
Benzo(g,h,i)perilene	0.65	0.01	Sommatoria organici Aromatici	258	10
Benzo(k)fluorantene	0.46	0.05	Arsenico	59.3	10
Dibenzo(a,h)antracene	0.097	0.01	Nichel	38	20
Indenopirene	0.62	0.1	Boro	1176	1000
Naftalene	994.8	5	Ferro*	3505	200
Fluorene	34.56	5	Manganese*	2780	50

* metalli non considerati negli obiettivi di bonifica

13. ELEMENTI STRUTTURALI CONNESSI ALL'INTERVENTO DI BIORISANAMENTO

Al fine di poter procedere con l'attuazione delle attività di biorisanamento, fatta salva l'approvazione del Progetto da parte della Conferenza di Servizi ai sensi del d.lgs. n. 152/2006, dovranno essere previste opere strutturali direttamente correlate al progetto di bio- fito-bonifica in quanto necessarie a garantire l'accesso all'area da parte dei lavoratori ed assicurare una efficace perimetrazione per la messa in sicurezza del sito interessato da intervento di bonifica. Si riporta di seguito una breve descrizione delle sottoelencate opere strutturali che si renderanno necessarie:

a) realizzazione di una nuova rampa di accesso al sito, sempre sul lato di via Morosini ma in posizione opposta a quella attuale. Tale spostamento è necessario in quanto l'attuale rampa di accesso insiste su un'area ove è stata rilevata evidenza di contaminazione e dovrà pertanto essere sottoposta ad intervento di bonifica;
b) realizzazione di un muro di contenimento (gabbionata) lungo tutto il versante di via Morosini;
c) realizzazione di un muro di contenimento (tipo verde) per la sistemazione della scarpata che collega la terrazza della seconda torre con il piano campagna del sito in bonifica;
d) realizzazione di una nuova recinzione perimetrale dell'intera area;
e) realizzazione di una schermatura attorno all'impianto di P&T;
f) realizzazione dell'impianto di illuminazione a garanzia della sicurezza dell'area.

Ulteriori elementi strutturali che saranno realizzati come componenti funzionali dell'intervento di bonifica sono (vedi Cap. 10, par. 10.7):

g) realizzazione di un Fitolago per il finissaggio delle acque in uscita dall'impianto di P&T, ovvero direttamente da piezometri non contaminati e per il riutilizzo a fini irrigui all'interno del sito;
h) realizzazione e posa in opera dell'impianto di irrigazione, superficiale e sub-superficiale.

MURO DI CONTENIMENTO CON GABBIONATE METALLICHE

Per il consolidamento della scarpata di terreno lungo Via Morosini e per la delimitazione della nuova rampa carrabile di accesso all'area saranno realizzate delle strutture scatolari diffusamente utilizzate in ambito stradale, ferroviario, idraulico e architettonico: i gabbioni.

I gabbioni sono elementi parallelepipedi costituiti da idonea rete metallica a maglia esagonale e sono riempiti con pietrame di elevato peso specifico non alterabile dagli agenti atmosferici, per creare una struttura flessibile, permeabile e monolitica.

Gli spigoli dei gabbioni sono rinforzati con filo metallico di diametro maggiore rispetto a quello della maglia esagonale. Una volta accostati fra loro, i gabbioni verranno poi uniti attraverso idonei fili metallici di legatura per ottenere un unico blocco monolitico e solidale.

Queste strutture scatolari, data l'elevata presenza di pietrame all'interno, agiscono per gravità e hanno buona capacità portante.

Dopo una prima fase di spianatura e livellamento del terreno, i gabbioni saranno posti in opera per formare un muro di contenimento "a gradoni" che degrada dal basso verso l'alto e successivamente inizierà la fase successiva di realizzazione della nuova rampa di accesso all'area.

Per gli aspetti legati alla vegetazione vedi il Cap. 10, par 10.6.

NUOVA RAMPA DI ACCESSO

Con la dismissione della rampa carrabile esistente sarà necessario costruire una nuova rampa di accesso all'area, mantenendo in ogni caso l'accesso da Via Morosini. La nuova rampa si troverà sul lato opposto all'attuale e avrà una larghezza idonea all'accesso dei mezzi di servizio (vedi tavole tecniche). Per la sua realizzazione verranno effettuate operazioni preliminari di preparazione del terreno per consentire l'appoggio dei gabbioni di contenimento, poi si procederà con le operazioni di modellazione della nuova rampa attraverso la posa in opera di inerti a granulometria variabile, decrescente dal basso verso l'alto, in modo da agevolare il drenaggio delle acque meteoriche.

MURO FIORITO

Per la sistemazione della scarpata di terreno adiacente il nuovo complesso residenziale sarà prevista la realizzazione di un muro fiorito costituito da elementi poligonali in cemento adeguatamente sfalsati fra loro e riempiti all'interno con terreno. Lo sfasamento dei conci in cemento avviene non solo in prospetto, rendendo la parete gradevole alla vista, ma anche in profondità in modo da "appoggiarsi" alla scarpata di terreno.

Il muro fiorito servirà sia a consolidare la scarpata di terreno esistente e sia a migliorare l'aspetto estetico della parete verticale. Per garantire una buona stabilità del muro e della scarpata di terreno verrà realizzato un piccolo piano di fondazione in conglomerato cementizio armato leggermente inclinato verso la scarpata di terreno esistente, sul quale verrà impostato il muro fiorito.

Per il riempimento di ogni singola fila di mattoni di muro fiorito sarà impiegata una parte del terreno di scavo del Fitolago (circa 45 m^3).

Per gli aspetti legati alla vegetazione vedi il Cap. 10, par 10.6.

RECINZIONE PERIMETRALE AREA

Per migliorare la sicurezza dei cittadini, ed evitare contestualmente l'accesso a persone non autorizzate all'interno dell'area oggetto di bonifica, sarà installata idonea recinzione metallica composta da pannelli modulari in filo d'acciaio zincato, elettrosaldati e plastificati di colore verde, con nervature orizzontali di rinforzo. I pannelli modulari della nuova recinzione saranno fissati ad appositi sostegni verticali metallici mediante elementi di ancoraggio. I sostegni verticali, a loro volta, saranno ancorati lungo il perimetro dell'area attraverso supporti idonei.

SCHERMATURA IMPIANTO P&T

Per questioni di decoro si è scelto di schermare l'impianto di pompaggio e trattamento delle acque di falda inquinate con una struttura in legno. Il *Pump&Treat* sarà schermato solo su tre lati per consentire l'accesso al personale autorizzato per la gestione dell'impianto. La schermatura in legno avrà un'altezza complessiva di circa 3 metri e sarà composta da pilastri angolari in legno e pannelli orizzontali di collegamento.

ILLUMINAZIONE AREA

Nell'area è prevista l'installazione di un sistema di illuminazione con apparecchi a LED per consentire un'adeguata visibilità non solo dall'esterno, ma anche dall'interno. Saranno installate non solo corpi illuminanti su pali, ma anche a quota terreno, sulla schermatura in legno dell'impianto P&T e lungo il perimetro del laghetto artificiale.

L'utilizzo di apparecchi a LED consente un risparmio immediato fino al 50% di energia rispetto alle tecnologie tradizionali, fornendo anche una migliore qualità della luce per un ambiente confortevole con una maggiore sensazione di sicurezza.

14. COMPATIBILITÀ AMBIENTALE DEGLI INTERVENTI

14.1 GESTIONE DEI MATERIALI

Tutti i materiali/rifiuti prodotti nel corso dell'intero intervento di bonifica, saranno gestiti nell'assoluto rispetto delle vigenti disposizioni di legge in materia di recupero/smaltimento.

Le attività di rimozione, movimentazione all'interno del sito, confezionamento, trasporto e recupero/smaltimento dei rifiuti saranno eseguite direttamente dalla ditta operante in sito. Gli impianti di smaltimento cui verranno conferiti i rifiuti prodotti saranno regolarmente autorizzati.

Si specifica che per il trasporto dei rifiuti sarà garantita la presenza a bordo di ogni veicolo della idonea documentazione richiesta per l'effettuazione del trasporto in conformità con le vigenti disposizioni normative. Tutte le imprese coinvolte nelle operazioni di trasporto e smaltimento dei rifiuti prodotti dall'attività di bonifica saranno regolarmente iscritte all'Albo nazionale delle imprese che effettuano la bonifica di siti e la gestione dei rifiuti.

14.1.1. GESTIONE DEI MATERIALI ATTUALMENTE PRESENTI SUL SITO

Al fine di poter procedere con l'intervento di biorisanamento, dovrà anzitutto essere garantita la pulizia dell'intera area (es. rimozione dei materiali derivanti dal vecchio cantiere, sfalcio dell'erba ecc…). Per poter procedere con la corretta classificazione dei rifiuti attualmente presenti sul sito ai sensi dell'Allegato D alla Parte Quarta del D.Lgs.152/06 e quindi individuare i più idonei impianti di smaltimento/recupero, ai sensi rispettivamente del D.M. 27/09/2010 (smaltimento in discarica) e del D.M. 05/02/98 (recupero di rifiuti non pericolosi), il giorno 03/01/2020 i Tecnici di ARPAM – Pesaro si sono recati presso l'area ex AMGA per effettuare una valutazione dei rifiuti (tipologia e quantità) presenti sul sito. Durante il sopralluogo (di cui si allega il relativo verbale) sono state individuate le seguenti tipologie di rifiuti riportate in Tabella 14.1.

Tabella 14.1. Rifiuti individuati sull'area e rispettivi codici CER

TIPOLOGIA DI RIFIUTO	CER
Pneumatico	16.01.03
Frammento in cemento armato	17.01.01
Tettoia in plastica	17.02.03
Imballaggi Vernici	15.01.10
Armatura in metallo	17.04.05
Tubo in plastica	17.02.03
Bancale in legno	15.01.03

Legno da demolizione	17.02.01
Rifiuti ingombranti - rete	20.03.07
Rifiuti misti da demolizione	17.09.04
Legno da costruzione	17.02.01
Cisterna plastica/metallo	17.04.05 / 17.02.03

Tali materiali, per stato di utilizzo e conservazione, posseggono già la qualifica di rifiuto. In considerazione delle singole esigue quantità riscontrate e dell'unica provenienza da *"attività di costruzione e demolizione",* si ritiene plausibile per questi rifiuti l'utilizzo complessivo del codice CER 17.09.04 corrispondente a: "*Rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione diversi da quelli di cui alle voci 17.09.01, 17.09.02, 17.09.03"*. Ciò ad eccezione dei singoli rifiuti identificati con i CER 16.01.03, 15.01.10, verosimilmente derivati da abbandono di rifiuti ad opera di ignoti ed estranei all'attività di cantiere, pertanto in quantità decisamente inferiore al metro cubo e di conseguenza assimilabili a *rifiuti urbani*.

Durante il sopralluogo del 03/01/2020 i tecnici ARPAM hanno inoltre riscontrato alcune tipologie di materiali attualmente presenti nell'area, che diverranno rifiuti solo successivamente alle operazioni di sistemazione dell'area in previsione delle ulteriori operazioni di bonifica.

Nel dettaglio si tratta dei materiali di cui alla tabella 14.2

Tabella 14.2. Elenco materiali riscontrati sull'area

TIPOLOGIA DI RIFIUTO	CER
Recinzione in plastica	17.02.03
Telo HDPE	17.02.03
Recinzione metallica	17.04.04
Platea in cemento	17.01.01
Sfalci	20.02.01

Si ritiene che anche i rifiuti generati da questi materiali possano essere ricompresi nel CER 17.09.04 seguendo il criterio già indicato, ad esclusione dei seguenti:

- materiale derivante dalla demolizione delle due platee esistenti in c.a. da gestire con relativo codice CER: 17.01.01.;
- sfalci da potatura (CER 20.02.01), non ancora presenti ma che saranno generati nel corso della manutenzione e ripristino dell'area;

Nell'area sono presenti anche alcuni cumuli di terreno. Per quanto riguarda i terreni abbancati sopra una delle platee di cemento, derivanti dai più recenti processi di campionamento (campionamenti del 04 aprile 2019) si ritiene necessario una analisi di caratterizzazione al fine di stabilire l'attribuzione del corretto codice CER 170504 o 170503*.

Per il restante cumulo di terreno generato da movimentazioni precedenti la bonifica, si specifica che lo stesso sarà riutilizzato all'interno del sito per le opere di modellamento che si renderanno necessarie, previa caratterizzazione.

14.2. GESTIONE DEI MATERIALI CHE SARANNO PRODOTTI DURANTE L'ATTIVITÀ DI BONIFICA

RIMOZIONE E RIUTILIZZO DELLA GHIAIA

Preliminarmente alla realizzazione degli interventi di biorisanamento veri e propri, dovrà essere prevista la rimozione dello strato più superficiale di ghiaia che si trova attualmente a ricoprire l'intera area ex AMGA (in particolare in corrispondenza dell'attuale rampa di accesso al sito). Si specifica che tale materiale è esente da contaminazione in quanto trattasi di materiale di riporto proveniente da cava che in tempi pregressi fu posizionato sul sito al fine di facilitare la movimentazione dei mezzi durante la precedente attività di bonifica. Il materiale rimosso sarà quindi vagliato al fine di ottenere un materiale ghiaioso di pezzatura più idonea per poter essere riutilizzato in sito per la realizzazione della nuova rampa di accesso. Tale operazione permetterà anche il miglioramento delle proprietà agronomiche del suolo sottostante.

Il riutilizzo di questo materiale ghiaioso è stato pensato nell'ottica di riduzione dei rifiuti che potranno essere prodotti durante l'attività di bonifica e prendendo in considerazione quanto già chiarito e condiviso con gli Enti presenti al Tavolo Tecnico del 30/07/2019, di cui si allega il relativo verbale per i più opportuni approfondimenti.

Si fa presente che, al fine di ridurre al minimo la formazione e dispersione di polveri sottili, i lavori vagliatura e di movimentazione della ghiaia non saranno realizzati durante il periodo estivo e saranno opportunamente gestiti, in contemporanea, mediante l'ausilio di un apposito nebulizzatore.

RIMOZIONE E RIUTILIZZO DELLA GEOMEMBRANA IN HDPE

Preliminarmente alla realizzazione degli interventi di biorisanamento, si procederà anche alla rimozione della membrana in HDPE situata a protezione dell'area scavata durante l'attività di bonifica del 2015 (*Dig&Dump*). Si precisa che tale telo in HDPE dopo essere stato rimosso verrà in parte riutilizzato come materiale su cui depositare

temporaneamente il terreno che verrà scavato per la realizzazione del fito-lago. La restante parte della membrana in HDPE sarà invece conferita ad un impianto autorizzato di smaltimento con codice CER 17.02.03 (come da verbale ARPAM in allegato).

RIUTILIZZO DEL TERRENO DERIVANTE DALLO SCAVO DEL FITOLAGO

Per la realizzazione del Fitolago si prevede la rimozione di circa 86 m^3 di terreno. Questo terreno, non compreso nella sorgente di contaminazione, potrà essere riutilizzato in sito per le opere di rimodellamento che si renderanno necessarie in corso d'opera ed in particolare per la piantumazione del bambù (circa 26 mc) e per il riempimento delle muro fiorito (circa 60 mc).

Si fa presente che, al fine di ridurre al minimo la formazione di polveri sospese, i lavori di scavo e di movimentazione del terreno non saranno realizzati durante il periodo estivo e saranno opportunamente gestiti, in contemporanea, mediante l'ausilio di un apposito nebulizzatore.

14.3. PROTEZIONE SALUTE, SICUREZZA E AMBIENTE

14.3.1. MISURE DI SICUREZZA E CRITERI DI PROTEZIONE DEI LAVORATORI

Prima dell'inizio degli interventi di bonifica verrà predisposto, secondo quanto richiesto dalla normativa vigente, uno specifico Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) che conterrà la descrizione puntuale dei rischi per gli operatori e delle misure di sicurezza da adottare per minimizzare tali rischi.

L'esecutore delle attività dovrà osservare, in relazione ai rischi derivanti sia dalle attività previste che dalle particolari operazioni svolte e/o esistenti nell'ambiente di lavoro e nelle zone in cui le diverse società andranno ad operare, tutte le norme vigenti in materia di prevenzione degli infortuni ed igiene del lavoro, impegnandosi ad adottare, a sua cura e spese, tutte quelle misure e quei provvedimenti previsti dalle succitate norme e dispositivi, anche in relazione a quanto previsto dal D.Lgs. n. 81/08 e ss.mm.ii.

14.3.2. ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE DI BONIFICA

La collocazione del cantiere sarà interamente all'interno del perimetro dell'area contaminata ex AMGA.

L'area oggetto dell'intervento sarà messa in sicurezza secondo le normative vigenti e segnalata con l'apposita cartellonistica di sicurezza. In particolare, nel corso dei lavori sarà adottata adeguata segnalazione e protezione delle aree di lavoro, degli scavi e delle zone che potrebbero determinare rischio.

L’accesso al cantiere di bonifica sarà consentito solo al personale addetto alle operazioni, alla D.L. e ai tecnici degli EE.PP.

14.3.3. VALUTAZIONE DEI RISCHI

In linea generale, considerando che le attività di bonifica che potrebbero generare rischi comprenderanno essenzialmente operazioni di movimentazione di terreni contaminati e campionamenti di terreno, di gas e di acqua contaminata, i maggiori rischi per la sicurezza degli operatori potrebbero essere connessi ai seguenti fattori:

a) contatto accidentale con macchine operatrici in movimento (es. escavatori);
b) contatto cutaneo od oculare con terreni, acque e gas contaminati;
c) inalazione di polveri o vapori che potrebbero svilupparsi durante lo scavo e la movimentazione del materiale contaminato o il campionamento di acque e gas contaminati;
d) esposizione continuativa al rumore dei mezzi di cantiere.

Per ridurre i rischi derivanti da tali fattori, durante ogni attività di cantiere implicante i rischi suddetti, gli operatori dovranno sempre disporre dei seguenti dispositivi di protezione individuale (DPI), da utilizzare quando necessari:

a) elmetto protettivo;
b) maschera per la protezione delle vie respiratorie;
c) scarpe antinfortunistiche con lama antiforo e puntale in acciaio;
d) cuffie auricolari;
e) occhiali protetti guanti resistenti all’abrasione;
f) guanti protettivi
g) tute in tyvek® monouso.

Gli operatori svolgeranno le proprie mansioni sotto la supervisione di un responsabile per la sicurezza in fase di esecuzione, che avrà il compito di verificare la corretta applicazione delle norme di sicurezza.

Al fine di limitare i disagi alla popolazione, oltre agli accorgimenti riportati nei precedenti capitoli e che potranno essere eventualmente integrati con eventuali indicazioni del CSE, si procederà alla pulizia mediante idropulitrice delle ruote degli automezzi in uscita dall’area cantiere, così da evitare la dispersione di rifiuti lungo la pubblica viabilità. Inoltre, al fine di ridurre al minimo la formazione di polveri sospese, tutti i lavori di scavo e di movimentazione del terreno non saranno realizzati durante il periodo estivo e saranno opportunamente gestiti, in contemporanea, mediante l’ausilio di un apposito nebulizzatore.

15. AUTORIZZAZIONI

L'articolo 242, comma 7, del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii. specifica che l'autorizzazione regionale, relativa all'approvazione del presente Progetto Operativo di Bonifica, "ai soli fini della realizzazione e dell'esercizio degli impianti e delle attrezzature necessarie all'attuazione del progetto e per il tempo strettamente necessario all'attuazione medesima sostituisce a tutti gli effetti le autorizzazioni, le concessioni, i concerti, le intese, i nulla osta, i pareri e gli assensi previsti dalla legislazione vigente".

Ai sensi del citato art. 242, le autorizzazioni in oggetto sono, in via generale, da intendersi incluse nell'approvazione del progetto stesso. In sede di Conferenza dei Servizi per l'approvazione del presente documento potranno pervenire i pareri degli EE.PP. coinvolti nel rilascio di tale autorizzazione potendo richiedere eventuali integrazioni alla documentazione tecnica fornita con il presente progetto di bonifica.

16. CRONOPROGRAMMA

Lo sviluppo cronologico delle attività di cantiere è riportato nelle tabelle 16.1 (I fase) e 16.2 (II fase).

Le prime attività di cantiere avranno inizio al termine dell'estate 2020, quando le temperature più basse e una certa umidità dei terreni, consentiranno di ridurre l'impatto del cantiere sugli abitanti degli edifici prossimi all'area.

Le prime attività riguarderanno la messa in opera delle infrastrutture di servizio perimetrali e della nuova rampa di accesso. I movimenti di terra interni al sito saranno concentrati in poche giornate di cantiere, mentre per il completamento delle opere di contenimento si stimano 2-3 settimane lavorative prevalentemente manuale.

Sempre nel periodo autunnale verranno eseguiti gli scavi, le opere di impermeabilizzazione e di collegamento dell'impianto di trattamento e reimpiego dell'acqua reflua dal P&T: il Fitolago. Per la messa in opera dei materiali di consolidamento e di impermeabilizzazione del Fitolago, si stimano 2 settimane di cantiere prevalentemente manuale. Per la messa in opera dei collegamenti idraulici tra Fitolago e P&T, le operazioni scavo e reinterro saranno limitate ad una giornata di cantiere.

A partire dal febbraio 2021 avrà inizio la seconda fase del cantiere, organizzata per tenere conto delle diverse esigenze biologiche dei sistemi da porre in opera.

Le prime operazioni saranno scavi servizio per le linee idriche ed elettriche ed i relativi allacci nell'area P&T.

Le prime specie che saranno impiantate sono le salicacee, che andranno ad occupare l'area attualmente coperta con il telo. Queste specie, già dalle prime settimane di marzo iniziano lo sviluppo della nuova vegetazione.

Al termine del periodo freddo si potrà quindi procedere con l'inoculo dei terreni, con apertura e reinterro delle trincee che serviranno anche per l'impianto delle relative specie vegetali. Considerando che per contenere i tempi in cui gli scavi saranno aperti si procederà con il completamento di ogni trincea pima dell'apertura della successiva, si stima che questa operazione potrà essere completata nel termine di due settimane lavorative (incluso impianto specie vegetali).

A seguire si procederà con l'impianto delle altre specie, con apertura di piccole buche (circa 30 cm lato e profondità) e messa a dimora manuale.

Tabella 16.1 – Diagramma di Gantt: preparazione a prima fase di cantiere

anno	2020												2021											
mese	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Descrizione attività																								
Preparazione																								
Completamento report test microbiologici in microcosmi																								
Redazione progetto operativo																								
CdS decisoria																								
Predisposizione gare / affidamenti (in ordine di fasi di realizzazione)																								
Attività cantiere - I fase																								
Demolizione opere di servizio del cantiere edile e residuali precedenti attività																								
Pulizia dell'area con raccolta, classificazione e smaltimento rifiuti di cantiere (ferro, calcestruzzo, laterizi)																								
Taglio e smaltimento della vegetazione arborea e arbustiva																								
Rimozione dello strato di ghiaia, separazione granulometrica e abbancamento per impiego in situ (nebulizzatore)																								
Picchettamento punti riferimento opere edili, scavi, illuminazione																								
Fornitura e posa in opera di nuova recinzione area																								
Fornitura e posa in opera di muro di contenimento con gabbionate lato via Morosini																								
Fornitura e posa in opera di gabbionate contenimento rampa di accesso																								
Fornitura materiali inerti e realizzazione rampa di accesso																								
Fornitura e posa in opera di "muro fiorito" (h=3 metri l= 40 metri)																								
Fornitura e messa in opera schermatura P&T (C)																								
Operazioni di scavo Fitolago con abbancamento del materiale per muro fiorito (60) e area bambù (26)																								
Fornitura e posa in opera di: geogriglia di rinforzo bidirezionale su pareti e fondo lago, geotessuto di protezione, telo di impermeabilizzazione																								
Fornitura e posa in opera nel bordo interno del fitolago, di blocchi prefabbricati per muri verdi curvilinei																								
Fornitura di geocomposito con geogriglia tridimensionale interna, di lunghezza 16 m e larghezza 1 m & posa in opera lungo l'asse centrale del fitolago																								
Fornitura di gabbionata, riempita con pietrame idoneo ad uso sommerso, di lunghezza 16 m, larghezza 1 m e altezza 0.5 m & posa in opera all'interno del fitolago lungo l'asse centrale																								
Fornitura e posa in opera di un canale in cemento armato prefabbricato idoneo a sopportare un sovraccarico di kg 100 per ml oltre al peso proprio e dell'acqua interna, con giunti di collegamento dei singoli elementi a tenuta - dimensioni interne di ogni elemento: base = 80-100 cm, lati verticali 80-100; con setti di chiusura terminali a tenuta																								
Fornitura e posa in opera di pietrisco e ghiaia per riempimento canale di fitodepurazione																								
Fornitura e posa in opera di pozzetto sifonato per scarico fino a 10 mc / ora con griglia di protezione																								
Fornitura e posa in opera tubazione di scarico del FitoLago incluso scavo																								
Fornitura e posa in opera tubazione di scarico del P&T in ingresso al FitoLago incluso scavo																								

Tabella 16.2 – Diagramma di Gantt: seconda fase di cantiere

anno	2020												2021											
mese	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Descrizione attività																								
Attività cantiere - II fase																								
Operazioni di scavo linee idriche ed elettriche (larghezze: 0.3-0.4-0.6-0.7 metri)																								
Fornitura e messa in opera linee idriche e impianto irrigazione (escluse ali gocciolanti)																								
Fornitura e messa in opera linee elettriche per illuminazione perimetrale e interna																								
Fornitura e messa in opera punti luce e diffusori																								
Fornitura e messa in opera sistema di gestione irrigazione e monitoraggio operativo																								
Rimozione telo copertura areee scavo																								
Fornitura e messa in opera ali gocciolanti moduli vegetazione a: Salici, Maonia (area scavo A) e Pioppo bianco (area scavo B)																								
Fornitura e impianto moduli vegetazione a: moduli vegetazione a: Salici, Maonia (area scavo A) e Pioppo bianco (area scavo B)																								
Fornitura inoculo per bioaugmentation in serbatoio (conc. 10^E^12 UFC / litro)																								
Fornitura midollo di cocco in big bag																								
Scavo e reinterro carrier n. 27 trincee con inoculo suolo insaturo (lunghezza totale 500 metri)																								
Fornitura e messa in opera ali gocciolanti moduli vegetazione in trincea: Frassino minore, Veitiver, Arbusti sempreverdi, Tamerici, Frassino maggiore, Pioppo cipressino																								
Fornitura e messa in opera moduli vegetazione in trincea: Frassino minore, Veitiver, Arbusti sempreverdi, Tamerici, Frassino maggiore, Pioppo cipressino																								
Fornitura e messa in opera ali gocciolanti altri moduli vegetazione: Alloro, Arbusti decidui, rampicanti via morosini, muro verde Benelli, arbusti decidui, alberi isolati, gruppi erbacei, bambù																								
Fornitura e messa in opera altri moduli vegetazione: Alloro, Arbusti decidui, rampicanti via morosini, muro verde Benelli, arbusti decidui, alberi isolati, gruppi erbacei, bambù																								

Tabella 16.3 – Diagramma di Gantt: monitoraggi operativi

anno	2020				2021				2022				2023				2024				2025				2026			
stagione	INV	PRIM	EST	AUT	INV	PRIM	EST	AUT	INV	PRIM	EST	AUT	INV	PRIM	EST	AUT	INV	PRIM	EST	AUT	INV	PRIM	EST	AUT	INV	PRIM	EST	AUT
Descrizione attività																												
MONITORAGGIO DELLA COMUNITÀ MICROBICA DEL SUOLO																												
vitalità microbica						T0		T6		T12				T24				T36				T48				T60		
attività microbica						T0		T6		T12				T24				T36				T48				T60		
struttura della comunità batterica						T0								T24														
MONITORAGGIO DEI SISTEMI VEGETALI																												
attecchimento e stato di vitalità				X		X	X					X				X				X				X				X
sviluppo e funzionalità degli organi epigei:																												
Morfologia fogliare		X				X				X				X				X				X				X		
Capacità fotosintetica		X				X				X				X				X				X				X		
Efficienza fotosintetica		X				X				X				X				X				X				X		
Conduttanza stomatica		X				X				X				X				X				X				X		
Contenuto di Azoto		X				X				X				X				X				X				X		
LAI		X				X				X				X				X				X				X		
sviluppo e funzionalità radicale:																												
Densità radicale								X				X				X				X				X				X
Produttività radicale												X				X				X				X				X
Flussi CO2 in trincee con piante	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Flussi CO2 in trincee senza piante	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
trasferimento di contaminanti in organi e tessuti																												
monitoraggio chimico fogliare		X				X				X				X				X				X				X		

nota: con i colori sono indicati i limiti temporali di svolgimento delle attività

17. STIMA DEI COSTI DELLA BONIFICA

Sulla base di quanto esposto nei precedenti Capitoli, è stata effettuata una stima di massima dei costi da sostenere per la realizzazione degli interventi di bonifica proposti. Per la quantificazione, ai sensi di quanto previsto dall'art. 23 del D.Lgs. 50/2016 e s.m. e i. (Codice dei Contratti) si è tenuto conto del Prezzario Regionale della Regione Marche.

Si precisa che la quantificazione è da intendersi come valutazione indicativa, basata sugli elementi attualmente acquisiti, e potrà pertanto essere soggetta a variabilità in funzione dei riscontri effettivi di campo che emergeranno nell'ambito delle attività di bonifica descritte nel presente documento.

Al fine della messa in opera del Progetto, fatta salva la sua approvazione in sede di Conferenza di Servizi, si procederà per fasi successive pertanto il dettaglio dei costi è riportato nella seguente Tabella 17.1 seguendo il medesimo approccio di suddivisione per fasi. Si specifica che il costo totale previsto per la realizzazione del Progetto di Bonifica sarà ripartito in cinque anni.

Tabella 17.1. Schema riassuntivo dei costi previsti

ATTIVITÀ	COSTO PREVISTO (Euro)
Prima Fase (Autunno 2020)	
Allestimento Cantiere (comprensivo della demolizione delle opere residuali da precedenti attività, pulizia dell'area, taglio e smaltimento della vegetazione arborea e arbustiva e rimozione dello strato di ghiaia superficiale)	9'042,00
Mitigazione e controllo contaminanti aerodispersi (nebulizzatore) e lavaggio ruote automezzi	15'146,47
Picchettatura punti riferimento opere edili, scavi, illuminazione	2'000,00
Opere strutturali connesse all'intervento di bonifica (recinzione cantiere, muro di contenimento con gabbionate, muro fiorito, nuova rampa di accesso, schermatura P&T)	121'342,90
Operazioni di scavo Fitolago con abbancamento del materiale per muro fiorito e area bambù	1'386,00
Opere edili per realizzazione del Fitolago	19'564,54
Seconda Fase (Inverno - Primavera 2021)	
Operazioni di scavo per linee idriche ed elettriche	1'617,00
Fornitura e messa in opera linee elettriche per illuminazione interna e perimetrale + fornitura e messa in opera punti luce e diffusori	35'000,00
Fornitura e posa in opera sistema di irrigazione	11'189,36
Controllo e monitoraggio operativo del sistema di irrigazione	42'360,00
Fornitura materiale per biobonifica del terreno (midollo di cocco; inoculo; concime perfosfato triplo 46%)	37'084,50
Fornitura concime a lento rilascio Osmocote Exact Standard 12-	165,00

14M	
Fornitura materiale vegetale per piantumazione Muro Fiorito e Gabbionata	609,95
Fornitura vegetazione per canale fitodepurazione	481,00
Fornitura vegetazione acquatica interna	765,50
Fornitura vegetazione spondale lago	1’140,00
Fornitura vegetazione (alberi I grandezza; alberi II grandezza; Arbusti; Erbacee perenni; Bambù)	3’040,70
Fornitura guaina contenimento rizomi bamboo (tipo BAMBUSTOP)	1’200,00
Impianto vegetazione e copertura erbacea	9’151,99
Manutenzione vegetazione (taglio della vegetazione erbacea - 4 passaggi/anno) Anni 2021-2026	18’405,31
Monitoraggio (2021 -2026)	
Nolo e Gestione e Monitoraggio Impianto P&T (2021-2025)	309’000,00
Analisi Arpam in contraddittorio (2021-2025)	17’960,00
Monitoraggio della comunità microbica del suolo (5 anni)	80’040,00
Monitoraggio dei sistemi vegetali (5 anni)	159’659,24
Monitoraggio Qualità Aria	81’770,00
Monitoraggio Vapori dal Suolo	69’237,85
Collaudo	
Collaudo acque e terreni	7’098,40
TOTALE	**1’055’457,71**
Di cui oneri per la sicurezza	***29'051,29***

Dalla stima dei costi sopra esposta restano escluse, oltre all’IVA di legge, le spese di alimentazione elettrica; gli interventi di manutenzione straordinaria; gli oneri legati alla nomina della Direzione Lavori e del CSE; gli eventuali canoni concessori richiesti dall’Ente gestore della pubblica fognatura ed eventuali richieste integrative/prescrizioni formulate dalle PP.AA. competenti in fase di approvazione del progetto.

DOCUMENTI ALLEGATI

(Documentazione citata a pag. 7)

(Documenti A – B – C – D – E – F – G – H – I – J – K)

Comune
di Pesaro

Determinazione

Servizio	**AMBIENTE**	
Determinazione n°	**218** del	**06/02/2019**

documento n. 260

Oggetto: **CASO DI INQUINAMENTO AREA EX AMGA – SOTTOCOMPARTO 1. PRESA D'ATTO DELL'APPROVAZIONE DELL' "ANALISI DI RISCHIO SANITARIO AMBIENTALE SITO-SPECIFICA APPLICATA ALL'AREA EX-AMGA" AI SENSI DEL D.LGS. 152/2006 E S.M.I., ELABORATA DALL'ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ PER CONTO DEL COMUNE DI PESARO.**

IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO SICUREZZA E AMBIENTE

Visto Il Decreto del Sindaco n.11 del 5 giugno 2017 con il quale è stato conferito al sottoscritto l'incarico di Responsabile del Servizio Sicurezza e Ambiente con decorrenza 1 Giugno 2017 fino alla scadenza del mandato amministrativo.

Premesso che con nota prot. n. ISS 05/04/2018 0010866, pervenuta via PEC e registrata agli atti al prot n. 36435 del 05/04/2018, l'Istituto di Superiore di Sanità ha depositato il documento "*Analisi di Rischio sanitario ambientale sito-specifica applicata all'area ex AMGA*" con relativa relazione ed allegati in riscontro alla richiesta di collaborazione formalizzata con nota prot. n. 0022421 del 25/07/2017 e successivamente integrato con prot. N. 91373 del 05/09/2018;

Con propria determinazione dirigenziale n. 3291 del 05/12/2018 il Comune di Pesaro ha provveduto alla presa d'atto dell'avvenuto deposito della Analisi di Rischio sopra citata elaborata dall'Istituto Superiore di Sanità per conto del Comune di Pesaro, ai fini del prosieguo dell'iter ambientale ai sensi dell'art. 242 del D. Lgs. 152/2006, il sottoscritto, con nota PEC prot. n. 126093 del 06/12/2018, ha convocato in data 14/01/19 la Conferenza di Servizi per l'esame del documento sopra nominato "*Analisi di Rischio sanitario ambientale sito-specifica applicata all'area ex AMGA"*.

Visto il verbale della Conferenza di Servizi del 14/01/2019 dal quale si evince la valutazione positiva dell'Analisi di Rischio presentata, da parte degli Enti partecipanti, e la conseguente approvazione della stessa, con l'esclusione delle conclusioni descritte dall'Istituto Superiore di Sanità circa gli interventi suggeriti in quanto profilo estraneo all'attuale fase di procedimento;

Visti, altresì l'art. 14 –ter, comma 7 e l'Art. 14-quater della Legge n. 241/1990 ;

Richiamati:

- il D.Lgs. 152/2006 "Norme in materia ambientale", parte quarta "Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati" - Titolo V "Bonifica di siti contaminati";
- l'art. 14 della L.R. Marche n. 13 del 2/8/2006;
- la D.G.R. Marche n. 1104 del 06/08/2018 e ss.mm.ii;

Ai sensi dell'art. 147 bis, comma1, del D. Lgs. N. 267/2000, si rilascia parere di regolarità tecnica attestante la regolarità e la correttezza dell'azione amministrativa;

visti

Viste le seguenti deliberazioni di C.C.:

- n. 119 del 17 dicembre 2018 con la quale è stata approvata la nota di aggiornamento al DUP 2019 -2021;
- n. 120 del 17 dicembre 2018, con cui è stato approvato il Bilancio di Previsione Finanziario 2019 -2021 e i relativi allegati;

Vista la seguente deliberazione di G.C.:

- n. 3 del 15 gennaio 2019 con la quale è stato approvato il Piano Esecutivo di Gestione 2019 -2021, e successive variazioni;

Visti il TUEL, lo Statuto Comunale e il regolamento di contabilità;

Determina

1. di prendere atto del verbale, conservato agli atti, della Conferenza dei Servizi del 14/01/2019 che, ai sensi e per gli effetti dell'art. 14 ter della L. 241/90 e s.m.i. e dell'art. 242 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i., ha approvato l' "*Analisi di Rischio sanitario ambientale sito-specifica applicata all'area ex AMGA"* relativa al sito inquinato ex-AMGA, ubicato nel Comune di Pesaro, in via Morosini n. 12, redatta dall'Istituto Superiore di Sanità, per conto del Comune di Pesaro e trasmessa con nota PEC prot. ISS 05/04/2018 0010866, registrata agli atti al prot n. 36435 del 05/04/2018 e successivamente integrata con nota prot. n. 91373 del 05/09/2018, con l'esclusione delle conclusioni descritte dall'Istituto Superiore di Sanità circa gli interventi suggeriti in quanto profilo estraneo all'attuale fase di procedimento;

2. di disporre l'invio in copia del presente provvedimento, tramite PEC, agli Enti e soggetti invitati a partecipare, tramite nota prot. n. del 126093 del 06/12/2018, alla Conferenza dei Servizi tenutasi in data 14.01.2019 per l'esame del documento "*Analisi di Rischio sanitario ambientale sito-specifica applicata all'area ex AMGA*" e sua successiva integrazione;

3. ai sensi dell'articolo 3 comma 4 della legge 7/8/1990 n. 241 e ss.mm.ii. il presente provvedimento potrà essere impugnato dinanzi al TAR Marche entro il termine di 60 giorni dal rilascio del medesimo con ricorso giurisdizionale, oppure entro 120 giorni dal rilascio con ricorso straordinario amministrativo al Capo dello Stato.

4. di dare atto che, ai sensi dell'art. 6-bis della legge n. 241/1990, dell'art. 1, c. 9, lett. e), della legge n. 190/2012, dei Codici, nazionale ed integrativo comunale (deliberazione di G.C. n. 199 del 17.12.2013), di comportamento dei dipendenti pubblici, per il presente atto finale non sussistono motivi di conflitto di interesse in capo al responsabile del procedimento e al soggetto che adotta;

5. di rendere noto ai sensi dell'art. 3 della legge n° 241/1990 che il responsabile del procedimento è il sottoscritto Ing. Stefano Gioacchini, Dirigente del Servizio Sicurezza e Ambiente.

6. di dare atto che la presente determinazione, non avendo rilevanza finanziaria, non necessita del visto di regolarità contabile di cui all'art. 183 comma 7 del D. Lgs. 267/2000 e, pertanto, diviene esecutiva con l'apposizione del parere di regolarità tecnica del dirigente competente in materia e viene direttamente pubblicata all'Albo on-line del Comune di Pesaro;

Ai sensi dell'art. 9/ter del Regolamento degli Atti dei Dirigenti, approvato con delibera di G.C. nr. 255 dell'8/08/2000, la presente determina viene resa pubblica dalla data di apposizione della firma di regolarità tecnica mediante pubblicazione all'Albo Pretorio on-line.

Pesaro, lì **06/02/2019**

Il Responsabile del Servizio Sicurezza e Ambiente
STEFANO GIOACCHINI / Actalis S.p.A./03358520967

Comune
di Pesaro

ORIGINALE

N. di Documento 37
N. della deliberazione 46
Data della deliberazione 05/03/2019
Classifica 6.9
Allegati n.

VERBALE DI DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA COMUNALE

OGGETTO: CASO DI INQUINAMENTO AREA EX AMGA – SOTTOCOMPARTO 1. APPROVAZIONE DELLO SCHEMA DI CONVENZIONE AI SENSI DELL'ART. 15 L. 7/08/1990 N. 241 E SMI TRA IL COMUNE DI PESARO, L'AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DELLE MARCHE E IL DIPARTIMENTO PER LA INNOVAZIONE NEI SISTEMI BIOLOGICI, AGROALIMENTARI E FORESTALI DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA PER L'ATTUAZIONE DELLA COLLABORAZIONE AI FINI DELLA PROSECUZIONE DELLA BONIFICA DEL SITO CONTAMINATO EX-AMGA E VARIAZIONE QUADRO ECONOMICO.

L'anno **duemiladiciannove**, il giorno **cinque** del mese di **marzo**, alle ore **09:00** in Pesaro, in una sala del Palazzo Comunale.

A seguito di avvisi, si è riunita la Giunta Comunale nelle persone dei Signori:

			P	A
1	Ricci Matteo	Sindaco	SI	
2	Vimini Daniele	Vice Sindaco		SI
3	Belloni Enzo	Assessore	SI	
4	Foronchi Franca	Assessore	SI	
5	Ceccarelli Giuliana	Assessore	SI	
6	Briglia Rito	Assessore	SI	
7	Della Dora Mila	Assessore	SI	
8	Delle Noci Antonello	Assessore	SI	
9	Mengucci Sara	Assessore	SI	
10	Bartolucci Luca	Assessore		SI

Presiede l'adunanza **Il Sindaco Matteo Ricci**

Assiste **Il Vice Segretario Generale Avv. Gianni L. M. Galdenzi**

Riconosciuta la legalità dell'adunanza e dichiarata aperta la seduta, il Presidente invita a discutere l'argomento indicato in oggetto.

LA GIUNTA COMUNALE

Letta la seguente relazione del Servizio Sicurezza e Ambiente:

““

Richiamata la delibera di G.C. n. 188 del 12.12.2017;

Premesso che:

- A seguito del rilevamento di inquinanti sull'area ex AMGA verificatosi in data 07.04.2010 durante i lavori propedeutici alla costruzione della terza torre da parte della società Edilgruppo Srl, Adriatica Costruzioni Srl, Immobiliare Ciemme s.n.c., Arcovallato Srl - proprietarie del Sottocomparto 1 di cui al comparto edificatorio PN 5.6 Centro Direzionale Benelli (Area ex Amga), le stesse società hanno provveduto, attraverso ditta abilitata (Petroltecnica S.p.A.), alla messa in opera dei primi Interventi di *Messa in Sicurezza di Emergenza* (MISE).

- Con nota PEC prot. n. 49709 del 18.07.2012 le Società Proprietarie del Sottocomparto 1 hanno comunicato alla Ditta Petroltecnica formale disdetta contrattuale relativamente al funzionamento dell'impianti di MISE (P&T) *"(…)in considerazione dell'impossibilità di reperire ulteriori risorse finanziarie per adempiere agli oneri economici conseguenti (…)".*
- In data 31.07.2012 la Ditta Petroltecnica ha pertanto comunicato che *"(…) a partire dall'08.08.2012 verranno disinstallati gli impianti di Messa in Sicurezza di proprietà installati presso il Sottocomparto 1 e consistenti in un Soil Vapor Extraction (….) ed un sistema di Pump & Treat (P&T) avente lo scopo di contenere la diffusione in falda dei contaminanti ed impedirne la fuoriuscita all'esterno del sito (…)*.

- A seguito di quanto sopra riportato, sentite L'ARPAM, l'ASUR e la Provincia di Pesaro Urbino, stante la situazione di pericolo di inquinamento, con l'Ordinanza Sindacale n. 1235 del 6/8/2012 è stato ordinato alle società proprietarie del Sottocomparto 1, di cui al comparto edificatorio PN 5.6 Centro Direzionale Benelli (Area ex Amga), di non interrompere le operazioni di messa in sicurezza, in quanto sussisteva un effettivo e concreto pericolo per la salute pubblica tale da scongiurare ogni interruzione, anche solo temporanea, della MISE.

- Non avendo la società ottemperato all'ordinanza e ponendosi la necessità di intervenire con urgenza al fine della tutela igienico - sanitaria e ambientale, in applicazione delle procedure di cui all'art. 253 del D. Lgs. 152/2006 gli interventi necessari ai sensi delle disposizioni del D. Lgs. 152/2006 sono stati necessariamente e improrogabilmente adottati dal Comune in conformità a quanto disposto dall'art. 250 dello stesso decreto. Si è perciò proceduto d'ufficio alla esecuzione degli interventi individuati d'intesa con le PP.AA. per mantenere in funzione la MISE e per i successivi adempimenti previsti dall'art 242 del D.Lgs. 152/2006, tra cui quelli relativi alla redazione del Progetto Operativo di Bonifica.

- Con determinazione di spesa n. 260 del 13/2/2013 si è quindi proceduto ad affidare a Petroltecnica Spa il servizio per la redazione del Progetto Operativo di Bonifica relativo al Sottocomparto 1 dell'Area ex Amga. Il progetto è stato approvato dalla Conferenza dei Servizi, ai sensi art. 242 D. Lgs. 152/2006, nella seduta del 4/7/2013 e con determinazione dirigenziale n. 1221 del 18/7/2013.

- Con deliberazione del Consiglio Comunale n. 64 del 28/4/2014 si è provveduto al finanziamento della spesa di 1.805.600,00 Euro mediante l'applicazione, al bilancio 2014, di quota dell'avanzo d'amministrazione vincolato per spese d'investimento ed accertato con l'approvazione del rendiconto dell'esercizio 2013.

- Con determinazione dirigenziale n. 1287 del 18/07/2014 è stato affidato a Marche Multiservizi il servizio per la predisposizione del bando di gara e l'espletamento della gara e per la conseguente esecuzione dei lavori e interventi previsti dal Progetto Operativo di Bonifica, come approvato con determinazione dirigenziale n.1221 del 18.07.2013.

- Con deliberazione di Giunta Comunale n.145 del 07.08.2014 è stato approvato il progetto esecutivo degli interventi di Bonifica - Area Centro Direzionale Benelli - Sottocomparto 1 redatto da Petroltecnica Spa in

nome e per conto del Comune, relativo agli interventi di "bonifica dell'area Ex Amga - Sottocomparto 1" per un importo complessivo di spesa di Euro 1.805.600,00 di cui Euro 1.480.000,00 per lavori e interventi (inclusi gli oneri per la sicurezza) ed Euro 325.600,00 per Iva al 22%, approvando il quadro economico a la copertura della relativa spesa con imputazione all'intervento 2090601, capitolo 80514, impegno n° 2083.

Considerato:

- Che i lavori sono stati regolarmente appaltati da Marche Multiservizi ed affidati alla ditta B.ENERGY S.p.a di Torino;

- Che durante l'esecuzione degli interventi previsti da progetto sono state riscontrate criticità non prevedibili che hanno portato alla approvazione di quattro varianti ai lavori oltre alla necessità di ulteriori indagini integrative, determinando un aumento dell'importo contrattuale.

- Che nel corso dei lavori, a seguito delle richieste da parte di Marche Multiservizi con specifici provvedimenti della Amministrazione Comunale e del responsabile del Servizio competente sono state approvate le varianti ai lavori resesi necessarie in particolare dalla necessità successivamente emersa, a seguito dei rilievi, verifiche e prescrizioni effettuati dall'ARPAM, di smaltimento del terreno rimosso (la maggior parte del quale classificato come rifiuto speciale- pericoloso assoluto) - vedi anche delibera di G.C. n. 143/2015 - in quantità quindi molto superiori alle previsioni del progetto originario;

- Che per tutto quanto sopra riportato, i lavori di bonifica di cui al citato appalto sono terminati con verbale del Direttore Lavori in data 20.10.2017, senza purtroppo ottenere il raggiungimento della prevista bonifica, la quale, pertanto, non può essere ritenuta conclusa. Inoltre, a differenza da quanto esposto nel sopra citato Progetto Operativo di Bonifica, i lavori di bonifica non hanno interessato in alcun modo la falda idrica (se non in fase di primo trattamento mediante tecnologia di Enhanced Bioremediation (EB) applicata direttamente sul fondo degli scavi, subito prima della chiusura degli stessi);

- Che a seguito dei rilievi e verifiche effettuate da ARPAM si sono peraltro evidenziati inquinamenti del terreno anche in alcune zone limitrofe alla zona oggetto di bonifica originaria per cui occorre sicuramente proseguire con la bonifica dell'area;

- Che per quanto sopra esposto su richiesta della Amministrazione Comunale, con nota prot 78083 del 28.07.2017 si è ottenuta la disponibilità da parte dell'Istituto Superiore di Sanità per effettuare una valutazione del rischio sull'area Ex AMGA in relazione alle modalità di successiva ulteriore bonifica collegata ai possibili futuri scenari di intervento;

- Che con delibera di G.C. n. 188 del 12.12.2017 è stato approvato il seguente Quadro Economico per la prosecuzione dei lavori di bonifica dell'area ex AMGA per l'anno 2018 per un importo di Euro 350.000,00 riservandosi di valutare successivamente alle considerazioni dell'Istituto Superiore di Sanità ed agli esiti delle analisi eseguite sulla falda, l'importo relativo al proseguimento e/o completamento dei lavori di bonifica per gli anni successivi al 2018:

QUADRO ECONOMICO DEI LAVORI DI BONIFICA DELL'AREA EX AMGA

LAVORI	
ESCAVAZIONE DEL TERRENO, GESTIONE E SMALTIMENTO DEI MATERIALI RIMOSSI, ACCERAMENTO DELLA QUALITA' AMBIENTALE	97.920
RILIEVO PIEZOMETRICO TRIMESTRALE MONITORAGGIO PARAMETRI CHIMICO - FISICI	16.500
TEST PILOTA CON TECNOLOGIA ENHANCED BIOREMEDIATION	89.500
NOLO IMPIANTO P&T	47.500
O&M IMPIANTO P&T E PRELIEVO CAMPIONI	22.500
SOMMANO EURO	**273.920**

SOMME A DISPOSIZIONE		
IVA 10% *(risoluzione del 12.09.2007 n. 247 Agenzia delle Entrate – Corte di Cassazione , sentenza n. 15948 del 23.10.2003)*		27392
PER ANALISI DA EFFETTUARSI DA PARTE DI ARPAM		17000
PER COLLABORAZIONE CON ISS		10000
PER UTENZE ACQUA ED ENERGIA ELETTRICA		5500
PER DIREZIONE DEI LAVORI		16000
PER ARROTONDAMENTI ECC		188
	SOMMANO EURO	**76.080**
	TOTALE EURO	**350.000**

Prendendo atto che:

- per il finanziamento dell'opera saranno utilizzati i fondi a disposizione sul capitolo 2020010908001 (oggi capitolo 09082.02.01001);

- che con successiva determinazione n. 3715 del 19.12.2017 sono state impegnate le somme per:

    a) l'intervento di pump & treat affidato alla ditta B Energy S.P.A. per un importo di Euro 43.120,00 comprensivo di IVA al 10%;
    b) l'incarico per gli studi e rilievi propedeutici alla collaborazione con l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) affidato alla Dott.ssa Lara Gea Valsecchi per un importo totale di Euro 7.000,00 comprensivo di rimborsi spese;
    c) Il rimborso spese all'ISS per un importo di Euro 3.000,00 riservandosi di affidare a Marche Multiservizi il servizio per la predisposizione del bando di gara e per la conseguente esecuzione dei lavori previsti nel quadro economico.

- che con successiva determinazione n. 198 del 5.02.2018 è stato dato mandato per la predisposizione del bando di gara e per la conseguente esecuzione dei lavori previsti nel quadro economico impegnando a favore di Marche Multiservizi la somma di Euro 291.380,00 pari ad Euro: 350.000,00 – 43.120,00 – 7.000,00 – 3.000,00 – 5.500,00 (impegno n. 665/2018 – sotto imp. n. 3171/2018);

- che con successiva determinazione n. 3592 del 14.12.2018 è stato assunto al capitolo 09082.02.01.01001 con imp. n. 5803 un ulteriore finanziamento per Euro 3874,44 e con imp. n. 585 ulteriore impegno per Euro 26.860,35;

- che con nota PEC prot. n. 36435 del 05.04.2018 l'Istituto Superiore di Sanità ha depositato il documento "Analisi di Rischio sanitario ambientale sito-specifica applicata all'area ex AMGA", successivamente integrato con nota PEC prot. n. 91373 del 05.09.2018, in riscontro alla richiesta di collaborazione formalizzata con nota prot. n. 0022421 del 25.07.2017 suggerendo l'applicazione di un intervento alternativo di biorisanamento, ambientalmente compatibile ed economicamente sostenibile;

- che previa convocazione tramite nota PEC prot. n. 126093 del 06/12/2018 del Comune di Pesaro, Servizio Sicurezza ed Ambiente – U.O. Ambiente, in data 14/01/2019 si è riunita, ai sensi dell'art. 14 bis e seguenti della L. 7/8/1990 n. 241 e s.m.i. e dell'art. 242 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., la Conferenza dei Servizi per l'esame del documento di cui al punto precedente;

- che in sede di Conferenza dei Servizi del 14.01.2019 è stata approvata l'Analisi di Rischio elaborata dall'Istituto Superiore di Sanità per il sito inquinato ex AMGA, con l'esclusione delle conclusioni descritte dall'Istituto Superiore di Sanità circa gli interventi suggeriti in merito alla applicazione di un intervento alternativo di biorisanamento, ambientalmente compatibile ed economicamente sostenibile, in quanto profilo estraneo alla fase del procedimento di approvazione della Analisi di Rischio;

- che dal sopracitato documento di Analisi di Rischio si evince:

"[…] L'applicazione dell'analisi di rischio in modalità diretta ed inversa ha quindi evidenziato:

1. *Rischi eccedenti i livelli di accettabilità per diversi contaminanti cancerogeni e non cancerogeni, associati all'inalazione di vapori da falda in ambienti confinati (indoor) da parte di un recettore residenziale on-site;*
2. *Superamenti delle Concentrazioni Rappresentative alla Sorgente (CRS) rispetto alle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) sito specifiche per diversi contaminanti, cancerogeni e non cancerogeni, calcolate per la sorgente di contaminazione Suolo (Superficiale e Profondo) considerando i percorsi potenzialmente attivi in sito.*

In accordo a quanto riportato all'Art. 240 comma 1, lettera-e del Titolo V alla Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006, l'Area in oggetto è da considerarsi contaminata. […]";

- che con determinazione n. 218 del 06/02/2019 si è proceduto alla presa d'atto della approvazione dell'Analisi di Rischio da parte della sopracitata Conferenza dei Servizi;

- che, ai sensi dell'art. 242 del D.Lgs. 152/2006, entro sei mesi dall'approvazione dell'Analisi di Rischio dovrà essere elaborato un aggiornamento dell'originario Progetto di Bonifica approvato in data 07.08.2014 che tenga conto delle problematiche emerse dall'Analisi di Rischio;

- che con nota PEC n. 14578 del 11.02.2019, al fine di proseguire con la bonifica del sito contaminato ex-AMGA, il Comune di Pesaro ha richiesto ad ARPA MARCHE, in virtù della Legge Regionale n.60 del 1997 di istituzione dell'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale delle Marche (ARPAM), un supporto tecnico-scientifico per l'individuazione della migliore tecnologia di intervento, ambientalmente compatibile ed a costi sostenibili, da applicare al sito contaminato ex-AMGA e da individuarsi sulla base dei criteri riportati in Allegato III alla Parte IV del D.Lgs 152/2006, nonché in riferimento a quanto emerso nel documento "Analisi di Rischio sanitario ambientale sito-specifica applicata all'area ex AMGA" predisposto dall'Istituto Superiore di Sanità;

- che con nota PEC n. 20766 del 26.02.2019 ARPA MARCHE ha risposto alla sopra citata richiesta richiamando quanto già suggerito dall'Istituto Superiore di Sanità con nota prot. n. 36435 del 05.04.2018 in merito all'applicazione sul sito di interventi di biorisanamento, specificando che *"(…) il ricorso a interventi di "gentle remediation" quali le tecniche di fitorimedio, o più in generale biorimedio, oltre a rispondere a numerosi dei requisiti richiesti dall'Allegato III alla Parte IV del D.Lgs 152/2006, consentono anche un buon allineamento con i criteri di economia circolare e di sostenibilità, presentando costi contenuti e accettabilità sociale*.";

- che in forza della sopra richiamata nota di ARPA MARCHE, l'Amministrazione Comunale concorda che l'aggiornamento del progetto di bonifica approvato in data 07.08.2014 debba prevedere l'applicazione di tecniche di fitorimedio, ambientalmente compatibili ed economicamente sostenibili;

- che il Servizio Sicurezza e Ambiente ha provveduto, a tal fine, ad approfondire la tematica di cui sopra anche attraverso la partecipazione a Workshop nazionali dove ha potuto prendere contatti con Enti che hanno sviluppato importanti esperienze in materia di fitorimedio tra cui il Dipartimento per l'Innovazione dei Sistemi Biologici Agroalimentari e Forestali (DIBAF) della Università degli studi della Tuscia di Viterbo.

- Richiamato l'art. 15 della legge n. 241/90 e successive modifiche ed integrazioni, il quale dispone che le amministrazioni pubbliche possono concludere tra loro accordi per lo svolgimento in collaborazione di attività di interesse comune;

- atteso a tal proposito che:

- il citato art. 15 prefigura un modello convenzionale attraverso il quale le pubbliche amministrazioni coordinano l'esercizio di funzioni proprie in vista del raggiungimento di un risultato comune (Cass. Civ. 13 luglio 2006 15893): modello che si caratterizza per la flessibilità dello strumento negoziale, in grado di consentire la realizzazione di interazioni effettive tra i soggetti pubblici stipulanti, e per lo svolgimento di un ruolo attivo da parte dei suddetti soggetti, anche se non necessariamente nella stessa misura, con la conseguente effettiva divisione di compiti e responsabilità;

- nella determinazione n. 7/2010 dell'AVCP (ora ANAC) sull'applicazione dell'art. 15 della legge n. 241/90, si sostiene, con particolare riferimento alla nozione di "interesse comune" di cui al primo comma dell'articolo, che la formulazione, per quanto generica, sotto il profilo oggettivo pare circoscrivere, per le pubbliche amministrazioni, la possibilità di stipulare accordi alle ipotesi in cui occorra disciplinare un'attività che risponde non solo all'interesse di entrambe le parti ma che è anche comune. In proposito si specifica che il citato articolo 15 delinea *"un modello convenzionale attraverso il quale le pubbliche amministrazioni coordinano l'esercizio di funzioni proprie in vista del conseguimento di un risultato comune in modo complementare e sinergico";*

- negli ulteriori pareri formulati dall'ANAC sugli accordi ex art. 15 legge n. 241/90, in particolare parere del 27/04/2014 ed il parere del 7/10/2015, tra l'altro si sottolinea che i movimenti finanziari tra i soggetti che sottoscrivono l'accordo devono configurarsi solo come ristoro delle spese sostenute, essendo escluso il pagamento di un vero e proprio corrispettivo, comprensivo di un margine di guadagno;

- le nuove direttive europee del Parlamento Europeo e del Consiglio del 26 febbraio 2014 (2014/23/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, 2014/24/UE sugli appalti pubblici e 2014/25/UE sulle procedure d'appalto nei settori speciali) hanno definito con maggiore dettaglio le connotazioni dell'istituto in esame;

- il nuovo codice dei contratti pubblici di cui al D.Lgs. n.50/2016, con cui sono state recepite le succitate direttive comunitarie, all'art. 5 dispone che un accordo concluso esclusivamente tra due o più amministrazioni aggiudicatrici non rientra nell'ambito di applicazione del medesimo codice, quando sono soddisfatte tutte le seguenti condizioni:

    a) l'accordo stabilisce o realizza una cooperazione tra le amministrazioni aggiudicatrici o gli enti aggiudicatori partecipanti, finalizzata a garantire che i servizi pubblici che essi sono tenuti a svolgere siano prestati nell'ottica di conseguire gli obiettivi che essi hanno in comune;
    b) l'attuazione di tale cooperazione è retta esclusivamente da considerazioni inerenti all'interesse pubblico;
    c) le amministrazioni aggiudicatrici o gli enti aggiudicatori partecipanti svolgono sul mercato aperto meno del 20 per cento delle attività interessate dalla cooperazione.

- Che in considerazione alla complessità del caso, ai fini dell'aggiornamento dell'originario Progetto di Bonifica sopra richiamato, l'Amministrazione Comunale ha ritenuto di avviare una collaborazione istituzionale con ARPAM oltre che, per la sua comprovata esperienza in materia di fitorimedio, con il DIBAF dell'Università della Tuscia, attivando con tali soggetti una collaborazione ai sensi del sopra richiamato art. 15 della Legge n. 241 del 7/08/1990;

- che ARPA MARCHE e il DIBAF dell'Università della Tuscia hanno manifestato interesse a partecipare all'attività di bonifica mediante fitorimedio e quindi a rientrare nella sopracitata collaborazione, in considerazione delle reciproche competenze ed esperienze, con particolare riferimento alle bonifiche ambientali;

- il soprarichiamato progetto di bonifica, in virtù di quanto suggerito dall'ISS con nota prot. n. 36435 del 05.04.2018 e successivamente riconfermato da ARPA MARCHE con nota prot. n.20766 del 26.02.2019, dovrà prevedere l'impiego di tecniche di fitorimedio;

- la convenzione allegata prevede un contributo finalizzato a DIBAF per la parziale copertura dei costi sostenuti per le analisi microbiche eseguite preliminarmente alla predisposizione del progetto operativo di bonifica per un importo di Euro 27.000,00 (pari al 50% dei costi totali delle suddette analisi in quanto il restante 50% sarà a carico di DIBAF), inoltre qualora il progetto operativo di prosecuzione della bonifica fosse approvato dalla Conferenza di Servizi, DIBAF avrà titolo a ricevere dal Comune una ulteriore contribuzione a parziale copertura dei costi sostenuti per le analisi da svolgersi nel corso delle operazioni di biorisanamento, per un ulteriore importo di Euro 38.000,00 (anche in tal caso pari al 50% dei costi totali delle suddette analisi in quanto il restante 50% sarà a carico di DIBAF);

- analogamente la convenzione allegata prevede un contributo finalizzato ad ARPA MARCHE per la parziale copertura dei costi sostenuti per le analisi chimico fisiche eseguite preliminarmente alla predisposizione del progetto operativo di bonifica per un importo di Euro 13.000,00 (pari al 50% dei costi totali delle suddette analisi in quanto il restante 50% sarà a carico di ARPA MARCHE), inoltre qualora il progetto operativo di prosecuzione della bonifica fosse approvato dalla Conferenza di Servizi, ARPA MARCHE avrà titolo a ricevere dal Comune una ulteriore contribuzione a parziale copertura dei costi sostenuti per le analisi da svolgersi nel corso delle operazioni di biorisanamento, per un ulteriore importo di Euro 8.000,00 (anche in tal caso pari al 50% dei costi totali delle suddette analisi in quanto il restante 50% sarà a carico di ARPA MARCHE).

In relazione a quanto sopra esposto, il Servizio Sicurezza e Ambiente ha predisposto l'allegato schema di convenzione nonché, tenendo conto delle spese sinora sostenute e della disponibilità sul capitolo 09082.02.01001, il seguente quadro economico aggiornato che tiene conto sia delle attuali esigenze di prosecuzione ed implementazione del sistema di Pump&Treat attualmente presente che delle nuove esigenze manifestatesi e che prevede il finanziamento sia dei lavori che delle somme a disposizione per la convenzione e per il necessario proseguimento delle attività di collaborazione con l'Istituto Superiore di Sanità, che si sottopongono all'attenzione della Giunta Comunale per l'approvazione e per la condivisione del percorso avviato ai fini della prosecuzione della bonifica dell'area ex AMGA.

QUADRO ECONOMICO DEI LAVORI DI BONIFICA DELL'AREA EX AMGA

PER NOLO E GESTIONE DELLE ATTIVITA DI PUMP & TREAT ED IMPLEMENTAZIONE DELLO STESSO	105.000	
PER LAVORI DA ESEGUIRSI A SEGUITO DELL'APPROVAZIONE DEL PROGETTO COME DA PROGETTAZIONE CONGIUNTA COMUNE-ARPAM-DIBAF	65.000	
	SOMMANO EURO	**170.000**
SOMME A DISPOSIZIONE		
IVA 10*% (risoluzione del 12.09.2007 n. 247 Agenzia delle Entrate – Corte di Cassazione , sentenza n. 15948 del 23.10.2003)*	17000	
PER CONTRIBUTO COME DA CONVENZIONE COMUNE-ARPAM-TUSCIA	86000	
PER COLLABORAZIONE CON ISS	18500	
PER DIREZIONE DEI LAVORI	8500	
	SOMMANO EURO	**130.000**
	TOTALE EURO	**300.000**

Ciò premesso si invita la Giunta Comunale a voler deliberare:

1. Di prendere atto delle premesse, quale parte integrante e sostanziale del presente atto;

2. Di approvare l'allegato schema di convenzione per la collaborazione fra enti impostato dal Servizio Sicurezza e Ambiente ai sensi dell'art 15 della Legge 241/90, condividendo il percorso avviato dal Servizio stesso, fatta salva l'approvazione del previsto progetto da sottoporsi alla Conferenza dei Servizi ai sensi del D.Lgs. 152/2006;

3. Di autorizzare il Dirigente del Servizio Sicurezza e Ambiente alla sottoscrizione della Convenzione di cui al punto 2;

4. Di Approvare il sopra riportato quadro economico, prendendo atto che per il finanziamento dell'opera saranno utilizzati i fondi a disposizione del capitolo 09082.02.01001 e che dalla delibera in oggetto non ci saranno ulteriori oneri a carico del bilancio comunale;

5. Di demandare al Dirigente del Servizio Sicurezza e Ambiente la predisposizione degli atti necessari per il proseguimento dell'iter avviato per la prosecuzione degli interventi di bonifica dell'ex AMGA;

6. Di riservarsi di quantificare successivamente alla presentazione ed approvazione del progetto da parte della Conferenza dei Servizi l'importo relativo al proseguimento e/o completamento dei lavori di bonifica dell'area EX AMGA;

7. Di prendere atto che il Responsabile del Procedimento è l'Ing. Stefano Gioacchini, Dirigente del Servizio Sicurezza e Ambiente del Comune di Pesaro;

8. Di dare atto dell'urgenza rendendo l'atto immediatamente esecutivo.

""

- Ritenuto di provvedere in conformità;
- Visti i seguenti pareri espressi ai sensi dell'art. 49, comma 1, del Testo Unico delle leggi sull'ordinamento degli enti locali emanato con D.Lgs. 18.08.2000, n. 267:
  - Responsabile del Servizio interessato: "Si attesta la regolarità tecnica del presente atto";
  - Responsabile del Servizio Finanziario: "Atteso che dal presente atto non emergono ulteriori oneri a carico del bilancio comunale, valutati i riflessi diretti o indiretti sulla situazione economico-finanziaria dell'ente, si attesta la regolarità contabile del presente atto (art. 49 c.1-art. 147-bis-c.1, TUEL)";

Visto il seguente parere espresso dal Vice Segretario Generale in ordine alla conformità dell'azione amministrativa alle leggi, allo statuto ed ai regolamenti ai sensi dell'art. 97, comma 2, D.Lgs 267/2000: "Favorevole";

Con voti unanimi espressi nei modi di legge

D E L I B E R A

1. Di prendere atto delle premesse, quale parte integrante e sostanziale del presente atto;

2. Di approvare l'allegato schema di convenzione per la collaborazione fra enti impostato dal Servizio Sicurezza e Ambiente ai sensi dell'art 15 della Legge 241/90, condividendo il percorso avviato dal Servizio stesso, fatta salva l'approvazione del previsto progetto da sottoporsi alla Conferenza dei Servizi ai sensi del D.Lgs. 152/2006;

3. Di autorizzare il Dirigente del Servizio Sicurezza e Ambiente alla sottoscrizione della Convenzione di cui al punto 2;

4. Di approvare il sotto riportato quadro economico, prendendo atto che per il finanziamento dell'opera saranno utilizzati i fondi a disposizione del capitolo 09082.02.01001 e che dalla delibera in oggetto non ci saranno ulteriori oneri a carico del bilancio comunale:

QUADRO ECONOMICO DEI LAVORI DI BONIFICA DELL'AREA EX AMGA

PER NOLO E GESTIONE DELLE ATTIVITA DI PUMP & TREAT ED IMPLEMENTAZIONE DELLO STESSO	105.000
PER LAVORI DA ESEGUIRSI A SEGUITO DELL'APPROVAZIONE DEL PROGETTO COME DA PROGETTAZIONE CONGIUNTA COMUNE-ARPAM-DIBAF	65.000
SOMMANO EURO	**170.000**

SOMME A DISPOSIZIONE

IVA 10% *(risoluzione del 12.09.2007 n. 247 Agenzia delle Entrate – Corte di Cassazione , sentenza n. 15948 del 23.10.2003)*	17000	
PER CONTRIBUTO COME DA CONVENZIONE COMUNE-ARPAM-TUSCIA	86000	
PER COLLABORAZIONE CON ISS	18500	
PER DIREZIONE DEI LAVORI	8500	
SOMMANO EURO	**130.000**	
TOTALE EURO		**300.000**

5. Di demandare al Dirigente del Servizio Sicurezza e Ambiente la predisposizione degli atti necessari per il proseguimento dell'iter avviato per la prosecuzione degli interventi di bonifica dell'ex AMGA;

6. Di riservarsi di quantificare successivamente alla presentazione ed approvazione del progetto da parte della conferenza dei Servizi l'importo relativo al proseguimento e/o completamento dei lavori di bonifica dell'area EX AMGA;

7. Di dare atto che il Responsabile del Procedimento è l'Ing. Stefano Gioacchini, Dirigente del Servizio Sicurezza e Ambiente del Comune di Pesaro;

INOLTRE, all'unanimità;

D E L I B E R A

Di dichiarare il presente atto immediatamente eseguibile a norma dell'art. 134, comma 4, del T.U.E.L. emanato con D.Lgs. 18.08.2000, n. 267.

/ld

Letto, approvato e sottoscritto

Il Sindaco

Matteo Ricci

Il Vice Segretario Generale

Avv. Gianni L. M. Galdenzi

COMUNE di PESARO
Servizio Sicurezza e Ambiente
U.O. Ambiente

Fascicolo pratica 2017/6.9/5

Pesaro, 30/07/2019

OGGETTO: **D. Lgs. 152/2006 e s.m.i..**
Caso di inquinamento Area ex-Amga – Sottocomparto 1 in via Morosini

Verbale Tavolo Tecnico del 30/07/2019 per l'esame degli aggiornamenti connessi al progetto di bonifica, in elaborazione, come da convenzione approvata con Deliberazione di G.C. n. 46 del 05/03/2019.

L'anno duemiladiciannove (2019), il giorno trenta (30) del mese di luglio presso la sala riunioni del Servizio Sicurezza e Ambiente – U.O. Ambiente in Largo A. Moro n. 13 – Pesaro si è svolto il Tavolo Tecnico, per il caso di inquinamento dell'area ex-AMGA – sottocomparto 1, sita in via Morosini del Comune di Pesaro, ai fini dell'esame degli aggiornamenti connessi al progetto di bonifica, in elaborazione, come da convenzione approvata con Deliberazione di G.C. n. 46 del 05/03/2019;

Al medesimo risultano essere stati invitati a partecipare:

COMUNE DI PESARO;
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA, Dipartimento per la Innovazione nei sistemi biologici, agroalimentari e forestali (DIBAF);
PROVINCIA DI PESARO e URBINO, Servizio 3;
ARPAM, Dipartimento Provinciale di Pesaro - Servizio Rifiuti/Suolo;
ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ.

Risultano presenti, come da foglio delle presenze allegato al presente verbale:

Annarita Santilli, Antonio Detullio per COMUNE DI PESARO - U.O Ambiente;
Lara Gea Valsecchi, tecnico incaricato per conto del Comune di Pesaro;
Paolo De Angelis per UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA (DIBAF);
Elena Bracci per PROVINCIA DI PESARO e URBINO, Servizio 3;
Lia Didero, e Letizia Rocchi per ARPAM, Dipartimento Provinciale di Pesaro;
Eleonora Beccaloni e Federica Scaini per ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ.

L'Arch. Annarita Santilli, Responsabile dell' U.O. Ambiente, assume le funzione di presidente del Tavolo Tecnico. Di comune accordo è nominata segretaria, con compiti di predisposizione e redazione del verbale, la dott.ssa Lia Didero di ARPAM, che accetta l'incarico.

L'Arch. Annarita Santilli introduce l'oggetto riassumendo brevemente l'evolversi delle vicende che hanno portato alla stipula della Convenzione tra il Comune di Pesaro, l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente delle Marche (ARPAM) e il Dipartimento per la Innovazione nei Sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali (DIBAF) dell'Università degli Studi della Tuscia per la prosecuzione della bonifica del sito contaminato ex-AMGA. Il Presidente del Tavolo Tecnico specifica che con tale incontro si apre la *Fase 3* della suddetta Convenzione relativa alle "*Analisi ed accertamenti propedeutici al Progetto operativo*" ed invita quindi il Prof. Paolo De Angelis per l'Università della Tuscia (DIBAF) ad illustrare il documento "*relazione sull'esito delle indagini microbiologiche sui suoli del sito e impostazione dei test in microcosmi*" trasmesso via PEC e assunto agli atti del Comune di Pesaro al prot. n. 85824 del 30/07/2019.

Dopo aver illustrato i risultati ottenuti dalle indagini microbiologiche svolte, il Prof. Paolo De Angelis specifica che l'attività d'indagine microbiologica condotta sui suoli del sito ex-AMGA ha consentito di validare la fattibilità dell'intervento di bioaugmentation, fornendo anche i microrganismi autoctoni idonei all'impiego nelle diverse condizioni presenti.

Gli Enti partecipanti prendono atto di quanto esposto dal Prof. Paolo De Angelis.
Il Prof. Paolo De Angelis passa quindi a descrivere la messa in opera dell'intervento, anticipando quanto verrà riportato nel progetto operativo di bonifica che sarà presentato agli Enti ai fini della sua approvazione in

sede di Conferenza di Servizi; a tale proposito specifica che, data la larga presenza sul sito di materiale laterizio a grana grossolana, per creare le trincee necessarie per l'inserimento dell'inoculo occorrerà dotarsi di un frantumasassi. Tali trincee avranno una profondità di 50 cm e una larghezza di circa 1 metro e tutta l'operazione di rimescolamento del materiale mediante frantumasassi e successiva inoculazione verrà gestita mediante l'impiego, in contemporanea, di un nebulizzatore al fine di garantire l'abbattimento delle polveri sospese che potrebbero originarsi dal rimescolamento del terreno stesso.

Gli Enti partecipanti al Tavolo Tecnico concordano sull'importanza dell'impiego del nebulizzatore e ritengono che, al fine di ridurre al minimo la movimentazione del materiale, il frantumasassi dovrà essere impiegato solo lungo le trincee che si renderanno necessarie per l'inserimento dell'inoculo mentre, dove non sussiste tale necessità ovvero per la sola piantumazione delle specie vegetali selezionate, si potrà lavorare con una semplice trivella.

Il Prof. Paolo De Angelis specifica che la ghiaia presente sul sito (ad esempio quella che forma l'attuale rampa di accesso e quindi materiale inserito sul sito in tempi più recenti rispetto alla contaminazione e di conseguenza da ritenersi "pulito") sarà riutilizzata in sito per tutte le operazioni di riempimento che si renderanno necessarie e per la realizzazione della nuova rampa di accesso. Gli Enti partecipanti al Tavolo, dopo una breve discussione, convengono che al fine del riutilizzo della ghiaia questa dovrà essere sottoposta ad una operazione di pulitura che potrà realizzarsi mediante l'impiego di un setaccio a vibrazione ritenuto più adatto rispetto alla più problematica attività di lavaggio che implicherebbe di dover affrontare anche la questione della gestione delle acque. La pulitura mediante setaccio a vibrazione dovrà comunque avvenire contestualmente all'impiego di un nebulizzatore che si renderà necessario per l'abbattimento delle polveri.

La Dott.ssa Eleonora Beccaloni per l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) precisa che, essendo tutta l'area sottoposta ad intervento di bonifica, lo spostamento di materiale ghiaioso da un punto ad un altro del sito non implica problematiche aggiuntive; tale materiale non dovrà pertanto essere classificato come rifiuto.

Il Prof. Paolo De Angelis precisa che il materiale di riempimento collocato presso le due aree di scavo A e B oggetto del precedente intervento di bonifica di Dig&Dump, non verrà rimosso bensì fungerà da nuovo habitat per le specie vegetali che verranno impiantate sullo stesso.

Gli Enti partecipanti al Tavolo Tecnico concordano nel ritenere che il manufatto in cemento presente attualmente sul sito dovrà essere rimosso e portato via come rifiuto inerte; a tale scopo non sarà necessaria la caratterizzazione dello stesso ma semplicemente l'attribuzione del corretto codice CER da parte del produttore del rifiuto. Stessa sorte spetterà ai ferri rimasti sul sito e risalenti alla attività di costruzione antecedente al rinvenimento della contaminazione dell'area. A tale proposito gli Enti convengono che il progetto di bonifica dovrà prevedere un capitolo dedicato dove dovranno essere descritti e classificati i vari rifiuti che si produrranno per consentire la messa in opera del progetto di bonifica stesso. Gli Enti ritengono inoltre che nel progetto dovranno essere descritte anche tutte quelle opere di assetto morfologico e di modellamento che si renderanno via via necessarie.

Per quanto riguarda la vegetazione presente attualmente sull'area, il Prof. De Angelis specifica che essa continuerà ad essere trattata nello stesso modo in cui è stata trattata fino ad ora ovvero come sfalcio; a tale proposito precisa che il materiale vegetale da sfalcio potrà essere cippato e riutilizzato in sito come apporto di sostanza organica per il terreno, anche nell'ottica dell'Economia Circolare. Gli Enti partecipanti al Tavolo Tecnico prendono atto di quanto anticipato dal Prof. Paolo De Angelis e ritengono opportuno che tutte le attività che si intenderanno svolgere per il riutilizzo della vegetazione vengano dettagliatamente motivate all'interno del Progetto di Bonifica.

La Dott.ssa Lia Didero per ARPAM - Dipartimento Provinciale di Pesaro, in merito al monitoraggio dei Gas dai suoli ritiene utile che lo stesso venga condotto mediante l'impiego di camere di flusso, ipotizzando anche una possibile collaborazione tra le ARPA per il reperimento della strumentazione necessaria. ARPAM e ISS concordano nel ritenere che i contaminanti da prendere in considerazione come indicatori per tale monitoraggio siano i composti volatili dal momento che l'inalazione è e rimane la principale via di esposizione della contaminazione stessa. Per quanto riguarda invece i contaminanti persistenti bisognerà prevedere un possibile aumento della loro concentrazione legato all'incremento della sostanza organica

presente sul sito. Gli IPA da ricercare mediante monitoraggio dovranno comunque essere quelli previsti dalla normativa vigente.

La Dott.ssa Eleonora Beccaloni per l'ISS chiarisce che trattandosi di un intervento di biorisanamento non è corretto parlare di collaudo finale anche dal momento che le CSR che sono state calcolate mediante l'applicazione dell'Analisi di Rischio non sono da considerarsi come degli obiettivi di bonifica; queste sono infatti state calcolate esclusivamente con l'obiettivo di valutare se e quanto il sito fosse ancora contaminato. La Dott.ssa Beccaloni suggerisce pertanto alla Provincia di entrare fin da subito nel merito del percorso che si sta costruendo insieme ai vari Enti e che, al termine dell'intervento di biorisanamento, il collaudo finale potrebbe essere sostituito da una relazione tecnica, redatta dalla stessa Provincia, dalla quale si dovrà fare emergere tutto quello che è stato compiuto sul sito, le limitazioni d'uso dell'area e le relative prescrizioni.

La Dott.ssa Lia Didero per ARPAM suggerisce che nel progetto di bonifica debba comunque essere fissato un termine temporale entro cui programmare una "previsione di verifica"; il progetto dovrà infatti prevedere un monitoraggio in corso d'opera che permetterà di definire quali siano i contaminanti maggiormente recalcitranti all'intervento e quale la cinetica di degradazione dei vari inquinanti indagati; con lo stesso monitoraggio si potrà inoltre valutare anche l'accettabilità dei vari scenari di restituzione dell'area ed eventualmente prevedere una restituzione dell'area alla cittadinanza per lo specifico scenario che, in base agli esiti del monitoraggio, possa essere ritenuto accettabile, stabilendo eventuali limitazioni di utilizzo dell'area. Dal punto di vista sanitario l'ISS specifica infatti che, se dal monitoraggio emergesse una concentrazione di composti volatili non significativa, l'area potrebbe effettivamente essere resa fruibile per quello specifico scenario. Solo trascorso il periodo di tempo fissato nel progetto di bonifica si potrà fare una valutazione sulle concentrazioni dei contaminanti eventualmente rimaste nelle matrici ambientali e quindi prevedere l'applicazione di una Analisi di Rischio sulla contaminazione residua che vada, in questo caso, anche a definire gli specifici obiettivi di bonifica a cui tendere.

Il Prof. Paolo De Angelis specifica che il termine temporale dell'intervento potrà essere stabilito sulla base della capacità di diffusione della vegetazione la quale normalmente impiega dai 4 ai 6 anni per attecchire e formare un vero e proprio sistema trasformato.

Per quanto riguarda la bonifica delle acque sotterranee il Prof. Paolo De Angelis comunica che il progetto di bonifica prevederà la realizzazione di barriere permeabili bioreattive che andranno ad intercettare la falda e chiarisce che, nel caso in cui l'ossigeno risultasse limitante, potrebbe essere valutata la possibilità di adottare un meccanismo di insufflazione di aria nelle trincee. Il Prof. De Angelis chiarisce inoltre che il sistema di trattamento acque mediante P&T rimarrà attivo anche durante l'intervento di biorisanamento e la linea di fitodepurazione prevista all'interno del laghetto fungerà da finissaggio delle acque già trattate e quindi pulite in uscita dal P&T. Il progetto di bonifica/biorisanamento prevederà inoltre due linee di irrigazione: una superficiale per garantire l'attecchimento delle piante (necessaria solo per i primi due anni) e l'altra sub-superficiale (a 20-30 cm di profondità) per consentire l'inoculazione ed il mantenimento di un livello ottimale di umidità del suolo. Per quanto riguarda la realizzazione delle trincee, il Prof. Paolo De Angelis specifica che, mentre il suolo insaturo, che verrà temporaneamente rimosso, potrà essere riutilizzato per ricoprire la stessa trincea, la parte di suolo insaturo rimossa verrà invece smaltita come rifiuto.

Gli Enti partecipanti al Tavolo Tecnico prendono atto di quanto riportato dal prof. Paolo De Angelis e concordano sull'importanza di proseguire con l'attività di monitoraggio dell'aria off-site attualmente svolta da ARPAM mediante campionatori passivi (radielli), eventualmente prevedendo di integrare lo stesso monitoraggio con l'indagine di ulteriori parametri da definirsi in corso d'opera.

Al termine della discussione gli Enti concordano nel fissare un ulteriore incontro per la fine di settembre.

Il Tavolo Tecnico si conclude alle ore 13.30.

Il Presidente del Tavolo Tecnico
Responsabile U.O. Ambiente
Arch. Annarita Santilli

Il Segretario del Tavolo Tecnico
Dott.ssa Lia Didero

TAVOLO TECNICO DEL 30.07.2019, ORE 09:00

AREA EX AMGA (PESARO) _ INCONTRO PER AGGIORNAMENTO PROGETTO

NOME	COGNOME	ENTE/AZIENDA	EMAIL	TELEFONO	FIRMA
ANNARITA	SANTILLI	COMUNE DI PESARO	a.santilli@comune.pesaro.pu.it	0721/387575	[signature]
FEDERICA	SCAINI	ISS	federica.scaini@iss.it	0649902212	[signature]
ELEONORA	BECCALONI	ISS	eleonora.beccaloni@iss.it	0649902770	[signature]
PAOLO	De ANGELIS	DIBAF UNIV. TUSCIA	PDA@UNITUS.IT	0761 357292	[signature]
DARIO	LIBERATI	DIBAF UNIV. DELLA TUSCIA	DARIOLIBERATI@UNITUS.IT	"	[signature]
ELENA	BRACCI	Provincia PU	e.bracci@provincia.ps.it	0721 3592731	[signature]
LETIZIA	ROCCHI	ARPAM PU	letizia.rocchi@ambiente.marche.it	0721 3999520	[signature]
LIA	DIDEO	LI	lia.dideo@ambiente.marche.it	0721 3999545	[signature]
LARAGEA	VALSECCHI	PER COMUNE DI PESARO	laragea.valsecchi@gmail.com		[signature]

COMUNE DI PESARO
Servizio Sostenibilità e Servizi ai cittadini e alle imprese
U.O. Ambiente e Energia

Fascicolo pratica 2017/6.9/5

Pesaro, 10/12/2019

OGGETTO: **D. Lgs. 152/2006 e s.m.i..**
Caso di inquinamento Area ex-Amga – Sottocomparto 1 in via Morosini

Verbale Tavolo Tecnico del 10/12/2019 per l'esame degli aggiornamenti connessi al progetto di bonifica, in elaborazione, come da convenzione approvata con Deliberazione di G.C. n. 46 del 05/03/2019.

L'anno duemiladiciannove (2019), il giorno dieci (10) del mese di dicembre presso la sala riunioni del Servizio Sostenibilità e servizi ai cittadini e alle imprese – U.O. Ambiente e Energia in Largo A. Moro n. 13 – Pesaro si è svolto il Tavolo Tecnico, per il caso di inquinamento dell'area ex-AMGA – sottocomparto 1, sita in via Morosini del Comune di Pesaro, ai fini dell'esame degli aggiornamenti connessi al progetto di bonifica, in elaborazione, come da convenzione approvata con Deliberazione di G.C. n. 46 del 05/03/2019;

Al medesimo risultano essere stati invitati a partecipare:

COMUNE DI PESARO;
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA, Dipartimento per la Innovazione nei sistemi biologici, agroalimentari e forestali (DIBAF);
PROVINCIA DI PESARO e URBINO, Servizio 3;
ARPAM, Dipartimento Provinciale di Pesaro - Servizio Rifiuti/Suolo;

Risultano presenti, come da foglio delle presenze allegato al presente verbale:

Marco Fattore, Annarita Santilli, Antonio De Tullio, Lara Gea Valsecchi per COMUNE DI PESARO - U.O Ambiente e Energia;
Paolo De Angelis per UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA (DIBAF);
Raffaella Savelli per PROVINCIA DI PESARO e URBINO, Servizio 3;
Giorgio Catenaci, Patrizia Ammazzalorso, Lia Didero, Elisabetta Ballarini, Letizia Rocchi per ARPAM, Dipartimento Provinciale di Pesaro;

Il Dott. Marco Fattore, Dirigente del Servizio Sostenibilità e servizi ai cittadini e alle imprese, assume le funzioni di presidente del Tavolo Tecnico. Di comune accordo è nominata segretaria, con compiti di predisposizione e redazione del verbale, la dott.ssa Lia Didero di ARPAM, che accetta l'incarico.

Annarita Santilli, per il Comune di Pesaro, introduce l'oggetto dell'incontro riassumendo brevemente tutte le attività che si sono svolte a seguito della stipula della Convenzione tra il Comune di Pesaro, l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente delle Marche (ARPAM) e il Dipartimento per la Innovazione nei Sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali (DIBAF) dell'Università degli Studi della Tuscia per la prosecuzione della bonifica del sito contaminato ex-AMGA.

Marco Fattore specifica che la suddetta Convenzione si sta avviando verso la conclusione della sua "Fase 4" che prevede l'elaborazione del Progetto Operativo di Bonifica e la sua presentazione in Conferenza di Servizi ai fini della sua approvazione ai sensi del D.Lgs. 152/2006. Il Presidente del Tavolo Tecnico chiarisce che il ritardo accumulato per la presentazione di tale Progetto (Fase 4) è da imputare alla necessità di approfondimenti emersi in corso d'opera (opportunità di effettuare analisi inizialmente non previste sui microcosmi relativi alle acque sotterranee, alla necessità di procedere ad analisi supplementari sulle matrici che si sono sovrapposti a alcune problematiche strettamente connesse ad aspetti tecnico-laboratoristici, in particolare la chiusura temporanea dei laboratori di ARPAM (dal 20/09/2019 al 15/10/2019) dovuta ad una riorganizzazione interna.

Marco Fattore, per il Comune di Pesaro, verificato che uno dei principali obiettivi del Progetto di Bonifica risulta essere quello di rendere l'area nuovamente fruibile in sicurezza, propone agli Enti presenti all'incontro

di valutare la possibilità di prevedere, all'interno della stessa area ex AMGA, la realizzazione di un *percorso didattico*, accompagnato da apposita cartellonistica illustrativa, finalizzato ad informare e a far conoscere alle scuole ed alle Università la concreta applicazione della innovativa tecnologia di "*phytoremediation*" ad un sito ex-industriale situato all'interno di un'area urbana. Il percorso didattico ipotizzato permetterebbe di restituire l'area ai cittadini in tempi più brevi rispetto a quelli previsti per il completamento della bonifica, ottemperando così all'esigenza di rendere l'area nuovamente fruibile in sicurezza, seppur con specifiche limitazioni di orario e di utilizzo. Fattore specifica che con la realizzazione di tale percorso didattico il progetto, oltre a garantire il completamento della bonifica dell'area ex AMGA, diventerebbe anche un ottimo strumento di divulgazione scientifica consentendo di promuovere concretamente, a livello didattico, la conoscenza di queste innovative tecniche finalizzate alla riqualificazione di un sito in bonifica.

ARPAM e il DIBAF dell'Università della Tuscia concordano sulla fattibilità di tale percorso didattico condividendone l'importanza ai fini scientifici. Entrambi specificano tuttavia che, almeno per un primo periodo (la prima stagione), l'area dovrà rimanere totalmente inaccessibile al fine di garantire sia l'attecchimento delle piante che l'esecuzione della prima fase di monitoraggio. In tale periodo la divulgazione/informazione potrà comunque essere garantita mediante l'apposizione di specifica cartellonistica informativa all'esterno dell'area. Il Professore De Angelis per il DIBAF chiarisce inoltre che lo stesso percorso didattico, di particolare interesse per l'attività di ricerca svolta dall'Università, dovrà comunque essere sorvegliato, prevedendo specifici orari di apertura e di chiusura, in modo tale da evitare qualsiasi possibile interferenza con l'attività di bonifica in corso.

Marco Fattore per il Comune specifica che al fine di poter procedere con l'attuazione delle attività di biorisanamento, fatta salva l'approvazione del Progetto da parte della Conferenza di Servizi ai sensi del d.lgs. n. 152/2006, dovranno essere previste anche specifiche opere strutturali che, seppur non incluse nel quadro economico approvato con DGC n. 46/2019 e successiva Determinazione n. 806 del 28/03/2019, risultano essere direttamente correlate al progetto di bio-risanamento in quanto necessarie a garantire sia l'accesso all'area da parte dei lavoratori che una efficace perimetrazione e messa in sicurezza del sito interessato da intervento di bonifica. A tale proposito il Presidente del Tavolo Tecnico specifica che tra le opere strutturali che si renderanno necessarie vi sono: la realizzazione di una gabbionata di contenimento lungo tutto il versante di via Morosini, la quale sarà composta da moduli autoportanti e permetterà il consolidamento e la protezione di tutta la scarpata, attualmente instabile; la realizzazione di una nuova recinzione perimetrale in sostituzione di quella attuale, ormai usurata dal tempo; una griglia di schermatura dell'impianto di P&T che continuerà a rimanere attivo durante tutto l'intervento di fitorimedio; la realizzazione di un adeguato impianto di illuminazione al fine di garantire la sicurezza dell'area in bonifica anche durante il periodo notturno.

Gli Enti firmatari della Convenzione prendono atto della necessità di realizzare tali opere strutturali a supporto dell'attività di bonifica dell'area e ne condividono l'importanza.

Marco Fattore, considerata la particolare posizione dell'area in bonifica in prossimità di strade particolarmente trafficate, chiede al Professore De Angelis se, tra le piante previste ai fini del fitorimedio, vi siano comprese anche delle specie arboree particolarmente efficaci nell'abbattimento delle polveri sottili. Il Professore De Angelis chiarisce che, oltre ai pioppi e ai frassini che risultano essere specie particolarmente adatte a svolgere tale funzione, in generale, tutta la vegetazione gioca un importante ruolo nell'abbattimento del particolato atmosferico. Per quanto riguarda la qualità dell'aria, ARPAM comunica che tra i monitoraggi programmati all'interno del progetto di bonifica potrebbe essere prevista anche un'analisi del particolato, sia ex-ante che ex-post, con lo scopo di riuscire a studiare, a livello sperimentale, la capacità delle piante di intrappolare il particolato atmosferico. Tale aspetto, seppur non direttamente correlato con la bonifica del sito, potrebbe essere inserito nel progetto come valore sperimentale aggiunto.

Il Presidente del Tavolo Tecnico lascia quindi la parola al Professore Paolo De Angelis, per il DIBAF, che inizia ad illustrare agli Enti le nuove Tavole Tecniche descrittive degli elementi progettuali e della loro esatta collocazione sul sito, compresa la Tavola, già richiesta in un precedente incontro, relativa all'individuazione di tutti i punti di campionamento del suolo (superficiale e profondo), inclusi quelli che, durante le precedenti indagini ambientali, non avevano rilevato superamenti rispetto alle CSC. Dopo aver brevemente illustrato gli ultimi aggiornamenti relativi alla caratterizzazione metagenomica della comunità microbica presente nei suoli campionati, il Professore rende inoltre noto ai presenti che, attualmente, si stanno attendendo gli esiti delle ultime analisi riferite al cosiddetto "tempo 2".

Oltre a ciò, De Angelis fa emergere la problematica riscontrata a seguito delle ultime analisi delle acque sotterranee campionate dai piezometri installati sul sito, le quali avevano rilevato un'elevata salinità dell'acqua di falda prelevata dal piezometro PM5, attualmente in emungimento dall'impianto di Pump&Treat. Gli Enti prendono quindi atto di tale problematica riservandosi la possibilità di valutare l'opportunità dell''esclusione del piezometro PM5 dalla barriera idraulica del sistema di messa in sicurezza in seguito all'implementazione già realizzata del PM8 (la MISE attualmente, prevede l'emungimento dai piezometri: PM1, PM5, PM7 e PM8).

Per quanto riguarda gli aspetti più prettamente progettuali, De Angelis specifica che l'unica effettiva movimentazione di terreno prevista sarà quella derivante dallo scavo necessario per la realizzazione del bio-lago. Il terreno rimosso sarà quindi riutilizzato all'interno dello stesso sito in bonifica per andare a contenere il bambù che per sua natura risulta essere una pianta altamente invasiva. Il bio-lago avrà una profondità di circa 80 cm dall'attuale piano campagna con una capacità di 86 m^3; il suo costante riempimento sarà garantito dall'acqua filtrata proveniente dall'impianto di P&T avente una portata di 1,7 m^3/h, più che sufficiente a garantire il regolare riempimento dello stesso lago. Il bio-lago, oltre ad avere la funzione di finissaggio dell'acqua filtrata in uscita dal P&T, consentirà, in prospettiva, di ridurre la necessità dello stesso impianto di MISE; la sua acqua sarà inoltre utilizzata per irrigare la vegetazione prevista per l'intervento di fitorimedio. Per quanto riguarda l'irrigazione, saranno previste due linee: una superficiale, controllata da una rubinetteria a valvole manuali, ed una sub-superficiale (a 20-40 cm di profondità) controllata da rubinetteria automatica. Mentre l'irrigazione superficiale rimarrà attiva solamente durante il primo periodo necessario all'attecchimento delle piante, quella sub-superficiale accompagnerà invece tutta la durata della bonifica in quanto necessaria sia a garantire il mantenimento dell'ideale condizione di umidità del terreno, che a bilanciare il consumo idrico delle piante poste in corrispondenza delle trincee.

La Dott.ssa Savelli per la Provincia di Pesaro e Urbino chiede chiarimenti in merito al terreno che verrà rimosso ai fini della realizzazione delle trincee. De Angelis spiega che, come già chiarito e condiviso con gli Enti presenti al precedente Tavolo Tecnico del 30/07/2019, il suolo insaturo che verrà temporaneamente scavato sarà immediatamente riposizionato nelle stesse trincee a fini di bonifica; il suolo saturo verrà invece rimosso definitivamente e potrà essere smaltito come rifiuto. Il Professore De Angelis chiarisce che tutti i lavori di scavo e di movimentazione del terreno saranno accompagnati da una specifica ed attenta attività di monitoraggio. Inoltre, al fine di ridurre al minimo la formazione di polveri sospese, i lavori di scavo e di movimentazione terreno non saranno realizzati nel periodo estivo e saranno gestiti, in contemporanea, mediante l'ausilio di un apposito nebulizzatore.

La Dott.ssa Savelli chiede informazioni sulla tempistica prevista per l'intervento di bio-risanamento e su quali siano gli obiettivi di bonifica previsti a cui si dovrà fare riferimento ai fini del collaudo finale dell'intervento. ARPAM chiarisce che, come già condiviso nel precedente Tavolo Tecnico del 30/07/2019 e concordato anche con l'Istituto Superiore di Sanità, nel progetto di bonifica sarà fissato un termine temporale di circa 5 anni al termine del quale dovrà essere programmata una "previsione di verifica". Durante questi 5 anni dovrà essere prevista un'intensa attività di monitoraggio che permetterà via via di valutare l'accettabilità dei vari scenari di restituzione dell'area alla cittadinanza ed eventualmente di prevedere una restituzione dell'area per uno specifico scenario che, in base agli esiti del monitoraggio, potrà essere ritenuto accettabile, anche prevedendo eventuali limitazioni di utilizzo. Solo al termine di questi 5 anni si potrà procedere con una valutazione delle concentrazioni dei contaminanti eventualmente rimaste nelle matrici ambientali e quindi prevedere l'applicazione di una Analisi di Rischio sulla contaminazione residua che vada, in questo caso, anche a definire gli specifici obiettivi di bonifica a cui tendere. La dott.ssa Savelli prende atto di quanto esposto in attesa di valutare il progetto nella sua completezza.

Il Dirigente Marco Fattore rende noto agli Enti che tale intervento di bio-risanamento non comporterà un cambiamento della attuale destinazione d'uso urbanistica che pertanto rimarrà di tipo residenziale.

L'Arch. Annarita Santilli per il Comune di Pesaro rende noto che il Comune non ha ancora ricevuto da ARPAM gli esiti delle indagini svolte sui terreni ed invita quindi la Stessa, in conformità a quanto stabilito dalla Convenzione, a trasmetterle al più presto.

Il Presidente del Tavolo Tecnico consegna agli Enti firmatari della Convenzione l'indice del Progetto di Bonifica, poi revisionato da ARPAM (parte integrante del presente verbale) che il Comune aveva già provveduto a trasmettere ad ARPAM e al DIBAF in data 07/10/2019. I Firmatari procedono quindi a ripartirsi i

vari argomenti che, in base alle proprie competenze, ciascun Ente dovrà approfondire al fine della stesura del Progetto Operativo di Bonifica. In particolare gli Enti convengono che:

- il Comune di Pesaro dovrà redigere la parte introduttiva del Progetto (dal punto 1 al punto 5 dell'indice) oltre che occuparsi della stesura delle successive sotto-sezioni relative alla descrizione degli *"elementi strutturali connessi all'intervento di biorisanamento"*, alla descrizione dei "*criteri di protezione dei lavoratori*" ed alla "*stima dei costi dell'intervento di bonifica"*. Spetterà inoltre al Comune, con il supporto tecnico di ARPAM, relazionare in merito a come verranno gestiti i materiali che saranno prodotti durante l'attività di bonifica (tipologia di rifiuti originati, gestione della biomassa vegetale ecc…);
- il DIBAF dovrà dedicarsi alla redazione di tutto il punto 6 dell'indice relativo alla descrizione dell'intervento di fitorimedio, anche entrando nel merito del "*piano temporale delle attività"* con l'individuazione dei "*tempi previsti per l'intervento di biorisanamento"* e riservandosi la possibilità di modificare/ampliare gli argomenti che sono attualmente individuati all'interno del punto 6 dello stesso indice. Il DIBAF si occuperà, inoltre, dell'elaborazione del piano di monitoraggio microbiologico e di quello relativo alla vegetazione e collaborerà con ARPAM alla stesura/elaborazione del Piano di Monitoraggio delle altre matrici ambientali.
- ARPAM, con il supporto tecnico del DIBAF, si occuperà specificatamente della sezione relativa al monitoraggio delle diverse matrici ambientali oltre che alla stesura della sotto-sezione relativa ai "*controlli post-operam e verifica della contaminazione residua"*. compreso quanto riguarda *l'impatto acustico* ed il *controllo/abbattimento delle polveri* che potrebbero originarsi in corso d'opera .

Al termine della discussione, Marco Fattore procede alla definizione di un cronoprogramma (parte integrante del presente verbale) finalizzato dapprima al deposito del Progetto di Bonifica ed alla sua approvazione in sede di Conferenza di Servizi ai sensi dell'art. 242 del D.Lgs. 152/2006, ed in seguito alla sua messa in opera.

In particolare gli Enti concordano nel fissare **per il giorno 28/01/2020** un ultimo incontro operativo finalizzato alla presentazione/esame degli ultimi aggiornamenti del Progetto di Biorimedio. A tale incontro dovranno essere invitati a partecipare tutti gli Enti che normalmente partecipano e sono chiamati ad esprimersi nell'ambito dei procedimenti di bonifica.

Gli Enti stabiliscono inoltre che il Progetto Operativo di Bonifica dovrà essere **presentato ufficialmente al Comune di Pesaro entro il 31/01/2020** cosicché lo stesso Comune possa procedere, ai sensi dell'art. 242 del D.Lgs. 152/2006, alla convocazione della suddetta Conferenza di Servizi Decisoria finalizzata all'approvazione dello stesso Progetto.

Marco Fattore, per il Comune di Pesaro, propone quindi **il giorno 28/02/2019** come possibile data per la Conferenza di Servizi, considerato che, ai sensi dell'art. 242 comma 13 del D.Lgs 152/2006, la relativa documentazione dovrà essere inoltrata ai componenti della conferenza di servizi almeno venti giorni prima della data fissata per la discussione.

Ai fini della messa in opera del Progetto, fatta salva la sua avvenuta approvazione in sede di CdS, il Comune di Pesaro, il DIBAF ed ARPAM concordano inoltre nel ritenere che per la stessa si dovrà procedere per fasi successive. In particolare i firmatari della Convenzione individuano 3 fasi:

- la Prima Fase avrà inizio a partire da aprile 2020 e dovrà prevedere la pulizia dell'area, la realizzazione delle opere civili (gabbionata di contenimento della scarpata su via morosini, spostamento della attuale rampa di accesso, schermatura dell'impianto di P&T, realizzazione della nuova recinzione perimetrale) e lo scavo/realizzazione del bio-lago;

- la Seconda Fase avrà inizio a partire da ottobre 2020 e prevedrà la messa a dimora di tutte le specie vegetali non in trincea (es: bambù, alloro, maonia, porsizia, cotogno) e la realizzazione dell'impianto di irrigazione (linee idriche) e delle linee elettriche;

- la Terza fase avrà inizio a partire da marzo 2021 e con essa si procederà alla realizzazione delle trincee e delle bio-barriere, all'inoculazione ed alla successiva piantumazione della rimanente vegetazione (salici, frassini ecc…).

Gli Enti presenti al Tavolo Tecnico concordano quindi nel rivedersi in data 28/01/2019 per gli ultimi approfondimenti/aggiornamenti.

Il tavolo Tecnico si conclude alle ore 13.30.

Il Presidente del Tavolo Tecnico
Dott. Marco Fattore

Il Segretario del Tavolo Tecnico
Dott.ssa Lia Didero

TAVOLO TECNICO DEL 10.12.2019, ORE 09:00

D.Lgs. 152/2006 _ Caso di inquinamento area ex-AMGA (Sottocomparto 1) in Via Morosini – Comune di Pesaro (PU)

Aggiornamento elaborazione Progetto di Biorimedio.

NOME	COGNOME	ENTE/AZIENDA	EMAIL	TELEFONO	FIRMA
RAFFAELLA	SAVELLI	PROVINCIA	raffaella.savelli@provincia.ps.it	0721 3592731	
LETIZIA	ROCCHI	ARPAM	letizia.rocchi@ambiente.marche.it	0721 3999520	
ELISABETTA LIA	BALLARINI DIDERO	ARPAM ARPAM	elisabetta.ballarini@ambiente.marche.it lia.didero@ambiente.marche.it	0721 3999545	
LARA GEA	VALSECCHI	COMUNE PESARO	l.valsecchi@comune.pesaro.pu.it	0721 387997	
ANNARITA	SANTILLI	COMUNE PESARO	a.santilli@comune.pesaro.pu.it	0721 387575	
ANTONIO	DE TULLIO	COMUNE PESARO	a.detullio@comune.pesaro.pu.it	0721 387419	
MARCO	FATTORE	COMUNE PESARO	m.fattore@comune.pesaro.pu.it	0721 387380	

TAVOLO TECNICO DEL 10.12.2019, ORE 09:00

D.Lgs. 152/2006 _ Caso di inquinamento area ex-AMGA (Sottocomparto 1) in Via Morosini – Comune di Pesaro (PU)

Aggiornamento elaborazione Progetto di Biorimedio.

NOME	COGNOME	ENTE/AZIENDA	EMAIL	TELEFONO	FIRMA
Paolo	De Angelis	DIBAF UNIV. TUSCIA	PDA@UNITUS.IT		
PATRIZIA	AMMAZZALORSO	ARPAM	organo.dipartimentopesaro@ambiente.marche.it		
Giorgio	Catena	ARPAM	giorgio.catena@ambiente.marche.it		

1. **PREMESSA**
   1.1. SCOPO DEI LAVORI
2. **QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO**
3. **INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DEL SITO**
   3.1. UBICAZIONE DEL SITO
   3.2. Cronistoria attività eseguite
4. **MODELLO CONCETTUALE DEL SITO**
   4.1. FONTI DI CONTAMINAZIONE
   4.2. GRADO ED ESTENSIONE DELLA CONTAMINAZIONE NELLE DIVERSE MATRICI AMBIENTAL Iniziali
   4.3. INDIVIDUAZIONE DEI MECCANISMI DI RILASCIO DEGLI INQUINANTI E DEI POTENZIALI PERCORSI DI DIFFUSIONE
   4.4. Stato di fatto della contaminazione residua
      4.4.1Terreni
   ~~4.4.~~4.5. 4.4.2Acque
5. **SINTESI DEGLI ESITI DELL'ANALISI DI RISCHIO**
6. **INTERVENTOI previsti ~~DI BIORISANAMENTO~~**
   6.1. Finalità dell'intervento
   6.2. Definizione degli OBIETTIVI DI BONIFICA
      6.2.1 Terreni
      6.2.2 Acque sotterranee
   6.3. ANALISI, DESCRIZIONE e CONFRONTO DELLE TECNOLOGIE DI BONIFICA APPLICABILI AL SITO
   6.4. IL FITORIMEDIO Scelta delle modalità di intervento, loro rispondenza alle finalità e descrizione del progetto complessivo
      6.4.1. risultati delle indagini preliminari realizzate sul sito
         6.4.1.1. test di laboratorio per l'applicabilità dell'intervento in situ
         6.4.1.2. indagini microbiologiche e selezione dei microrganismi
         6.4.1.3. test di bio-augmentation in microcosmi
         6.4.1.4. .....
      6.4.2. scelta delle specie vegetali
      6.4.3. azione fitodepurativa e di finissaggio del laghetto
      6.4.4. barriere permeabili bioreattive per la bonifica della falda
      6.4.5. .....
   6.5. ALLESTIMENTO DELL'AREA DI INTERVENTO
      6.5.1. gestione dei materiali presenti sul sito
         6.5.1.1. rimozione e riutilizzo della geomembrana in HDPE
         6.5.1.2. rimozione e riutilizzo della ghiaia
         6.5.1.3. .....
      6.5.2. opere di assetto morfologico e di modellazione del terreno
      6.5.3. piantumazione
      6.5.4. installazione delle linee di irrigazione
      6.5.5. .....
      6.5.6. .....
   7.5. MITIGAZIONE E CONTROLLO DEI CONTAMINANTI AEREO DISPERSI
   7.6. PUMP & TREAT
   7.7. ELEMENTI STRUTTURALI CONNESSI ALL'INTERVENTO DI BIORISANAMENTO
8. ~~STATO DI AVANZAMENTO DELLE ATTIVITÀ DI MISE DELLA FALDA~~ ATTIVITA' DI MISE PREVISTE
   ~~8.1. MONITORAGGIO DEI LIVELLI PIEZOMETRICI~~
   8.1. ~~CAMPIONAMENTI EFFETTUATI IN INGRESSO, INTERMEDIO ED IN USCITA DALL'IMPIANTO~~ DI P&T(Fanno parte dei report id monitoraggio)

Commento [LD1]: Sposterei questo punto alla fine della descrizione dei vari interventi previsti interventi

Commento [LD2]: Inserirei 7.5 e 7.6 nel capito 8

8.2. MITIGAZIONE E CONTROLLO DEI CONTAMINANTI AEREO DISPERSI
8.3. PUMP & TREAT
~~8.2.~~8.4.
9. PIANO DI MONITORAGGIO

8.1. IL MONITORAGGIO DELLA VEGETAZIONE
8.2. IL MONITORAGGIO MICROBIOLOGICO
8.3. IL MONITORAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE
8.4. IL MONITORAGGIO DEI VAPORI
8.5. IL MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA
~~8.5.~~8.6. Tempistica Reportistica prevista

9. COMPATIBILITÀ AMBIENTALE DEGLI INTERVENTI
9.1. L'IMPATTO ACUSTICO
9.2. LE POLVERI
9.3. LA GESTIONE DEI MATERIALI PRODOTTI DURANTE L'ATTIVITÀ DI BIORISANAMENTO
9.3.1. tipologie di rifiuti prodotti
9.3.2. la biomassa vegetale (il riutilizzo nell'ottica del'economia circolare)
9.4. CRITERI DI PROTEZIONE DEI LAVORATORI
10. PIANO TEMPORALE DELLE ATTIVITÀ
10.1. DURATA PREVISTA PER L'INTERVENTO DI BIORISANAMENTO
11. CONTROLLI POST-OPERAM E VERIFICA DELLA CONTAMINAZIONE RESIDUA
12. STIMA DEI COSTI DELL'INTERVENTO DI ~~BIORISANAMENTO~~ bonifica
13. CONCLUSIONI

Commento [LD3]: Inserirei 7.5 e 7.6 nel capito 8

Commento [LD4]: Da strutturare meglio

Cronoprogramma attività e cantiere ex AGMA Pesaro

v. 1

nota: con i colori sono indicati i limiti temporali di svolgimento delle attività

anno	2020												2021											
mesi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Descrizione attività																								
Completamento report test microbiologici in microcosmi																								
Redazione progetto operativo																								
CdS decisoria																								
Predisposizione gare / affidamenti (in ordine di fasi di realizzazione)																								
Attività cantiere - I fase																								
pulizia dell'area e rimozione ghiaia ove possibile																								
picchettamento punti riferimento opere edili e scavi lineari																								
realizzazione nuova rampa di accesso																								
fornitura e messa in opera muri di contenimento																								
realizzazione scavo lago																								
fornitura e messa in opera materiali per lago, canale fitodepurazione, bordo interno lago e sfioratoio																								
fornitura e messa in opera linee idriche lago (ingresso da P&T - scarico)																								
fornitura e impianto vegetazione: canale fitodepurazione, acquatica interna e spondale lago																								
immissione pesci																								
fornitura e messa in opera schermatura P&T																								
fornitura e messa in opera allaccio linea elettrica x pompa irrigazione e sistema di controllo e illuminazione																								
fornitura e messa in opera illuminazione perimetrale																								
Attività cantiere - II fase																								
apertura tracce x linee idriche: sezioni A-H																								
fornitura e messa in opera linee idriche, con predisposizione allacci ali gocciolanti																								
fornitura e messa in opera pompa di rilancio x irrigazione, sistema di alimentazione pompa, valvole di controllo con temporizzatore (sezioni D-H)																								
Attività cantiere - III fase																								
fornitura e messa in opera sistema di gestione e controllo irrigazione: sezioni A-C																								
fornitura inoculi e materiali carrier (agriperlite e fibra di cocco)																								
realizzazione biobarriere e messa in opera carrier inoculato, ali gocciolanti di re-inoculo, sistema di rilascio aria(?)																								
realizzazione trincee e messa in opera carrier inoculato, ali gocciolanti e sensori di misura contenuto idrico																								
fornitura e impianto specie arboree e arbustive con contestuale messa in opera ali gocciolanti																								
pioppi, salici, frassini e farnia																								
tutte le altre specie																								
apertura tracce e messa in opera linee elettriche per illuminazione interna																								
Monitoraggio																								

COMUNE DI PESARO
Servizio Sviluppo Economico, Sostenibilità e Servizi ai cittadini e alle imprese
U.O. Ambiente e Energia

Fascicolo pratica 2017/6.9/5

Pesaro, 06/02/2020

OGGETTO: **D. Lgs. 152/2006 e s.m.i..**
Caso di inquinamento Area ex-Amga – Sottocomparto 1 in via Morosini

Verbale Tavolo Tecnico del 06/02/2020 per l'esame degli aggiornamenti connessi al progetto di bonifica, in elaborazione, come da convenzione approvata con Deliberazione di G.C. n. 46 del 05/03/2019.

L'anno duemilaventi (2020), il giorno sei (06) del mese di febbraio presso la sala riunioni del Servizio Sviluppo Economico, Sostenibilità e Servizi ai cittadini e alle imprese – U.O. Ambiente e Energia in Largo A. Moro n. 13 – Pesaro si è svolto il Tavolo Tecnico per il caso di inquinamento dell'area ex-AMGA – sottocomparto 1, sita in via Morosini del Comune di Pesaro, ai fini dell'esame degli aggiornamenti connessi al progetto di bonifica, in elaborazione, come da convenzione approvata con Deliberazione di G.C. n. 46 del 05/03/2019;

Al medesimo risultano essere stati invitati a partecipare:

COMUNE DI PESARO;
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA, Dipartimento per la Innovazione nei sistemi biologici, agroalimentari e forestali (DIBAF);
PROVINCIA DI PESARO e URBINO, Servizio 3;
ARPAM, Dipartimento Provinciale di Pesaro - Servizio Rifiuti/Suolo;

Risultano presenti, come da foglio delle presenze allegato al presente verbale:

Marco Fattore, Annarita Santilli, Antonio De Tullio, Lara Gea Valsecchi per COMUNE DI PESARO - U.O Ambiente e Energia;
Paolo De Angelis e Dario Liberati per UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA (DIBAF);
Patrizia Ammazzalorso, Lia Didero, Elisabetta Ballarini, Letizia Rocchi, Giuseppe Pignataro per ARPAM, Dipartimento Provinciale di Pesaro;

Il Dott. Marco Fattore, Dirigente del Servizio Sviluppo Economico, Sostenibilità e Servizi ai cittadini e alle imprese, assume le funzioni di presidente del Tavolo Tecnico. Di comune accordo è nominata segretaria, con compiti di predisposizione e redazione del verbale, la dott.ssa Elisabetta Ballarini di ARPAM, che accetta l'incarico.

Il Presidente del Tavolo Tecnico introduce l'oggetto dell'incontro e lascia la parola al Professore Paolo De Angelis, per il DIBAF, che inizia ad illustrare agli Enti le novità progettuali emerse a seguito dell'ultimo incontro del 10/12/2019. In particolare De Angelis fa presente che, a seguito di un confronto con i tecnici del Comune di Pesaro, si è deciso di riconfigurare la nuova rampa di accesso al sito in quanto ritenuta troppo ripida per poter essere percorsa, in sicurezza, dai mezzi di cantiere. Al fine di garantire una pendenza adeguata alla possibilità dei mezzi stessi (massimo 12%), la stessa dovrà quindi essere ridimensionata sia in lunghezza (leggermente più lunga) che in larghezza (larga 5 metri anziché 4); De Angelis specifica che la rampa, seppur modificata in lunghezza ed in larghezza, andrà sempre ad occupare quella porzione di terreno per il quale, durante le varie indagini, non sono state rilevate evidenze di contaminazione; De Angelis fa presente che a seguito di tale modifica verranno piantate n. 2 piante in meno rispetto a quelle originariamente previste (piante comunque non utili ai fini di bonifica);

La Dott.ssa Lia Didero per ARPAM ritiene utile che, per maggiore chiarezza, venga realizzata una apposita pianta, a scala adeguata, di sovrapposizione della nuova rampa di accesso al sito con i punti di campionamento in cui sono stati rilevati superamenti rispetto alle CSC.

Gli Enti firmatari accolgono le modifiche illustrate da De Angelis e prendono atto di quanto suggerito da ARPAM condividendone l'importanza.

Il Professore Paolo De Angelis procede quindi all'illustrazione delle nuove tavole progettuali. In particolare l'attenzione viene focalizzata sulla tavola relativa alla realizzazione delle trincee le quali avranno una larghezza di 40 cm ed una profondità variabile legata al raggiungimento della porzione satura. ARPAM chiarisce che, per evitare che le stesse trincee vadano ad interferire con i piezometri installati sul sito, per la realizzazione delle stesse dovrà essere pensata un'area di rispetto di circa 1 metro attorno a tutti i piezometri. De Angelis fa presente che, al fine di minimizzare il più possibile l'esposizione dei lavoratori ai vapori, le trincee rimarranno aperte solo il tempo necessario per l'inoculazione. Si procederà infatti alla apertura e chiusura delle trincee in più riprese, per singoli tratti successivi.

Il Professore De Angelis passa quindi ad illustrare gli esiti dei test in microcosmi svolti sui suoli e sulle acque del sito facendo presente che gli stessi sono raccolti all'interno della specifica Relazione redatta dal DIBAF e che diventerà un allegato al Progetto di Bonifica stesso. De Angelis specifica che nei test in microcosmi sono state analizzate le capacità degradative dei microrganismi e dei funghi nei confronti degli idrocarburi lineari e di quelli aromatici; in particolare, per quanto riguarda i suoli, i risultati hanno evidenziato la necessità di intervenire con approcci di tipo *bioaugmentation* che prevedono l'aggiunta di microrganismi selezionati dal sito e specializzati nella biodegradazione dei contaminanti target, possibilmente accoppiati alla *biostimulation* ovvero all'aggiunta nei suoli di specifici nutrienti (fosforo, azoto) o all'alterazione di alcune condizioni ambientali limitanti (es. l'O_2). De Angelis evidenzia che l'aggiunta di surfattante, pur non risultando un fattore limitante, non ha però mostrato alcun effetto significativo nella degradazione dei contaminanti; inoltre, dal momento che nei microcosmi in cui era presente il fungo non si è assistito ad una significativa degradazione degli idrocarburi (né di quelli lineari, né di quelli aromatici), è stato scelto di non effettuare l'inoculo fungino (almeno in questa prima fase). Lo sviluppo dei funghi filamentosi già presenti nel suolo del sito potrà comunque essere promosso dalla sostanza organica che verrà via via prodotta dalla vegetazione. Per quanto riguarda l'attività microbica, i test svolti dimostrano che la degradazione dei contaminanti inizia a diventare significativa e rilevante trascorsi 4 mesi, pertanto, considerate le limitazioni termiche stagionali che agiscono in-situ (stagione invernale), al fine di prolungare il più possibile il sussistere delle condizioni ottimali per l'attività microbica, De Angelis spiega che dovrà necessariamente essere garantito uno stato idrico adeguato, mediante idoneo sistema di irrigazione, per tutto il periodo primaverile/estivo (stagioni termicamente favorevoli). Così facendo il periodo di attività microbica potrà protrarsi fino a 7/8 mesi. In riferimento alla utilità del carrier (fibra di cocco), il Professor De Angelis chiarisce che, seppur questo non abbia avuto alcun effetto migliorativo per la degradazione degli idrocarburi, lo stesso sembra però svolgere un ruolo rilevante nel supportare la vitalità dei funghi indigeni.

Per quanto riguarda il biorisanamento in situ delle acque sotterranee mediante bio-barriere, il Professore De Angelis spiega che tra le due diverse matrici di riempimento prese in considerazione per la realizzazione delle biobarriere (argilla espansa ed agriperlite) la scelta è ricaduta sull'agriperlite per la sua migliore performance degradativa, nettamente superiore a quella dell'argilla espansa, presumibilmente imputabile alla maggiore superficie di adesione per l'immobilizzazione cellulare del consorzio batterico. De Angelis passa quindi ad illustrare gli esiti del test in microcosmo per il trattamento della falda dai quali si deduce che, seppur l'acqua di falda abbia di per sé un basso carico microbico, l'aggiunta di terreno minerale M9 (substrato) va a stimolare significativamente la microflora indigena. Con l'aggiunta del solo terreno minerale la mortalità della comunità batterica rimane però elevata; diversamente l'aggiunta di aria evidenzia un incremento della popolazione batterica aerobica ed un conseguente abbassamento della mortalità confermando una buona potenzialità di sviluppo della comunità batterica aerobica. De Angelis precisa che con questo approccio è stato possibile testare l'attività degradativa solo per gli idrocarburi pesanti C>12 e non per quelli volatili come, ad esempio, il

benzene; Pertanto, considerati i valori di concentrazione particolarmente elevati rilevati in falda di questo composto, De Angelis specifica che sarà possibile valutare l'effettiva attività degradativa del benzene solo in corso d'opera, grazie all'intensa attività di monitoraggio che si svolgerà in situ.

Il Professor De Angelis rende noto agli Enti presenti al Tavolo Tecnico che per la realizzazione delle bio-barriere si dovrà procedere con la massima cautela, mediante piccola benna. Tale operazione prevede la rimozione di un ingente quantitativo di terreno saturo il quale, dopo essere stato temporaneamente abbancato su telo impermeabile, dovrà essere caratterizzato e smaltito come rifiuto. ARPAM fa notare che, anche procedendo con la massima cautela, con tale operazione si potrebbe comunque incorrere nel rischio di andare a contaminare il terreno insaturo (il quale, dopo essere stato temporaneamente rimosso, dovrà essere riposizionato nelle bio-barriere ai fini di bonifica) con quello saturo da rimuovere definitivamente. Pertanto ARPAM suggerisce di valutare, come soluzione alternativa, la possibilità di realizzare un'unica bio-barriera (anziché 3) posizionata a valle delle trincee. In questo modo si risolverebbe la problematica legata al rischio di contaminazione dell'insaturo con il saturo. La stessa ARPAM fa notare che con realizzazione dell'unica bio-barriera a valle delle trincee verrebbe meno anche l'utilità del pompaggio del P&T attualmente in emungimento dai piezometri PM1, PM5, PM7 e PM8, in quanto la stessa unica bio-barriera fungerebbe da "barriera idraulica" impedendo la migrazione verso valle del plume inquinante.

Dopo una breve discussione, il Professore Paolo De Angelis suggerisce di valutare un'altra possibile alternativa alle bio-barriere, ovvero, considerando che gli esiti dei test in microcosmo condotti sulle acque sotterranee hanno dimostrato un nesso di causalità tra l'aggiunta di aria e l'incremento della popolazione batterica aerobica libera, De Angelis suggerisce di trattare le acque sotterranee mediante la tecnologia degli "*emitters*" ovvero dispositivi progettati per il rilascio controllato e uniforme, direttamente in falda, di ossigeno o altri gas utili ad effettuare una attività di bio-stimolazione e favorire la crescita dei microrganismi necessari per il risanamento in situ di acque sotterranee. Gli emitters verrebbero inseriti sulla base della stratigrafia del sito e della diffusività dell'acquifero, prevalentemente ghiaioso. De Angelis evidenzia che con tale soluzione si risolverebbe la problematica fatta emergere da ARPAM legata alla realizzazione delle bio-barriere e il sistema di P&T potrebbe rimanere in pompaggio. A proposito del sistema di MISE attualmente attivo sul sito, De Angelis propone che, dal momento che il piezometro PM1 è sempre risultato esente da contaminazione durante tutto il monitoraggio svolto negli ultimi due anni (2018-2019), le acque emunte da questo piezometro potrebbero essere convogliate direttamente al canale fito del lago, bypassando così i filtri a carbone attivo. Il Professore specifica infatti che uno degli obiettivi del progetto di bonifica è proprio quello di portare ad una graduale riduzione del flusso di acqua che dovrà continuare ad essere trattata mediante filtri a carbone attivo.

Gli enti firmatari prendono atto della proposta suggerita dal DIBAF, condividendone i vantaggi. Il Professore De Angelis si impegna quindi a prendere contatti con i Tecnici della Waterloo per valutare i relativi costi legati all'inserimento degli emitters.

ARPAM, condividendo la fattibilità della proposta di De Angelis nel far bypassare i carboni attivi alle acque emunte dal PM1, specifica che il principio da seguire dovrà sempre essere quello di evitare la dispersione dei contaminanti al di fuori del sito, pertanto suggerisce che, oltre al monitoraggio delle acque in uscita dal fito-lago, le quali verranno scaricate in pubblica fognatura nel rispetto dei limiti previsti dalla vigente autorizzazione allo scarico, dovrà essere previsto un ulteriore monitoraggio che comporterà il campionamento e l'analisi delle acque in uscita dal sistema di P&T. I due monitoraggi permetteranno così di valutare la qualità delle acque sia in ingresso nel fito-lago che in uscita. A proposito dell'attività di monitoraggio, De Angelis suggerisce che venga monitorata anche la torbidità dell'acqua del fito-lago al fine di riuscire a valutare per tempo la eventuale perdita di funzionalità del canale fito. Gli Enti partecipanti al Tavolo Tecnico convengono nell'utilità dei monitoraggi proposti.

Il presidente del Tavolo Tecnico passa quindi la parola alla Dott.ssa Elisabetta Ballarini per ARPAM-Pesaro la quale inizia ad illustrare in cosa consisterà il monitoraggio in operam dei vapori. La Dott.ssa Ballarini spiega che l'impossibilità di effettuare il soil-gas è legata sia alla modesta soggiacenza della falda, molto superficiale, sia all'impatto che lo stesso avrebbe sulla vegetazione. ARPAM propone quindi l'impiego di una camera di flusso per il monitoraggio quantitativo dei contaminanti aero-dispersi ed una analisi di screening mediante camera di accumulo. I parametri che saranno analizzati nel monitoraggio quantitativo, seguendo un approccio di massima cautela, saranno quelli valutati nell'Analisi di Rischio dell'Istituto Superiore di Sanità (ad eccezione di quelli non compresi nelle linee guida SNPA in quanto non volatili) e quelli valutati da B-Energy durante la campagna di monitoraggio soil-gas del 2015 (etilbenzene e stirene). La Dott.ssa Ballarini specifica che il "*punto zero*" di tutta l'attività di monitoraggio dei vapori sarà fatto coincidere con il momento in cui verrà rimossa la geo-membrana in HDPE, attualmente posizionata sull'area di scavo oggetto della pregressa attività di Dig&Dump del 2015, ed a seguito della piantumazione della vegetazione. ARPAM specifica inoltre che, per la camera di accumulo saranno previsti 33 punti di campionamento dove saranno svolte misure speditive di campo; un secondo screening sarà poi effettuato trascorsi due anni dalla prima misurazione. Il Professore De Angelis per il DIBAF chiede che venga valutata la possibilità di inserire punti di campionamento anche in corrispondenza delle trincee. Per quanto riguarda il monitoraggio quantitativo dei contaminanti aerodispersi mediante camera di flusso la Dott.ssa Ballarini specifica che saranno previsti un massimo di 4 campioni; lo stesso verrà effettuato con cadenza stagionale per il primo anno e successivamente solo durante il periodo estivo. ARPAM suggerisce inoltre un monitoraggio con campionamento di tipo passivo dei contaminanti di interesse tramite radielli installati a varie altezze su supporto verticale che sia in grado di valutare l'effetto che avrà la crescita della vegetazione rispetto al gradiente verticale di concentrazione dei contaminanti aerodispersi.

Gli Enti firmatari prendono atto di quanto suggerito da ARPAM condividendone la fattibilità. Si apre quindi una discussione su come riuscire a reperire la strumentazione necessaria al monitoraggio dei vapori; la camera di flusso e quella di accumulo potrebbero infatti essere acquistate, affittate oppure ci si potrebbe affidare ad una Ditta Privata. ARPAM si impegna a prendere contatti con alcune delle Ditte che utilizzano tale strumentazione, chiedendo ad esse i relativi preventivi.

Prende quindi la parola il Dott. Pignataro per ARPAM Pesaro che inizia a spiegare le principali modifiche che saranno apportate al monitoraggio della qualità dell'aria off-site a cui la stessa ARPAM sta attualmente provvedendo, con cadenza mensile, mediante campionatori passivi (radielli), in continuazione a quanto già svolto sul sito nell'arco temporale 2010-2016. Le principali modifiche riguarderanno l'inserimento di un nuovo punto di campionamento, la misurazione di nuovi parametri e la riduzione della frequenza. Saranno infatti previste 7 postazioni per ogni campionamento stagionale (un campionamento ogni 3 mesi). Il Dott. Pignataro specifica che i parametri che verranno monitorati sono stati suggeriti dall'Osservatorio Epidemiologico Ambientale (OEA) di ARPAM – Ancona.

Per quanto attiene il monitoraggio delle acque sotterranee in corso d'opera, ARPAM fa presente che si procederà con le medesime modalità fin d'ora applicate ovvero con il campionamento periodico e l'analisi delle acque di falda prelevate dai piezometri installati in sito da parte della Ditta Ambientale che gestirà il sistema di P&T. Tale campionamento sarà svolto in contraddittorio con i Tecnici della stessa ARPAM.

Per quanto riguarda l'attività di controllo post-operam, la Dott.ssa Ballarini per ARPAM chiarisce che la stessa verrà effettuata sia per la matrice acque sotterranee che per la matrice terreni. In particolare per il suolo (superficiale e profondo) i sondaggi verranno realizzati in prossimità dei punti di campionamento che durante le precedenti indagini ambientali avevano mostrato i superamenti più elevati. Il Professore Paolo De Angelis chiede che nell'individuare i punti di campionamento post-operam venga presa in considerazione anche la posizione delle piante che saranno installate sul sito ai fini di bonifica. ARPAM chiarisce che le ipotesi di

"collaudo" delineate in questa sede potranno comunque essere riviste a seguito dei primi 5 anni di attività del progetto, in sede di un successivo tavolo tecnico.

Al termine della discussione, Il Dott. Marco Fattore per il Comune di Pesaro rende noto agli Enti firmatari che la passerella sospesa, inizialmente pensata per rendere nuovamente fruibile, in sicurezza, l'area alla cittadinanza, risulta di difficile realizzazione oltre che eccessivamente onerosa. Per ottemperare al medesimo scopo, come accennato in sede di precedente incontro del 10/12/2019, sarà invece realizzato uno specifico *percorso didattico*, accompagnato da apposita cartellonistica illustrativa e con specifici orari di apertura e di chiusura, il quale sarà finalizzato ad informare e a far conoscere alle scuole ed alle Università la concreta applicazione della innovativa tecnologia di "*phytoremediation*" ad un sito ex-industriale situato all'interno di un'area urbana. Il percorso didattico diventerebbe in questo modo un ottimo strumento di divulgazione scientifica consentendo agli stessi Enti di adempiere ad uno degli scopi più importanti della stessa Convenzione.

Gli Enti prendono atto di quanto comunicato dal Dott. Marco Fattore condividendone l'importanza.

Marco Fattore, in qualità di Presidente del Tavolo Tecnico, procede infine alla definizione di un cronoprogramma finalizzato al deposito del Progetto di Bonifica ed alla sua successiva approvazione in sede di Conferenza di Servizi ai sensi dell'art. 242 del D.Lgs. 152/2006. In particolare gli Enti concordano che entro il **giorno 17/02/2020** ciascun Ente dovrà condividere con gli altri Enti firmatari la propria parte di progetto di bonifica. Al fine della stesura conclusiva del Progetto eventuali modifiche o osservazioni potranno essere fatte pervenire **entro il giorno 28/02/2020**.

Gli Enti stabiliscono che il Progetto Operativo di Bonifica potrà quindi essere **presentato ufficialmente al Comune di Pesaro entro il 03/03/2020** cosicché lo stesso Comune possa procedere, ai sensi dell'art. 242 del D.Lgs. 152/2006, alla convocazione della suddetta Conferenza di Servizi Decisoria finalizzata all'approvazione dello stesso Progetto.

Marco Fattore, per il Comune di Pesaro, propone **il giorno 26/03/2019** come possibile data per la Conferenza di Servizi, considerato che, ai sensi dell'art. 242 comma 13 del D.Lgs 152/2006, la relativa documentazione dovrà essere inoltrata ai componenti della Conferenza di Servizi almeno venti giorni prima della data fissata per la discussione. Inoltre il Dott. Fattore suggerisce che per **il giorno 18 marzo 2020** venga fissato un intermedio tavolo tecnico istruttorio/operativo, a cui saranno invitati a partecipare tutti gli Enti che normalmente partecipano e sono chiamati ad esprimersi nell'ambito dei procedimenti di bonifica. Tale incontro sarà finalizzato ad una prima istruttoria/valutazione del Progetto di Bonifica.

Gli Enti presenti al Tavolo Tecnico concordano quindi nel risentirsi in data 17/02/2020 per gli ultimi aggiornamenti.

Il tavolo Tecnico si conclude alle ore 18.30.

Il Presidente del Tavolo Tecnico

Dott. Marco Fattore

Il Segretario del Tavolo Tecnico

Dott.ssa Elisabetta Ballarini

COMUNE DI PESARO
Servizio Sviluppo Economico, Sostenibilità e Servizi ai cittadini e alle imprese
U.O. Ambiente e Energia

Fascicolo pratica 2017/6.9/5 Pesaro, 26/05/2020

OGGETTO: **D. Lgs. 152/2006 e s.m.i..**
Caso di inquinamento Area ex-Amga – Sottocomparto 1 in via Morosini

Verbale Tavolo Tecnico del 26/05/2020 finalizzato ad una prima valutazione del documento "*Variante al progetto operativo degli interventi di bonifica ai sensi del D.Lgs. n. 152/06 . Sito Area Centro Direzionale Benelli via Morosini Pesaro (PU)*" redatto da Comune di Pesaro, ARPA-Marche e Università della Tuscia di Viterbo (DIBAF) come da convenzione approvata con D.G.C. n. 46 del 05/03/2019.

L'anno duemilaventi (2020), il giorno ventisei (26) del mese di maggio si è svolto in modalità telematica, a causa dell'attuale situazione di emergenza legata al COVID-19, il Tavolo Tecnico per il caso di inquinamento dell'area ex-AMGA – sottocomparto 1, sita in via Morosini del Comune di Pesaro finalizzato ad una prima istruttoria/valutazione del documento "*Variante al progetto operativo degli interventi di bonifica ai sensi del D.Lgs. n. 152/06 . Sito Area Centro Direzionale Benelli via Morosini Pesaro (PU)*" redatto da Comune di Pesaro, ARPA-Marche e Università della Tuscia di Viterbo (DIBAF) come da convenzione approvata con D.G.C. n. 46 del 05/03/2019.

Al medesimo risultano essere stati invitati a partecipare:

COMUNE DI PESARO;
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA, Dipartimento per la Innovazione nei sistemi biologici, agroalimentari e forestali (DIBAF);
ARPAM, Dipartimento Provinciale di Pesaro - Servizio Territoriale;
ARPA MARCHE – Direzione generale;
REGIONE MARCHE – P.F. Ciclo dei rifiuti, Bonifiche ambientali, AERCA e Rischio industriale;
PROVINCIA DI PESARO e URBINO, Servizio 3;
ASUR – AREA VASTA N. 1;
OSSERVATORIO EPIDEMIOLOGICO AMBIENTALE – OEA – Dipartimento ARPAM di Ancona;
MARCHE MULTISERVIZI S.P.A.

Risultano presenti, come da schermate allegate al presente verbale:

Marco Fattore, Annarita Santilli, Antonio De Tullio, Lara Gea Valsecchi per COMUNE DI PESARO - U.O Ambiente e Energia;
Paolo De Angelis e Silvia Crognale per UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA (DIBAF);
Maria Cristina Reggiani, Elisabetta Ballarini, Letizia Rocchi, Giuseppe Pignataro per ARPAM, Dipartimento Provinciale di Pesaro;
Giuseppe Fruncillo per Regione Marche - P.F. Ciclo dei rifiuti, Bonifiche ambientali, AERCA e Rischio industriale;
Raffaella Savelli e Elena Bracci per Provincia di Pesaro e Urbino – Servizio 3;
Alessia Pesaresi per ASUR – AREA VASTA N.1;
Marco Baldini per OEA - Dipartimento ARPAM di Ancona;
Fabio Giangolini per Marche Multiservizi S.P.A.

Il Dott. Marco Fattore, Dirigente del Servizio Sviluppo Economico, Sostenibilità e Servizi ai cittadini e alle imprese, assume le funzioni di presidente del Tavolo Tecnico. Di comune accordo è nominata segretaria,

con compiti di predisposizione e redazione del verbale, la dott.ssa Elisabetta Ballarini di ARPAM, che accetta l'incarico.

L'Arch. Annarita Santilli, in qualità di Responsabile U.O. Ambiente e Energia del Comune di Pesaro introduce l'oggetto dell'incontro ricordando che, in recepimento delle considerazioni contenute nell'Analisi di Rischio dell'ISS approvata con verbale della Conferenza di Servizi del 14/01/2019 e recepita con determinazione n. 218 del 06/02/2019, al fine di raggiungere il completamento della bonifica del sito contaminato ex AMGA – Sottocomparto 1, il Comune di Pesaro ha convenuto di addivenire alla sottoscrizione di una convenzione, stipulata ai sensi dell'art. 15 della Legge n. 241 del 1990 (Accordi tra Pubbliche Amministrazioni), con ARPA MARCHE e con il Dipartimento per la Innovazione nei Sistemi Biologici Agroalimentari e Forestali (DIBAF) dell'Università della Tuscia di Viterbo per l'elaborazione di un nuovo progetto di bonifica, in prosecuzione alle attività di bonifica già svolte sul sito. Santilli lascia quindi la parola al Professore Paolo De Angelis dell'Università della Tuscia, per illustrare agli Enti gli aspetti più tecnici del documento "*Variante al progetto operativo degli interventi di bonifica ai sensi del D.Lgs. n. 152/06 - sito Area Centro Direzionale Benelli via Morosini Pesaro (PU)*" assunto al protocollo generale del Comune di Pesaro al n. 42021/2020.

Il Professore Paolo De Angelis procede quindi alla descrizione delle principali caratteristiche del progetto di bonifica specificando che l'intervento proposto si basa sull'impiego combinato e sinergico di due approcci: la *bioaugmentation* e la *phytoremediation.* De Angelis spiega che l'applicabilità di tali approcci al sito contaminato ex-AMGA è stata appurata sia mediante una verifica bibliografica di casi studio simili, che con esperimenti sito specifici attraverso l'esecuzione di test in microcosmo effettuati su campioni di terreno e acque prelevati direttamente in sito assieme ai Tecnici di ARPAM-Pesaro. De Angelis fa presente che gli esiti di tali attività, condotte nei laboratori del DIBAF e di ARPAM, sono riportati nel dettaglio nella relazione allegata allo stesso progetto di bonifica, a cui rimanda per un maggiore approfondimento.

Dopo aver brevemente elencato gli obiettivi generali dell'intervento proposto, il Professore Paolo De Angelis procede a mettere in risalto anche i benefici ambientali - non direttamente connessi alla bonifica - che deriveranno dalla messa a dimora degli organismi vegetali, come, ad esempio: la rimozione della CO_2 atmosferica, la riduzione dell'effetto di riscaldamento associato all'urbanizzazione, il miglioramento della qualità dell'aria, la regolazione dei processi idrologici, l'incremento della biodiversità, il miglioramento percezione estetica-paesaggistica del sito, migliorando il benessere della popolazione.

De Angelis passa quindi a descrivere più nel dettaglio l'applicazione delle tecnologie proposte per il sito ex AMGA specificando che, come condiviso con ARPAM e con lo stesso Comune di Pesaro, al fine di poter attuare le attività di biorisanamento della falda e dei terreni, dovranno essere previste anche opere strutturali direttamente correlate al progetto di bio-fito-bonifica in quanto necessarie a garantire l'accesso all'area da parte dei lavoratori ed assicurare una efficace perimetrazione per la messa in sicurezza del sito interessato da intervento di bonifica. Tra queste il Professore evidenzia la realizzazione di un muro di contenimento (gabbionata) lungo il versante di via Morosini; la realizzazione di un muro di contenimento (tipo verde) per la sistemazione della scarpata che collega la terrazza della seconda torre con il piano campagna del sito in bonifica; la realizzazione di una nuova recinzione perimetrale; la realizzazione dell'impianto di illuminazione a garanzia della sicurezza dell'area e la realizzazione di una nuova rampa di accesso al sito, sempre sul lato di via Morosini ma in posizione opposta a quella attuale. A tale proposito il Professore Paolo De Angelis specifica che la decisione di spostare l'attuate rampa di accesso al sito è stata condivisa con i Tecnici di ARPAM e del Comune di Pesaro dal momento che la stessa insiste su un'area dove, a seguito delle indagini ambientali svolte nel 2016, è stata rilevata evidenza di contaminazione; pertanto, come concordato con ARPAM, anche l'attuale rampa dovrà essere sottoposta ad intervento di bonifica.

Per quanto riguarda la bonifica dei terreni, Paolo De Angelis spiega che l'inoculo dei microrganismi selezionati in-situ e prodotti in bio-reattore, sarà realizzata con l'apertura di trincee di circa 40 cm di larghezza e di profondità variabile (in accordo con il profilo verticale della contaminazione) poste a distanza fra loro di 1.5 metri. Il Professore chiarisce che il posizionamento delle trincee, riportato in tavola B3, è stato studiato in modo tale da agire su tutte le zone in cui sono stati riscontrati superamenti delle CSC dei terreni insaturi, assumendo come assunzione progettuale, una capacità di diffusione laterale e verticale dei microrganismi di almeno 50 cm dalla zona di inoculo, grazie all'effetto combinato dell'irrigazione e delle piogge.

De Angelis chiarisce che, al fine di ridurre al minimo le emissioni dei composti volatili presenti nei terreni, l'apertura delle trincee, l'inoculo e la messa a dimora delle piante (ove previste) saranno contestuali: si procederà pertanto con il completamento della messa in opera di ogni trincea prima dell'apertura della successiva. De Angelis specifica inoltre che, a seguito del confronto diretto avuto con i tecnici di ARPAM e del Comune di Pesaro durante i precedenti incontri finalizzati alla stesura dello stesso progetto di bonifica, al fine di limitare la formazione di polveri sospese, si è deciso che tutti i lavori di scavo e di movimentazione del terreno non saranno realizzati durante il periodo estivo e saranno opportunamente gestiti, in contemporanea, mediante l'ausilio di un apposito nebulizzatore.

In merito alla piantumazione degli organismi vegetali, il Professore Paolo De Angelis fa presente che la scelta è ricaduta su specie caratteristiche di zone umide in considerazione della soggiacenza media della falda relativamente superficiale e della loro diffusione, sia nel contesto locale che all'interno dello stesso sito (ricolonizzazione spontanea). In particolare, nella zona di raccordo fra due livelli (scarpata lato via morosini) è stata scelta una specie caratterizzata da una elevata capacità di consolidamento del terreno, grazie ad un denso apparato radicale, mentre, nella parte superiore del sito più distante dalla falda, si andranno a piantumare specie arbustive caratterizzate da una buona allocazione negli apparti radicali in grado di svilupparsi anche in profondità. Complessivamente saranno piantati 121 alberi di I grandezza; 96 alberi di II grandezza, 95 arbusti medi;103 erbacee perenni e 156 arbustive piccole per un totale di 594 piante appartenenti a 21 specie diverse.

Per quanto riguarda la bonifica della falda, il Professore De Angelis chiarisce che, come definito in condivisione con i tecnici ARPAM, sul sito rimarrà in funzione l'attuale sistema di P&T che continuerà a pompare l'acqua dai piezometri PM1, PM7 e PM8. L'acqua derivante dai piezometri PM7 e PM8 continuerà quindi ad essere trattata con i carboni attivi per poi essere riutilizzata per l'irrigazione dei diversi sistemi vegetali posti in opera e per mantenere le condizioni idriche ottimali all'attività microbica nelle trincee, anche nella stagione estiva. Al fine di migliorare qualitativamente lo scarico del P&T questo verrà trattato con un sistema lineare di fitodepurazione e con la realizzazione di un piccolo bacino artificiale "Fitolago". Il fitolago servirà come riserva per l'irrigazione. Per quanto riguarda invece il PM1, vista l'assenza di contaminazione riscontrata a seguito degli ultimi monitoraggi, De Angelis comunica che tale piezometro verrà direttamente collegato al Fito-Lago senza dover passare dai filtri a carbone attivo dell'impianto.

De Angelis fa presente che l'azione diretta legata al ricircolo dell'acqua operato dal P&T sarà associata all'azione indiretta dei processi degradativi attivati dalle piante messe a dimora nell'area di scavo A del sito. Inoltre fa notare che, in tale area, già oggetto di Dig&Dump nel 2015 e successivamente riempita da ghiaia pulita, saranno piantate due specie di salici particolarmente adatte a colonizzare ghiaioni e suoli poco evoluti. La vegetazione posta nelle aree di scavo A e B e fuori trincea sarà inoltre in grado di esercitare un'importante azione barriera al movimento della falda ai confini del sito. Sempre per quanto riguarda la bonifica della falda, il Professore Paolo De Angelis chiarisce che, sebbene i primi dati di monitoraggio posteriori alla messa in pompaggio del piezometro PM8 abbiano mostrato un abbattimento delle concentrazioni di idrocarburi e BTEX nello stesso piezometro, il trend di diminuzione dovrà comunque

essere ri-confermato dai monitoraggi successivi e qualora così non fosse, come suggerito da ARPAM, verrà valutata, in corso d'opera, la possibilità di inserire una barriera ossidativa (*emitters)* a monte del piezometro PM8.

Il Professore De Angelis pone quindi l'attenzione sul Fito-Lago che verrà realizzato nell'area in cui non sono stati rilevati superamenti delle CSC. De Angelis mette quindi in luce la sua importanza all'interno del progetto di bonifica rimarcando il fatto che la realizzazione dello stesso consentirà sia di riutilizzare in-situ le acque derivanti dall'impianto di P&T a sostegno dei sistemi di BIO - FITO - bonifica che di portare ad una riduzione dello scarico e ad un suo miglioramento qualitativo: il Fito-Lago sarà infatti reso biologicamente attivo con la messa in opera di specie vegetali idonee a utilizzare in-situ le acque reflue e a migliorarne la qualità prima dello scarico fuori del sito. In aggiunta, De Angelis specifica che nel bacino saranno introdotti pesci del genere *Gambusia* specie *holbrooki* per il controllo dello sviluppo larvale delle zanzare, anche in considerazione della particolare collocazione del sito al centro di un'area residenziale.

Per quanto riguarda lo scarico in pubblica fognatura delle acque in uscita dal Fito-Lago, De Angelis fa presente che per il suo dimensionamento si è tenuto conto dei picchi di precipitazione che, potenzialmente, potrebbero verificarsi in tale zona durante le stagioni più piovose.

Terminata l'illustrazione del Progetto da parte del Professore Paolo De Angelis, Marco Fattore, in qualità di presidente del Tavolo Tecnico, passa la parola agli Enti invitandoli ad esporre eventuali considerazioni in merito al progetto di bonifica presentato.

Prende la parola il Dott. Fabio Giangolini per Marche Multiservizi il quale ritiene che l'autorizzazione allo scarico rilasciata dal Comune di Pesaro nel 2015 possa essere considerata ancora valida, anche in considerazione del fatto che la realizzazione del Fito-Lago, così come previsto nel progetto, porterebbe ad una riduzione della portata dello scarico rispetto a quella attuale.

La Dott.ssa Raffaella Savelli per la Provincia di Pesaro e Urbino chiede chiarimenti in merito al riutilizzo in sito del materiale scavato per la realizzazione del Fito-Lago specificando che, ai sensi dell'art. 26 del D.P.R. n.120 del 13 giugno 2017, il riutilizzo in sito delle terre e rocce prodotte da attività di scavo all'interno di un sito in bonifica è consentito purché sia garantita la conformità delle concentrazioni soglia di contaminazione, per la specifica destinazione d'uso, o delle Concentrazioni Soglia di Rischio approvate per il sito. La Dott.ssa Elisabetta Ballarini per ARPAM-Pesaro chiarisce che il Fito-Lago verrà realizzato su un'area i cui terreni, a seguito delle indagini già svolte sul sito, hanno mostrato il rispetto delle CSC. La Dott.ssa Ballarini specifica comunque che i lavori di realizzazione del lago saranno eseguiti in presenza dei Tecnici ARPAM e che, in caso di evidenze di contaminazione, si procederà al campionamento ed analisi dei terreni scavati.

La dott.ssa Savelli prende atto di quanto chiarito da ARPAM e chiede invece delucidazioni in merito al destino delle specie vegetali, qualora, al termine della bonifica, si rendesse necessaria la loro rimozione. De Angelis chiarisce che la contaminazione del sito è prevalentemente legata alla presenza di contaminanti organici i quali vengono degradati da piante e batteri. In specifico, De Angelis spiega che i composti organici di tipo idrocarburico subiscono una degradazione già a livello del suolo e della rizosfera mentre gli organo-clorurati vengono degradati a livello fogliare e possono eventualmente fuoriuscire sottoforma gassosa: l'accumulo dei contaminanti organici nella biomassa vegetale può pertanto essere ritenuto del tutto trascurabile mentre l'eventuale volatilizzazione degli organo-clorurati in forma gassosa potrà essere tenuta sotto controllo grazie alla già prevista attività di monitoraggio. De Angelis specifica inoltre che l'unica contaminazione del terreno da composti inorganici è stata rilevata in un solo punto, in prossimità del PM10, per i composti zinco (elemento essenziale utilizzato dalle stesse piante) e piombo. Tali contaminanti sono stati rilevati in concentrazioni comunque troppo basse (poco al di sopra delle relative CSC) da far

presupporre un loro potenziale accumulo nella biomassa vegetale. Il Professore Paolo De Angelis chiarisce in ogni caso che, qualora si rendesse necessaria la rimozione della vegetazione impiantata sul sito al termine della bonifica, la stessa verrà gestita ai sensi della normativa vigente in materia e pertanto, prima di essere smaltita, dovrà essere caratterizzata.

La Dott.ssa Savelli e gli Enti presenti prendono atto delle delucidazioni fornite dal Professore Paolo De Angelis.

La Dott.ssa Savelli per la Provincia di Pesaro e Urbino fa notare che nel testo del progetto emerge che la contaminazione da solventi clorurati non è verosimilmente ascrivibile alle attività svolte in pregresso nell'area, mentre, durante un precedente Tavolo Tecnico, si era già valutata la possibilità di considerare gli stessi composti clorurati come contaminanti direttamente ascrivibili alle attività svolte sul sito dal momento che gli stessi erano stati riscontrati, con concentrazioni eccedenti alle CSC, anche in alcuni campionamenti di terreno. A tale proposito, la Dott.ssa Lara Gea Valsecchi per il Comune di Pesaro, fa presente che non risulta agli atti del Comune di Pesaro alcun documento che attesti ufficialmente la chiusura dell'indagine aperta dalla Provincia di Pesaro e Urbino, ai sensi dell'art. 244 del D.Lgs. 152/2006, per individuare il soggetto responsabile della contaminazione da solventi clorurati e chiede pertanto alla Provincia di trasmettere al Comune tale documentazione. La Dott.ssa Ballarini per ARPAM – Pesaro fa notare che i composti clorurati sono stati comunque inseriti nell'elaborazione dell'Analisi di Rischio elaborata dall'Istituto Superiore di Sanità nel 2018 al fine di verificarne i rischi sanitari associati e fanno parte dei contaminanti da trattare con il presente progetto di bonifica.

La Dott.ssa Elena Bracci per la Provincia di Pesaro e Urbino rende noto che nel testo del progetto si parla erroneamente di linea di raccolta delle acque meteoriche mentre, attualmente, le acque in uscita dall'impianto P&T scaricano in fognatura per acque miste. Giangolini, per Marche Multiservizi, conferma quanto riportato dalla Provincia e il Professore De Angelis, prendendo atto di quanto emerso, comunica agli Enti che provvederà a correggere la relazione.

Il Dott. Giangolini per Marche Multiservizi chiede se il punto di recapito in pubblica fognatura rimarrà invariato. De Angelis conferma e chiarisce che l'unico cambiamento riguarderà il fatto che la fognatura riceverà l'acqua di scarico da un "sistema aperto" la cui portata potrà variare con l'entità delle precipitazioni. In particolare De Angelis spiega che nel Progetto di bonifica lo scarico è stato dimensionato per una portata di 10 m^3/h calcolata prendendo in considerazione la superficie del lago ed un valore di precipitazione pari a 50 mm/h corrispondente ad una precipitazione di livello intenso. Per poter apportare delle migliorie al dimensionamento dello scarico, Paolo De Angelis chiede quindi a Marche Multiservizi di poter ricevere un disegno quotato dell'attuale scarico e suggerisce che, per evitare ogni eventuale fuoriuscita di acqua in caso di precipitazioni particolarmente intense, l'attuale tubo di raccordo potrebbe eventualmente essere sostituito con uno di dimensioni maggiori.

Gli Enti presenti all'incontro prendono atto delle migliorie suggerite da De Angelis.

Giangolini per Marche Multiservizi si riserva di effettuare ulteriori approfondimenti in merito allo scarico attuale ed alle modifiche che il nuovo progetto andrebbe ad apportare allo stesso.

Al termine della discussione, il presidente del Tavolo Tecnico invita gli Enti che non sono ancora intervenuti ad esporre eventuali altre osservazioni. La Regione Marche (Dott. Giuseppe Fruncillo) e ASUR (Dott.ssa Alessia Pesaresi) asseriscono di non aver nulla da aggiungere a quanto già richiesto dagli altri Enti e chiarito dal Professore De Angelis e da ARPAM.

Il Dott. Marco Baldini per l'O.E.A dell'ARPAM di Ancona esprime invece una perplessità riguardante il monitoraggio dei vapori indoor. In particolare Baldini evidenzia il fatto che, mentre nell'Analisi di Rischio veniva considerato come valore più cautelativo il rischio associato all'inalazione in-door di vapori on-site, il progetto, prevedendo almeno durante tutta la bonifica un ambiente *on-site* completamente *out-door*, prende giustamente in considerazione come valore più cautelativo quello legato all'inalazione di vapori *in-door off-site*: via di esposizione per la quale, non essendo stata considerata all'interno dell'analisi di rischio, non sono però stati valutati i relativi rischi associati. Dal momento che il rischio associato all'inalazione di vapori *in-door off-site* verrà quindi valutato mediante monitoraggio, Marco Baldini chiede che nel progetto di bonifica venga messo in risalto lo scopo di tale monitoraggio ovvero quello di permettere una valutazione diretta dei potenziali rischi per la popolazione residente garantendo così la massima tutela della salute dei cittadini.

Prende quindi la parola la Dott.ssa Letizia Rocchi per ARPAM-Pesaro la quale specifica che la stessa ARPAM sta tutt'ora provvedendo al monitoraggio mensile della qualità dell'aria *off-site*, sia *indoor* che *out-door*, mediante campionatori passivi (radielli), in continuazione a quanto già svolto sul sito nell'arco temporale 2010-2016. Tale monitoraggio è stato sospeso solo nel mese di marzo 2020 a causa della situazione di emergenza legata al Covid-19. La Dott.ssa Rocchi spiega che, per quanto riguarda la valutazione della qualità dell'aria, nel progetto di bonifica sono previste tre fasi di monitoraggio: ante-operam; in operam e post-operam; inoltre, il set di contaminanti attualmente monitorati verrà incrementato con l'aggiunta di parametri sito-specifici. In particolare verranno monitorati il benzene (già oggetto dell'attuale monitoraggio), il tetracloroetilene, il cloruro di vinile e il naftalene.

Il Professore Paolo De Angelis ed ARPAM prendono atto della perplessità espressa da Marco Baldini e comunicano agli Enti che la relazione del progetto di bonifica verrà integrata nella parte riguardante il monitoraggio della qualità dell'aria *in-door off-site*. In particolare, il Dott. Giuseppe Pignataro, per ARPAM-Pesaro, suggerisce di valutare l'inserimento di nuovi punti di campionamento *in-door off-site* in aggiunta o in sostituzione rispetto a quello attualmente preso in considerazione (studio dell'Ing. Pandolfi). L'Arch. Annarita Santilli per il Comune di Pesaro invita quindi ARPAM a trasmettere, a stretto giro, al Comune di Pesaro e alla Tuscia le integrazioni che la stessa riterrà opportuno apportare al progetto.

Al termine della discussione, dopo aver verificato l'assenza di ulteriori richieste/osservazioni da parte dei partecipanti, il Presidente del Tavolo Tecnico propone come possibili date per la Conferenza di Servizi decisoria, finalizzata all'approvazione del Progetto di Bonifica, **i giorni tra il 25 e il 30 giugno 2020**. Pertanto, al fine di poter procedere rapidamente con la convocazione della Conferenza di Servizi, invita gli Enti a trasmettere al Comune, in tempi brevi, eventuali ulteriori osservazioni rispetto a quanto già emerso nel presente incontro.

Gli Enti prendono atto di quanto comunicato dal Dott. Marco Fattore.

Il Tavolo Tecnico si conclude alle ore 11.40.

Il Presidente del Tavolo Tecnico

Dott. Marco Fattore

Il Segretario del Tavolo Tecnico

Dott.ssa Elisabetta Ballarini

Sigla FR/ING
Data
Prot.

Spett.li Comune di Pesaro
Servizio Sviluppo Economico, Sostenibilità
e Servizi ai cittadini e alle imprese
U.O. Ambiente e Energia
Piazza del Popolo, 1
61121 Pesaro (PU)
comune.pesaro@emarche.it

REGIONE MARCHE
Responsabile Servizio Territorio e Ambiente
P.F. Ciclo dei rifiuti, Bonifiche ambientali,
AERCA e Rischio industriale
c.a. Ing. Giuseppe Fruncillo
regione.marche.ciclorifiutibonifiche@emarche.it

PROVINCIA DI PESARO e URBINO
Responsabile Servizio 3
c.a. Dott.ssa Raffaella Savelli
provincia.pesarourbino@legalmail.it

ARPAM
Dipartimento Provinciale di Pesaro
Servizio Territoriale
c.a. Dott.ssa Patrizia Ammazzalorso
c.a. Dott.ssa Lia Didero
c.a. Elisabetta Ballarini
arpam.dipartimentopesaro@emarche.it

ARPA MARCHE
Direzione Generale
c.a. Dott. Giancarlo Marchetti
arpam@emarche.it

ASUR AREA VASTA N. 1
Responsabile Dipartimento di Prevenzione
c.a. Dott.ssa Alessia Pesaresi
areavasta1.asur@emarche.it

OSSERVATORIO EPIDEMIOLOGICO
AMBIENTALE
c/o Dipartimento ARPAM di Ancona
c.a. Dott. Marco Baldini
arpam@emarche.it

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA
Dipartimento per l'innovazione nei sistemi
biologici, agroalimentari e forestali – DIBAF
c.a. Dott. Paolo De Angelis
dibaf@pec.unitus.it

OGGETTO: **D. Lgs. 152/2006 e s.m.i..**
Caso di inquinamento ex AMGA – Sottocomparto 1 – Via Morosini, Pesaro.

Tavolo Tecnico del 26/05/2020 finalizzato ad una prima valutazione del documento "Variante al progetto operativo degli interventi di bonifica ai sensi del D.Lgs. n. 152/06. sito Area Centro Direzionale Benelli via Morosini Pesaro (PU)" redatto da Comune di Pesaro, ARPA-Marche e Università della Tuscia di Viterbo

(DIBAF) come da convenzione approvata con D.G.C. n. n. 46 del 05/03/2019.
PRECISAZIONI SCARICO ACQUE REFLUE INDUSTRIALI IN PUBBLICA FOGNATURA

In riferimento agli elementi emersi nel tavolo tecnico in oggetto, inviamo le seguenti precisazioni finalizzate all'adeguamento del progetto in approvazione:

- A monte del pozzetto fiscale di prelievo non sono ammesse diluizioni (D. Lgs. 152/06 art. 101 comma 5), pertanto occorre evitare il contatto tra le acque di scarico dell'impianto e quelle di origine meteorica raccolte dal laghetto;
- Dovrà essere installato un misuratore di portata sullo scarico in fognatura al fine di verificare che lo stesso sia limitato esclusivamente alle portate provenienti dall'impianto pump & treat, (Mc 1,7/ora). Tale misuratore dovrà essere dotato della strumentazione necessaria per la trasmissione dei dati al sistema di telecontrollo che questa Società ha in uso per il Servizio Idrico Integrato ed il Gas al fine di poter effettuare la lettura da remoto;
- I reflui provenienti dallo scarico dell'impianto pump and treat verranno collettati al Depuratore di Borgheria, attraverso il nuovo sistema fognario di Via Canale, non appena verrà completato il potenziamento dello stesso depuratore. Detto impianto non è idoneo a trattare idrocarburi, pertanto, in caso di malfunzionamento dell'impianto di trattamento dell'area in bonifica, si dovrà provvedere tempestivamente a segnalare l'anomalia all'Ente Gestore, in quanto tali sostanze arriverebbero allo scarico di Borgheria senza trattamento.

Per eventuali chiarimenti sul presente Nulla Osta è possibile contattare l'Ufficio Gestione Pratiche Fognature allo 0721 699254.

Ing. Simona Francolini
Direttore Funzione Reti
Originale firmato digitalmente

COMUNE di PESARO
Servizio Risorse e Sviluppo
U.O. Ambiente

Prat. n. 18548/2015

MARCHE MULTISERVIZI S.p.A.
Divisione Reti
c.a. Rup - Ing. Simona Francolini
Pec: info@pec.gruppomarchemultiservizi.it

MMS S.p.A. - Entrata
Ricevuto il 30/03/2015
Prot. 4507/15 del 30/03/2015

ARPAM
Dipartimento Provinciale di Pesaro
Servizio Rifiuti/Suolo
Servizio Acque
PEC: arpam.dipartimentopesaro@emarche.it

e p.c. REGIONE MARCHE
Servizio Territorio, Ambiente
P.F. Ciclo dei rifiuti, Bonifiche Ambientali,
AERCA e Rischio Industriale
C.A. Ing. Fruncillo
PEC:regione.marche.ciclorifiutibonifiche@emarche.it

PROVINCIA DI PESARO URBINO
Servizio 13
Ambiente - Agricoltura - Fonti Rinnovabili -
Pianificazione Ambientale
c.a. Dott.ssa Bracci
c.a. Dott.ssa Savelli
PEC: provincia.pesarourbino@legalmail.it

OSSERVATORIO EPIDEMIOLOGICO AMBIENTALE
PEC: arpam.dipartimentoancona@emarche.it

ASUR Area Vasta n.1
Dipartimento di Prevenzione
PEC: areavasta1.asur@emarche.it

Pesaro, 27/3/2015

Oggetto: Autorizzazione allo scarico in pubblica fognatura di acque reflue provenienti da attività produttive ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. e del P.T.A. (D.A.C.R. Marche n. 145/2010 e s.m.i.). Ditta "B. Energy Spa".
Attività: bonifica sito contaminato.
Ubicazione: Area ex Amga - sottocomparto 1. Via Morosini, 12.

.

Con la presente si invia l'autorizzazione comunale Prot. n. 24009 del 23/3/2015 relativa all'oggetto, ritirata in originale dalla ditta B. Energy Spa il 24 Marzo u.s..
Cordiali saluti.

Il Responsabile U.O. Ambiente
Dott. Beniamino Tatali

MMS S.p.A. - Entrata
Ricevuto il 30/03/2015
Prot. 4507/15 del 30/03/2015

COMUNE di PESARO
Servizio Risorse e Sviluppo
U.O. Ambiente

Autorizzazione allo scarico acque reflue in pubblica fognatura Prot. n. 24009/2015.

Prat. n. 18548/2015 Pesaro, 23/3/2014

Oggetto: Autorizzazione allo scarico in pubblica fognatura di acque reflue provenienti da attività produttive ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. e del P.T.A. (D.A.C.R. Marche n. 145/2010 e s.m.i.). Ditta "B. Energy Spa".
Attività: bonifica sito contaminato.
Ubicazione: Area ex Amga - sottocomparto 1. Via Morosini, 12.

Il Responsabile U.O. Ambiente

- Vista l'istanza per il rilascio dell'autorizzazione allo scarico nella pubblica fognatura presentata dal Sig. Felice Mingione in qualità di legale rappresentante della società B. Energy S.p.A. con nota del 10/2/2015, registrata agli atti il 5/3/2015 al prot. n. 18548, per lo scarico con recapito finale in Via del Lazzaretto angolo Via Carniccia delle acque reflue industriali (acque di falda della barriera idraulica e del well point) provenienti dagli interventi di bonifica del sito contaminato sito in Via Morosini n. 12 (Area ex Amga - sottocomparto 1);
- visto il parere favorevole, con prescrizioni, di Marche Multiservizi Spa prot. n. 3477 del 11/3/2015, consegnato e acquisito agli atti della Conferenza di Servizi del 12 marzo 2015, per il rilascio dell'autorizzazione allo scarico in pubblica fognatura delle acque reflue industriali provenienti dagli interventi di bonifica del sito contaminato, così come sopra descritto;
- visto il parere espresso da Arpam - Dipartimento Provinciale di Pesaro nella Conferenza di Servizi del 12 marzo 2015: "si concorda che il campionamento potrà essere istantaneo e non medio in quanto l'impianto è dotato di serbatoio d'accumulo";
- visto il D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152 Parte terza Sezione seconda e ss.mm.ii.;
- viste le Norme Tecniche di Attuazione del Piano Regionale di Tutela delle Acque approvato con D.A.C.R. Marche 145 del 26/01/2010;
- visto il Regolamento di Fognatura vigente;
- considerato che tale attività scarica in fognatura acque trattate che hanno origine sia dall'emungimento di pozzi barriera che dall'abbassamento del livello freatico ad opera del sistema di depressione della falda (well point);
- visto l'art. 107 del D. Lgs. 18/8/2000, n. 267 sull'ordinamento degli Enti Locali;
- visto l'art. 60 dello statuto comunale;
- visti gli artt. 3 e 5 della legge n. 241/90 e ss.mm.ii.;
- visto l'art. 47 della L.R. 10/1999 così come modificato dall'art. 5 della L.R. 23/2002;
- visto la delega di competenze del responsabile del Servizio Risorse e Sviluppo prot. n. 87696 del 14/10/2014.

Ritenuto di dover procedere al rilascio dell'autorizzazione allo scarico in pubblica fognatura delle acque reflue industriali come sopra descritte, ai sensi dall'art. 124 del D.Lgs.152/06 e delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano Regionale di Tutela delle Acque, in considerazione del fatto che il Comune è l'Autorità competente al rilascio del titolo autorizzativo anzidetto, con il supporto tecnico del soggetto gestore del Servizio Idrico Integrato.

AUTORIZZA

il Sig. Felice Mingione in qualità di legale rappresentante della società B. Energy S.p.A. affidataria degli interventi di bonifica dell'Area ex Amga - Sottocomparto 1 e titolare dello scarico di che trattasi, allo scarico nella pubblica fognatura, con recapito finale in Via del Lazzaretto, delle acque reflue industriali (acque di falda della barriera idraulica e del well point) in premessa caratterizzate provenienti dagli interventi di bonifica del sito contaminato come sopra descritto sito in Via Morosini n. 12, nel rispetto delle sotto elencate prescrizioni:

Il Responsabile dello scarico dovrà comunicare al Comune e a Marche Multiservizi Spa l'attivazione dello scarico.
Le caratteristiche qualitative dello scarico terminale devono sempre rispettare:

- i limiti della **Tab. 3 dell'All. 5, alla parte terza del D.Lgs. 152/06 (per acque superficiali);**
- **i limiti di 2 mg/l per il FOSFORO TOTALE e di 15 mg/l per AZOTO TOTALE;**
- per le sostanze pericolose indicate nella Tabella 3/A e nella Tabella 5 dell'Allegato 5 alla parte Terza del D. Lgs 152/06, per le sostanze prioritarie (P,E) e prioritarie pericolose (PP), indicate nella Tabella 1/A del paragrafo A.2.6 dell'Allegato 1 del D. MATTM 14/04/2009 n. 56 (Tab 1/A dell'All. 1 alla parte terza del D.Lgs 152/06), nonché contenenti le sostanze comunque bioaccumulabili indicate nella Tab 1/B del paragrafo A.2.7 dell'All. 1 del medesimo D.M. (Tab 1/B dell'All. 1 alla parte terza del D.Lgs 152/06) **i limiti della Tab. 3 dell'All. 5 alla parte terza (per acque superficiali); per le sostanze non elencate nella Tab. 3 il limite di 50 volte lo standard di qualità più restrittivo stabilito nelle Tab. 1/A e 1/B dell'All. 1 alla parte terza, ove lo standard è indicato; ove non sia indicato devono rispettare il limite di 50 volte il limite di rilevabilità del metodo di rilevazione di riferimento;**
- i limiti di accettabilità previsti non possono essere raggiunti mediante diluizione con acqua prelevata esclusivamente allo scopo;
- le eventuali indicazioni e/o prescrizioni dettate da Arpam.

La Ditta in premessa dovrà fornire a Marche Multiservizi Spa con cadenza trimestrale le analisi dei reflui all'uscita del sistema di trattamento, salvo diversa disposizione che l'Arpam vorrà indicare, con prelievo e analisi redatte e validate da chimico iscritto all'ordine professionale, che attesti il rispetto dei limiti sopra riportati.
Tale referto si riferisce di norma al campione medio prelevato nell'arco di tre ore.
In relazione a quanto dettato da Arpam **il campionamento potrà essere istantaneo e non medio in quanto l'impianto è dotato di serbatoio di accumulo.**
Qualora sussistessero situazioni tali che giustifichino un campionamento effettuato in tempi diversi, ciò dovrà essere riportato nello stesso rapporto di analisi.
Marche Multiservizi S.p.A. potrà, ogni qualvolta ritenuto necessario per avaria, per rottura delle linee o condotte fognarie, ecc., far sospendere lo scarico sulla pubblica fognatura senza che la Ditta possa vantare compensi od indennizzi di sorta per interruzioni dei cicli produttivi.
Ogni modifica strutturale e di processo che intervenga in maniera sostanziale nella qualità e/o quantità dello scarico dovrà essere preventivamente autorizzata.
Dovrà essere data comunicazione immediata all'Autorità Competente e a Marche Multiservizi Spa di guasti agli impianti o di altri fatti o situazioni che potranno costituire occasione di pericolo per la salute pubblica, per le reti di fognatura pubblica e/o per l'ambiente.
Nel caso di arresto degli impianti di pretrattamento, dovuti ad avaria o ad altri fatti imprevisti o imprevedibili, la Ditta è tenuta a darne immediata comunicazione all'Autorità Competente e a Marche Multiservizi Spa, prima telefonicamente e quindi in forma scritta.
La disattivazione degli impianti di pretrattamento per lavori di manutenzione, deve essere concordata con l'Autorità Competente e Marche Multiservizi Spa, alla quale vanno confermate, con lettera raccomandata, le date di arresto e riattivazione degli impianti nonché ogni variazione dei tempi concordati e precedentemente comunicati.
La Ditta in oggetto dovrà garantire un appropriato sistema di autocontrolli, sugli impianti di trattamento e sulle acque reflue scaricate, volto a garantire il rispetto dei limiti d'accettabilità fissati.

Resta l'obbligo di comunicare al gestore della pubblica fognatura (Marche Multiservizi Spa) e all'Autorità Competente le seguenti variazioni relative allo scarico in questione:

- variazione intestazione Ditta;
- variazione della qualità dello scarico;
- variazione della quantità dello scarico.

Resta inoltre inteso che:
- Gli Enti preposti ed il personale tecnico di Marche Multiservizi Spa, sono autorizzati ad effettuare i controlli per la verifica di quanto dichiarato ai sensi dell'art.128 del D. Lgs. 152/2006;
- l'inosservanza delle prescrizioni sopra riportate comporta l'adozione dei provvedimenti di cui all'art.130 del D. Lgs. 152/2006 nonché l'applicazione delle sanzioni specificate dal Titolo V della Parte Terza Sezione Seconda del D. L.gs. 152/2006;

- la presente autorizzazione si intende rilasciata per quanto di competenza:
  - senza pregiudizio di terzi, verso i quali il soggetto autorizzato si assume ogni responsabilità;
  - sotto l'osservanza di tutte le leggi ed i regolamenti in vigore, anche se non espressamente richiamati nel presente atto;
  - fatti salvi visti, pareri, nulla osta, autorizzazioni di competenza di altri Servizi dell'Ente o di altri Servizi di Marche Multiservizi Spa o di altri Enti.

La presente autorizzazione è rilasciata per gli usi consentiti dalla legge.
La presente autorizzazione decade qualora non permangano più le condizioni per le quali è stata rilasciata, con particolare riferimento alla quantità ed alla qualità dello scarico dichiarati.
La presente autorizzazione dovrà essere esibita su richiesta dell'autorità competente al controllo.
La presente autorizzazione è limitata all'arco temporale della durata degli interventi di bonifica.

Responsabile del procedimento, ai sensi dell'art. 5, comma 1, della Legge 241/90 e ss.mm.ii. è il Dott. Beniamino Tatali, responsabile U.O. Ambiente del Servizio Risorse e Sviluppo e gli atti concernenti la presente fattispecie possono essere visionati presso il responsabile suddetto.

Ai sensi dell'articolo 3 comma 4 della legge 241/90 e ss.mm.ii. il presente provvedimento può essere impugnato dinanzi al TAR entro 60 giorni dal rilascio con ricorso giurisdizionale oppure entro 120 giorni dal rilascio del medesimo con ricorso straordinario amministrativo al Capo dello Stato.

Copia della presente autorizzazione viene inviata, tramite PEC, a:
- Marche Multiservizi Spa - Divisione Reti, Pesaro;
- Arpam - Dipartimento Provinciale di Pesaro.

E, inoltre, per conoscenza a:
- Regione Marche - Servizio Territorio Ambiente, Ancona;
- Provincia di Pesaro e Urbino - Servizio Ambiente, Pesaro;
- Osservatorio Epidemiologico Ambientale, Ancona;
- Asur Marche Area Vasta N. 1 - Dipartimento di Prevenzione, Pesaro.

Il Responsabile U.O. Ambiente
Dott. Beniamino Tatali

ANALISI ED ACCERTAMENTI PROPEDEUTICI AL PROGETTO OPERATIVO

CONVENZIONE DELIBERAZIONE G.C. 46/2019 – FASE 3

RELAZIONE SULL'ESITO DELLE INDAGINI MICROBIOLOGICHE SUI SUOLI DEL SITO E DEI TEST IN MICROCOSMI

A cura di

RESPONSABILE SCIENTIFICO: DR.SSA SILVIA CROGNALE

STAFF DI RICERCA: DOTT.SSA CRISTINA RUSSO; DOTT.SSA ELEONORA CAROTA

COORDINAMENTO SCIENTIFICO: PROF. PAOLO DE ANGELIS

DIBAF- Università degli Studi della Tuscia

Indice

PREMESSA 3
OBIETTIVI DELLE INDAGINI MICROBIOLOGICHE NEL SITO EX AMGA DI PESARO 4
ATTIVITÀ E RISULTATI 5
1. Campionamento del suolo 5
Insaturo – terreno di riporto 5
Saturo - matrice alluvionale autoctona (argille-sabbiose-limose) 5
Bianco 5
2. Determinazione dell'umidità dei campioni di suolo 7
3. Determinazione della carica microbica 7
4. Caratterizzazione metagenomica della comunità microbica presente nei suoli campionati 8
5. Arricchimento e isolamento 12
6. Screening di degradazione 13
7. Identificazione molecolare 14
8. Selezione dei microrganismi 16
9. Allestimento microcosmi - suolo 17
10. Risultati - microcosmi suolo 18
Analisi quantitative delle comunità microbiche 18
Analisi dell'attività degradativa 20
Considerazioni conclusive sui test sul suolo 21
11. sviluppo di test in microcosmo per il trattamento della falda 25
Premessa 25
I test propedeutici 25
Allestimento dei microcosmi 29
12. Risultati - microcosmi falda 30
Analisi quantitative delle comunità microbiche 30
Analisi dell'attività degradativa 31
Considerazioni conclusive sui test sulla falda 33
Bibliografia 34

PREMESSA

I microrganismi, grazie alla loro versatilità metabolica e alla propria capacità di resistere a condizioni estreme, sono largamente distribuiti nella biosfera. Il principio fondamentale del biorimedio microbico sfrutta proprio la versatilità nutrizionale dei microrgansmi per promuovere la biodegradazione dei contaminanti, utilizzando i pool microbici enzimatici come biocatalizzatori per facilitare le cinetiche di degradazione dei contaminanti.

L'efficienza della "*bioremediation*" può dipendere da diversi fattori fra cui la natura chimica e la concentrazione del contaminante, le caratteristiche chimico fisiche dell'ambiente, la biodisponibilità dei contaminati ai microrganismi.

Ad oggi sono possibili diversi tipi di approcci per la bonifica *in-situ* mediata da microrganismi, di cui si riportano di seguito gli elementi disinviti essenziali.

"***Natural attenuation***": la comunità indigena (autoctona) è responsabile nella degrazione di contaminanti nel sito. Risulta essere un approccio vincente quando la comunità microbica risulta essere adattata alla presenza del contaminante e quando ci sono le condizioni ambientali per l'instaurarsi della biodegradazione (pH, elementi nutritivi essenziali, disponibilità di O_2);

"***Biostimulation***": sono aggiunti appropriati nutrienti (fosforo azoto) o vengono alterate alcune condizioni ambientali limitanti (O_2, surfattanti), per favorire l'attività microbica indigena;

"***Bioaugmentation***": sono aggiunti microrganismi selezionati dal sito e specializzati nella biodegradazione dei contaminanti target, al fine di attivare/accelerare i processi degradativi di interesse per la bonifica del sito.

OBIETTIVI DELLE INDAGINI MICROBIOLOGICHE NEL SITO EX AMGA DI PESARO

Le indagini microbiologiche sono state organizzate in due fasi distinte:

- caratterizzazione quali-quantitativa delle comunità microbiche presenti nel sito e analisi delle possibili relazioni con la eterogeneità della contaminazione e delle caratteristiche ambientali;
- selezione e test in microcosmi dei microrganismi candidati per la *bioaugmentation in-situ*.

Gli obiettivi principali delle attività complessivamente riferibili alle due fasi di indagine sono stati quelli di:

- effettuare una caratterizzazione microbica in alcuni punti dell'area oggetto di studio (contaminata e non, satura e insatura), al fine di individuare la carica microbica in termini di batteri e funghi, ma anche di valutare le pre-condizioni di fattibilità dell'intervento di biorimedio microbico;
- isolare dal sito oggetto di studio microrganismi (batteri e funghi) coltivabili e quindi potenziali candidati per il biorimedio in-situ (*bioaugmentation*);
- selezionare fra i microrganismi coltivabili, quelli con note e significative capacità degradative nei confronti dei contaminanti presenti nell'area oggetto di studio;
- classificare dal punto di vista tassonomico i ceppi microbici di potenziale interesse per l'approccio di *bioaugmentation*;
- validare le capacità degradative dei microrganismi e dei consorzi selezionati in test con microcosmi.

ATTIVITÀ E RISULTATI

1. CAMPIONAMENTO DEL SUOLO

I punti di riferimento per il campionamento del 14.03.2019 sono stati alcuni dei sondaggi realizzati nell'ambito dei Piano di Indagine Ambientale del 2016. Il campionamento è stato eseguito con pala meccanica di circa 50 cm di larghezza, nella prossimità (1-2 m) del punto di riferimento. La profondità reale di campionamento è stata basata sull'identificazione della matrice target e dei risultati dell'indagine del 2016.

INSATURO – TERRENO DI RIPORTO

Campione S3 (Punto di riferimento *S3C1*: IPA=796; C>12=900; profondità 0.8-1.0 m): il campionamento è stato fatto nel terreno di riporto che era risultato avere una contaminazione molto eterogenea; dal materiale, setacciato in campo con vaglio 2 cm, sono state selezionate le frazioni con evidenza di composti aromatici (Figura 1a).

Campione S16 (Punto di riferimento *S16C2*: IPA=1645; C>12=4444; profondità 1.5-1.7 m): il campionamento è stato fatto nel terreno di riporto che presentava residui carboniosi; il materiale è stato setacciato in campo con vaglio 2 cm (Figura 1b).

SATURO - MATRICE ALLUVIONALE AUTOCTONA (ARGILLE-SABBIOSE-LIMOSE)

Campione S4 (Punto di riferimento *S4C2*: IPA=1263; C>12=5679; profondità 1.1-1.4 m): argilla-sabbiosa con evidenti screziature superficiali da deposito di idrocarburi, presenza di acqua libera (Figura 1c).

Campione S22 (Punto di riferimento *S22C1*: IPA=1275; C>12=4812; profondità 1.2-1.5 m): argilla-limosa con evidente presenza di idrocarburi anche aromatici, presenza di acqua libera (Figura 1d).

BIANCO

Al fine identificare la possibile specializzazione delle comunità microbiologiche nelle aree risultate contaminate, è stato effettuato un campionamento anche in un'area potenzialmente non-contaminata (riferimento PM3). Il campione potenzialmente non contaminato è stato prelevato a due livelli.

"Bianco" insaturo: terreno di riporto misto con laterizi; prelevata frazione di terreno priva di frammenti evidenti di laterizi (Figura 1e).

"Bianco" saturo: argilla compatta di grande spessore, assente acqua allo stato libero (Figura 1f).

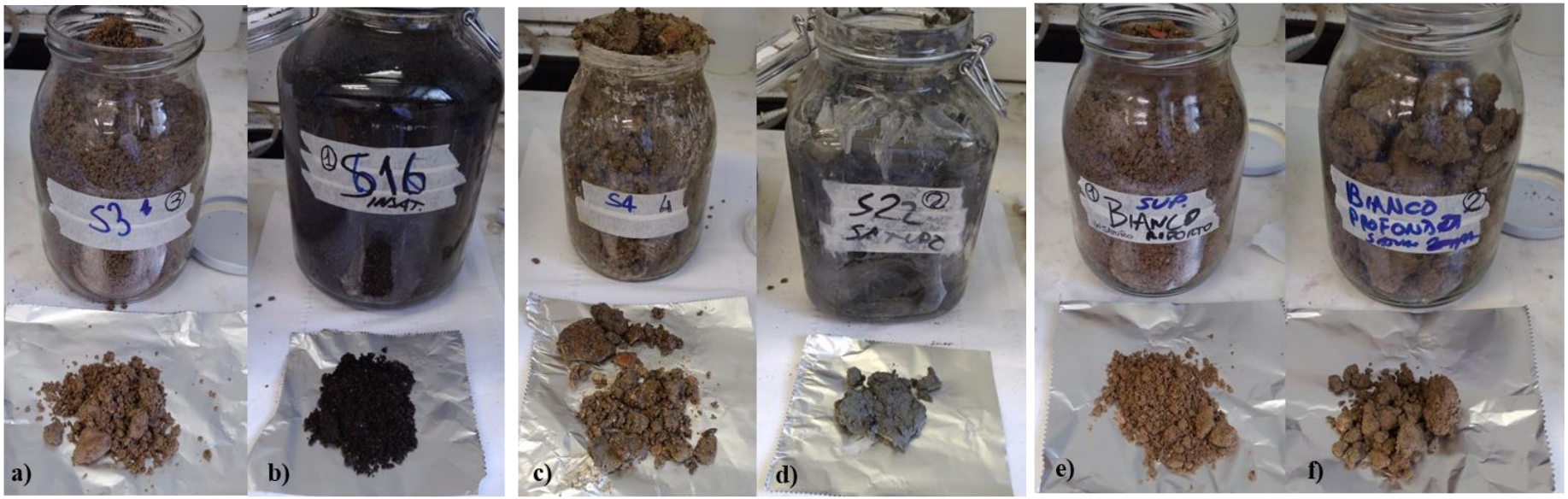


Figura 1. *Campioni di suolo: a) S3 (insaturo); b) S16 (insaturo); c) S4 (saturo); d) S22 (saturo); e) Bianco insaturo; f) Bianco saturo.*

2. DETERMINAZIONE DELL'UMIDITÀ DEI CAMPIONI DI SUOLO

Un'aliquota di suolo per ciascuno dei 6 campioni è stata pesata, congelata a – 80 °C per circa 5 ore e sottoposta a liofilizzazione per 48 ore. L'umidità, riportata in percentuale nella Tabella 1, è stata calcolata con la formula riportata in seguito:

$$U(\%) = \frac{peso_{umido} - peso_{secco}}{peso_{secco}} \times 100$$

Tabella 1. Percentuale di umidità dei campioni di suolo.

CAMPIONE	U_{media} (%)	Dev.Std
Bianco insaturo (B.INS)	14.98	0.09
Bianco saturo (B.SAT)	22.63	0.25
S3 insaturo (S3INS)	14.20	0.51
S4 saturo (S4SAT)	19.59	0.33
S16 insaturo (S16INS)	23.04	0.74
S22 saturo (S22SAT)	35.42	0.70

Il valore medio di umidità del suolo per i tre campioni insaturi era pari a circa il 17%, mentre quello dei campioni saturi era pari a circa il 26%. I valori non si presentavano omogeni nei diversi punti di campionamento, quando confrontati per strato, come effetto della diversa composizione granulometrica e del diverso livello di soggiacenza della falda.

3. DETERMINAZIONE DELLA CARICA MICROBICA

La carica microbica di ciascun campione è stata valutata tramite conta sia colturale sia molecolare. Per la conta colturale, sono stati preparati degli elutriati in soluzione fisiologica da ciascuno dei campioni menzionati, sono state prelevate in sterilità delle aliquote, sono state diluite e piastrate su 2 differenti terreni agarizzati: il *Rose Bengal chloramphenicol* Agar (RBA), selettivo per funghi, e il *Plate Count Agar* (PCA), selettivo per batteri. Le colonie sono state contate dopo 24-48 ore. In Tabella 2 sono riportati i risultati espresso come numero di Unità Formanti Colonia (UFC) per grammo di suolo secco. Per la conta molecolare, è stata fatta una PCR quantitativa. L'estrazione del DNA è stata fatta a partire da un'aliquota di suolo liofilizzato; la PCR è stata condotta sia per rilevare la presenza di batteri (amplificazione della regione 16S) sia di funghi (amplificazione della regione ITS). I valori sono espressi in numero di copie per grammo di suolo secco (Tabella 2).

I risultati mostrano una consistenza della comunità microbica mediamente bassa, spiegabile con la ridotta fertilità dei terreni superficiali come effetto del precedente uso industriale dell'area e l'assenza di una ricolonizzazione vegetale nei tempi più recenti (solo sporadica). A titolo di confronto, si ricorda che per i terreni agrari e forestali la carica microbica raggiunge in condizioni ottimali valori dell'ordine di grandezza di 10^9.

Tabella 2. Conta colturale e conta molecolare dei campioni di suolo.

	Conta colturale		Conta molecolare	
CAMPIONE	Batteri (CFU/g)	Funghi (CFU/g)	Batteri (16S copy n°/g)	Funghi (18S copy n°/g)
Bianco insaturo (B.INS)	2.47E+05	1.26E+03	8.30E+05	5.48E+06
Bianco saturo (B.SAT)	9.99E+04	3.68E+02	5.02E+06	8.48E+05
S3 insaturo (S3INS)	1.22E+04	6.85E+02	5.64E+05	3.14E+06
S4 saturo (S4SAT)	7.65E+05	1.44E+03	0.50E+07	1.90E+06
S16 insaturo (S16INS)	7.06E+05	8.12E+03	3.55E+07	1.38E+04
S22 saturo (S22SAT)	1.22E+03	0	1.42E+06	3.44E+03

Come atteso, i funghi si ritrovano in quantitativo inferiore rispetto alle forme batteriche (di 2 ordini di grandezza) e sono poco prevalenti nelle aree sature. Ciò è dovuto al fatto che la gran parte dei funghi filamentosi predilige ambienti aerobici o al massimo microaerofili e solo una frazione minoritaria riesce a crescere in condizioni di anossia più tipiche degli ambienti saturi (si veda anche Tabella 4).

Non emergono differenze di spicco fra i suoli di controllo (non contaminati) e quelli invece contaminati, in linea con quanto già noto per le aree contaminante storicamente. Infatti, se nel breve termine a seguito di un evento contaminante (es. sversamento) si assiste ad una riduzione della carica microbica, nel medio e lungo termine la comunità subisce una riorganizzazione che può ripristinare i valori iniziali seppur a fronte di una riduzione della biodiversità. Le specie più sensibili al contaminante scompaiono, ma contemporaneamente quelle più resistenti e specializzate tendono a prevalere nel tempo, dando origine a comunità a ridotta diversità ed elevata specializzazione.

4. CARATTERIZZAZIONE METAGENOMICA DELLA COMUNITÀ MICROBICA PRESENTE NEI SUOLI CAMPIONATI

Mediante tecnica *NGS* e il sequenziamento della regione 16s e ITS è stata possibile la caratterizzazione della composizione delle comunità microbiche batterica e fungina, rispettivamente. Va sottolineato tuttavia che i suoli campionati apparivano estremamente eterogenei e comunque diversi in termini tessitura, tipologia, grado di saturazione e di contaminazione del suolo, pertanto il fine ultimo dell'analisi era mirato ad una descrizione della composizione e della struttura delle comunità microbiche piuttosto che a correlare la presenza di particolari gruppi tassonomici in relazione ad alcune proprietà del suolo campionato.

Per quanto riguarda la comunità batterica, in termini di *alpha-diversity* (numero di gruppi tassonomici in relazione alla loro percentuale relativa) le comunità non si distinguono significativamente tra di loro. Le comunità che caratterizzano i suoli saturi rispetto a quelli insaturi) presentano, invece una *richness* ridotta, indicativa del numero delle specie presenti (Chao1 e Observed OTU - Tabella 3). Ciò è dovuto presumibilmente alle condizioni di anossia presenti nel suolo saturo che limitano lo sviluppo di gran parte delle popolazioni aerobiche e microaerofiliche. Viceversa, nei suoli insaturi si instaurano microambienti aerobici, nelle aree più superficiali e maggiormente drenate, ma anche habitats microaerobici, fino ad arrivare

anche a condizioni di anossia, creando microambienti multipli in grado di permettere la colonizzazione di popolazioni con requisiti differenziali rispetto alla presenza di ossigeno.

Il profilo metagenomico della comunità batterica in grado di colonizzare il campione contaminato S16 vede l'aumento della abbondanza relativa di gruppi appartenenti a generi *Solibacter* (2.8% *vs* 1.1% nei suoli non contaminati), *Rhodoplanes* (1.9% *vs* 0.6% nei suoli non contaminati) *Rhodovibrio* (1.4% vs 0.6% nei suoli non contaminati) *Flavobacterium* (1.6% vs 0.5%) e *Hypomicrobium* (1.2% vs 0.5% nei suoli non contaminati). Fra i generi strettamente anerobici presenti nel suolo insaturo e contaminato (S16) incrementano la loro percentuale relativa, rispetto ai suoli non contaminati, i generi *Longilinea* (2.1% vs 0.6 suoli insaturi non contaminati) e *Dehalogenimonas* (1.2 vs 0.1 suoli insaturi non contaminati).

Dalla letteratura è noto che molti fra i generi sopra menzionati sono riportati essere indicatori di microbici di contaminazione come, i generi appartenenti alle famiglie *Hymicrobiaceae* (3.3%) (Gałązka et al., 2018) o come nel caso di generi della famiglia delle *Rhodospirillaceae* (3.7%) a cui fanno parte microrganismi specializzati nella degradazione degli idrocarburi sia in condizione di aerobiosi che di anerobiosi e in presenza un certo grado di salinità (Kodama e tal., 2008; Berry and Gutierrez 2017). Per quanto riguarda i membri appartenenti alla famiglia delle *Dehalococcidaceae*, questi sono microrganismi bene noti nel processo di declorinazione riduttiva dei contaminanti (Sayiari et al., 2018) (Figura 2). È facile ipotizzare che la contaminazione pregressa con organici clorurati, ancora presenti in falda, abbia selezionato popolazioni specifiche di degradatori.

Analizzando la *alpha-diversity* delle comunità fungine (Tabella 3) caratterizzanti i suoli, si assiste ad una significativa riduzione della diversità sia in termini di *richness* (numero di specie) che di diversità espressa mediante l'indice Shannon (che tiene conto anche dell'abbondanza relativa della specie) del suolo S16 contaminato, rispetto suoli insaturi di riferimento. Ciò può trovare spiegazione con diverse motivazioni a) i funghi rispetto ai batteri hanno dei tempi e modalità di adattamento, acclimatazione, e sviluppo più lunghi e più complessi rispetto alla comunità batterica, b) essendo il suolo eterogeno e profondo può presentare delle sacche di anossia (come testimoniato dalla presenza di anerobi stretti) difficilmente colonizzabili dai funghi filamentosi, che tendono a preferire condizioni di aerobiosi. Ciò consente di spiegare i motivi per cui sia così evidente l'effetto della contaminazione sulla comunità fungina, che in seguito all'effetto selettivo del contaminante trova difficilmente una condizione di riequilibrio. Per quanto riguarda i suoli saturi, non contaminati, la biodiversità risulta essere superiore al suolo insaturo contaminato ed inferiore a quella batterica. La bassa carica fungina insieme alla bassa biodiversità rendono il profilo metagenomico di difficile interpretazione tanto che molte delle OTU assegnate rientrano nella categoria tassonomica di Fungi senza una precisa collocazione tassonomica ad eccezione di due generi quali *Yarrowia* e *Densospora* che presumibilmente rappresentano una frazione dominante all'interno della comunità. Entrambe i generi sono riportati essere degradatori di idrocarburi o comunque isolati da idrocarburi (Beopolus et al., 2010).

Tabella 3: ***Alpha-diversity*** **delle comunità batteriche e fungine rivelate mediante NGS**

	Bacterial community			***Fungal community***		
Suolo	**Observed OTUs**	**Chao 1**	**H***	**Observed OTUs**	**Chao 1**	**H***
Controllo INSATURO	3141.1	5772.5	10.58	132	888	5.53
INSATURO S16	2817.7	5382.9	10.10	15	15	3.25
INSATURO S3	2844.0	5324.9	9.86	100	339	5.45
Controllo SATURO	2542.2	4820.6	9.69	128	410	6.03
SATURO S22	1825.9	2945.7	8.64	63	196	4.11
SATURO S4	2761.6	4930.5	10.16	95	319	5.04

**Shannon index*

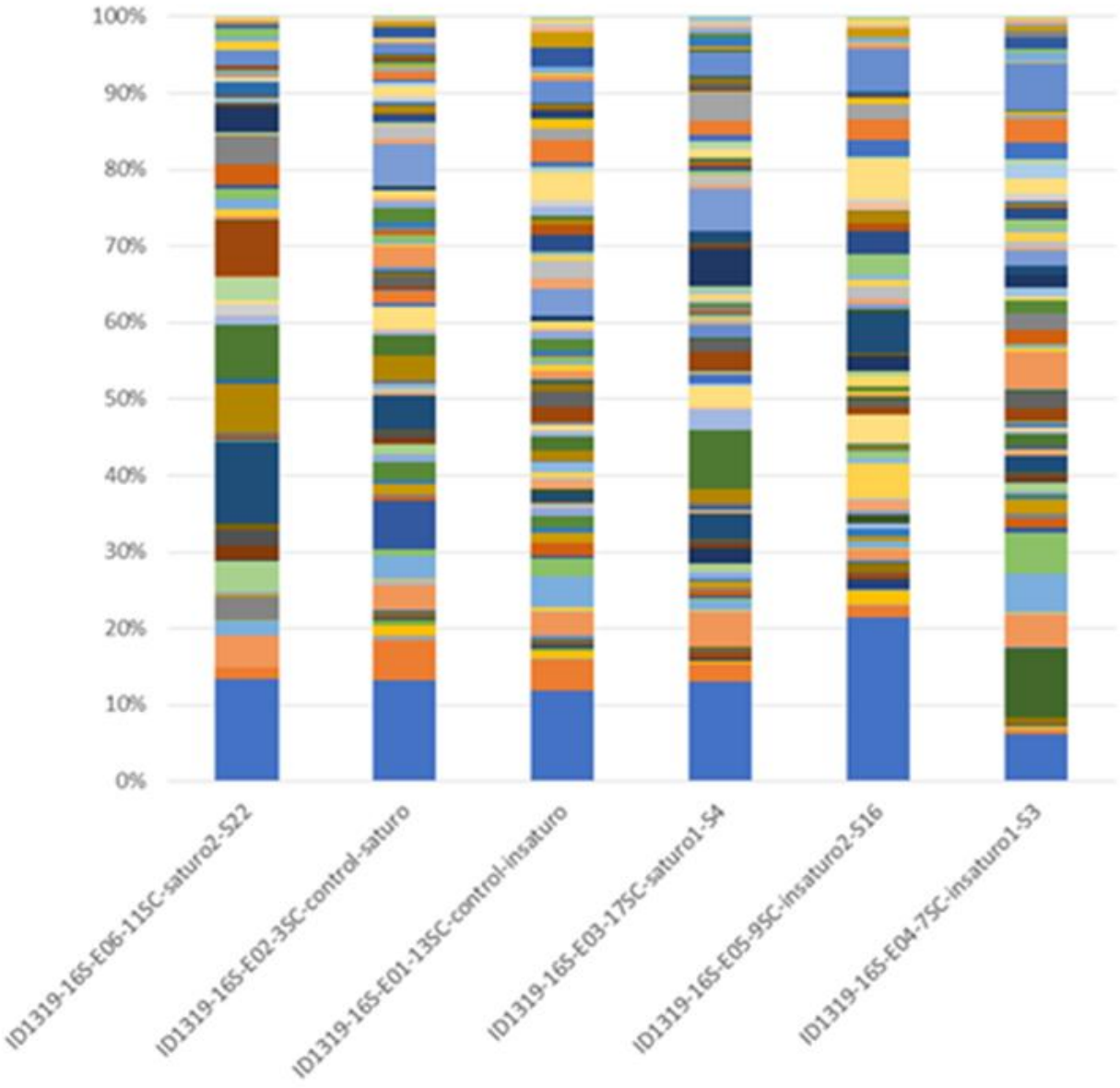


Figura 2a: *Abbondanza relative delle OTU a livello di famiglia ottenuta mediante analisi NGS*

Figura 2b: *legenda della figura 2a*

5. ARRICCHIMENTO E ISOLAMENTO

I campioni S16 insaturo e S22 saturo sono stati scelti come suoli da cui isolare microrganismi di potenziale interesse per la degradazione di idrocarburi lineari e aromatici, avendo mostrato in fase di campionamento tracce della contaminazione. Al fine di isolare microrganismi capaci di tollerare la tossicità del contaminante e di crescere utilizzando il contaminante come fonte carboniosa, i microrganismi sono stati isolati dal suolo dopo un arricchimento effettuato come descritto di seguito.

Un'aliquota degli elutriati preparati precedentemente è stata utilizzata come inoculo di un terreno di coltura minimo, la cui unica fonte di carbonio era costituita da una miscela di idrocarburi lineari C_{10}-C_{40} alla concentrazione di 500 mg l^{-1} e una miscela di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) alla concentrazione di 100 mg l^{-1}. La miscela di idrocarburi lineari era una "*Alkane standard mixture*" commerciale (Fluka) mentre la miscela di IPA è composta da: fenantrene (70%), pirene (20%), antracene (5%) e crisene (5%).

Al fine di selezionare sia microrganismi aerofili che microaerofili che potessero essere compatibili con un intervento *in-situ* sia in condizioni sature che insature, l'arricchimento è stato condotto sia in agitazione, per consentire condizioni di aerobiosi, sia in statico, per consentire condizioni di microaerofilia.

Le combinazioni di arricchimento risultano così essere state quattro:

- S16 insaturo in agitazione
- S16 insaturo in statico
- S22 saturo in agitazione
- S22 saturo in statico

Dopo 4 giorni di incubazione a 25 °C, sono state prelevate in sterilità delle aliquote che sono state diluite e piastrate su 2 differenti terreni agarizzati: il *Rose Bengal chloramphenicol Agar* (RBA), selettivo per funghi, e il *Plate Count Agar* (PCA), selettivo per batteri. Inoltre, gli stessi arricchimenti sono stati sottoposti ad un ulteriore arricchimento analogo al precedente e pertanto addizionati con le miscele di C_{10}-C_{40} e di IPA, a seguito del quale sono state effettuate nuovamente le semine.

Dall'incubazione delle piastre ottenute dal primo e dal secondo arricchimento, sono stati individuati e isolati i microrganismi (Tabella 4). Ogni isolato è stato ripassato su nuove piastre, sullo stesso terreno agarizzato da cui era stato selezionato in modo da verificarne la purezza e la morfologia nel corso del tempo.

Tabella 4. Numero di microrganismi isolati dall'arricchimento dei campioni di suolo in condizioni di aerobiosi e di microaerofilia.

Campione	Condizioni di arricchimento	Funghi	Lieviti	Batteri
S16 insaturo	Aerobiosi	3	0	6
	Microaerofilia	0	1	5
S22 saturo	Aerobiosi	1	2	4
	Microaerofilia	0	0	5
Totale isolati		**4**	**3**	**20**

6. SCREENING DI DEGRADAZIONE

Per stimare la capacità di degradazione degli idrocarburi da parte dei microrganismi isolati, è stato svolto un saggio con il 2,6-diclorofenolindofenolo (DCPIP) come indicatore redox. Il saggio è stato condotto in terreno di coltura minimo per due diversi idrocarburi-modello come fonte di carbonio: dodecano (catena carboniosa a 12 atomi di carbonio) alla concentrazione di 500 mg l^{-1} e fenantrene (3 anelli benzenici fusi) alla concentrazione di 250 mg l^{-1}. Le colture batteriche e fungine sono state incubate nelle stesse condizioni dell'isolamento (in agitazione per i microrganismi isolati in aerobiosi o in statico per quelli isolati in microaerofilia). A fine incubazione, è stata effettuata una misurazione del colore mediante spettrofotometro (Figura 3). Durante l'ossidazione microbica degli idrocarburi, infatti, il DCPIP si riduce ed è possibile valutare la capacità del microrganismo di utilizzare gli idrocarburi osservando il cambiamento di colore del brodo colturale da blu (ossidato) a incolore (ridotto), analizzando l'assorbanza del surnatante dopo centrifugazione a una lunghezza d'onda di 600 nm (Tabella 5).

Tabella 5. Capacità degradativa dei microrganismi risultati positivi per la degradazione di dodecano e/o fenantrene. Fra parentesi il livello di decolorazione del DCPIP espresso come $\Delta ABS_{600} = ABS_{bianco} - ABS_{campione}$

ISOLATO*	Degradazione			
	Dodecano		Fenantrene	
INS_A_B1	(0.516)	**++**	(0.624)	**+++**
INS_A_B3	(0.136)	**+**	(0.360)	**++**
INS_A_B5	(0.422)	**++**	(0.380)	**++**
SAT_A_B2	(0.321)	**++**	0	
INS_M_B3	(0.406)	**++**	0	
SAT_M_B5	(0.452)	**++**	0	
INS_A_F1	(0.254)	**+**	(0.180)	**+**
INS_A_F2	(0.196)	**+**	(0.362)	**++**
SAT_A_F1	(0.220)	**+**	(0.284)	**+**

* A ciascun isolato è stato assegnato un codice alfanumerico. Le prime 3 lettere indicano il suolo di isolamento (INS: S16 insaturo; SAT: S22 saturo); la quarta lettera indica le condizioni di isolamento (A: aerobiosi; M: microaerofilia); gli ultimi due caratteri rappresentano i morfotipi (i batteri presentano la lettera B seguita da una numerazione crescente; i funghi filamentosi presentano la lettera F seguita da una numerazione crescente).

Figura 3. *Test di screening per la degradazione di idrocarburi lineari e aromatici. a) INS_A_B1; b) INS_A_B3; c) INS_A_B5; d) SAT_A_B2; e) INS_M_B3; f) SAT_M_B5; g) INS_A_F1; h) INS_A_F2; i) SAT_A_F1*

7. IDENTIFICAZIONE MOLECOLARE

I ceppi batterici e fungini che nella precedente prova di screening hanno mostrato un'attività di degradazione degli idrocarburi sono stati identificati a livello molecolare. A questo scopo sono state allestite delle colture liquide in LB (*Lysogeny Broth*) e MEB (*Malt Extact Broth*), rispettivamente per batteri e funghi, per ottenere la biomassa da cui estrarre il DNA. Il DNA è stato estratto da ciascun isolato e sono state amplificate tramite PCR le regioni target quali il 16S per l'identificazione batterica e l'ITS per l'identificazione dei funghi.

Gli ampliconi sono stati sequenziati, i cromatogrammi ottenuti (Figura 4) sono stati analizzati, le sequenze sono state pulite delle regioni di appaiamento dei primer e inserite all'interno del database NCBI Blast che ha permesso di confrontarle con sequenze analoghe di microrganismi noti (Figura 5).

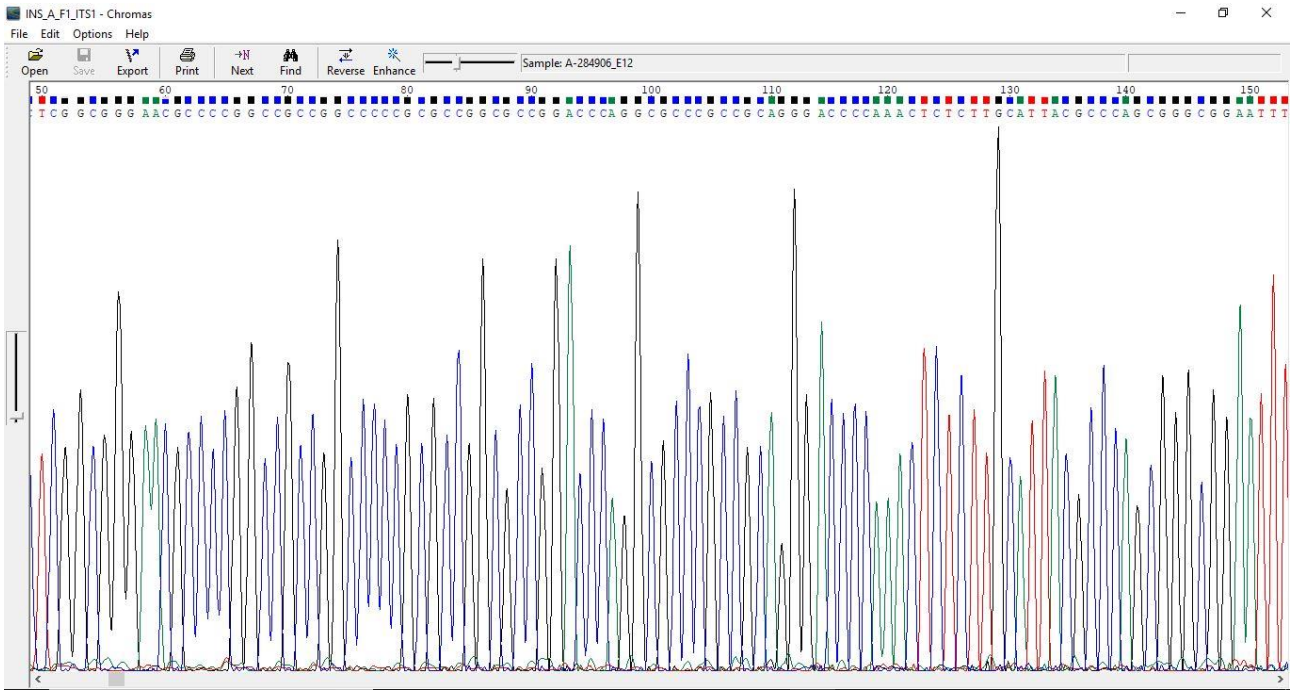


Figura 4. *Cromatogramma-tipo e sequenza ottenuta dall'amplificazione della regione target*

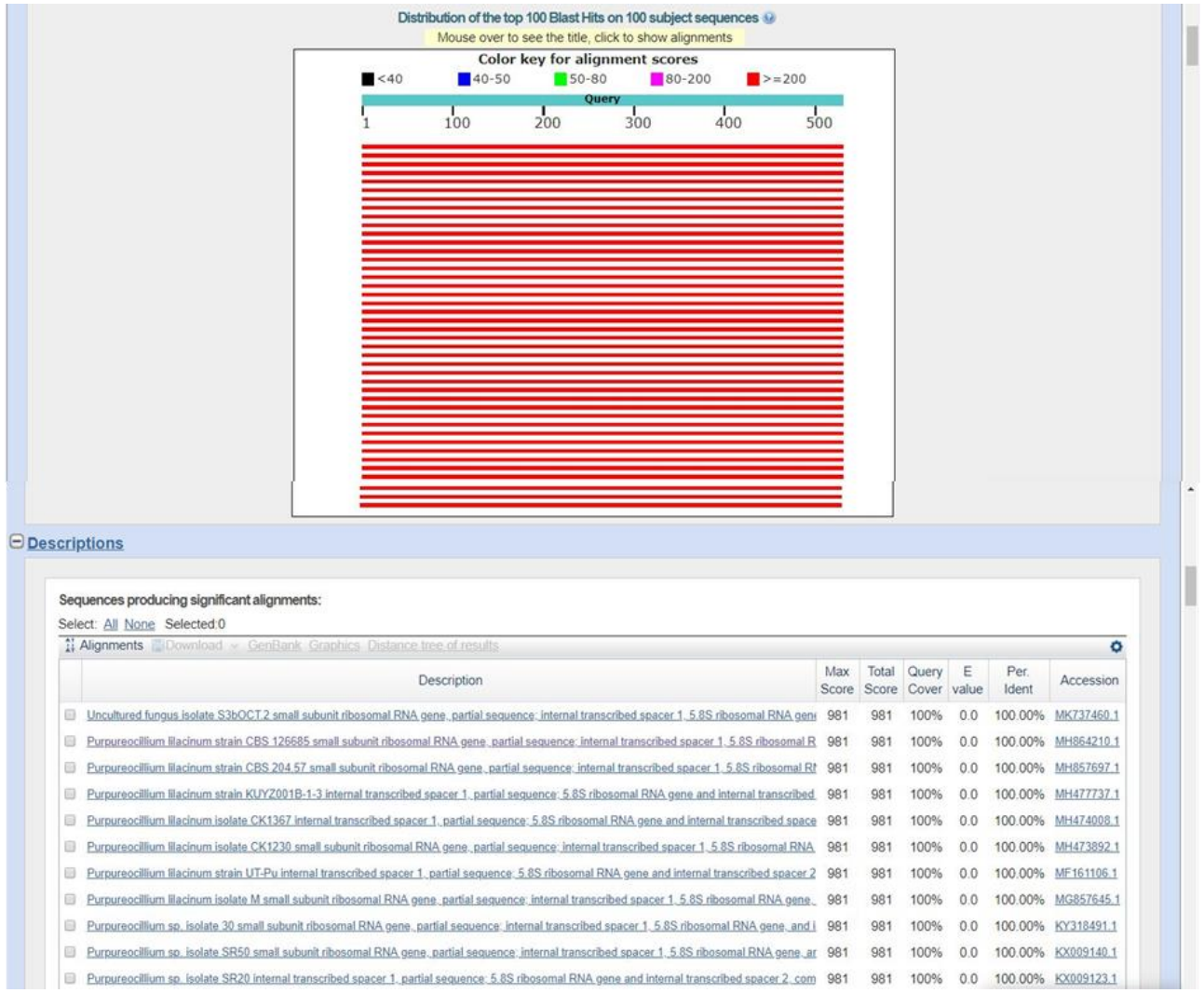


Figura 5. *Allineamento e confronto di una sequenza-tipo di un isolato.*

La Tabella 6 riporta l'assegnazione tassonomica e la relativa percentuale di identità ottenuta rispetto al corrispettivo presente nella banca dati.

Tabella 6. Assegnazione tassonomica degli isolati positivi allo screening ottenuta mediante identificazione molecolare.

ISOLATO	Identificazione	Identità (%)
INS_A_B1	*Acinetobacter sp.*	lwoffii (100%), guillouiae (100%), johnsonii (100%)
INS_A_B3	*Acinetobacter sp.*	radioresistens (98.6%)
INS_A_B5	*Acinetobacter sp.*	lwoffii (100%), guillouiae (100%), johnsonii (100%)
SAT_A_B2	*Pseudarthrobacter sp.*	siccitolerans (99.9%), oxydans (99.9%)
INS_M_B3	*Acinetobacter sp.*	beijerinckii (99.5%), haemolyticus (99.5%), calcoaceticus (99.5%)
SAT_M_B5	*Pseudomonas sp.*	kilonensis (99.8%), fluorescens (99.8%), corrugata (99.6%), brassicacearum (99.6%), thivervalensis (99.5%), salomonii (99.5%), arsenicoxydans (99.4%), putida (99.4%)
INS_A_F1	*Purpureocillium lilacinum* *Paecilomyces lilacinus*	100%
INS_A_F2	*Fusarium sp.*	solani (100%), oxysporum (100%)
SAT_A_F1	*Penicillium citrinum*	100%

Quattro dei sei batteri individuati appartengono al genere *Acinetobacter* e, seppur non si è potuti arrivare a livello di specie, si tratta di specie differenti ad eccezione degli isolati INS_A_B1 e INS_A_B5 che hanno fornito la stessa identica sequenza e pertanto, presumibilmente, appartengono alla stessa specie di *Acinetobacter*. I restanti batteri risultano appartenere uno al genere *Pseudarthrobacter* e l'altro al genere *Pseudomonas*.

Tutti gli isolati fungini sono stati identificati a livello di genere e, tranne in un caso, anche di specie.

8. SELEZIONE DEI MICRORGANISMI

I risultati ottenuti nelle fasi precedenti hanno consentito di candidare per la prima fase di selezione tutti i microrganismi isolati nell'area, in quanto: autoctoni, con capacità di crescita e moltiplicazione sia in condizioni di aerofilia che di microaerofilia (idonei pertanto a condizioni sia sature sia insature), con spiccate capacità degradative nei test di laboratorio verso alcani e/o idrocarburi aromatici.

La seconda fase di selezione, si è basata sulla classificazione a livello tassonomico dei microrganismi isolati e dall'analisi della letteratura scientifica. Sono stati quindi esclusi quelli potenzialmente patogeni per l'uomo e/o per gli organismi vegetali e mantenuti quelli per cui era documentata una capacità degradativa per i composti target della bonifica (vedi anche in allegato scheda tecnica Microrganismi).

Infine, sono considerate favorevoli ma non necessarie le seguenti caratteristiche:

- produzione di biosurfattanti, per facilitare la mobilitazione dei contaminanti liposolubili;

- mobilità flagellare per le specie batteriche, per facilitare la diffusione nella matrice da trattare;
- produzione di spore per le specie fungine, per facilitare la dispersione nella matrice.

Il risultato della selezione di cui sopra ha portato alla scelta, per i test in microcosmo, di tre batteri e un fungo: INS_A_B1, INS_M_B3, SAT_M_B5, INS_A_F1 (Figura 6).

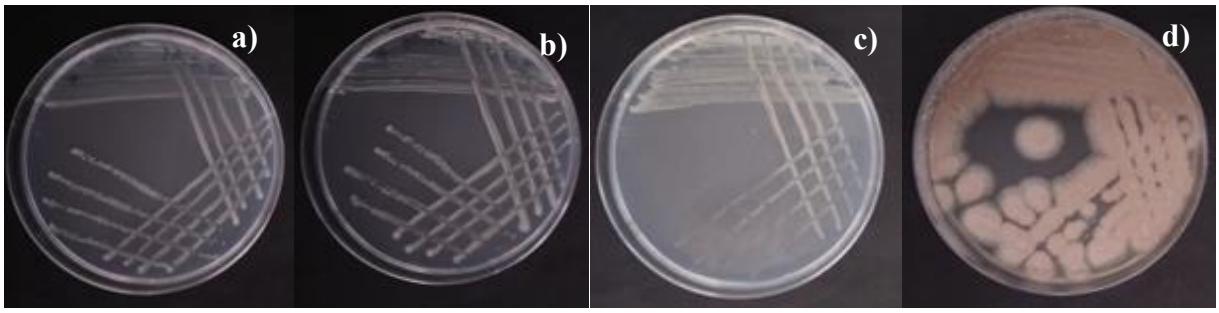


Figura 6. *Morfologia degli isolati selezionati per l'allestimento dei microcosmi. a) INS_A_B1; b) INS_M_B3; c) SAT_M_B5; d) INS_A_F1*

9. ALLESTIMENTO MICROCOSMI - SUOLO

Al fine di validare le diverse tesi di bonifica e le performance degradative degli isolati microbici selezionati (riportati nella sezione precedente), sono state allestite in duplicato 8 tesi di microcosmo (Tabella 1) monitorate in due tempi differenti (T1~ 1 mese e T2 ~ 4 mesi).

Il disegno sperimentale ha previsto le seguenti condizioni di avvio:

- Suolo: S16 Insaturo
- Umidità: 30%
- Inoculo batterico: 10^7 CFU g^{-1} di suolo secco per ognuno dei 3 ceppi
- Inoculo fungino: 10^7 18S *gene copy number* g^{-1} di suolo secco
- Carrier: Fibra di cocco al 10% (w/w)
- Surfattante: *Poly(ethylene glycol) sorbitol hexaoleate* 10 mg g^{-1} di suolo secco

È stata inserita un'ulteriore tesi di controllo abiotico (CA) aggiungendo al suolo una soluzione di cloruro di mercurio al 6% (w/v); il cloruro di mercurio è un composto altamente tossico che non permette la sopravvivenza dei microrganismi. Ciò ha permesso di escludere fenomeni di volatilizzazione fisica durante il corso della sperimentazione.

Inoltre, l'umidità dei campioni di suolo rimanenti (le tesi al T2) è stata mantenuta aggiungendo all'occorrenza una soluzione minerale.

Tabella 1. Le diverse tipologie di microcosmi utilizzate per i test sul suolo

Microcosmi test suolo			
#	**Processo**	**Configurazione**	**Sigla**
1	*Natural attenuation-A*	solo suolo	NA
2	*Natural attenuation-B*	suolo + carrier	NA+C

3	*Biostimulation*	suolo + surfattante	NA+S
4	*Bioaugmentation-A*	suolo + consorzio batterico ternario	CB3
5	*Bioaugmentation-B*	suolo + fungo	F
6	*Bioaugmentation-C*	suolo + fungo + carrier	F+C
7	*Bioaugmentation-D*	suolo + fungo + carrier + consorzio batterico ternario	CB3+F+C
8	*Biostimulation & Bioaugmentation*	suolo + surfattante + fungo + consorzio batterico ternario	CB3+F+S
9	*Controllo abiotico*	suolo + cloruro di mercurio	CA

10. RISULTATI - MICROCOSMI SUOLO

I risultati sono analizzati come confronto nel tempo, dove T0 rappresenta lo stato inziale, T1 dopo un mese e T2 dopo quattro mesi, e tra le diverse tesi testate.

ANALISI QUANTITATIVE DELLE COMUNITÀ MICROBICHE

Alla fine della prova, da ogni tesi è stata fatta una conta colturale: sono stati preparati degli elutriati in soluzione fisiologica con un'aliquota di suolo da ciascuna tesi, sono state prelevate in sterilità delle aliquote, sono state diluite e piastrate su 2 differenti terreni agarizzati: il *Rose Bengal chloramphenicol Agar* (RBA), selettivo per funghi, e il *Plate Count Agar* (PCA), selettivo per batteri; le colonie batteriche sono state contate dopo 24 h mentre quelle fungine dopo 48-72 h; nella Tabella 2 sono riportati i valori espressi in numero di Unità Formanti Colonia per grammo di suolo secco.

Tabella 2. Conta colturale dei microcosmi solidi.

Microcosmi		Batteri (CFU g^{-1} secco)					
		T0		T1		T2	
		Media (μ)	*Dev.Std. (σ)*	Media (μ)	*Dev.Std. (σ)*	Media (μ)	*Dev.Std. (σ)*
1	**NA**	9.70E+05	*8.62E+03*	1.09E+05	*5.51E+03*	1.45E+05	*7.25E+04*
2	**NA+C**	9.70E+05	*8.62E+03*	1.50E+05	*3.40E+04*	7.79E+04	*3.67E+04*
3	**NA+S**	9.70E+05	*8.62E+03*	1.41E+05	*1.93E+04*	5.65E+06	*2.75E+05*
4	**CB3**	3.10E+07	*8.62E+03*	1.16E+06	*3.67E+04*	9.22E+04	*1.65E+04*
5	**F**	9.70E+05	*8.62E+03*	2.14E+06	*1.19E+05*	1.59E+06	*5.60E+05*
6	**F+C**	9.70E+05	*8.62E+03*	2.53E+06	*1.19E+05*	1.38E+06	*2.75E+05*
7	**CB3+F+C**	3.10E+07	*8.62E+03*	1.54E+06	*1.01E+05*	2.19E+05	*1.13E+05*
8	**CB3+F+S**	3.10E+07	*8.62E+03*	3.25E+06	*4.22E+05*	1.31E+07	*2.02E+06*
9	**CA**	9.70E+05	*8.62E+03*	/	/	0.00E+00	*0.00E+00*
		Funghi (CFU g^{-1} secco)					
		T0		T1		T2	
		Media (μ)	*Dev.Std. (σ)*	Media (μ)	*Dev.Std. (σ)*	Media (μ)	*Dev.Std. (σ)*
1	**NA**	8.05E+02	*8.05E+01*	4.55E+03	*1.84E+02*	0.00E+00	*0.00E+00*
2	**NA+C**	8.05E+02	*8.05E+01*	6.62E+03	*3.67E+02*	6.30E+03	*8.26E+02*
3	**NA+S**	8.05E+02	*8.05E+01*	1.75E+03	*4.59E+02*	1.10E+03	*2.75E+02*
4	**CB3**	8.05E+02	*8.05E+01*	8.05E+03	*3.67E+02*	3.25E+03	*1.84E+02*
5	**F**	2.05E+07	*8.05E+05*	3.07E+06	*2.48E+05*	1.81E+06	*1.74E+05*
6	**F+C**	2.05E+07	*8.05E+05*	2.34E+06	*1.08E+06*	1.06E+06	*1.84E+05*
7	**CB3+F+C**	2.05E+07	*8.05E+05*	3.23E+06	*1.19E+05*	7.66E+05	*3.67E+04*
8	**CB3+F+S**	2.05E+07	*8.05E+05*	3.21E+05	*9.18E+02*	1.08E+06	*1.56E+05*
9	**CA**	8.05E+02	*8.05E+01*	/	/	0.00E+00	*0.00E+00*

* i valori sono stati ottenuti dopo circa un mese e mezzo dall'inizio della prova.

Dai risultati emerge che nella maggior parte delle tesi la conta vitale, sia batterica sia fungina, resta più o meno stabile, mantenendosi sullo stesso ordine di grandezza nel corso del tempo. Le eccezioni a quanto detto sono: la tesi di NA (solo suolo), in cui la conta fungina si è azzerata. Non si sono ottenute colonie né batteriche né fungine nel controllo abiotico, il che conferma l'efficacia del cloruro di mercurio.

Oltre alla conta colturale, è stata fatta anche una conta molecolare tramite PCR quantitativa (q-PCR). L'estrazione del DNA è stata fatta a partire da un'aliquota di suolo prelevata da ogni tesi al T0 (inizio della prova appena dopo l'inoculo), al T1 e al T2; la PCR è stata condotta sia per rilevare la presenza di batteri (amplificazione di una porzione della regione 16S) sia di funghi (amplificazione di una porzione della regione 18S); nella Tabella 3 sono riportati i valori espressi in numero di copie per grammo di suolo. E' da precisare che questo tipo di indagine

seppur più precisa, in quanto riesce a dare una visione anche dei microrganismi non coltivabili, non riesce a distinguere le cellule vive dalle morte e pertanto deve essere utilizzato sempre come indagine complementare alle conte colturali.

Tabella 3. q-PCR dei microcosmi solidi.

		16S gene copy n° g^{-1} suolo secco			18S gene copy n° g^{-1} suolo secco		
Microcosmi		**T0**	**T1**	**T2**	**T0**	**T1**	**T2**
1	**NA**	2.44E+06	5.46E+07	3.74E+08	1.91E+03	4.31E+04	5.56E+04
2	**NA+C**	5.45E+07	6.81E+08	1.50E+09	2.95E+05	8.09E+05	2.79E+06
3	**NA+S**	1.96E+08	1.85E+08	2.01E+08	2.55E+03	5.43E+04	5.67E+05
4	**CB3**	2.64E+09	3.77E+09	5.98E+09	1.91E+03	4.31E+04	5.56E+04
5	**F**	2.44E+06	5.46E+07	3.74E+08	4.36E+07	7.88E+06	9.52E+05
6	**F+C**	4.65E+08	6.19E+08	5.67E+08	4.47E+07	1.64E+07	9.46E+06
7	**CB3+F+C**	2.87E+08	8.53E+07	8.06E+07	2.77E+07	1.22E+07	5.01E+06
8	**CB3+F+S**	2.96E+05	6.29E+08	5.77E+09	2.63E+07	1.45E+07	6.71E+06
9	**CA***	2.44E+06	/	0.00E+00	1.91E+03	/	0.00E+00

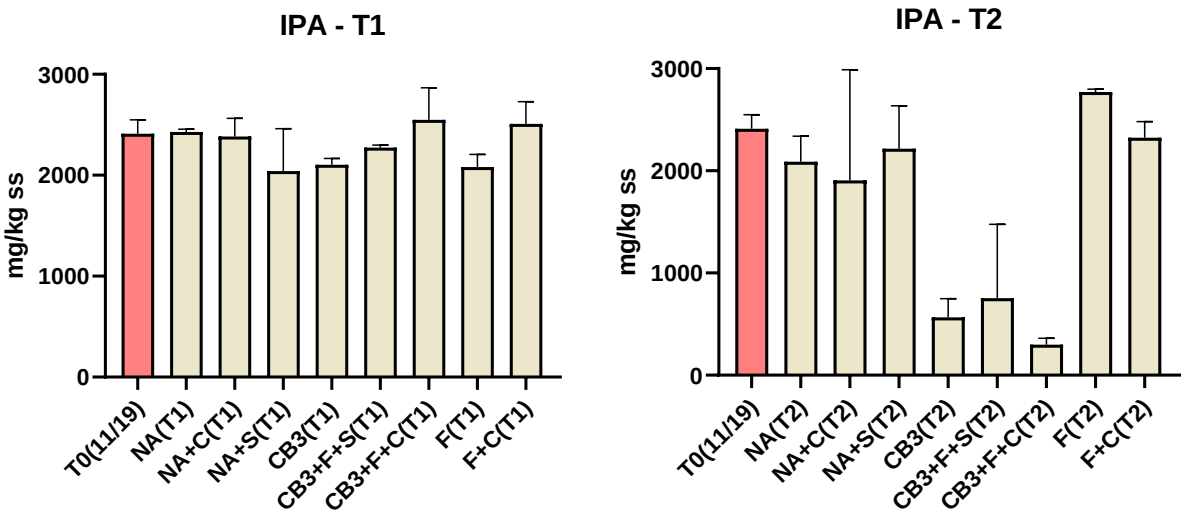
* i valori sono stati ottenuti dopo circa un mese e mezzo dall'inizio della prova.

Dai risultati emerge che c'è una certa attività di sviluppo della comunità batterica nei micorcosmi di Natural attenuation (NA) e di NA+C non evidenziata dalle conte colturali . Sembra inoltre che l'aggiunta del carrier sia reponsabile nel veicolare batteri esogeni come si eviedenzia nei microcosmi NA e NA+C e F e F+C al T0 e in alcuni casi anche nel corso di tutto l'esperimento. L'analisi molecolare, tuttavia, non ci consente di poter affermare se l'apporto batterico esogeno sia vitale oppure no. Un dato interessante sembra essere l'effetto vantaggioso che l'inoculo fungino (F) esercita sullo sviluppo della comunità batterica analogo a quello dell'inoculo batterico (CB3) esercitato sullo sviluppo della comunità fungina, effetto che era parzialmente evidenziato dalle conte batteriche e che si perde nel momento in cui il microcosmo viene addizionato di entrambi gli inoculi poiché l'aggiunta massiva (10^7 + 10^7) maschera i potenziali effetti benefici. Il suddetto vantaggio reciproco può essere dovuto alla sinergia metabolica i prodotti di degradazione del consorzio batterico (CB3) che possono essere utilizzati dai funghi indigeni, la stessa cosa può dirsi per il microcosmo con inoculo fungino (F) rispetto all'accrescimento batterico, ma si può anche ipotizzare che il fungo *P. lilacinium* possa andare incontro a lisi e rappresentare fonte organica per la comunità batterica. Questo effetto non porta ad una magnificazione della performance di degradazione (vedi risultati sotto) quando entrami sono inoculati (CB3+F) poiché probabilmente il suo lo non riesce a supportare lo sviluppo di entrembi.

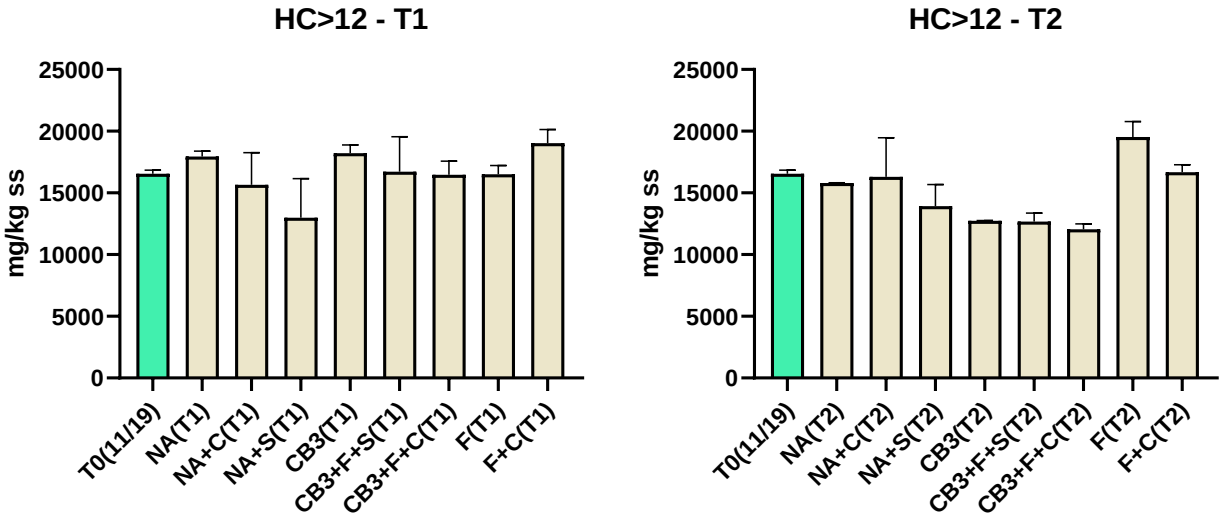
ANALISI DELL'ATTIVITÀ DEGRADATIVA

Il confronto nel tempo delle concentrazioni degli idrocarburi pesanti C>12 e di diversi idrocarburi policiclici aromatici (IPA), ha consentito di fare una valutazione comparativa dell'efficacia degradativa delle diverse tesi poste a confronto.

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati ottenuti nei microcosmi a T1 e a T2.



Nelle figure si vede come non sia presente degradazione degli IPA in nessuna delle tesi provate al T1, mentre il T2 evidenzia come i microcosmi inoculati con il consorzio batterico CB3 abbiano subito una significiativa degradazione rispetto al T0



Nella figure vengono riportate le concnetrazioni residue di HC>12 al T1, dove analogoamente agli IPA non si rivelano % di degradazione significative rispetto al T0 ad eccezione del microcosmo NA+S dove si evidenzia un debole attivazione della degradazione. Al tempo T2, analogamente agli IPA si assiste una maggiore degradazione nei micorcosmi bioaugmentati con il consorzio batterico.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SUI TEST SUL SUOLO

I risultati ottenuti con le diverse analisi condotte con i test sul suolo consentono di trarre le seguenti considerazioni, ai fini della bonifica del sito.

1) I processi degradativi naturalmente attivi nel sito non sono sufficienti a produrre una degradazione significativa dei contaminanti testati

Infatti, i risultati evidenziano che nessuna delle tre tesi di *Natural Attenuation* (NA, NA+C, NA+S) ha prodotto una degradazione significativa né nei confronti degli idrocarburi lineari né rispetto a quelli aromatici.

Questo risultato può essere spiegato sia dalla bassa carica microbica iniziale osservata nel suolo oggetto di studio, sia dalla elevata concentrazione dei contaminanti riscontrati che esercitano una forte azione inibitoria nei confronti della microflora indigena. Non è da escludere tuttavia che oltre a ciò si possa aggiungere una carenza di elementi nutritivi che possa supportare lo sviluppo microbico.

I risultati dei microcosmi di *Natural attenuation* supportano fortemente la necessità di intervenire con approcci di *bioaugmentation* possibilmente accoppiata a *biostimulation*. Al contempo è importante analizzare la concentrazione di fosforo e azoto del suolo, al fine di estendere la concimazione prevista per la vegetazione a tutti gli strati di suolo insaturo.

2) La permanenza di condizioni ottimali per l'attività microbica deve essere garantita in-situ nel corso delle stagioni termicamente favorevoli

Nessuna delle tesi ha prodotto degradazione significative dopo 30 gg (T1), ma molto rilevanti su un arco temporale di 4 mesi. Pertanto, considerando le limitazioni termiche stagionali (inverno) che agiscono *in-situ*, questo si traduce nella necessità di garantire uno stato idrico adeguato nel periodo primaverile estivo quando le attività microbiche sono più attive.

La degradazione relativamente lenta può essere spiegata con la forte recalcitranza dei composti presenti e supporta l'ipotesi che il suolo, oltre ad essere fortemente contaminato, è caratterizzato da una scarsità di nutrienti che limita/rallenta lo sviluppo anche dei microcosmi inoculati, nei quali non si assiste ad un incremento significativo della carica microbica (Tabelle 2 e 3).

Si deve però anche considerare che l'attivazione di processi di trasferimento dei nutrienti e dello sviluppo della rizosfera conseguenti allo sviluppo dell'intervento di *phytoremediation*, potrà giocare un ruolo importante e sinergico con l'attività microbica.

3) L'aggiunta del surfattante non ha determinato effetti incrementali nella degradazione dei contaminanti analizzati.

I microcosmi che hanno previsto l'aggiunta del surfattante non hanno mostrato degradazione significativa rispetto ai corrispondenti senza aggiunta. Tenuto conto della limitata degradazione degli idrocarburi C>12, la biodisponibilità dei contaminanti potrebbe essere comunque un fattore limitante della degradazione, che tuttavia non è stato risolto dall'aggiunta del surfattante alle condizioni provate.

D'altra parte, gli evidenti effetti sulla crescita della popolazione microbica possono essere ricondotti alla mobilizzazione di altri composti non inclusi nelle analisi.

4) L'aggiunta del carrier non ha avuto un effetto migliorativo per la degradazione, ma supporta la vitalità dei funghi indigeni.

L'aggiunta di fibra di cocco in proporzione del 10% è stata testata sia per valutare la capacità di essere agente per la *biostimulation* che per il possibile ruolo di favorire lo sviluppo del fungo inoculato. Osservando i dati di crescita dei microcosmi inoculati con *P. lilacinium* si osserva come il fungo in realtà non si sviluppi nel corso dell'esperimento, rimanendo ad un valore di carica microbica pari a quello dell'inoculo (10^7 18S copy numer/g), addirittura con una debole flessione dopo i 4 mesi (Tabella 3). Diversamente, la fibra di cocco garantisce una migliore vitalità dei funghi indigeni (vedi Tabella 2), probabilmente ligninolitici, dove soprattutto al T2 si assiste a una permanenza della carica intorno a 10^2 nel microcosmo con il carrier, contro una totale assenza di funghi dopo 4 mesi di incubazione nel microcosmo NA. Tenuto conto che la fibra di cocco ha un contenuto di lignina molto elevato (circa il 44%) e che il fungo selezionato per la *bioaugmentation* non risulta essere ligninolitico, i valori più elevati a T2 sono da associarsi ad uno sviluppo dei funghi ligninolitici indigeni. Carrier alternativi a minor contenuto di lignina e ricchi di composti facilmente degradabili (amido e altri zuccheri), possono favorire lo sviluppo del fungo, come dimostrato in un test rapido effettuato addizionando della crusca di cereali al suolo (risultati non mostrati). È possibile quindi che con lo sviluppo della vegetazione, che rilascia nella rizosfera composti del carbonio facilmente degradabili il fungo possa beneficiarne in modo significativo con possibili effetti aggiuntivi sulla degradazione.

L'impiego della fibra di cocco in-situ potrebbe quindi dare un beneficio allo sviluppo di una comunità fungina indigena, ma non sembra svolgere un ruolo rilevante come possibile carrier dell'inoculo fungino testato né per la degradazione.

5) L'aggiunta del fungo (F) *P. lilacinum* non risulta essere efficiente nelle condizioni testate.

Nei microcosmi in cui è presente il fungo non si assiste ad una significativa degradazione dei contaminanti né lineari né aromatici. Nonostante il ceppo fosse stato selezionato per le capacità degradative mostrate su terreni modello, e per le voci bibliografiche riportanti la sua capacità di crescere su idrocarburi (Poyntner, C. et al., 2018), i microcosmi non hanno confermato questo potenziale. Il fungo non avrebbe trovato condizioni ideali né per il suo sviluppo né per esercitare la sua azione degradativa. In questo senso, la bassa carica iniziale di funghi, l'assenza di uno sviluppo e ancor più l'abbassamento della vitalità durante il corso dell'esperimento rafforza l'ipotesi che il suolo abbia una composizione minerale e organica fortemente limitante per lo sviluppo di microrganismi filamentosi. Anche in questo caso l'input di sostanza organica prodotta dalla vegetazione potrà attivare lo sviluppo di funghi filamentosi, come normalmente osservato in suoli forestali. Si ritiene pertanto di non effettuare l'inoculo fungino in questa fase.

6) Il consorzio batterico (CB3) ha dimostrato capacità degradative molto interessanti per gli IPA ma apparentemente più limitate per gli idrocarburi lineari.

Nonostante i risultati delle conte microbiche mostrino che la biomassa batterica inoculata non subisca grandi incrementi, si assiste nello stesso intervallo di tempo ad un'efficace degradazione degli idrocarburi policiclici aromatici senza grandi distinzioni fra aromatici con diverso numero di anelli. Il microcosmo CB3 risulta avere percentuale di riduzione del 77% che si alza fino all'88% quando all'inoculo batterico si aggiunge anche il carrier e il fungo (vedi considerazioni fatte per il punto precedente).

Di minore entità risulta essere la degradazione nei confronti degli idrocarburi a catena lineare C> 12, dove la percentuale di degradazione risulta essere del 23% nel Microcosmo CB3 e del 27% nel CB3+F+C.

Va sottolineato che la scarsa degradazione degli idrocarburi lineari osservata può essere attribuibile all'elevata concentrazione di questi con effetti di tossicità, come evidenziato nei confronti dei microrganismi indigeni (vedi punto su *Natural attenuation*). D'altronde, un'ipotesi alternativa legata alla bassa solubilità in acqua non è supportata dai risultati nelle tesi con aggiunta di surfattante sintetico alla concentrazione di 10mg/g. Bisogna però anche considerare che il consorzio scelto, composto da specie di *Acinetobacte*r e *Pseudomonas*, è potenzialmente in grado di rilasciare (vedi biblio da scheda microrganismi) surfattanti biologici con effetti di più lungo termine.

La velocità di degradazione nella tesi CB3+F+C è risultata essere 40 mg/kg giorno, che in assenza di fenomeni di inibizione può comunque portare ad un rimedio totale di un kg di suolo nell'arco di un anno e mezzo dall'inoculo. È da evidenziare tuttavia che la velocità di degradazione osservata è inferiore a quella riportata in bibliografia con suoli aventi lo stesso livello di contaminazione e inoculati con consorzi batterici (Baek et al., 2007 e 2009, Wu et al., 2017).

In considerazione della elevata variabilità delle concentrazioni dei contaminanti, con valori anche molto inferiori a quelli testati, l'inoculo estensivo del consorzio potrà attivare processi degradativi sia nel breve che nel lungo termine.

In fase di monitoraggio sarebbe auspicabile un maggiore dettaglio analitico, per valutare l'attività degradativa anche nei suoi passaggi intermedi attualmente non colti dalla determinazione per una unica classe C>12.

11. SVILUPPO DI TEST IN MICROCOSMO PER IL TRATTAMENTO DELLA FALDA

PREMESSA

Le biobarriere sono una tecnologia di bonifica in situ per il biorisanamento di acque sotterranee. Queste barriere sono installate perpendicolarmente alla direzione del flusso di falda e si sviluppano in profondità per intercettare il plume di contaminazione proveniente da sorgenti attive primarie o secondarie. La dimensione in lunghezza è legata alla geometria del plume atteso, mentre quella in larghezza dal tempo di residenza necessario per lo sviluppo della degradazione a sua volta dipendente dalla velocità della falda e dalla porosità della stessa. La diretta connessione con la circolazione di falda favorisce inoltre il contatto e il rilascio, a valle idraulica, dei microrganismi eventualmente inoculati o biostimolanti all'interno dell'acquifero. L'aggiunta di sistemi che favoriscano una condizione micro-aerobica, possono essere implementati per accelerare i processi degradativi.

Gli obiettivi dei diversi test propedeutici alla progettazione di 3 biobarriere nel sito oggetto di indagine sono stati i seguenti:

1) confrontare due diversi matrici di riempimento preselezionate per la loro applicabilità operativa
2) ottimizzare le condizioni per la stabilizzazione dell'inoculo sulla matrice
3) ottimizzare la quantità di inoculo
4) testare le capacità di degradazione dei contaminanti target

I TEST PROPEDEUTICI

1. Scelta della matrice per costruire la barriera immobilizzante e condizioni di stabilizzazione del biofilm

Sono state valutate in modo comparativo due matrici, l'argilla espansa e l'agriperlite, per la costruzione della biobarriera e per definire le condizioni d'immobilizzazione cellulare del consorzio batterico. Per questo scopo sono state allestite prove con 100 ml di ciascuna matrice all'interno di imbuti separatori da 250 ml. Le due matrici sono state innanzitutto imbibite per circa 24 h con una sospensione batterica contenente un numero totale di 6×10^{10} cellule (Figura 1).

In seguito, il liquido in eccesso è stato rimosso e le due matrici sono state sottoposte a due lavaggi sequenziali con acqua per valutare la frazione cellulare non assorbita. Dai risultati delle conte colturali (dati non mostrati) effettuate sull'acqua di lavaggio è stata rilevata una quantità di cellule dello stesso ordine di grandezza di quella presumibilmente immobilizzata nella fase di imbibizione, ciò pertanto non ha permesso di chiarire se le cellule fossero cresciute durante le 24 h di imbibizione o se fossero state completamente dilavate. Per questo è stato fatto un prelievo delle due matrici (matrice inoculata) e i due sistemi sono stati ulteriormente incubati con un terreno liquido minerale arricchito con glucosio allo 0.1% con lo scopo finale di valutare la possibilità di moltiplicare la frazione precedentemente inoculata. Dopo 24 h è stato rimosso il terreno liquido minerale ed è stato fatto un secondo prelievo delle due matrici (matrice inoculata e arricchita). Quindi sono stati effettuati dei test di degradazione, incubando per 24 h un'aliquota delle matrici prelevate con l'acqua di falda e con il colorante redox 2,6-diclorofenolindofenolo (DCPIP), la cui decolorazione (da blu a incolore) è indicativa di biodegradazione (Figura 2).

Figura 1. Sistema di imbuti separatori con argilla espansa (a sinistra) e agriperlite (a destra) inoculati con la sospensione batterica.

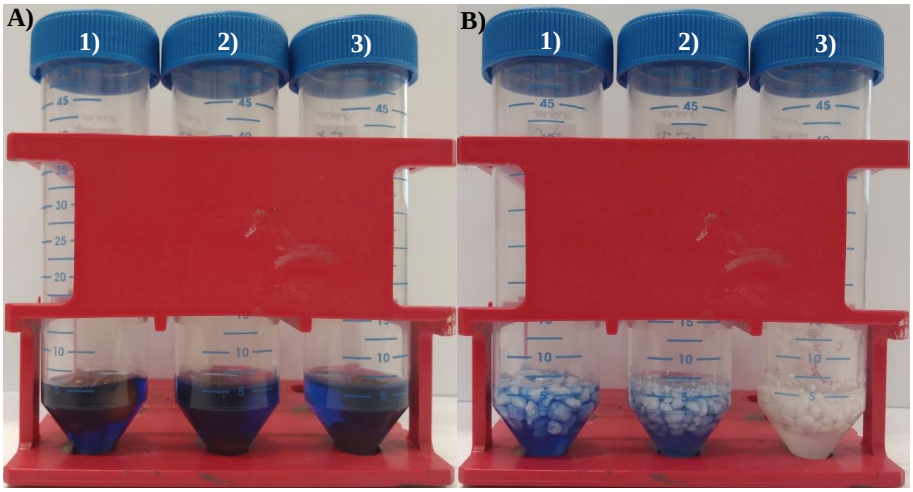


Figura 2. Test di degradazione di acqua di falda con DCPIP. A) Argilla espansa; B) Agriperlite. 1) Matrice non inoculata; 2) Matrice inoculata; 3) Matrice inoculata e supplementata con terreno minerale

In Tabella 1 sono stati riportati i valori di Abs (λ = 600 nm) del liquido dopo incubazione.

Tabella 1. Valori di Abs (λ = 600 nm) del liquido dopo 24 h di incubazione.

Matrice	**Non inoculata**	**Inoculata**	**Inoculata e supplementata**
Argilla espansa	1.566	1.406	1.112
Agriperlite	1.146	1.074	0.460

Dai dati si evince che:

1) l'inoculo viene immobilizzato nelle matrici, ma presumibilmente in parte può essere dilavato via;
2) ai fini degradativi è necessaria una fase di moltiplicazione su terreno minerale;
3) l'agriperlite mostra una performance degradativa nettamente superiore all'argilla espansa, presumibilmente imputabile alla maggiore superficie di adesione per l'immobilizzazione cellulare.

2. Ottimizzazione della quantità di inoculo

Visti i risultati precedenti, è stata scelta l'agriperlite come matrice per ottimizzare la quantità di inoculo ideale ai fini della biodegradazione dell'acqua di falda.

Per questo sono state allestite delle prove con 100 ml di agriperlite all'interno di imbuti separatori da 250 ml, variando la quantità di inoculo. Infatti, la matrice è stata imbibita per 24 h con una soluzione di 40 ml, costituita da sospensione batterica, alla concentrazione di $1.5x10^9$ CFU ml-1, e terreno liquido minerale, arricchito con glucosio allo 0.1%, in diverse proporzioni:

1) 5 ml di sospensione + 35 ml di terreno minerale (rapporto 1:7);

2) 10 ml di sospensione + 30 ml di terreno minerale (rapporto 1:3);

3) 20 ml di sospensione + 20 ml di terreno minerale (rapporto 1:1);

4) 30 ml di sospensione + 10 ml di terreno minerale (rapporto 3:1).

Come controllo, è stato allestito un imbuto separatore, inoculato con lo stesso volume di acqua sterile. Trascorso il tempo di incubazione, è stato allontanato il liquido non assorbito ed è stato fatto un lavaggio con acqua. Poi, per valutare la degradazione, sono stati aggiunti 50 ml di acqua di falda con il colorante redox DCPIP (Figura 3).

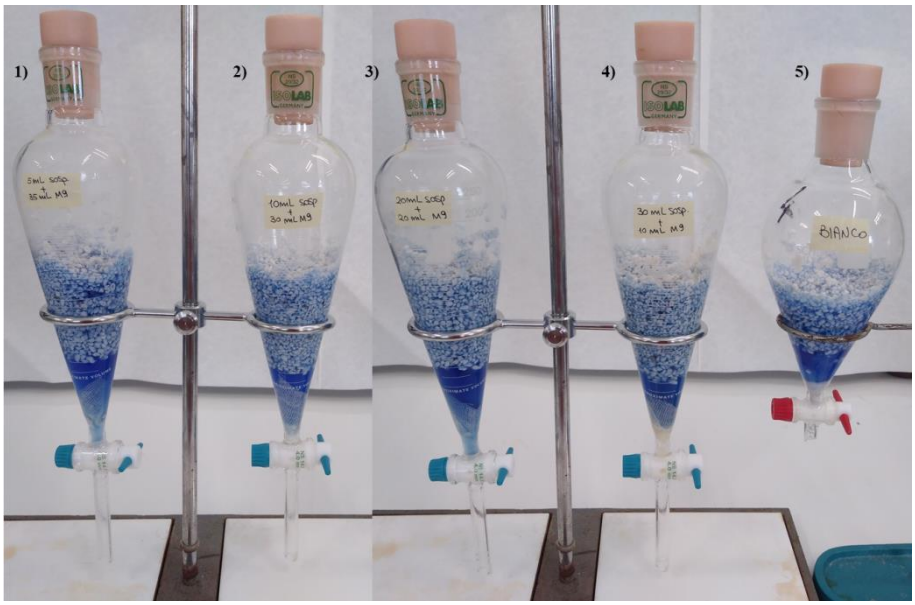


Figura 3. Test di degradazione con diverse quantità di inoculo: 1) 5 ml di sospensione + 35 ml di terreno minerale; 2) 10 ml di sospensione + 30 ml di terreno minerale; 3) 20 ml di

sospensione + 20 ml di terreno minerale; 4) 30 ml di sospensione + 10 ml di terreno minerale; 5) controllo.

Dopo 24 h di incubazione (Figura 4), è stato recuperato il liquido ed è stata aggiunta ancora acqua di falda con colorante DCPIP, per valutare se la matrice era ancora in grado di effettuare biodegradazione, ed è stata incubata per ulteriori 24 h (Figura 5). In Tabella 2, sono stati riportati i valori di Abs (λ = 600 nm) del liquido sia dopo il primo batch di degradazione sia dopo il secondo.

Tabella 2. Valori di Abs (λ = 600 nm) del liquido dopo 24 h di incubazione dalla dal primo e dal secondo batch di degradazione.

Inoculo	Tempo zero	Primo Batch di degradazione	Secondo batch di degradazione
5 ml sospensione + 35 ml terreno minerale	1.452	0.645	1.040
10 ml sospensione + 30 ml terreno minerale	1.452	0.599	0.780
20 ml sospensione + 20 ml terreno minerale	1.452	0.360	0.414
30 ml sospensione + 10 ml terreno minerale	1.452	0.250	0.252
Controllo non inoculato	1.452	1.014	1.282

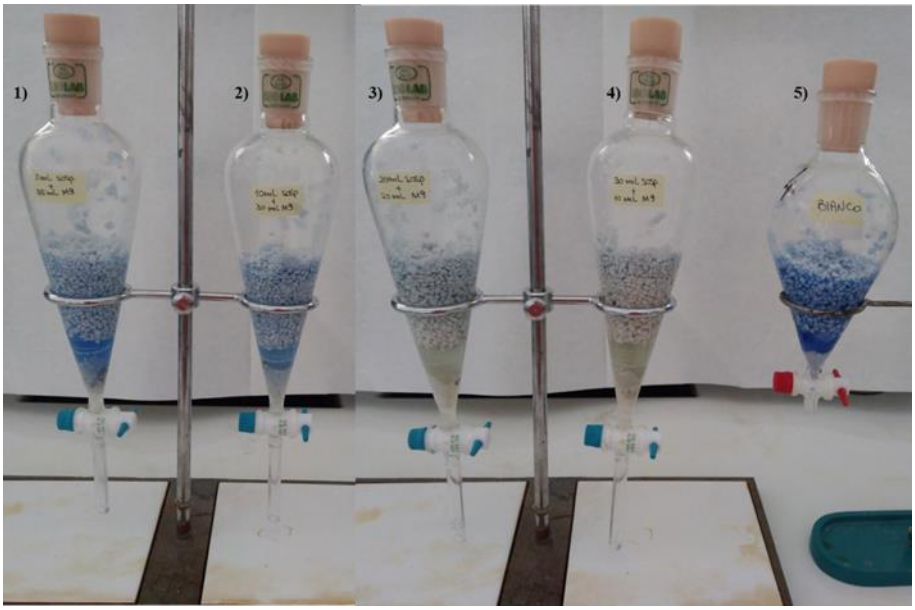


Figura 4. Test di degradazione dopo il primo batch: 1) 5 ml di sospensione + 35 ml di terreno minerale; 2) 10 ml di sospensione + 30 ml di terreno minerale; 3) 20 ml di sospensione + 20 ml di terreno minerale; 4) 30 ml di sospensione + 10 ml di terreno minerale; 5) controllo.

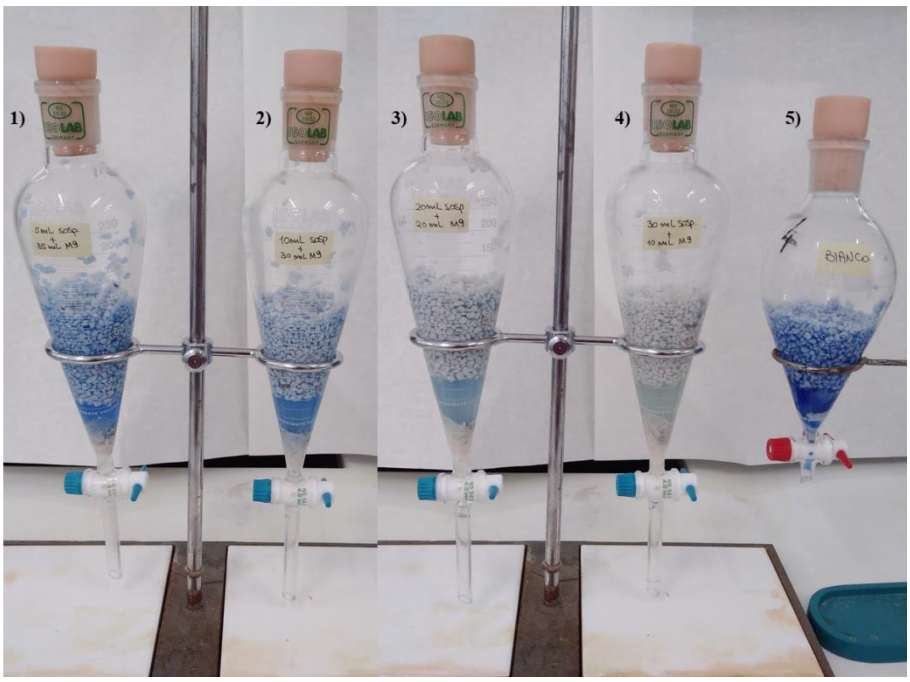


Figura 5. Test di degradazione dopo il secondo batch: 1) 5 ml di sospensione + 35 ml di terreno minerale; 2) 10 ml di sospensione + 30 ml di terreno minerale; 3) 20 ml di sospensione + 20 ml di terreno minerale; 4) 30 ml di sospensione + 10 ml di terreno minerale; 5) controllo.

ALLESTIMENTO DEI MICROCOSMI

È stato scelto come inoculo per la fase di assorbimento dei microcosmi quello composto da sospensione e terreno minerale in rapporto 1:1. Oltre all'agriperlite, è stata valutata come matrice immobilizzante anche il suolo S22 situato al di sopra della falda acquifera contaminata.

Sono state quindi allestite in duplicato 6 tesi di microcosmo (Tabella 3) in imbuti separatori da 2 litri (Figura 6) monitorati in due tempi differenti (T1 = 10 gg e T2 = 30 gg).

Tabella 3. Tesi di microcosmi liquidi

Test		Componenti	Sigla
1	**Natural attenuation-A**	agriperlite	NA
2	**Biostimulation**	agriperlite + M9	NA_M9
3	**Bioaugmentation-A**	agriperlite + M9 + consorzio batterico ternario	B_M9
4	**Bioaugmentation-B**	agriperlite + M9 + consorzio batterico ternario + aria	B_M9+ARIA
5	**Natural attenuation-B**	suolo S22 saturo	SAT_NA
6	**Bioaugmentation-C**	suolo S22 saturo + consorzio batterico ternario	SAT_B

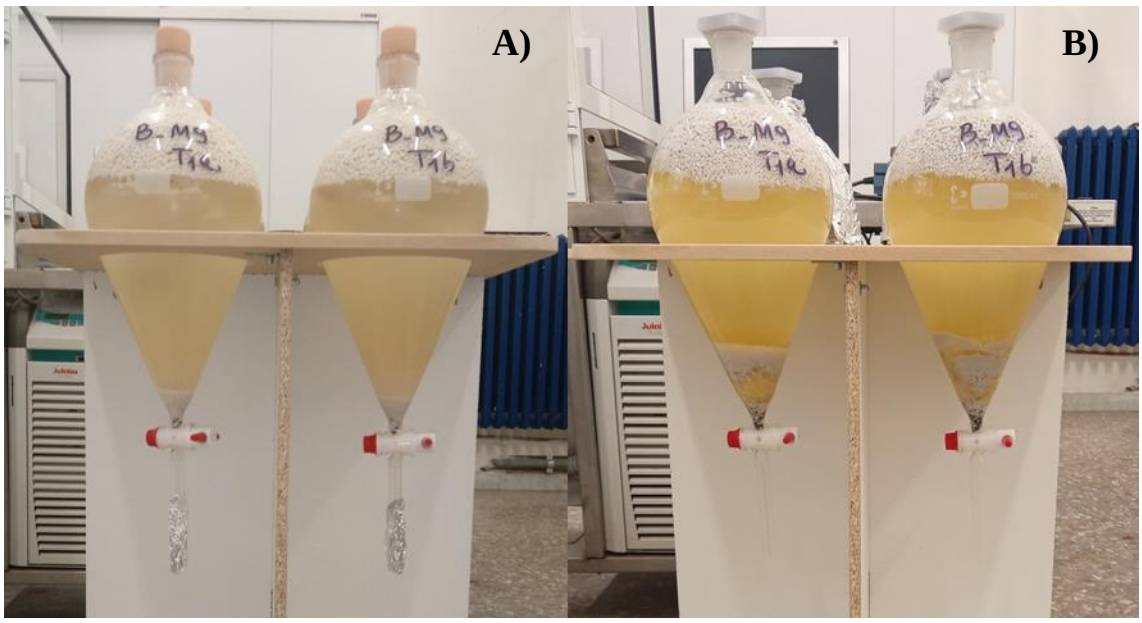


Figura 6. Esempi di microcosmi liquidi: test "Bioaugmentation-A"; A) t0 e B) t1.

12. RISULTATI - MICROCOSMI FALDA

I risultati sono analizzati come confronto nel tempo, dove T0 rappresenta lo stato inziale, T1 dopo 10 giorni e T2 dopo 30 giorni e tra le diverse tesi testate.

ANALISI QUANTITATIVE DELLE COMUNITÀ MICROBICHE

Alla fine della prova, da ogni tesi è stata fatta una conta colturale delle acque, le colonie batteriche sono state contate dopo 24 h e nella Tabella 4 il valore è espresso in numero di Unità Formanti Colonia per ml.

Tabella 4. Conta colturale aerobica dei microcosmi liquidi.

		Batteri (CFU ml^{-1})			
		T1		**T2**	
	Microcosmi	**Media (μ)**	**Dev.Std (σ)**	**Media (μ)**	**Dev.Std (σ)**
1	**NA**	5.50E+01	7.07E+00	5.50E+01	7.07E+00
2	**NA_M9**	1.02E+06	1.06E+05	4.60E+04	7.07E+03
3	**B_M9**	6.20E+05	3.11E+05	1.30E+04	3.54E+03
4	**B_M9+ARIA**	6.15E+06	3.54E+05	2.16E+07	1.06E+06
5	**SAT_NA**	2.10E+03	4.24E+02	1.93E+03	9.12E+02
6	**SAT_B**	7.60E+04	9.90E+03	2.45E+03	4.95E+02

Dai risultati delle conte colturali sulle acque risultanti dall'incubazione nei microcosmi si può avere evidenza sia del grado di dispersione cellulare dalla matrice che allo stesso tempo della vitalità del sistema. Va anche sottolineato che la modalità di conta consente di monitorare le cellule microaerofiliche o aerobiche, escludendo invece quelle strettamente anaerobiche. La tabella 4 mostra come il microcosmo NA rilasci un numero di cellule aerobiche molto basso e senza variazioni nel tempo il quale riflette senza dubbio il basso carico microbico dell'acqua di falda, carica che rappresenta un ambiente oligotrofico. La microflora indigena viene fortemente stimolata dall'aggiunta del terreno minerale M9, anche se al tempo T2 si osserva una parziale riduzione di tale effetto. L'inoculo con il consorzio batterico non ha prodotto un incremento nel tempo del numero di cellule aerobiche rilasciate in acqua; piuttosto si è osservata una riduzione fino a raggiungere al T2 un valore analogo a quello osservato con la sola aggiunta di M9. Diversamente, l'aggiunta di aria evidenzia un incremento della popolazione batterica aerobica libera, coerentemente con il cambiamento di stato e confermando una buona potenzialità di sviluppo della comunità batterica aerobica.

Nei microcosmi su suolo il confronto delle dinamiche temporali di quelli NA e quelli inoculati, mostra risultati analoghi a quelli su agriperlite anche se con valori di 2 ordini di grandezza superiori. La presenza del suolo (non sterile) ha chiaramente arricchito la popolazione di partenza.

Microscopia confocale

Aliquote delle matrici delle prime 4 tesi di microcosmo (su agriperlite) sono state osservate al microscopio ottico confocale per valutare il grado di colonizzazione del supporto utilizzato per l'immobilizzazione cellulare. Un granello rappresentativo di ogni tesi è stato trattato con fluoresceina diacetato 1.5 mg ml^{-1} per marcare le cellule vive (emettono fluorescenza verde) e con ioduro di propidio 1 mg ml^{-1} per marcare le cellule morte (emettono fluorescenza rossa).

Come si può notare dalle immagini ottenute (Figura 7), nelle tesi di *natural attenuation* (NA) e *biostimulation* (NA+M9) sono presenti pochi batteri in generale (più cellule vive nel secondo caso) mentre l'insufflamento di aria è decisamente importante per mantenere la vitalità delle cellule batteriche inoculate nelle tesi di *bioaugmentation*. Questi risultati confermano quanto ottenuto con le conte di cui al paragrafo precedente, ed evidenziano una maggiore mortalità in assenza di aria, da associare probabilmente ad un mancato attecchimento dell'inoculo.

ANALISI DELL'ATTIVITÀ DEGRADATIVA

I risultati delle analisi dell'attività degradativa sono riportati unicamente per gli idrocarburi con C>12, non potendo testare con questo approccio i composti volatili quali il benzene. A tale proposito considerando i valori particolarmente elevati trovati in falda per tale composto e l'impatto sulla salute, sarà necessario valutare con attenzione gli esiti del monitoraggio dell'attività *in-situ*.

I risultati delle analisi della concentrazione di idrocarburi C>12 effettuate sull'acqua recuperata dai microcosmi a T1 e T2, sono riportate nella figura seguente.

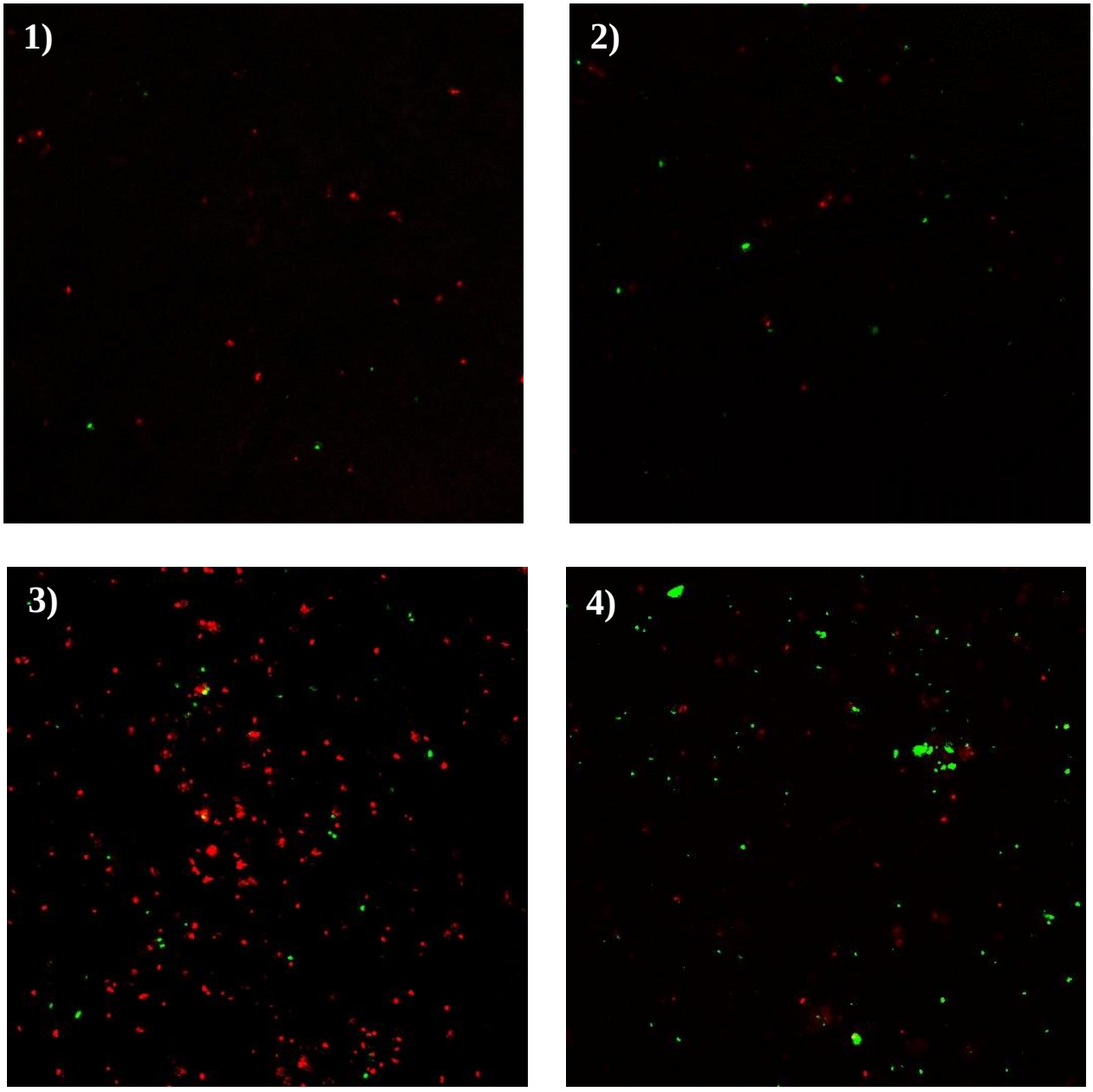


Figura 7. Immagini al microscopio ottico confocale; ingrandimento 40x; 1) Tesi Natural attenuation-NA"; 2) Tesi Biostimulation-NA+M9; 3) Tesi Bioaugmentation-B+M9; 4) Tesi Bioaugmentation-B+M9+Aria.

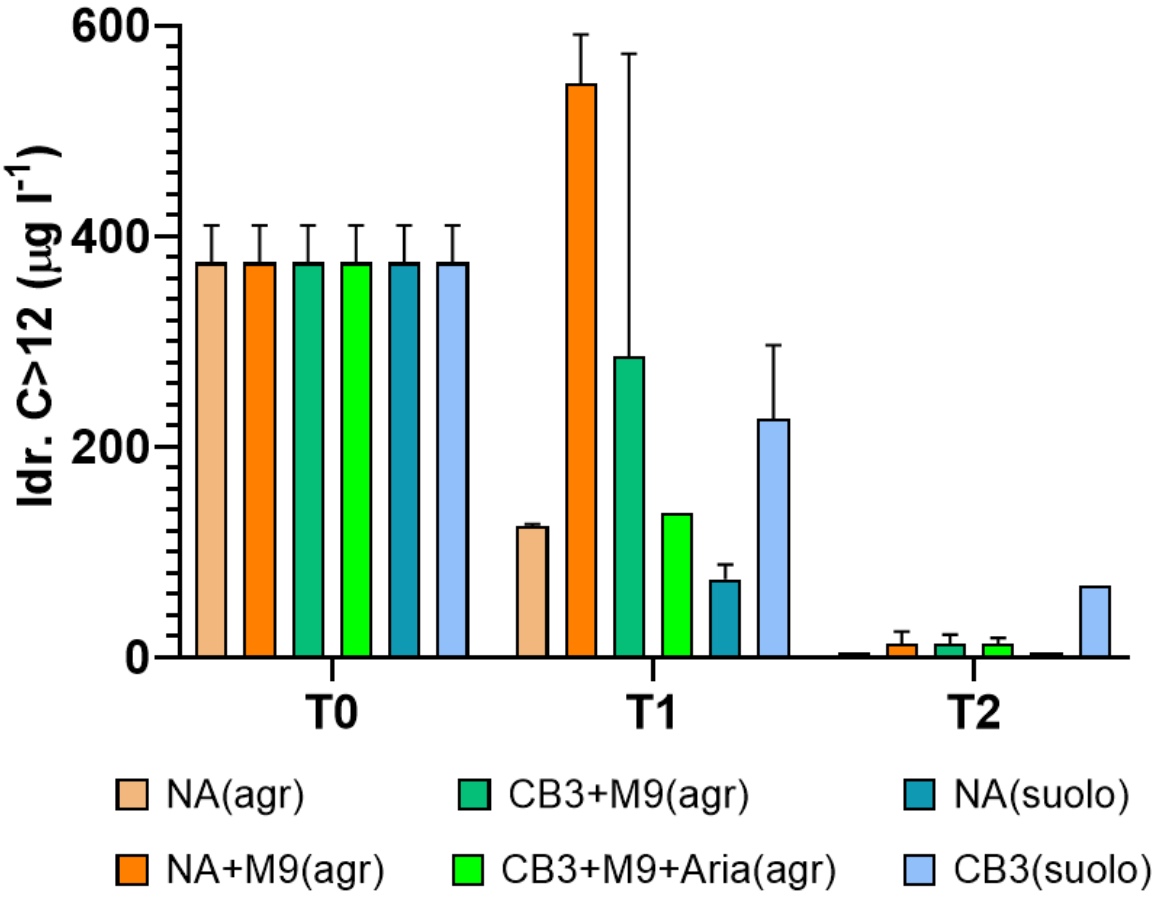


Figura 8. Concentrazioni degli idrocarburi totali della classe C>12 presenti nella falda recuperata dai microcosmi, ai diversi tempi di incubazione e per le diverse tesi.

I valori di idrocarburi totali (C>12) presenti nell'acqua di falda utilizzata nei microcosmi, si riducono dal valore inziale di circa 380 ug l^{-1} a valori prossimi al limite analitico dopo 30 giorni di incubazione. Al decimo giorno di incubazione, si osservava una riduzione pari a circa il 70% del valore inziale, nelle condizioni di NA, sia su agriperlite che su suolo. Diversamente con l'aggiunta di M9 si osserva un incremento anomalo che però era progressivamente ridotto dall'aggiunta dell'inoculo batterico e di aria. Con l'aggiunta dell'inoculo batterico sul suolo saturo, si otteneva a T1 una parziale riduzione del valore iniziale, che risultava comunque superiore a quello ottenuto nei microcosmi NA.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SUI TEST SULLA FALDA

Dall'analisi dei risultati si possono dedurre le seguenti considerazioni:

1) Tutte le tesi portano ad una forte riduzione degli idrocarburi in soluzione totali dopo 30 giorni (T2). In tutte le tesi si osserva una quasi completa riduzione degli idrocarburi, senza differenze significative fra i microcosmi. Non essendo stato possibile analizzare la quota adsorbita dalle matrici (agriperlite e suolo), nel passaggio da T0 a T1 tale processo non può essere escluso. La successiva riduzione tra T1 e T2 sembra invece suggerire la presenza di una degradazione attiva.

2) La riduzione del contaminante testato è significativa in condizioni di *natural attenuation* e mostra una certa proporzionalità con la dimensione della comunità batterica aerobica. La più forte riduzione della concentrazione degli idrocarburi C>12 osservata dopo 10 giorni nei microcosmi NA su suolo, potrebbe essere spiegata dai valori più elevati di batteri aerobici o da una diversa entità dei fenomeni di adsorbimento sulla matrice.

3) L'impiego di agriperlite non ha prodotto un miglioramento nella capacità di rimozione, mentre l'aggiunta di aria sembra favorirla. Almeno nel breve termine la riduzione della comunità batterica in agriperlite (NA) non viene compensata da eventuali altre azione della matrice, d'altra parte l'aggiunta di aria favorisce lo sviluppo batterico con effetti sull'attività di rimozione.

BIBLIOGRAFIA

Beopoulos, A., Desfougeres, T., Sabirova, J., Zinjarde, S., Neuveglise, C. and Nicaud, J.M., 2010. The hydrocarbon-degrading oleaginous yeast Yarrowia lipolytica. Handbook of hydrocarbon and lipid microbiology, pp.2111-2121.

Berry, D. and Gutierrez, T., 2017. Evaluating the detection of hydrocarbon-degrading bacteria in 16S rRNA gene sequencing surveys. Frontiers in microbiology, 8, p.896.

Gałązka, A., Grządziel, J., Gałązka, R., Ukalska-Jaruga, A., Strzelecka, J., & Smreczak, B. 2018. Genetic and functional diversity of bacterial microbiome in soils with long term impacts of petroleum hydrocarbons. Frontiers in microbiology, 9.

Kodama, Y., Stiknowati, L.I., Ueki, A., Ueki, K. and Watanabe, K., 2008. Thalassospira tepidiphila sp. nov., a polycyclic aromatic hydrocarbon-degrading bacterium isolated from seawater. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, *58*(3), pp.711-715.

Saiyari D M., Chuang H-P, Senoro DB, Lin T-F, Whang L-M, Chiu Y-T, Y-H Chen, A review in the current developments of genus Dehalococcoides, its consortia and kinetics for bioremediation options of contaminated groundwater, Sustainable Environment Research, 28, Issue 4, 2018, 149-157 https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.01.006.

Poyntner, C., Prem, M., Mann, O., Blasi, B. and Sterflinger, K., 2018. *Selective screening: isolation of fungal strains from contaminated soils in Austria*. Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment, 68(3), pp.157-169.

Wu, M., Li, W., Dick, W.A., Ye, X., Chen, K., Kost, D. and Chen, L., 2017. *Bioremediation of hydrocarbon degradation in a petroleum-contaminated soil and microbial population and activity determination*. Chemosphere, 169, pp.124-130.

Baek, K.H., Yoon, B.D., Kim, B.H., Cho, D.H., Lee, I.S., Oh, H.M. and Kim, H.S., 2007. Monitoring of microbial diversity and activity during bioremediation of crude oil-contaminated soil with different treatments. Journal of microbiology and biotechnology, 17(1), pp.67-73.

Baek, K.H., Yoon, B.D., Cho, D.H., Kim, B.H., Oh, H.M. and Kim, H.S., 2009. *Monitoring bacterial population dynamics using real-time PCR during the bioremediation of crude-oil-contaminated soil*. J Microbiol Biotechnol, 19(4), pp.339-345.

Allegato

I microrganismi isolati da campioni di suolo saturo e insaturo, prelevati dall'area oggetto di studio, sono selezionati per le prove di microcosmo seguendo i seguenti criteri:

- Sono microrganismi isolati dall'aerea
- Riescono a crescere e duplicarsi in condizioni di aerofilia e microaerofilia, idonei pertanto a condizioni sia sature che insature
- Hanno dimostrato spiccate capacità degradative nei test di laboratorio verso alcani e/o idrocarburi aromatici

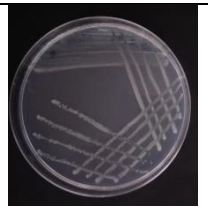
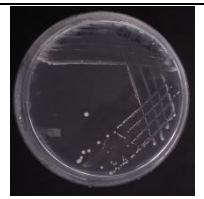
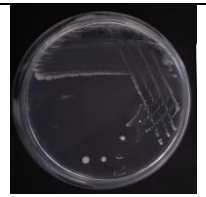
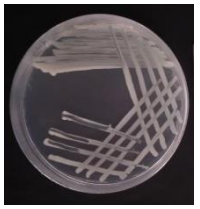
Una volta identificati a livello devo tassonomico, dalla letteratura scientifica:

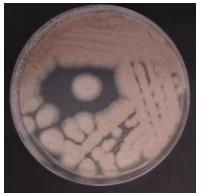
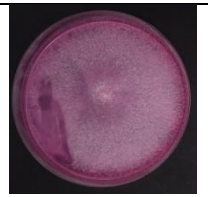
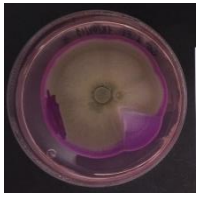
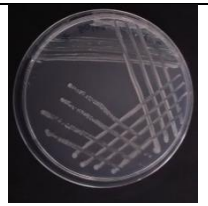
- Non devono risultare patogeni né verso l'uomo né verso organismi vegetali
- Devono vedere confermate le già dimostrate capacità verso i contaminati target

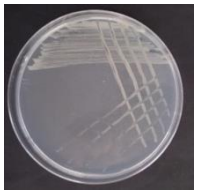
Sono inoltre considerate indicazioni favorevoli ma non necessarie le seguenti caratteristiche:

- Produzione di biosurfattanti, per facilitare la mobilitazione dei contaminanti liposolubili
- Mobilità flaggellare per le specie batteriche per facilitare la diffusione nella matrice da trattare
- Produzione di spore per le specie fungine per facilitare la dispersione nella matrice

Nella tabella 1vengono riportate in modo sinottico le caratteristiche distintive dei 9 ceppi batterici e fungini isolati dall'area oggetto di studio, risultati positivi ai test di degradazione, di questi sulla base dei criteri sopra esposti 4 saranno presi in considerazione nei successivi test di microcosmo.

Ceppo microbico	Suolo di isolamento	Condizione di isolamento	Degradazione di idrocarburi		Identificazione molecolare	Analisi letteratura scientifica	Morfotipo	Selezionato per consorzio bioaugmentation
			LINEARI	IPA				
INS_A_B1	insaturo	aerofilia	++	+++	*Acinetobacter* sp. lwoffii (100%), guillouiae (100%), johnsonii (100%)	Degradazione di alcani e aromatici anche in ambienti salini. Possibile motilità. Produttore di surfattanti e lipasi[1].		SI
INS_A_B3	insaturo	aerofilia	+	+	*Acinetobacter* sp. radioresistens (98.6%)			NO
INS_A_B5	insaturo	aerofilia	+	+	*Acinetobacter* sp. lwoffii (100%), guillouiae (100%), johnsonii (100%)			NO
SAT_A_B2	saturo	aerofilia	++	0	*Pseudarthrobacter* sp. siccitolerans (99.9%), oxydans (99.9%)	Degradazione di aromatici, crude oil e alcani e resistenza a cromo esavalente[2]. Specie resistente alla siccità[3].		NO

INS_A_F1	insaturo	aerofilia	+	+	*Purpureocillium lilacinum Paecilomyces lilacinus*	Entomoparassita, agente di biocontrollo in campo[4], produzione di idrofobine, attacco di composti di bifenili clorurati e alcani[5,6] e dibenzofurano. Accumulo di cromo[7]. Patogeno per pazienti immuno compromessi[8].		SI
INS_A_F2	insaturo	aerofilia	+	++	*Fusarium* sp. solani (100%), oxysporum (100%)	Degradatore di idrocarburi lineari[9] e aromatici[10]. Fitopatogeno[11].		NO
SAT_A_F1	saturo	aerofilia	+	+	*Penicillium citrinum*	Produttore di surfattanti e lipasi citrinina, agente di biocontrollo contro Botrytis[12]. Degradazione di crude oil, antracene e altri IPA[13]. Produttore di spore. Potenziale patogeno per pazienti immunodepressi. Fitopatogeno.		NO
INS_M_B3	insaturo	microaerofilia	+++	0	*Acinetobacter* sp. beijerinckii (99.5%), haemolyticus (99.5%), calcoaceticus (99.5%)	Vedi sopra per altri Acinetobacter.		SI

SAT_M_B5	saturo	microaerofilia	+++	0	*Pseudomonas* sp. kilonensis (99.8%), fluorescens (99.8%), corrugata (99.6%), brassicacearum (99.6%), thivervalensis (99.5%), salomonii (99.5%), arsenicoxydans (99.4%), putida (99.4%)	Diverse specie degradano idrocarburi. Produttore di ramnolipidi[14]. Mobilità flagellare[15]. Alcune specie usate come biopesticidi[16].		SI

Riferimenti bibliografici

1 Jung and Park. Acinetobacter species as model microorganisms in environmental microbiology: current state and perspectives. Appl Microbiol Biotechnol (2015) 99:2533–2548

2 Huang, Y., Wang, Y., Feng, H., Wang, J., Yang, X. and Wang, Z., 2019. Genome-guided identification and characterization of bacteria for simultaneous degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons and resistance to hexavalent chromium. International Biodeterioration & Biodegradation, 138, pp.78-86

3 Santacruz-Calvo L., González-López J., Manzanera M. Arthrobacter siccitolerans sp. nov., a highly desiccation-tolerant, xeroprotectant-producing strain isolated from dry soil. Int J Syst Evol Microbiol. 2013 Nov;63(Pt 11):4174-80. doi: 10.1099/ijs.0.052902-0. Epub 2013 Jun 14.

4 Kiriga, A.W., Haukeland, S., Kariuki, G.M., Coyne, D.L. and Beek, N.V., 2018. Effect of Trichoderma spp. and Purpureocillium lilacinum on Meloidogyne javanica in commercial pineapple production in Kenya. Biological control, 119, pp.27-32.

5 Sietmann, R., Gesell, M., Hammer, E. and Schauer, F., 2006. Oxidative ring cleavage of low chlorinated biphenyl derivatives by fungi leads to the formation of chlorinated lactone derivatives. Chemosphere, 64(4), pp.672-685.

6 Vigueras, G., Shirai, K., Hernández-Guerrero, M., Morales, M. and Revah, S., 2014. Growth of the fungus Paecilomyces lilacinus with n-hexadecane in submerged and solid-state cultures and recovery of hydrophobin proteins. Process Biochemistry, 49(10), pp.1606-1611.

7 Sharma, S.; Adholeya, A. Detoxification and accumulation of chromium from tannery effluent and spentchrome effluent by Paecilomyces lilacinus fungi. Int. Biodeterior. Biodegrad. 2011, 65, 309–317.

8 Luangsa-ard, J., Houbraken, J., van Doorn, T., Hong, S.B., Borman, A.M., Hywel-Jones, N.L. and Samson, R.A., 2011. Purpureocillium, a new genus for the medically important Paecilomyces lilacinus. FEMS microbiology letters, 321(2), pp.141-149.

9 Hidayat, A. and Tachibana, S., 2012. Biodegradation of Aliphatic Hydrocarbon in Three Types of Crude Oil by Fusarium sp. F 092 under Stress with Artificial Sea Water. Journal of Environmental Science and Technology, 5(1), pp.64-73.

10 Chulalaksananukul, S., Gadd, G.M., Sangvanich, P., Sihanonth, P., Piapukiew, J. and Vangnai, A.S., 2006. Biodegradation of benzo (a) pyrene by a newly isolated Fusarium sp. FEMS microbiology letters, 262(1), pp.99-106.

11 Michielse, C.B. and Rep, M., 2009. Pathogen profile update: Fusarium oxysporum. Molecular plant pathology, 10(3), pp.311-324

12 Sreevidya, M., Gopalakrishnan, S., Melø, T.M., Simic, N., Bruheim, P., Sharma, M., Srinivas, V. and Alekhya, G., 2015. Biological control of Botrytis cinerea and plant growth promotion potential by Penicillium citrinum in chickpea (Cicer arietinum L.). Biocontrol science and technology, 25(7), pp.739-755.

13 Birolli, W.G., Santos, D.D.A., Alvarenga, N., Garcia, A.C., Romão, L.P. and Porto, A.L., 2018. Biodegradation of anthracene and several PAHs by the marine-derived fungus Cladosporium sp. CBMAI 1237. Marine pollution bulletin, 129(2), pp.525-533.

14 Wasi, S., Tabrez, S. and Ahmad, M., 2013. Use of Pseudomonas spp. for the bioremediation of environmental pollutants: a review. Environmental monitoring and assessment, 185(10), pp.8147-8155.

15 Sampedro, I., Parales, R.E., Krell, T. and Hill, J.E., 2014. Pseudomonas chemotaxis. FEMS microbiology reviews, 39(1), pp.17-46.

16 Ganeshan, G. and Manoj Kumar, A., 2005. Pseudomonas fluorescens, a potential bacterial antagonist to control plant diseases. Journal of Plant Interactions, 1(3), pp.123-134.

Allegato 2. Verifica Limiti Rilevabilità Flusso Emissivo Indoor e outdoor.
Schermate Software RomePlus

OUTDOOR ON SITE

Rome+ FORI - VerificaLimiti_Outdoor

File Diagnostica Help

Calcolo del rischio da misure di flusso

Scenario: Indoor: Residenziale - Outdoor: Residenziale

ISPRA

Selezione dei contaminanti e input delle misure di flusso

Elenco delle sostanze

	Sostanza	Categoria
+	Cianuri	Microinquinanti inorganici
+	Mercurio elementare	Microinquinanti inorganici
+	Benzene	Aromatici
+	Etilbenzene	Aromatici
+	Stirene	Aromatici
+	Toluene	Aromatici
+	m-Xilene	Aromatici
+	o-Xilene	Aromatici
+	p-Xilene	Aromatici
+	Xileni	Aromatici
+	1,1,2-Tricloroetano	Alifatici clorurati
+	1,1-Dicloroetilene	Alifatici clorurati
+	1,2,3-Tricloropropano	Alifatici clorurati

Input delle misure di flusso

	Sostanza	Flusso di massa [µg/m²·min]	Utilizzo Indoor	Utilizzo Outdoor	Punto di campionamento	Periodo di campionamento
-	Benzene	15,1	☑	☑		
-	Etilbenzene	47	☑	☑		
-	Stirene	235	☑	☑		
-	Xileni	2760	☑	☑		
-	Clorometano	65,5	☑	☑		
-	Cloruro di vinile	11,8	☑	☑		
-	Tetracloroetilene (PCE)	452	☑	☑		
-	Aromatici C9-C10	690	☑	☑		
-	Aromatici C11-C12	690	☑	☑		
-	Naftalene	3,45	☑	☑		

Annulla Conferma

OUTDOOR ON SITE

Rome+ FORI - VerificaLimiti_Outdoor

File Diagnostica Help

Calcolo del rischio da misure di flusso

Scenario: Indoor: Residenziale - Outdoor: Residenziale

ISPRA

Parametri di esposizione

	Nome	Unità di misura	Residenziale				Ricreativo				Industriale / Commerciale		
			Bambino (0-6 anni)	Adolescente (7-16 anni)	Adulto (17-65 anni)	Anziano (>65)	Bambino (0-6 anni)	Adolescente (7-16 anni)	Adulto (17-65 anni)	Anziano (>65)	Prevalente Indoor (a)	Indoor/ Outdoor (b)	Prevalente Outdoor (c)
▸	Frequenza giornaliera di esposizione indoor	ore/giorno	19,8	19,6	18	22,4	0,4	0,6	1,4	1,4	8	8	1,5
	Frequenza giornaliera di esposizione outdoor	ore/giorno	0,7	0,5	0,9	1,9	0,5	0,9	0,8	0,6	1,5	8	8
	Frequenza esposizione	giorni/anno	350	350	350	350	350	350	350	350	250	250	250
	Durata esposizione	anni	6	10	14	5	6	10	14	5	25	25	25
	Tempo mediazione non cancerogene	anni	6	10	14	5	6	10	14	5	25	25	25
	Tempo mediazione cancerogene	anni	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
	ADAF sostanze cancerogene/mutagene	adim.	5	3	1	1	5	3	1	1	1	1	1
	ADAF sostanze cancerogene/mutagene (Cloruro di vinile)	adim.	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1

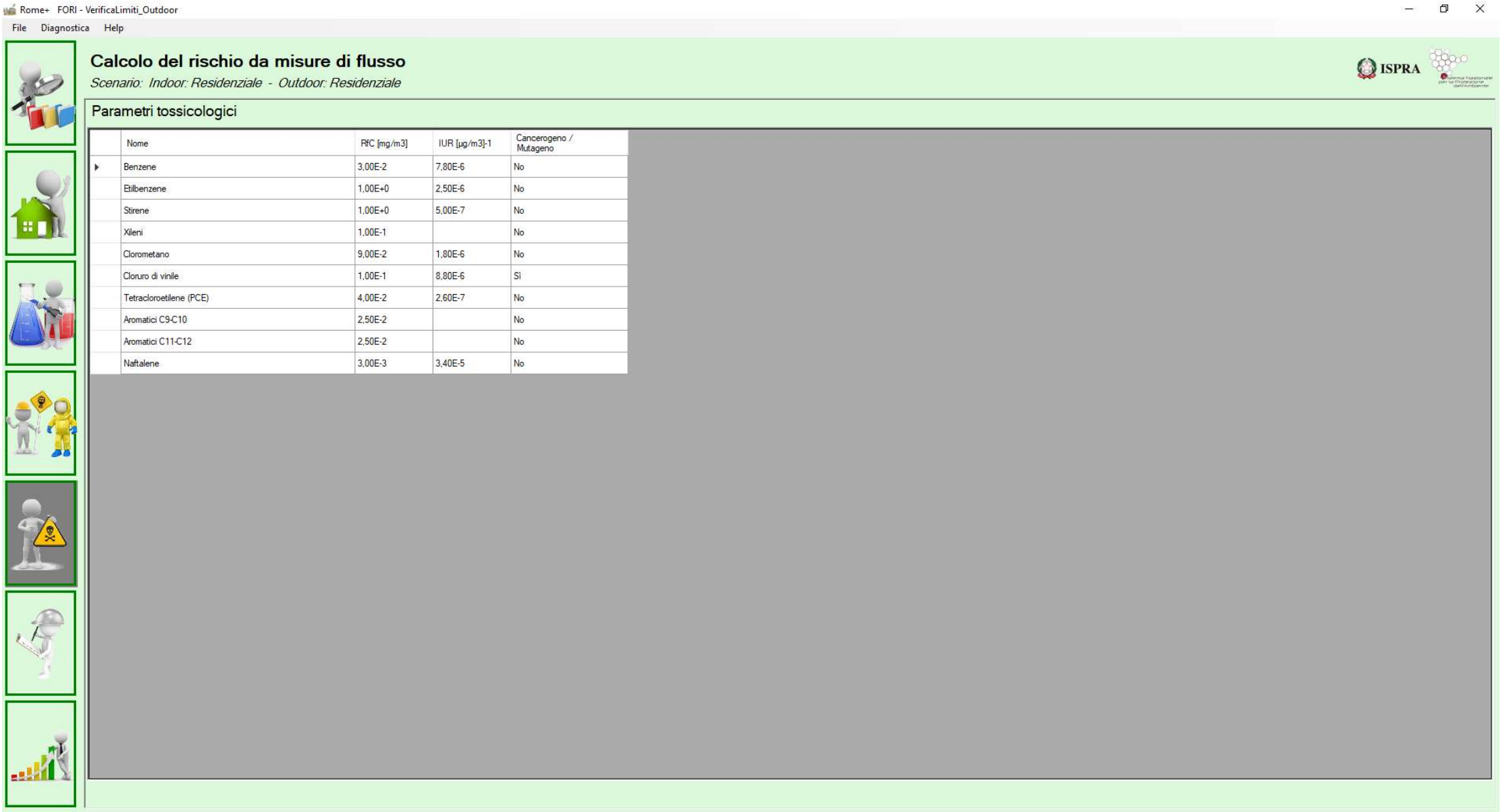
Legenda

Valore non modificabile

Valore non valido, da correggere

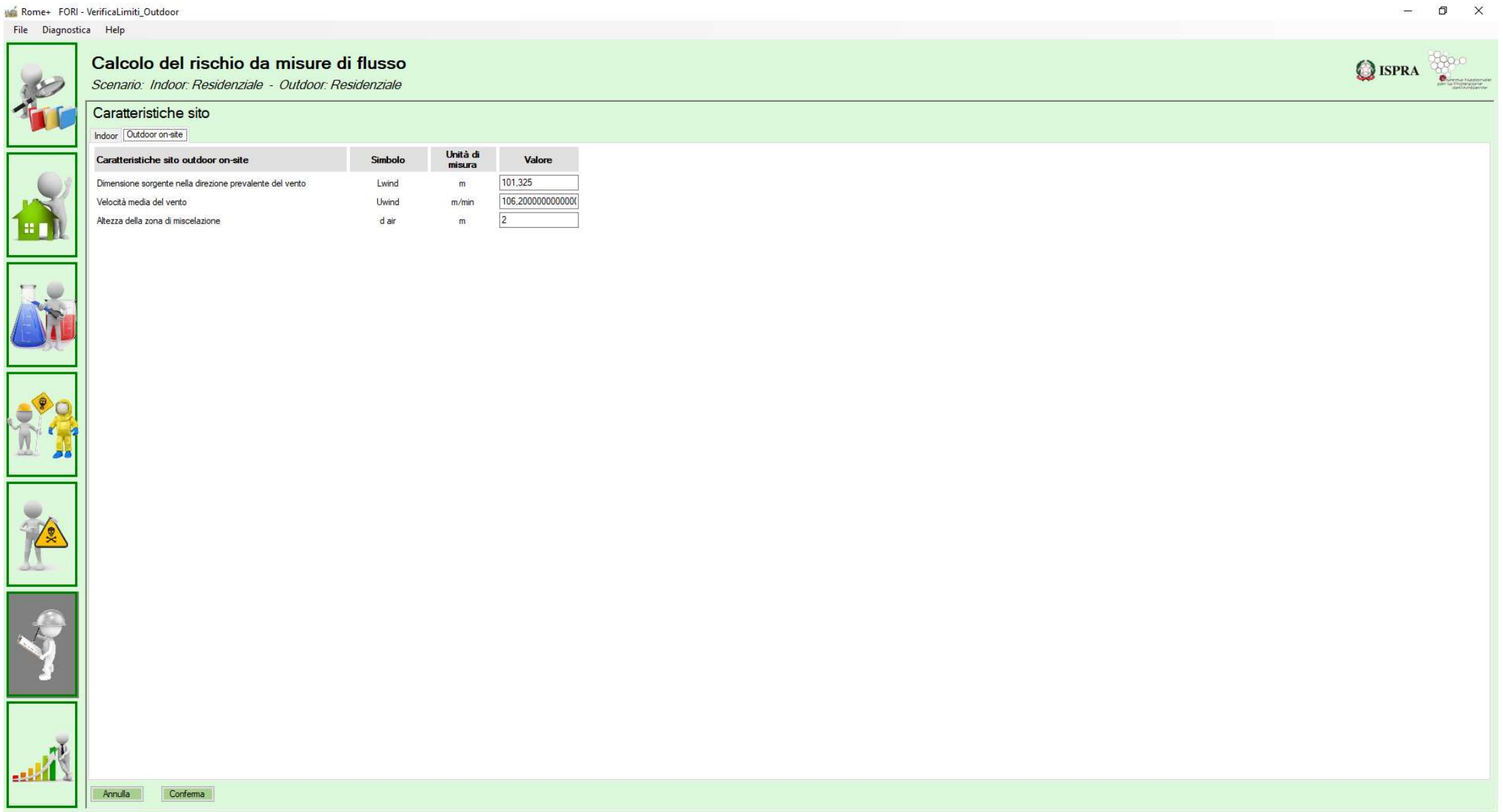
Annulla Conferma Imposta come predefiniti

OUTDOOR ON SITE

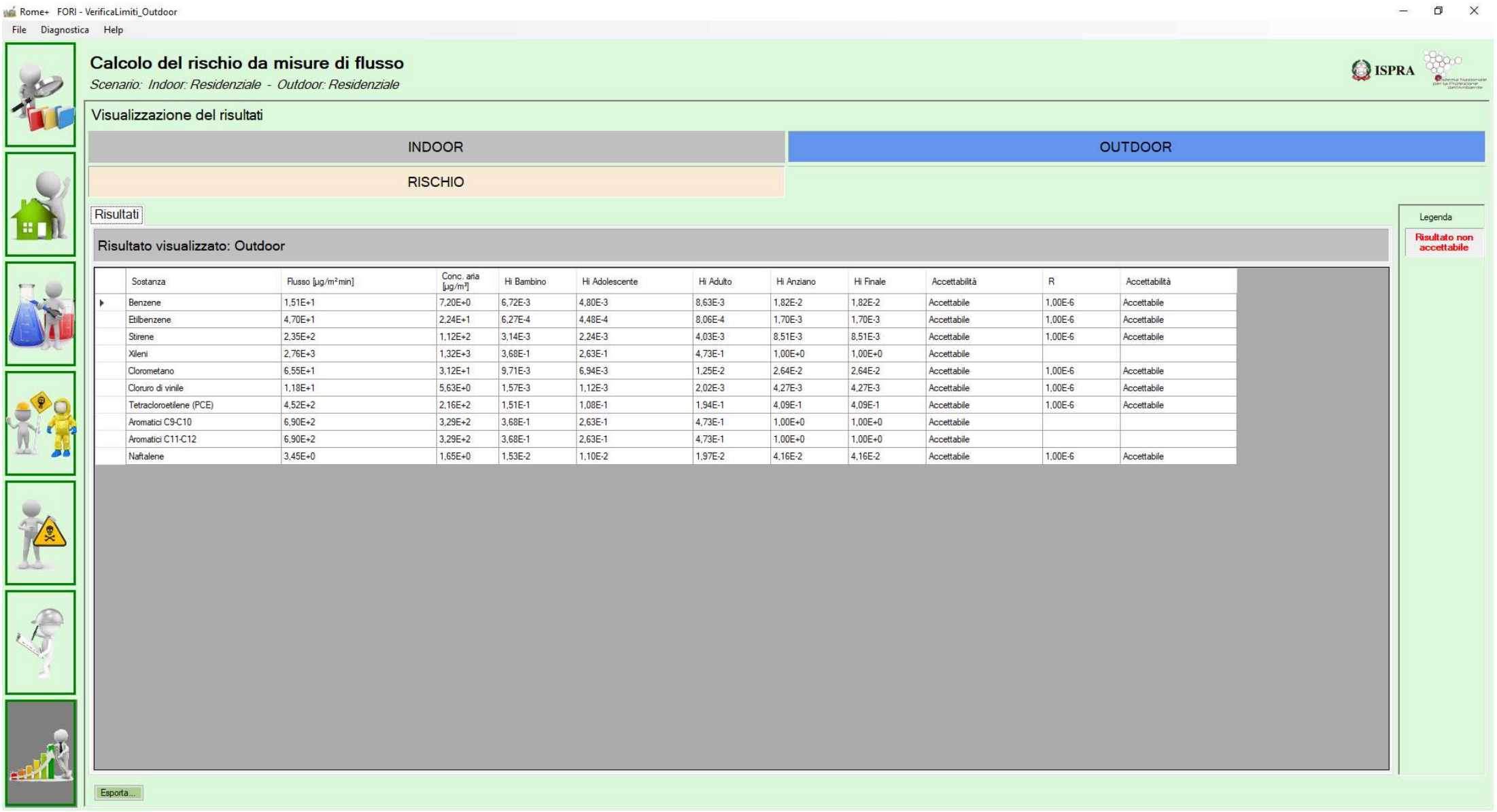


	Nome	RfC [mg/m3]	IUR [µg/m3]-1	Cancerogeno / Mutageno
▶	Benzene	3,00E-2	7,80E-6	No
	Etilbenzene	1,00E+0	2,50E-6	No
	Stirene	1,00E+0	5,00E-7	No
	Xileni	1,00E-1		No
	Clorometano	9,00E-2	1,80E-6	No
	Cloruro di vinile	1,00E-1	8,80E-6	Si
	Tetracloroetilene (PCE)	4,00E-2	2,60E-7	No
	Aromatici C9-C10	2,50E-2		No
	Aromatici C11-C12	2,50E-2		No
	Naftalene	3,00E-3	3,40E-5	No

OUTDOOR ON SITE

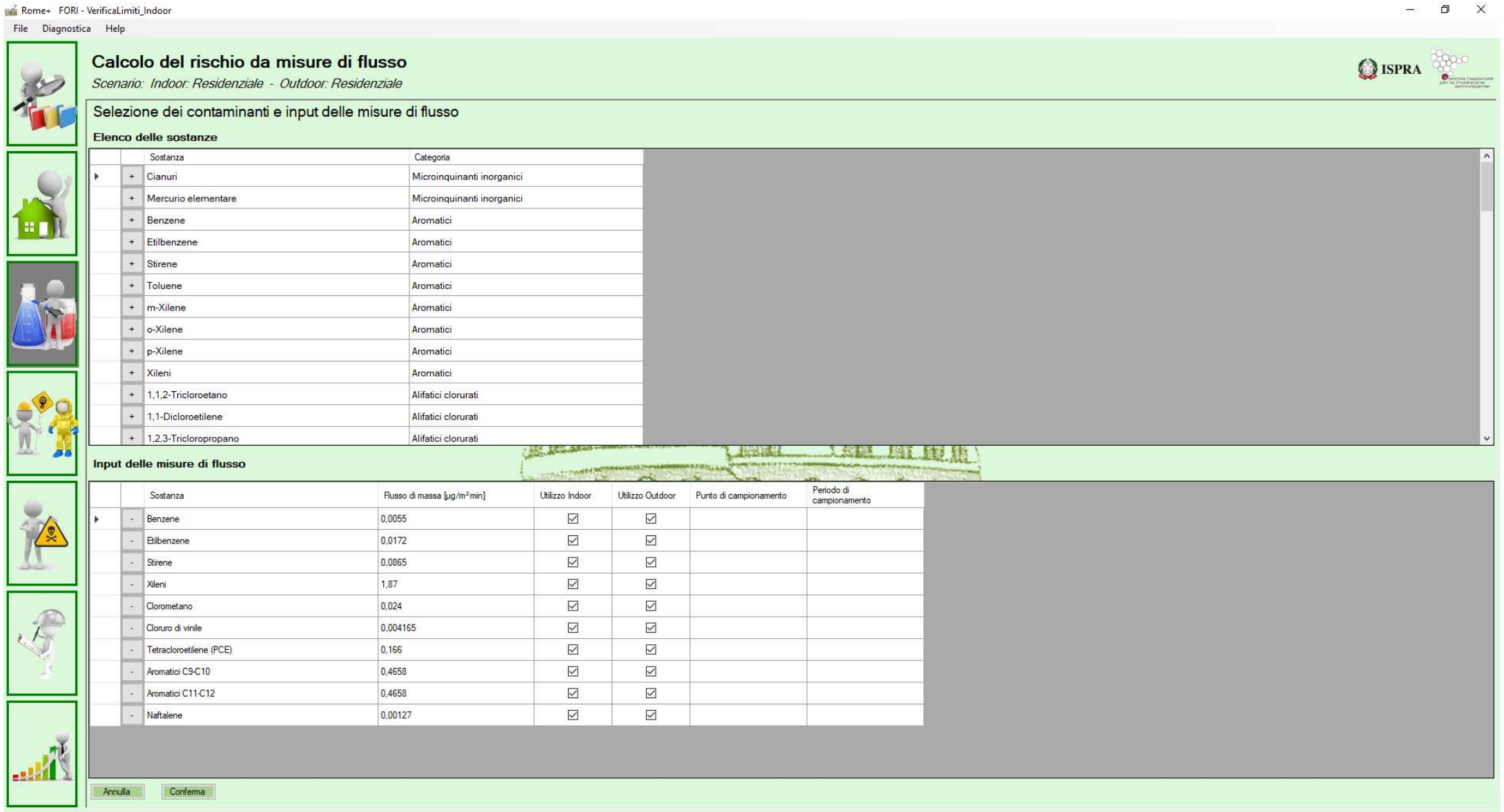


OUTDOOR ON SITE



Sostanza	Flusso [µg/m²min]	Conc. aria [µg/m³]	Hi Bambino	Hi Adolescente	Hi Adulto	Hi Anziano	Hi Finale	Accettabilità	R	Accettabilità
Benzene	1,51E+1	7,20E+0	6,72E-3	4,80E-3	8,63E-3	1,82E-2	1,82E-2	Accettabile	1,00E-6	Accettabile
Etilbenzene	4,70E+1	2,24E+1	6,27E-4	4,48E-4	8,06E-4	1,70E-3	1,70E-3	Accettabile	1,00E-6	Accettabile
Stirene	2,35E+2	1,12E+2	3,14E-3	2,24E-3	4,03E-3	8,51E-3	8,51E-3	Accettabile	1,00E-6	Accettabile
Xileni	2,76E+3	1,32E+3	3,68E-1	2,63E-1	4,73E-1	1,00E+0	1,00E+0	Accettabile		
Clorometano	6,55E+1	3,12E+1	9,71E-3	6,94E-3	1,25E-2	2,64E-2	2,64E-2	Accettabile	1,00E-6	Accettabile
Cloruro di vinile	1,18E+1	5,63E+0	1,57E-3	1,12E-3	2,02E-3	4,27E-3	4,27E-3	Accettabile	1,00E-6	Accettabile
Tetracloroetilene (PCE)	4,52E+2	2,16E+2	1,51E-1	1,08E-1	1,94E-1	4,09E-1	4,09E-1	Accettabile	1,00E-6	Accettabile
Aromatici C9-C10	6,90E+2	3,29E+2	3,68E-1	2,63E-1	4,73E-1	1,00E+0	1,00E+0	Accettabile		
Aromatici C11-C12	6,90E+2	3,29E+2	3,68E-1	2,63E-1	4,73E-1	1,00E+0	1,00E+0	Accettabile		
Naftalene	3,45E+0	1,65E+0	1,53E-2	1,10E-2	1,97E-2	4,16E-2	4,16E-2	Accettabile	1,00E-6	Accettabile

INDOOR ON SITE



INDOOR ON SITE

Rome+ FORI - VerificaLimiti_Indoor

File Diagnostica Help

Calcolo del rischio da misure di flusso

Scenario: Indoor: Residenziale - Outdoor: Residenziale

ISPRA

Parametri di esposizione

			Residenziale				Ricreativo				Industriale / Commerciale		
	Nome	Unità di misura	Bambino (0-6 anni)	Adolescente (7-16 anni)	Adulto (17-65 anni)	Anziano (>65)	Bambino (0-6 anni)	Adolescente (7-16 anni)	Adulto (17-65 anni)	Anziano (>65)	Prevalente Indoor (a)	Indoor/ Outdoor (b)	Prevalente Outdoor (c)
▸	Frequenza giornaliera di esposizione indoor	ore/giorno	19,8	19,6	18	22,4	0,4	0,6	1,4	1,4	8	8	1,5
	Frequenza giornaliera di esposizione outdoor	ore/giorno	0,7	0,5	0,9	1,9	0,5	0,9	0,8	0,6	1,5	8	8
	Frequenza esposizione	giorni/anno	350	350	350	350	350	350	350	350	250	250	250
	Durata esposizione	anni	6	10	14	5	6	10	14	5	25	25	25
	Tempo mediazione non cancerogene	anni	6	10	14	5	6	10	14	5	25	25	25
	Tempo mediazione cancerogene	anni	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
	ADAF sostanze cancerogene/mutagene	adim.	5	3	1	1	5	3	1	1	1	1	1
	ADAF sostanze cancerogene/mutagene (Cloruro di vinile)	adim.	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1

Legenda

Valore non modificabile

Valore non valido, da correggere

Annulla Conferma Imposta come predefiniti

INDOOR ON SITE

Rome+ FORI - VerificaLimiti_Indoor

File Diagnostica Help

Calcolo del rischio da misure di flusso

Scenario: Indoor: Residenziale - Outdoor: Residenziale

ISPRA

Parametri tossicologici

	Nome	RfC [mg/m3]	IUR [µg/m3]-1	Cancerogeno / Mutageno
▶	Benzene	3,00E-2	7,80E-6	No
	Etilbenzene	1,00E+0	2,50E-6	No
	Stirene	1,00E+0	5,00E-7	No
	Xileni	1,00E-1		No
	Clorometano	9,00E-2	1,80E-6	No
	Cloruro di vinile	1,00E-1	8,80E-6	Si
	Tetracloroetilene (PCE)	4,00E-2	2,60E-7	No
	Aromatici C9-C10	2,50E-2		No
	Aromatici C11-C12	2,50E-2		No
	Naftalene	3,00E-3	3,40E-5	No

INDOOR ON SITE

Rome+ FORI - VerificaLimiti_Indoor

File Diagnostica Help

Calcolo del rischio da misure di flusso

Scenario: Indoor: Residenziale - Outdoor: Residenziale

ISPRA

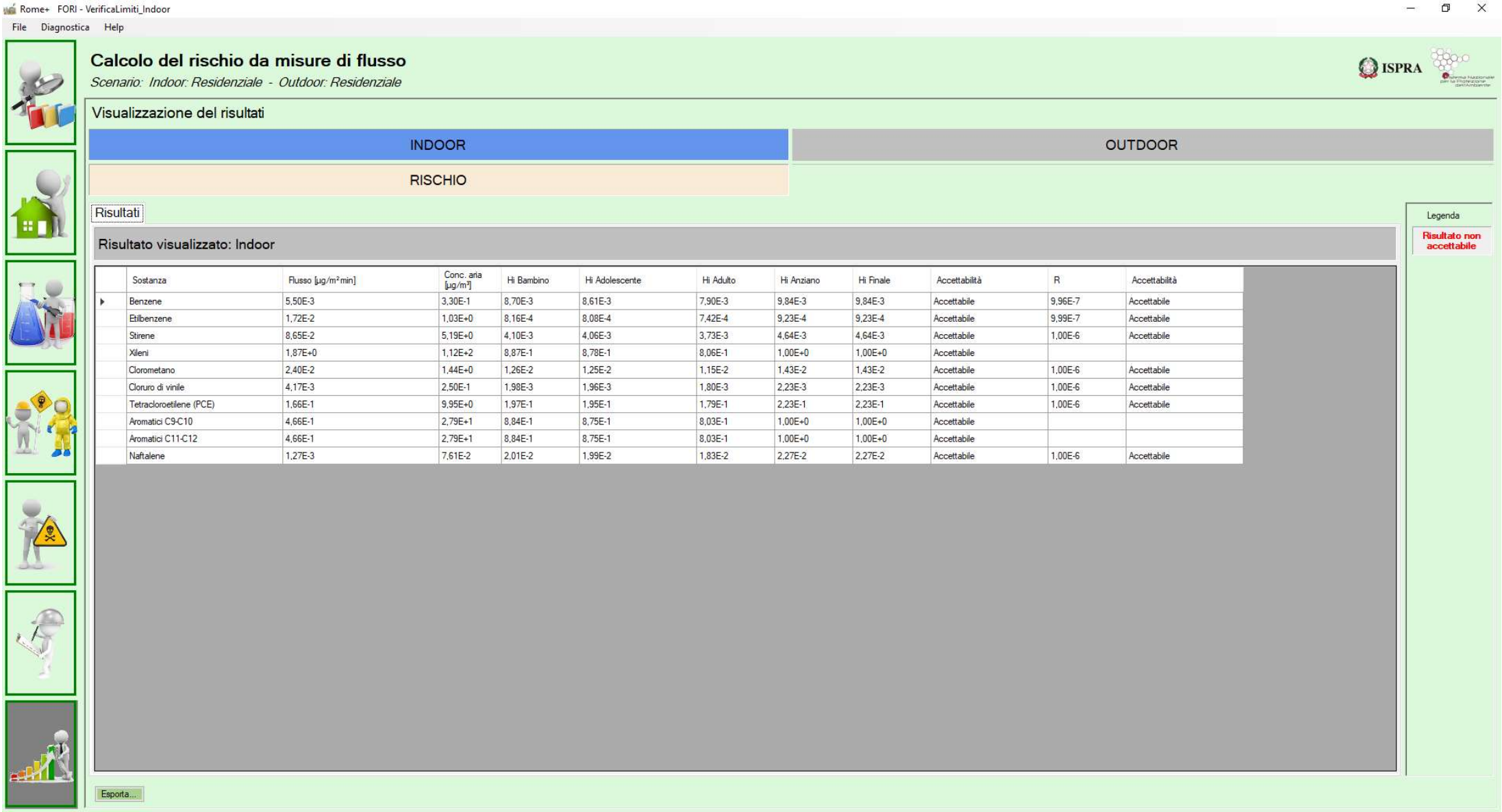
Caratteristiche sito

Indoor | Outdoor on-site

Caratteristiche sito indoor	Simbolo	Unità di misura	Uso residenziale	Uso commerciale/ industriale	Uso ricreativo
Superficie interessata dal flusso emissivo entro l'edificio	A_B	m^2	70	400	200
Volume dello spazio chiuso in cui avviene la miscelazione	V_B	m^3	140	1200	600
Tasso di ricambio di aria	ER_B	1/min	8,34E-3	1,39E-2	1,39E-2

Annulla Conferma

INDOOR ON SITE



Sostanza	Flusso [µg/m²min]	Conc. aria [µg/m³]	Hi Bambino	Hi Adolescente	Hi Adulto	Hi Anziano	Hi Finale	Accettabilità	R	Accettabilità
Benzene	5,50E-3	3,30E-1	8,70E-3	8,61E-3	7,90E-3	9,84E-3	9,84E-3	Accettabile	9,96E-7	Accettabile
Etilbenzene	1,72E-2	1,03E+0	8,16E-4	8,08E-4	7,42E-4	9,23E-4	9,23E-4	Accettabile	9,99E-7	Accettabile
Stirene	8,65E-2	5,19E+0	4,10E-3	4,06E-3	3,73E-3	4,64E-3	4,64E-3	Accettabile	1,00E-6	Accettabile
Xileni	1,87E+0	1,12E+2	8,87E-1	8,78E-1	8,06E-1	1,00E+0	1,00E+0	Accettabile		
Clorometano	2,40E-2	1,44E+0	1,26E-2	1,25E-2	1,15E-2	1,43E-2	1,43E-2	Accettabile	1,00E-6	Accettabile
Cloruro di vinile	4,17E-3	2,50E-1	1,98E-3	1,96E-3	1,80E-3	2,23E-3	2,23E-3	Accettabile	1,00E-6	Accettabile
Tetracloroetilene (PCE)	1,66E-1	9,95E+0	1,97E-1	1,95E-1	1,79E-1	2,23E-1	2,23E-1	Accettabile	1,00E-6	Accettabile
Aromatici C9-C10	4,66E-1	2,79E+1	8,84E-1	8,75E-1	8,03E-1	1,00E+0	1,00E+0	Accettabile		
Aromatici C11-C12	4,66E-1	2,79E+1	8,84E-1	8,75E-1	8,03E-1	1,00E+0	1,00E+0	Accettabile		
Naftalene	1,27E-3	7,61E-2	2,01E-2	1,99E-2	1,83E-2	2,27E-2	2,27E-2	Accettabile	1,00E-6	Accettabile

PRESENTAZIONE DEL REPORT "PROGETTO OPERATIVO"
PER L'ANAGRAFE DEI SITI DA BONIFICARE
Procedura Ordinaria

ID SITO: 04104400024
NOME SITO: EX AMGA SOTTOCOMPARTO 1

PRESENTAZIONE PROGETTO OPERATIVO DI BONIFICA

Soggetto proponente l'atto: COMUNE DI PESARO
Redattore/Esecutore dei lavori:
N° atto dell'ente proponente: N° Fase:
Data dell'atto: 26/03/2020
Note:

GENERALITÀ SITO

Note generiche:
COMUNICAZIONE AI SENSI DEL 244 DA PARTE DI ARPAM E AI SENSI DEL 245 DALLE DITTE PROPRIETARIE
Tipologia Area:
Area Residenziale

PARTICELLE CATASTALI

Riferimenti Catastali della Particella:

Comune: PESARO

Foglio: 20 Particella: 3156

CSR Superata: SI

Destinazione d'uso vigente per la particella definito da PRG:

Uso verde pubblico, privato e residenziale

INTERVENTI

Tipologia intervento:

Messa in sicurezza di emergenza

Interventi permanenti: Bonifica

Durata prevista dell'intervento di bonifica (da progetto definitivo):

Durata totale (mesi): 60

RESPONSABILI DELLE PROCEDURE OPERATIVE DI BONIFICA

Soggetto/i Responsabile/i dell'Inquinamento

Tipologia del Soggetto: Soggetto sconosciuto - Stato del Soggetto:
Note: IN ATTESA DI DEFINIZIONE

Soggetto/i in Sostituzione del Responsabile

Periodo della sostituazione: Dal: 07/12/2012 Al: 05/03/2020
Tipologia del Soggetto: Altro soggetto - Stato del Soggetto: Pubblico
COMUNE DI PESARO - COMUNE DI PESARO COMUNE DI PESARO
Codice Fiscale : 00272430414
Email: comune.pesaro@emarche.it
PEC: comune.pesaro@emarche.it
Piazza Del Popolo, 1
61121 - Pesaro (PU)

INQUINANTI RILEVATI (D.LGS 152/06)

Inquinanti rilevati nel Suolo (D.Lgs 152/06)

Gruppo: IDROCARBURI
Inquinante rilevato: IDROCARBURI LEGGERI C < 12
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Caratterizzazione del sito
Concentrazione Massima: 187,0000 (mg/Kg) CSR: 10,0000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: IDROCARBURI
Inquinante rilevato: IDROCARBURI PESANTI C > 12
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 1300,0000 (mg/Kg) CSR: 216,0000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: COMPOSTI INORGANICI
Inquinante rilevato: PIOMBO
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 24,0000 (mg/Kg) CSR: 266,0000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: COMPOSTI INORGANICI
Inquinante rilevato: ZINCO
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 151,0000 (mg/Kg) CSR: 22800,0000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI
Inquinante rilevato: XILENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 9,7200 (mg/Kg) CSR: 6,8800 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI
Inquinante rilevato: SOMMATORIA ORGANICI AROMATICI (DA 20 A 23)
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 10,4000 (mg/Kg) CSR: 1,0000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: BENZO(A)ANTRACENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo

Concentrazione Massima: 99,0000 (mg/Kg) CSR: 0,6130 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: BENZO(A)PIRENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 94,0000 (mg/Kg) CSR: 0,0263 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: BENZO(B)FLUORANTENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 78,0000 (mg/Kg) CSR: 0,6180 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: BENZO(G, H, I,)PERILENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 65,0000 (mg/Kg) CSR: 10,6000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: BENZO(K,)FLUORANTENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 46,0000 (mg/Kg) CSR: 0,6180 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: CRISENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 92,0000 (mg/Kg) CSR: 0,6150 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: DIBENZO(A,H)ANTRACENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 38,0000 (mg/Kg) CSR: 0,0263 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: DIBENZO(A)PIRENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 38,0000 (mg/Kg) CSR: 0,0263 (mg/Kg)

Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: INDENOPIRENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 74,0000 (mg/Kg) CSR: 0,6190 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: PIRENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 97,0000 (mg/Kg) CSR: 885,0000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: PARAMETRI ISS SUOLI
Inquinante rilevato: FENANTRENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 12,8000 (mg/Kg) CSR: 47,3000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: SOMMATORIA POLICICLICI AROMATICI (DA 25 A 34)
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 795,0000 (mg/Kg) CSR: 10,0000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI (1)
Inquinante rilevato: CLOROMETANO
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 0,1100 (mg/Kg) CSR: 0,0279 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI (1)
Inquinante rilevato: DICLOROMETANO
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 0,9700 (mg/Kg) CSR: 19,5000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI (1)
Inquinante rilevato: TETRACLOROETILENE (PCE)
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 5,6000 (mg/Kg) CSR: 0,0830 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: FENOLI NON CLORURATI (1)
Inquinante rilevato: FENOLO
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 4,1000 (mg/Kg) CSR: 5610,0000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: FENOLI NON CLORURATI (1)
Inquinante rilevato: METILFENOLO (O-, M-, P-)
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 2,0500 (mg/Kg) CSR: 5070,0000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Inquinanti rilevati nel Sottosuolo (D.Lgs 152/06)
Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: BENZO(A)ANTRACENE
Fase/i di riscontro:
Notifica iniziale
Accertamenti preliminari di controllo
Caratterizzazione del sito
Concentrazione Massima: 105,0000 (mg/Kg) CSR: 11,9000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI
Inquinante rilevato: BENZENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Caratterizzazione del sito
Concentrazione Massima: 0,3070 (mg/Kg) CSR: 0,0267 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: IDROCARBURI
Inquinante rilevato: IDROCARBURI LEGGERI C < 12
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 150,0000 (mg/Kg) CSR: 7,3400 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: IDROCARBURI
Inquinante rilevato: IDROCARBURI PESANTI C > 12
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 5680,0000 (mg/Kg) CSR: 262,0000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI
Inquinante rilevato: XILENE
Fase/i di riscontro:

Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 14,2000 (mg/Kg) CSR: 4,1700 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI
Inquinante rilevato: TOLUENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 2,1700 (mg/Kg) CSR: 2,4900 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI
Inquinante rilevato: SOMMATORIA ORGANICI AROMATICI (DA 20 A 23)
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 17,7000 (mg/Kg) CSR: 1,0000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: BENZO(A)PIRENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 51,0000 (mg/Kg) CSR: 3,9300 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: BENZO(B)FLUORANTENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 202,0000 (mg/Kg) CSR: 40,1000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: BENZO(G, H, I,)PERILENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 271,0000 (mg/Kg) CSR: 10,6000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: BENZO(K,)FLUORANTENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 140,0000 (mg/Kg) CSR: 19,7000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: CRISENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo

Concentrazione Massima: 208,0000 (mg/Kg) CSR: 606,0000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: DIBENZO(A,H)ANTRACENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 25,2000 (mg/Kg) CSR: 12,8000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: DIBENZO(A)PIRENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 26,9000 (mg/Kg) CSR: 19700,0000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: INDENOPIRENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 90,0000 (mg/Kg) CSR: 131,0000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: PIRENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 392,0000 (mg/Kg) CSR: 1820,0000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: AROMATICI POLICICLICI (1)
Inquinante rilevato: SOMMATORIA POLICICLICI AROMATICI (DA 25 A 34)
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 1645,0000 (mg/Kg) CSR: 10,0000 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI (1)
Inquinante rilevato: TETRACLOROETILENE (PCE)
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 11,6000 (mg/Kg) CSR: 0,0830 (mg/Kg)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Inquinanti rilevati nelle Acque Sotterranee (D.Lgs 152/06)
Gruppo: ALTRE SOSTANZE
Inquinante rilevato: IDROCARBURI TOTALI (ESPRESSO COME N-ESANO)
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo

Concentrazione Massima: 2140,0000 (µg/L) CSR: 350,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI
Inquinante rilevato: CLORURO DI VINILE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Caratterizzazione del sito
Concentrazione Massima: 100,0000 (µg/L) CSR: 0,5000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: POLICLICI AROMATICI
Inquinante rilevato: BENZO(A) ANTRACENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Caratterizzazione del sito
Concentrazione Massima: 0,9100 (µg/L) CSR: 0,1000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: COMPOSTI ORGANICI AROMATICI
Inquinante rilevato: BENZENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Caratterizzazione del sito
Concentrazione Massima: 1360,0000 (µg/L) CSR: 1,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: METALLI
Inquinante rilevato: ARSENICO
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 59,3000 (µg/L) CSR: 10,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: METALLI
Inquinante rilevato: NICHEL
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 38,0000 (µg/L) CSR: 20,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: COMPOSTI ORGANICI AROMATICI
Inquinante rilevato: TOLUENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 112,0000 (µg/L) CSR: 15,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: COMPOSTI ORGANICI AROMATICI
Inquinante rilevato: PARA-XILENE

Fase/i di riscontro:

Accertamenti preliminari di controllo

Concentrazione Massima: 262,0000 (µg/L) CSR: 10,0000 (µg/L)

Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: POLICLICI AROMATICI

Inquinante rilevato: BENZO (A) PIRENE

Fase/i di riscontro:

Accertamenti preliminari di controllo

Concentrazione Massima: 0,6300 (µg/L) CSR: 0,0100 (µg/L)

Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: POLICLICI AROMATICI

Inquinante rilevato: BENZO (B) FLUORANTENE

Fase/i di riscontro:

Accertamenti preliminari di controllo

Concentrazione Massima: 0,8400 (µg/L) CSR: 0,1000 (µg/L)

Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: POLICLICI AROMATICI

Inquinante rilevato: BENZO (G, H, I) PERILENE

Fase/i di riscontro:

Accertamenti preliminari di controllo

Concentrazione Massima: 0,6500 (µg/L) CSR: 0,0100 (µg/L)

Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: POLICLICI AROMATICI

Inquinante rilevato: BENZO (K,) FLUORANTENE

Fase/i di riscontro:

Accertamenti preliminari di controllo

Concentrazione Massima: 0,4600 (µg/L) CSR: 0,0500 (µg/L)

Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: POLICLICI AROMATICI

Inquinante rilevato: DIBENZO (A, H) ANTRACENE

Fase/i di riscontro:

Accertamenti preliminari di controllo

Concentrazione Massima: 0,0970 (µg/L) CSR: 0,0100 (µg/L)

Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: POLICLICI AROMATICI

Inquinante rilevato: INDENO (1,2,3 - C, D) PIRENE

Fase/i di riscontro:

Accertamenti preliminari di controllo

Concentrazione Massima: 0,6200 (µg/L) CSR: 0,1000 (µg/L)

Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: POLICLICI AROMATICI

Inquinante rilevato: SOMMATORIA (31, 32, 33, 36)

Fase/i di riscontro:

Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 2,5600 (µg/L) CSR: 0,1000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI
Inquinante rilevato: TRICLOROMETANO
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 0,2000 (µg/L) CSR: 0,1500 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI
Inquinante rilevato: 1,1 DICLOROETILENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 0,2750 (µg/L) CSR: 0,0500 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI
Inquinante rilevato: TETRACLOROETILENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 255,0000 (µg/L) CSR: 1,1000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI
Inquinante rilevato: TRICLOROETILENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 5,9000 (µg/L) CSR: 1,5000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI
Inquinante rilevato: SOMMATORIA ORGANOALOGENATI
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 258,0000 (µg/L) CSR: 10,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: ALIFATICI CLORURATI NON CANCEROGENI
Inquinante rilevato: 1,2-DICLOROETILENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 93,0000 (µg/L) CSR: 60,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI
Inquinante rilevato: 1,2-DICLOROPROPANO
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo

Concentrazione Massima: 0,3000 (µg/L) CSR: 0,1500 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: PARAMETRI ISS ACQUE
Inquinante rilevato: MTBE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 282,0000 (µg/L) CSR: 40,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: PARAMETRI ISS ACQUE
Inquinante rilevato: ORTO XILENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 58,8000 (µg/L) CSR: 10,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: PARAMETRI ISS ACQUE
Inquinante rilevato: 1,3,5 TRIMETILBENZENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 42,5000 (µg/L) CSR: 10,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: PARAMETRI ISS ACQUE
Inquinante rilevato: 1,2,4 TRIMETILBENZENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 95,4000 (µg/L) CSR: 10,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: PARAMETRI ISS ACQUE
Inquinante rilevato: 1,2,3 TRIMETILBENZENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 42,6000 (µg/L) CSR: 10,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: PARAMETRI ISS ACQUE
Inquinante rilevato: NAFTALENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 994,8000 (µg/L) CSR: 5,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: PARAMETRI ISS ACQUE
Inquinante rilevato: FLUORENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 34,5600 (µg/L) CSR: 5,0000 (µg/L)

Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: PARAMETRI ISS ACQUE
Inquinante rilevato: FENANTRENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 33,6100 (µg/L) CSR: 5,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: PARAMETRI ISS ACQUE
Inquinante rilevato: ANTRACENE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 11,1500 (µg/L) CSR: 5,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: PARAMETRI ISS ACQUE
Inquinante rilevato: DICLOROMETANO
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 3,7000 (µg/L) CSR: 0,1500 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: METALLI
Inquinante rilevato: FERRO
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 3505,0000 (µg/L) CSR: 200,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: INQUINANTI INORGANICI
Inquinante rilevato: BORO
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 1176,0000 (µg/L) CSR: 1000,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

Gruppo: METALLI
Inquinante rilevato: MANGANESE
Fase/i di riscontro:
Accertamenti preliminari di controllo
Concentrazione Massima: 2780,0000 (µg/L) CSR: 50,0000 (µg/L)
Soggetto rilevatore: ARPAM DIP. PROVINCIALE PESARO SERVIZIO RIF/SUOLO

CARATTERISTICHE DELLA SORGENTE DI INQUINAMENTO

Sorgente di inquinamento: Accertata
Sorgente di inquinamento: Suolo, Sottosuolo, Acque Sotterranee
Stato fisico prevalente:

Stime

Superficie sorgente primaria: 500,00 mq.
Volume sorgente primaria: 1000,00 mc.

Volume rifiuti (stimato):

Misure

Superficie sorgente primaria:
Volume sorgente primaria:

Volume rifiuti (misurato):

CARATTERIZZAZIONE AREA

Caratteristiche dell'acquifero

Tipologia di falda: Freatica

Soggiacenza falda del piano campagna (m): 2,00

Presenza di pozzi

Presenza di pozzi nelle immediate vicinanze: NO

Accessibilità dell'area per indagini e controlli

Facile accesso

Note:

Accessibilità dell'area da parte di soggetti non autorizzati

Difficile accesso per altre ragioni

Note:

Note

Note:

MATRICE CONTAMINATA

Superficie e volumi di matrici contaminate

Stime

Superficie suolo: 1.500,00 (mq.)
Volume suolo,sottosuolo: 3.000,00 (mc.)
Volume acque superficiali: 0,00 (mc.)
Volume acque sotterranee: 5.200,00 (mc.)

Misure

Superficie suolo: (mq.)
Volume suolo,sottosuolo: (mc.)
Volume acque superficiali: (mc.)
Volume acque sotterranee: (mc.)

Note:

CONTROLLI FINALIZZATI ALLA CERTIFICAZIONE

Aria
Periodicità: 4
Durata: 12

Anagrafe dei Siti da Bonificare

ARPAM

Regione Marche
Ambiente

INSERIMENTO DEL CONTROLLO

Selezionare gli inquinanti previsti nel piano di monitoraggio

Suolo

Inquinanti:

- [x] BENZO(A)ANTRACENE
- [x] BENZO(A)PIRENE
- [x] BENZO(B)FLUORANTENE
- [x] BENZO(G, H, I,)PERILENE
- [x] BENZO(K,)FLUORANTENE
- [x] CLOROMETANO
- [x] CRISENE
- [x] DIBENZO(A)PIRENE
- [x] DIBENZO(A,H)ANTRACENE
- [ ] DICLOROMETANO
- [ ] FENANTRENE
- [ ] FENOLO
- [x] IDROCARBURI LEGGERI C < 12
- [x] IDROCARBURI PESANTI C > 12
- [x] INDENOPIRENE
- [ ] METILFENOLO (O-, M-, P-)
- [ ] PIOMBO
- [ ] PIRENE
- [ ] SOMMATORIA ORGANICI AROMATICI (DA 20 A 23)
- [ ] SOMMATORIA POLICICLICI AROMATICI (DA 25 A 34
- [x] TETRACLOROETILENE (PCE)
- [x] XILENE
- [ ] ZINCO

Periodicità (n° campioni/anno): 6

Durata (mesi): 1

Sottosuolo

Inquinanti:

- [x] BENZENE
- [x] BENZO(A)ANTRACENE
- [x] BENZO(A)PIRENE
- [x] BENZO(B)FLUORANTENE
- [x] BENZO(G, H, I,)PERILENE
- [x] BENZO(K,)FLUORANTENE
- [ ] CRISENE
- [ ] DIBENZO(A)PIRENE
- [x] DIBENZO(A,H)ANTRACENE
- [x] IDROCARBURI LEGGERI C < 12
- [x] IDROCARBURI PESANTI C > 12
- [ ] INDENOPIRENE
- [ ] PIRENE
- [ ] SOMMATORIA ORGANICI AROMATICI (DA 20 A 23
- [ ] SOMMATORIA POLICICLICI AROMATICI (DA 25 A 34)
- [x] TETRACLOROETILENE (PCE)
- [ ] TOLUENE
- [x] XILENE

Periodicità (n° campioni/anno): 6

Inquinanti:

Periodicità (n° campioni/anno): 0

Durata (mesi): 0

Acque Sotterranee

Inquinanti:

- [x] 1,1 DICLOROETILENE
- [x] 1,2,3 TRIMETILBENZENE
- [x] 1,2,4 TRIMETILBENZENE
- [x] 1,2-DICLOROETILENE
- [x] 1,2-DICLOROPROPANO
- [x] 1,3,5 TRIMETILBENZENE
- [x] ANTRACENE
- [x] ARSENICO
- [x] BENZENE
- [x] BENZO (A) PIRENE
- [x] BENZO (B) FLUORANTENE
- [x] BENZO (G, H, I) PERILENE
- [x] BENZO (K,) FLUORANTENE
- [x] BENZO(A) ANTRACENE
- [x] BORO
- [x] CLORURO DI VINILE
- [x] DIBENZO (A, H) ANTRACENE
- [x] DICLOROMETANO
- [x] FENANTRENE
- [ ] FERRO
- [x] FLUORENE
- [x] IDROCARBURI TOTALI (ESPRESSO COME N-ESANO
- [x] INDENO (1,2,3 - C, D) PIRENE
- [ ] MANGANESE
- [x] MTBE
- [x] NAFTALENE
- [x] NICHEL
- [x] ORTO XILENE
- [x] PARA-XILENE
- [x] SOMMATORIA (31, 32, 33, 36)
- [x] SOMMATORIA ORGANOALOGENATI
- [x] TETRACLOROETILENE
- [x] TOLUENE
- [x] TRICLOROETILENE
- [x] TRICLOROMETANO

Periodicità (n° campioni/anno): 4

Durata (mesi): 12

Aria

Periodicità (n° campioni/anno): 4

Durata (mesi): 12

(I campi in **grassetto** sono Obbligatori)

Annulla Registra

TECNOLOGIE DI BONIFICA UTILIZZATE

Matrice interessata: Suolo
Tecnologia utilizzata: FITORISANAMENTO
Note: IMPIEGO COMBINATO E SINERGICO DI BIOAUGMENTATION E PHYTOREMEDIATION

Matrice interessata: Sottosuolo
Tecnologia utilizzata: FITORISANAMENTO
Note: IMPIEGO COMBINATO E SINERGICO DI BIOAUGMENTATION E PHYTOREMEDIATION

Matrice interessata: Acque Sotterranee
Tecnologia utilizzata: PUMP AND TREAT
Note: AZIONE DIRETTA MEDIANTE PUMP&TREAT + AZIONE INDIRETTA MEDIANTE PHYTOREMEDIATION

SEZIONE FINANZIARIA

Soggetto finanziatore e percentuale di finanziamento (Pubblico)

Soggetto: COMUNE DI PESARO Percentuale:
Indirizzo: N.Civico:
Città:
CAP: Provincia:

Garanzie finanziarie

Nessuna Garanzia Stipulata

Informativa ai sensi art. 13 Regolamento UE 2016/679
(Regolamento Generale sulla Protezione dei Dati)

La presente informativa è resa al fine di comunicare agli interessati i dettagli relativi al trattamento di gestione del Sistema Informativo Regionale dei Siti Inquinati (S.I.R.S.I.)

Il Titolari del trattamento dei dati sono:

- ***Regione Marche*** - con sede competente in via Gentile da Fabriano, 9 - 60125 Ancona. Il Responsabile Protezione dei Dati può essere contattato scrivendo alla sede della Regione o all'indirizzo email rpd@regione.marche.it
- ***ARPA Marche*** - con sede competente in Via Ruggeri, 5 - 60131 Ancona. Il Responsabile Protezione dei Dati può essere contattato scrivendo alla sede dell'ARPA o all'indirizzo email responsabileprotezionedati@ambiente.marche.it

Si informa che i dati raccolti attraverso questo portale saranno trattati ai sensi della normativa vigente in tema di protezione dei dati personali.

I dati personali trattati all'interno del presente portale sono dati identificativi e di accesso telematico dei soggetti notificatori che conferiranno le informazioni relative ai siti inquinati.

Il trattamento dei dati personali viene effettuato per finalità di gestione dell'anagrafe dei siti da bonificare, come specificato dal D. Lgs. 152/2006 e dalla ulteriore normativa di settore, ai sensi dell'art. 6 par. 1 lett. c) ed e) del Regolamento UE 2016/679.

I dati conferiti potranno essere trattati da soggetti privati e pubblici per attività strumentali alle finalità indicate, di cui i titolari si avvarranno come responsabili del trattamento.

Saranno inoltre comunicati a soggetti pubblici per l'osservanza di obblighi di legge, correlati alla gestione del S.I.R.S.I., sempre nel rispetto della normativa vigente in tema di protezione dei dati personali.

Non è previsto il trasferimento di dati in un paese terzo.

Il conferimento dei dati è obbligatorio; in caso di mancato conferimento non sarà possibile svolgere l'istruttoria.

I dati saranno conservati per il tempo necessario a perseguire le finalità indicate e nel rispetto degli obblighi di legge correlati.

I soggetti che conferiscono i dati potranno far valere, in qualsiasi momento e ove possibile, i loro diritti, in particolare con riferimento al diritto di accesso ai dati personali, nonché al diritto di ottenerne la rettifica o la limitazione, l'aggiornamento e la cancellazione, salvo vi sia un motivo legittimo dei Titolari del trattamento che prevalga sugli interessi dell'interessato, ovvero per l'accertamento, l'esercizio o la difesa di un diritto in sede giudiziaria.

E' possibile esercitare i propri diritti rivolgendosi ai Titolari o ai rispettivi Responsabili della protezione dei dati, reperibili ai contatti sopra indicati.

E' possibile proporre reclamo all'Autorità Garante per la protezione dei dati personali qualora se ne ravvisi la necessità.

I Titolari non adottano alcun processo decisionale automatizzato, compresa la profilazione, di cui all'articolo 22, paragrafi 1 e 4, del Regolamento UE n. 679/2016.

Il sottoscritto _____, acquisite le informazioni suddette e consapevole dei diritti a lui spettanti ai sensi dell'art. 7 del d. lgs. 196/2003, presta il proprio consenso al trattamento dei dati personali.

Data _____ **Firma** _____

Il sottoscritto _____ consapevole, in caso di dichiarazione mendace o falsità in atti, delle sanzioni previste dagli artt. 75 e 76 del d.p.r. 28 dicembre 2000, n. 445, dichiara che quanto sopra riportato corrisponde a verità.

Data _____ **Firma** _____

Allegato: Copia fotostatica del Documento di Identità

TABELLE ALLEGATE

(Documentazione citata a pag. 7)

(Tabelle TB1a – TB1b – TB1c – TB2a – TB2b)

Allegato B1a – Dettagli costruttivi delle trincee per la *Bioaugmentation* sui terreni da bonificare

descrizione dell'area	sezione irrigua	ID	lunghezza trincea (m)	larghezza trincea (m)	superfice trincea (m^2)	profondità trincea (m)	Volume trincea (m^3)	larghezza diffusione inoculo (m)	superficie diffusione inoculo (m^2)
Area frassini	**A**	A1	10	0.4	4	1.8	7.2	1.50	15
		A2	15	0.4	6	1.0	6.0	1.50	23
		A3	18	0.4	7	1.7	12.2	1.50	27
		A4	22	0.4	9	1.4	12.3	1.50	33
		A5	21	0.4	9	1.8	15.4	1.50	32
		A6	27	0.4	11	1.5	16.2	1.50	41
		A7	25	0.4	10	1.2	12.0	1.50	38
		A8	28	0.4	11	1.6	17.9	1.50	42
		A9	25	0.4	10	1.0	10.0	1.50	38
		A10	28	0.4	11	1.7	19.0	1.50	42
		A11	26	0.4	10	1.0	10.4	1.50	39
		Sub-totali	**245**		**98**		**139**		**368**
Area ex-rampa (inclusa Vetiver)	**B**	B1	15	0.4	6	0.5	3.0	1.50	23
		B2	13	0.4	5	0.5	2.6	1.50	20
		B3	13	0.4	5	0.5	2.6	1.50	20
		B4	18	0.4	7	1.0	7.2	1.50	27
		B5	17	0.4	7	2.3	15.6	1.50	26
		B6	31	0.4	12	1.0	12.4	1.50	47
		Sub-totali	**107**		**43**		**43**		**161**
Tamerici + Frassino + Pioppi (lato via Morosini)	**C**	C1	9	0.4	4	1.0	3.6	1.50	14
		C2	9	0.4	4	1.0	3.6	1.50	14
		C3	10	0.4	4	1.0	4.0	1.50	15
		C4	42	0.4	17	1.0	16.8	1.50	63
		C5	36	0.4	14	1.0	14.4	1.50	54
		C6	8	0.4	3	1.0	3.2	1.50	12
		C7	8	0.4	3	1.0	3.2	1.50	12
		C8	8	0.4	3	1.6	5.1	1.50	12
		C9	8	0.4	3	1.3	4.2	1.50	12
		C10	8	0.4	3	1.0	3.2	1.50	12
		Sub-totali	**146**		**58**		**61**		**219**

Allegato B1b – Elementi per il calcolo di inoculo delle trincee per la *Bioaugmentation* sui terreni da bonificare

Trincee			Calcoli per primo inoculo con carrier						
	sez. irrigua	ID	densità apparente (g cm^{-3})	Massa suolo da inoculare (kg)	n. strati di carrier	spessore singolo strato di carrier (m)	volume carrier da inserire e inoculare (m^3)	massa midollo cocco (kg)	acqua per saturazione cocco (m^3)
Area Frassini	**A**	A1	1.7	12'312	4	0.10	2	118	0.11
		A2	1.7	10'260	3	0.10	2	109	0.10
		A3	1.7	20'930	4	0.10	3	202	0.18
		A4	1.7	21'067	3	0.10	3	209	0.19
		A5	1.7	26'348	4	0.10	4	252	0.23
		A6	1.7	27'702	4	0.10	4	272	0.24
		A7	1.7	20'520	3	0.10	3	210	0.19
		A8	1.7	30'643	4	0.10	4	298	0.27
		A9	1.7	17'100	3	0.10	3	182	0.16
		A10	1.7	32'558	4	0.10	4	314	0.28
		A11	1.7	17'784	3	0.10	3	189	0.17
		Totali		**237'225**			**34**	**2’354**	**2.12**
Area ex-rampa (inclusa Vetiver)	**B**	B1	1.7	5'130	2	0.10	1	67	0.06
		B2	1.7	4'446	2	0.10	1	58	0.05
		B3	1.7	4'446	2	0.10	1	58	0.05
		B4	1.7	12'312	3	0.10	2	131	0.12
		B5	1.7	26'744	5	0.10	4	248	0.22
		B6	1.7	21'204	3	0.10	3	226	0.20
		Totali		**74'282**			**11**	**788**	**0.71**
Tamerici + Frassino isolato + Pioppi (lato via Morosini)	**C**	C1	1.7	6'156	3	0.10	1	66	0.06
		C2	1.7	6'156	3	0.10	1	66	0.06
		C3	1.7	6'840	3	0.10	1	73	0.07
		C4	1.7	28'728	3	0.10	4	306	0.28
		C5	1.7	24'624	3	0.10	4	262	0.24
		C6	1.7	5'472	3	0.10	1	58	0.05
		C7	1.7	5'472	3	0.10	1	58	0.05
		C8	1.7	8'755	4	0.10	1	85	0.08
		C9	1.7	7'114	3	0.10	1	72	0.06
		C10	1.7	5'472	3	0.10	1	58	0.05
		Totali		**104'789**			**16**	**1’103**	**0.99**

Allegato B1c – Elementi per il calcolo del re-inoculo delle trincee per la *Bioaugmentation* sui terreni da bonificare

Trincee			Calcoli per inoculo successivo					
	sez. irrigua	ID	n. ali gocciolanti / trincea	lunghezza totale ali gocciolanti x bioinoculo (m)	profondità bagnantura (m)	Volume suolo trattabile (m^3)	densità apparente (g cm^{-3})	Massa suolo inoculabile (kg)
Area frassini	**A**	A1	2	20	0.4	1.6	1.71	2'736
		A2	2	30	0.4	2.4	1.71	4'104
		A3	2	36	0.4	2.9	1.71	4'925
		A4	2	44	0.4	3.5	1.71	6'019
		A5	2	43	0.4	3.4	1.71	5'855
		A6	2	54	0.4	4.3	1.71	7'387
		A7	2	50	0.4	4.0	1.71	6'840
		A8	2	56	0.4	4.5	1.71	7'661
		A9	2	50	0.4	4.0	1.71	6'840
		A10	2	56	0.4	4.5	1.71	7'661
		A11	2	52	0.4	4.2	1.71	7'114
		Totali	**22**	**491**		**39.3**		**67'141**
Area ex-rampa (inclusa Vetiver)	**B**	B1	2	30	0.4	2.4	1.71	4'104
		B2	2	26	0.4	2.1	1.71	3'557
		B3	2	26	0.4	2.1	1.71	3'557
		B4	2	36	0.4	2.9	1.71	4'925
		B5	2	34	0.4	2.7	1.71	4'651
		B6	2	62	0.4	5.0	1.71	8'482
		Totali	**12**	**214**		**17.1**		**29'275**
Tamerici + Frassino isolato + Pioppi (lato via Morosini)	**C**	C1	2	18	0.4	1.4	1.71	2'462
		C2	2	18	0.4	1.4	1.71	2'462
		C3	2	20	0.4	1.6	1.71	2'736
		C4	2	84	0.4	6.7	1.71	11'491
		C5	2	72	0.4	5.8	1.71	9'850
		C6	2	16	0.4	1.3	1.71	2'189
		C7	2	16	0.4	1.3	1.71	2'189
		C8	2	16	0.4	1.3	1.71	2'189
		C9	2	16	0.4	1.3	1.71	2'189
		C10	2	16	0.4	1.3	1.71	2'189
		Totali	**20**	**292**		**23.4**		**39'946**

Allegato B2(a) – Dettagli costruttivi dell'impianto di irrigazione per i terreni da bonificare

Consumi idrici massimi per le diverse sezioni irrigue								Elementi costruttivi impianto di irrigazione						
	Aree di impianto su terreni da bonificare													
sezioni irrigue	controllo valvola	aree / specie	n. piante / trincee	distanza sulla fila (m)	consumo idrico max per pianta (litri/giorno)	sub-totali max (litri/giorno)	totale sezione (litri/giorno)	linea idrica (m)	ali gocciolanti (m)	n. di raccordi primari di collegamento ali gocc.	portata gocciolatore (litri/ora)	distanza gocciolatori (m)	portata irrigua (litri/ora)	n. ore irrigazione con consumo max
A	auto	Frassini	62	2	15	930	930	46	572	11	1	0.6	953	0.98
B		Area ex-rampa					261	85	154	4	1	0.6	481	1.07
	auto	*Alloro*	12	2	8	96								
		Trincea B6 (*superficie* - m^2)	*1*	*12.4*	5	5								
		Fotinia + eleagno	16	1	5	80								
		Eleagno + fillirea	16	1	5	80								
		Vetiver (3 file)	84	0.5	3	252	252		84	3	1.6	0.6		
C	auto	Tamerici	18	2	9	162	423.5	99	286	10	1	0.6	477	0.89
		Pioppo cipressino lato rampa di accesso	6	2	10	60								
		Frassino maggiore isolato	1		10	10								
		Pioppo bianco isolato	1		10	10								
		Trincee (*superficie* - m^2)	10	*36.3*	*5*	181.5								
						Sub-Totale	**1867**	**236**	**1096**	**28**			**1911**	**3**

Ali gocciolanti: tipo pluristagionale, autocompensante e antisifone con sistema di inibizione della intrusione radicale per impiego in subirrigazione di colture arboree – **NETAFIM UNIRAMTM AS XR**

Allegato B2(b) – Dettagli costruttivi dell'impianto di irrigazione per i terreni non da bonificare

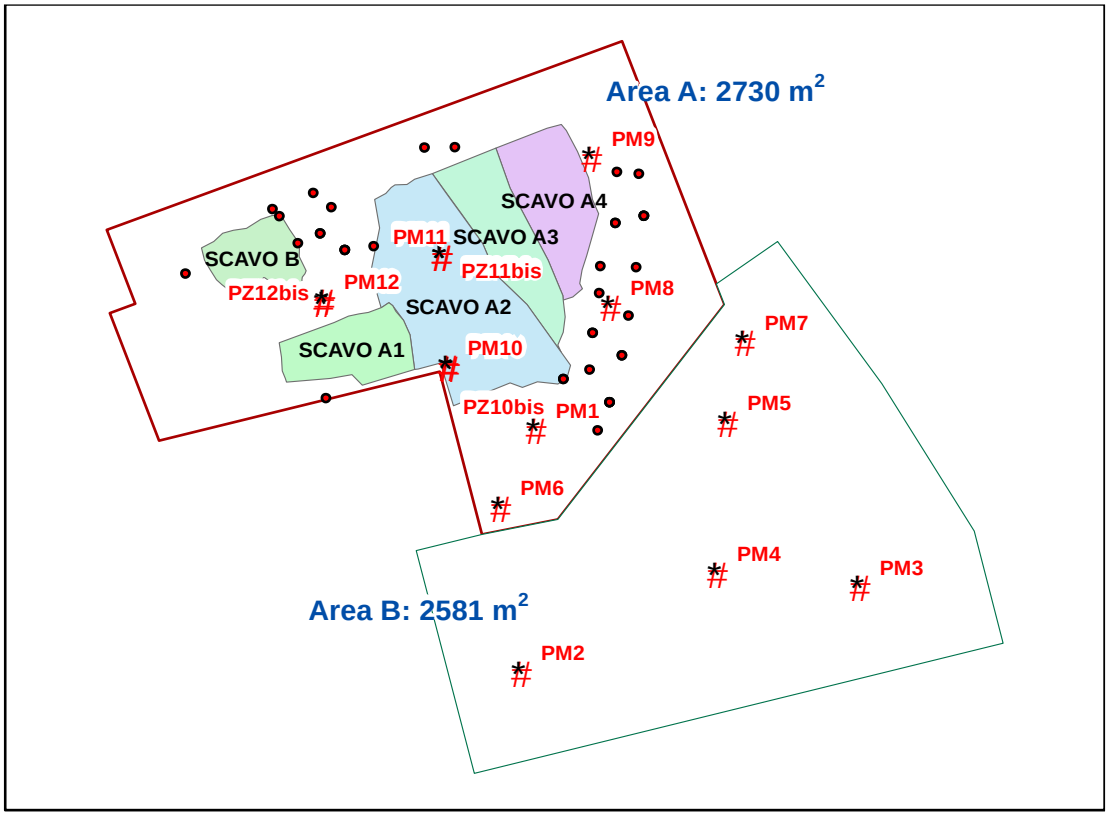
Consumi idrici massimi per le diverse sezioni irrigue								Elementi costruttivi impianto di irrigazione						
	Aree di impianto su terreni non da bonificare													
sezioni irrigue	controllo valvola	aree / specie	n. piante	distanza sulla fila (m)	consumo idrico max per pianta (litri/giorno)	sub-totali max (litri/giorno)	totale sezione (litri/giorno)	linea idrica (m)	ali gocciolanti (m)	n. di raccordi primari di collegamento ali gocc.	portata gocciolatore (litri/ora)	distanza gocciolatori (m)	portata irrigua (litri/ora)	n. ore irrigazione con consumo max
D	manuale	Area salici					598	60	127	12	1.6	0.6	339	1.77
		Salice ripaiolo	22	1	10	220								
		Salice rosso	20	1	10	200								
		Triangolo Maonia	21	2	8	168								
		Pioppo bianco isolato	1		10	10								
F	manuale	Siepe muro Benelli Ovest I					491	131	142	10	1.6	0.6	379	1.30
		Cotogno	10	1	5	50								
		Forsizia	10	1	5	50								
		Siepe muro Benelli Ovest II												
		Maonia	8	1	5	40								
		Forsizia	7	1	5	35								
		Alloro (muro est) sez. sud	23	2	8	184								
		Piante singole con anello di irrigazione												
			n. piante	diametro (m)										
		P.bianco	1	1	10	10								
		Gruppi erbacee	12	2	6	72								
		Frassino	1	1	10	10								
		Farnia	3	1	10	30								
		Salice	1	1	10	10								
			n. piante	distanza sulla fila (m)										
G	manuale	Area bambù	110		8	880	880	47	111	1	3.5	0.6	648	1.36
H		Filare pioppo cipressino					360	11	99	2	1.6	0.6	264	1.36
	manuale	*fila corta*	15	2	10	150								
		fila lunga	21	2	10	210								
						Sub-Totale	**2329**	**249**	**479**	**25**			**1629**	**6**

Ali gocciolanti: tipo pluristagionale, autocompensante e con gocciolatore autopulente per impiego in superficie – **NETAFIM DRIPNET PC**

SCHEDE BOTANICHE ALLEGATE

(Documentazione citata a pag. 7)

(Schede I – II)



Comune di Pesaro

PROPOSTA INTEGRAZIONE PROGETTO DI BONIFICA AREA EX AMGA

SCHEDE BOTANICHE – I

A cura di:

DIBAF - UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA TUSCIA
Dipartimento per la Innovazione nei Sistemi Biologici Agroalimentari e Forestali
Progettista Responsabile Prof. Paolo De Angelis PhD
Esperto Botanico Dr. Dario Liberati PhD
Esperto Cartografia Dr. Diego Giuliarelli PhD

COMUNE DI PESARO
Servizio Sviluppo Economico, Sostenibilità e Servizi ai cittadini e alle imprese
Responsabile Dott. Marco Fattore
U.O. Ambiente e Energia Responsabile Arch. Annarita Santilli
Esperto Tutela del Territorio Ing. Antonio De Tullio
Esperta Ambientale Dott.ssa Lara Gea Valsecchi
Esperto Sistemi Informativi Territoriali Geom. Lucio Tonucci

ARPAM - Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale delle Marche

Buddleja davidii Franch.

Famiglia: Scrophulariaceae

Nome comune: Buddleia

Area di impianto	Area B
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Funzione estetica

Descrizione della specie

Foglie	Le foglie sono lanceolate e opposte, verdi nella pagina superiore, biancastre e pelose in quella inferiore
Fiori	I fiori, attrattivi per le farfalle, sono riuniti in pannocchie coniche, terminali e alle ascelle fogliari, lunghe 10-30 cm. I fiorellini viola, rosa, bianchi e lilla hanno tubo corollino allungato e corolla aperta orizzontalmente con 4 lobi
Frutti	I frutti sono piccole capsule allungate
Portamento	Arbusto caducifoglio alto fino a 5 metri, con chioma sparsa e disordinata. Il tronco legnoso si ramifica fittamente dalla base con rametti esili e pendenti, quadrangolari quelli dell'anno portanti i fiori
Sviluppo radicale	Apparato radicale fibroso e superficiale
Distribuzione	Specie originaria della Cina
Habitat	Nell'area di origine cresce in habitat rocciosi lungo il corso dei fiumi
Resistenza al freddo	Fino a -15 °C
Esposizione	Da pieno sole a mezz'ombra
Tasso di accrescimento	Accrescimento rapido

Chaenomeles japonica Lindley

Famiglia: Rosaceae

Nome comune: Cotogno del giappone

Area di impianto	Area B
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Funzione estetica

Descrizione della specie

Foglie	Foglie caduche, coriacee, glabre e lucenti, di forma ovata, lunghe 3-5 cm.
Fiori	I fiori scarlatti e cerosi hanno corolla di 5 petali, larga 3 cm. Si riuniscono in racemi poco fitti. L'abbondante fioritura compare insieme alle foglie
Frutti	Il frutto è un piccolo pomo tondeggiante
Portamento	Arbusto caducifoglio, alto fino a 2 m, con rami assurgenti e spinosi e chioma espansa, larga e fitta
Sviluppo radicale	Contenuto
Distribuzione	Specie originaria del Giappone centrale e meridionale
Habitat	Nell'area di origine è diffuso nei boschi montani, a quote non elevate
Resistenza al freddo	Fino a -28 °C
Esposizione	Da pieno sole a mezz'ombra
Tasso di accrescimento	Accrescimento lento

Chrysopogon zizanioides (L.)Roberty

Famiglia: Poaceae

Nome comune: Vetiver

Area di impianto	Area A
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Stabilizzazione scarpate - fitobonifica suolo

Descrizione della specie

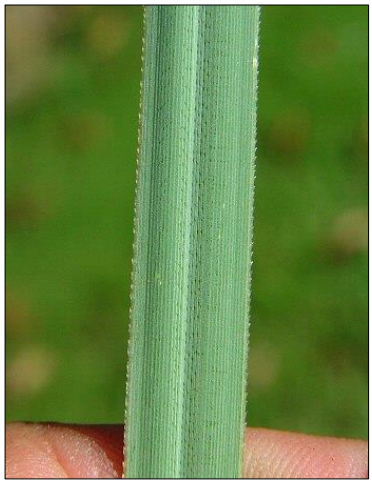
Foglie	Lamine fogliari lunghe fino a 90 cm, larghe dai 4 - 20 mm
Fiori	L'infiorescenza è una pannocchia lunga fino a 30 cm, con asse principale liscio e glabro, su cui si inseriscono a spirale numerosi racemi sottili
Frutti	Le varietà commerciali sono sterili e non producono semi vitali
Portamento	Specie erbacea perenne, cespitosa, alta fino a 2 metri, con culmi eretti e nodi nascosti dalle guaine fogliari
Sviluppo radicale	L'apparato radicale è piuttosto compatto, e non si estende lateralmente a più di 60 cm di distanza dalla pianta, sviluppandosi vigorosamente in verticale, e raggiungendo la profondità di 2.5 e più metri. Le radici sono sottili e resistenti, e non vengono prodotti ne rizomi ne stoloni (USDA Chrysopogon zizanoides "Sunshine" plant guide)
Distribuzione	Originario dell'India, il vetiver è ampiamente coltivato nelle regioni tropicali del mondo
Habitat	Il vetiver è adattato a climi tropicali e subtropicali
Resistenza al freddo	Se la temperatura discende al di sotto dello zero la parte aerea della pianta va incontro a disseccamento, ma se non si scende al di sotto dei -14 °C, vengono emesse nuove foglie in primavera.
Esposizione	Pieno sole
Tasso di accrescimento	L'accrescimento è rapido, e in caso di danni da gelo, fuoco o siccità la parte aerea si rigenera velocemente. L'apparato radicale si sviluppa rapidamente, e fin dal primo anno di impianto può raggiungere 2-3 metri di lunghezza

Cortaderia selloana (Schult.&Schult.f.)Asch.&Graebn.

Famiglia: Poaceae

Nome comune: Erba della pampa

Area di impianto	Area B
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Funzione estetica



Descrizione della specie

Foglie	Foglie persistenti, numerose e quasi tutte basali, fascicolate, nastriformi, lungamente acuminate, serrulate al margine, , lunghe 1-1.5 metri e larghe circa 2 cm
Fiori	Culmi fiorali non molto numerosi, eretti, accompagnati da poche foglie, alti 1.5-2 metri, terminati da una densa pannocchia setaceo-piumosa a riflessi argentei, lunga 60-80 cm, composta da numerosissime spighette
Frutti	Il frutto è una cariosside di 1,5-3 mm
Portamento	Pianta vigorosa, che forma grandi cespi alti finop a 1.5 metri
Sviluppo radicale	Apprato radicale fibroso
Distribuzione	Originaria dell'America meridionale
Habitat	Nell'area di origine è diffusa nelle praterie, sulle dune, negli arbusteti radi e lungo i fiumi
Resistenza al freddo	Fino a -15 °C
Esposizione	Pieno sole
Tasso di accrescimento	Accrescimento rapido

Eleagnus x ebbingei

Famiglia: Eleagnacee

Nome comune: Eleagno

Area di impianto	Area A
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Fitobonifica suolo

Descrizione della specie

Foglie	Foglie ellittiche persistenti, coriacee, lunghe 7-12 cm, con margine ondulato, verdi nella pagina superiore, bianco argentee in quella inferiore
Fiori	Fiorisce tra settembre e novembre. Fiori bianchi, profumati, che appaiono in gruppetti all'ascella delle foglie
Frutti	Frutti ovali (drupe) di circa 1,5 cm di lunghezzadi colore rosso arancio con lentiggini argentee
Portamento	Arbusto di altezza tra i 2 e i 3 m, molto ramificato, dal portamento eretto e compatto
Sviluppo radicale	Vigoroso
Distribuzione	Specie ornamentale originaria della Cina
Habitat	Nell'area di origine, l'eleagno è diffuso in arbusteti e aree aperte, pendii, lungo le strade e in boschetti
Resistenza al freddo	Fino a -20 °C
Esposizione	Pieno sole
Tasso di accrescimento	Accrescimento rapido

Forsythia x intermedia

Famiglia: Oleaceae

Nome comune: Forsizia

Area di impianto	Area B
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Funzione estetica

Descrizione della specie

Foglie	Lanceolate, ovate, talfolta trifogliate, lunghe una decina di cm, con margine finemente seghettato
Fiori	Fiori ascellari, gialli, con corolla campanulata, brevemente tubulosa, profondamente divisa in 4 lobi oblunghi, aperi e ricurvi. È tra le prime specie a fiorire in primavera
Frutti	I frutti sono capsule oblunghe e rugose
Portamento	Arbusto caducifoglio, molto ramificato alla base, con rami pendenti e sottili, alto fino a 2 m
Sviluppo radicale	vigoroso
Distribuzione	La specie è un ibrido tra la specie *Forsythia viridissima* and *Forsythia suspensa*, specie originarie della Cina
Habitat	Nei luoghi d'origine *Forsythia viridissima* cresce ai margini dei boschi, in burroni, valli fluviali e lungo i corsi d'acqua
Resistenza al freddo	Fino a -28 °C
Esposizione	Da pieno sole a mezz'ombra
Tasso di accrescimento	Accrescimento rapido

Fraxinus angustifolia subsp. *oxycarpa* (Willd.)

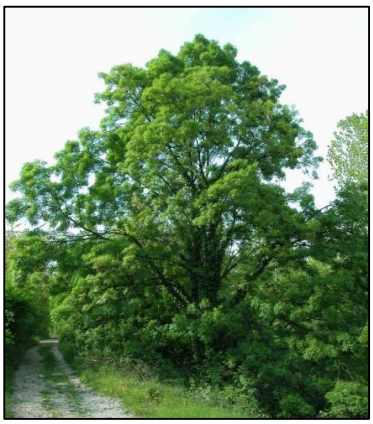
Famiglia: Oleaceae

Nome comune: Frassino meridionale, Frassino ossifillo

Area di impianto	Area A
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Fitobonifica suolo - Fitobarriera

Descrizione della specie

Foglie	Le foglie sono decidue, composte, imparipennate e sono costituite da un numero di 5-13 foglioline sessili di forma oblungo-lanceolata, disposte attorno ad un rachide centrale. Il margine di queste ultime presenta una irregolare denticolatura
Fiori	Fiori, precedenti la fogliazione, poco appariscenti nudi (senza calice né corolla) ad antere porporine o violette
Frutti	Il frutto è una samara di forma lineare-lanceolata che presenta alla sua estremità superiore un'ala acuta provvista spesso di un rostro, mentre quella inferiore risulta cuneata.
Portamento	È un albero che può raggiungere fino ai 20-25 metri di altezza
Sviluppo radicale	L'apparato radicale è superficiale di tipo fascicolato
Distribuzione	Si trova in Europa meridionale, dalla Penisola Iberica e dalla Francia fino al Caucaso
Habitat	Vegeta in ambienti umidi, anche sommersi per più mesi all'anno
Resistenza al freddo	Fino a -28 °C
Esposizione	Da pieno sole a mezzombra
Tasso di accrescimento	60 cm/anno



Fraxinus excelsior L.

Famiglia: Oleaceae

Nome comune: Frassino maggiore

Area di impianto	Area A
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Fitobonifica suolo – funzione estetica

Descrizione della specie

Foglie	Le foglie sono composte, imparipennate con 7-15 foglioline di 5-11 cm di lunghezza e 1-4 cm di larghezza, di forma ovale, acuminate all'apice e più o meno arrotondate alla base, minutamente dentate al margine
Fiori	I fiori sono riuniti in pannocchie dense, laterali che compaiono prima della fogliazione, in marzo o aprile; sono privi di perianzio con stami molto brevi e grosse antere di colore purpureo.
Frutti	Il frutto è una samara monosperma, lunga 3-4 cm a maturazione, bruno chiaro, obovato-lineare
Portamento	È un grande albero deciduo, che può raggiungere i 40 m di altezza e 1 m di diametro; è abbastanza longevo
Sviluppo radicale	Contenuto
Distribuzione	In Italia è diffuso al settentrione, è presente nei boschi freschi di forra anche nell'Italia centrale e in quella meridionale, manca in Basilicata e Calabria
Habitat	Specie eliofila, è piuttosto esigente per il terreno, che preferisce fresco e profondo, soffrendo per eccessiva aridità; sopporta invece bene la sommersione delle radici.
Resistenza al freddo	Fino a -30 °C
Esposizione	Pieno sole, ma abbastanza tollerante l'ombra nella fase giovanile
Tasso di accrescimento	Fino a 90 cm all'anno

Laurus nobilis L.

Famiglia: Lauraceae

Nome comune: Lauro, Alloro

Area di impianto	Area A-B
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Fitobonifica suolo – Schermatura muro est

Descrizione della specie

Foglie	Coriacee, alterne, lanceolate-ellittiche, lunghe circa 10 cm, con margine ondulato e aroma caratteristico
Fiori	Fiori unisessuali riuniti in radi ciuffi ascellari, gialli, con 4 petali sorretti da brattee
Frutti	Drupe neri e ovali simili alle olive
Portamento	Albero sempreverde di forma piramidale
Sviluppo radicale	Vigoroso
Distribuzione	Specie caratteristica della regione mediterranea, presente in tutto il territorio da 0÷800 m s.l.m.
Habitat	Specie mesofila che vive in climi caldo-umidi. Predilige terreno umido e ricco, teme il vento e il gelo, tollera bene gli ambienti costieri e marini.
Resistenza al freddo	Fino a -12 °C
Esposizione	Da pieno sole a mezzombra
Tasso di accrescimento	30-60 cm/anno

Mahonia aquifolium (Pursh) Nutt.

Famiglia: Berberidaceae

Nome comune: Maonia

Area di impianto	Area B
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Funzione estetica

Descrizione della specie

Foglie	Foglie pennate composte da 5-9 foglioline ovate e coriacee, dal picciolo rosso, di colore verde scuro, lucenti, con margine ondulato e seghettato a denti spinosi
Fiori	Fiori gialli raccolti in corimbi eretti terminali, scomposti, con corolla a coppa composta da 6 petali
Frutti	I frutti sono bacche tonde e nerastre, patinate, con succo rosso, commestibili
Portamento	Arbusto sempreverde, alto poco più di un metro, con rami sdraiati o ascendenti
Sviluppo radicale	Contenuto, con apparato radicale superficiale
Distribuzione	Specie originaria dell' America settentrionale
Habitat	Nell'area di origine è diffusa in boschi misti di conifere fino alla quota di 2000 metri
Resistenza al freddo	Fino a -15 °C
Esposizione	Mezz'ombra
Tasso di accrescimento	Accrescimento lento

Photynia x fraseri

Famiglia: Roasceae

Nome comune: Fotinia

Area di impianto	Area A
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Fitobonifica suolo

Descrizione della specie

Foglie	Foglie ovate, persistenti, lucide e coriacee, con margine dentato
Fiori	Fiori piccoli, ermafroditi, a 5 petali, bianchi, riuniti in corimbi, delicatamente profumati
Frutti	Piccole drupe ovali
Portamento	Specie dal portamento arbustivo, compatto, eretto, raggiunge un'altezza di 5 m
Sviluppo radicale	Contenuto
Distribuzione	l'ibridazione sono la *Photinia glabra*, originaria del Giappone, e la *Photinia serrulata*, originaria della Cina.
Habitat	*Photinia glabra* è un arbusto diffuso nel sottobosco di foreste temperate
Resistenza al freddo	Fino a -15 °C
Esposizione	Da pieno sole a mezzombra
Tasso di accrescimento	60-90 cm/annno

Phyllirea latifolia L.

Famiglia: Oleaceae

Nome comune: Fillirea

Area di impianto	Area A
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Fitobonifica suolo

Descrizione della specie

Foglie	Foglie persistenti,.opposte, color verde scuro, coriacee, con lamina allargata o ovata, lunga 2-7 cm; margine provvisto di 11-13 dentelli per lato
Fiori	Fiori in infiorescenza a racemo di 1 cm di lunghezza, inserita all'ascella delle foglie, composta da 5-7 fiori inseriti sull'asse del racemo; corolla composta da 4 petali di colore bianco roseo, giallastro o giallo-verdastro
Frutti	I frutti sono drupe carnose, subsferiche, lunghe 10 mm , arrotondate o appiattite all'apice, inizialmente di colore rosso poi nera a maturità.
Portamento	Specie a portamento arbustivo, con molte ramificazioni irregolari e disposte a formare una chioma espansa e globosa; altezza 1-5 m
Sviluppo radicale	Vigoroso
Distribuzione	Areale limitato alle coste del Mediterraneo
Habitat	Macchie e leccete lungo le colline aride e le vallate rocciose in ambiente di macchia mediterranea, dal livello del mare fino a 800 metri.
Resistenza al freddo	Fino a -15 °C
Esposizione	Pieno sole
Tasso di accrescimento	Accrescimento lento

Phyllostachys bambusoides Siebold et Zucc.

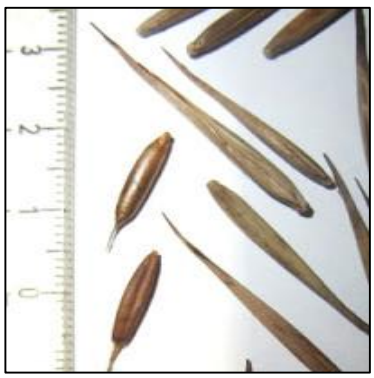
Famiglia: Poaceae

Nome comune: Bambù

Area di impianto	Area B
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Schermatura muro Nord – Schermatura impianto Pump & Treat

Descrizione della specie

Foglie	Foglie verde scuro, lanceolate, persistenti
Fiori	Questa specie fiorisce all'incirca ogni 130 anni, l'intervallo di fioritura più lungo tra i bambù
Frutti	Il frutto è una cariosside
Portamento	Ha culmi verde scuro, lucenti, spessi ed eretti; i culmi giovani presentano ramificazioni anche al livello degli internodi più bassi, mentre nelle piante adulte le ramificazioni interessano prevalentemente le sommità dei culmi. La vita media dei culmi è di circa 20 anni.
Sviluppo radicale	Il Bambù Madake rientra tra i cosiddetti "running bamboo", o bambù monopodiali, specie che si propagano rapidamente tramite rizomi. La maggior parte dell'apparato radicale si sviluppa negli strati superficiali del terreno
Distribuzione	Originario della Cina centrale, è la specie di bambù maggiormente coltivata in Giappone. È coltivato sia per scopi ornamentali che industriali. Vegeta in aree con temperatura media compresa tra i 15 e i 30 °C, e con un periodo di aridità (cioè con precipitazioni mensili minori di 40 mm) inferiore ai due mesi;
Resistenza al freddo	Fino a -15 °C
Esposizione	Da pieno sole a mezzombra
Tasso di accrescimento	Durante lo sviluppo i culmi possono crescere fino a 23 cm al giorno



Populus alba L.

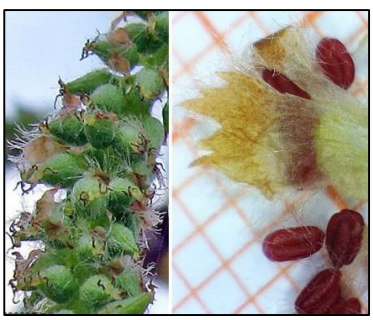
Famiglia: Salicaceae

Nome comune: Pioppo bianco

Area di impianto	Area A-B
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Fitobonifica suolo – Funzione estetica

Descrizione della specie

Foglie	**Foglie** alterne di due tipi: **turionali** (dei rami sterili) più grandi, palmato-lobate, grossolanamente triangolari, e **brachiblastali** (dei rami fioriferi), di 4-7 cm, ovali o ellittiche-allungate, grossamente dentate; in entrambi i tipi la pagina superiore verde-opaca e l'inferiore è bianco-tomentosa o feltrosa
Fiori	Pianta dioica con **fiori** maschili in amenti cilindrici di 8-10 cm, con antere dapprima porporine, poi gialle; amenti femminili molto più brevi, con stimmi rosa e brattee fiorali dentellate e pelose
Frutti	**Frutti** a capsula bivalve glabra, conica, con numerosi **semi** forniti di lunghi peli cotonosi.
Portamento	Albero alto fino a 30 m con **fusto** eretto, spesso sinuoso o ramificato, con grosse branche principali; **chioma** ampia e largamente arrotondata
Sviluppo radicale	Vigoroso
Distribuzione	Areale che si estende dall'Europa centro-meridionale all'Asia occidentale e all'Africa mediterranea. È comune in tutte le regioni italiane
Habitat	Cresce presso fiumi e laghi in stazioni umide e talvolta inondate, dal livello del mare fino a 1000 m
Resistenza al freddo	Fino a -34 °C
Esposizione	Pieno sole
Tasso di accrescimento	90 cm/anno



Populus nigra 'italica' L.

Famiglia: Salicaceae

Nome comune: Pioppo nero

Area di impianto	Area A-B
Tecnica di impianto	Messa a dimora di astoni
Ruolo della specie nell'intervento	Fitobonifica suolo – Funzione estetica

Descrizione della specie

Foglie	Foglie caduche, a lamina triangolare-romboidale 5-7 x 4-6 cm, con picciolo di 2-6 cm
Fiori	Fiori maschili e femminili su individui separati (specie dioica). Gli amenti maschili, sono lunghi 4-9 cm x 1 cme precedono la fogliazione, i femminili sono più lunghi e gracili, pendenti, verdognoli
Frutti	I frutti sono capsule glabre con semi molto piccoli provvisti di pappo cotonoso bianco
Portamento	Albero a portamento eretto, talvolta piramidato o colonnare, alto fino a 30 m e con diametro fino ad 1 m, con fusto di norma diritto
Sviluppo radicale	Vigoroso
Distribuzione	Occupa un vasto areale europeo centro-meridionale, asiatico occidentale ed, in parte, africano mediterraneo. E' comune in tutto il territorio italiano
Habitat	Diffuso presso i fiumi e i laghi, da 0 a 1200 m s.l.m
Resistenza al freddo	Fino a -34°C
Esposizione	Pieno sole
Tasso di accrescimento	90 cm/anno

Quercus robur L. ‘fastigiata’

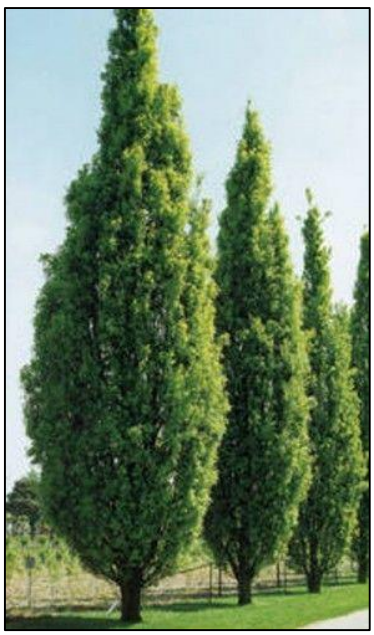
Famiglia: Fagaceae

Nome comune: Farnia, varietà fastigiata

Area di impianto	Area B
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell’intervento	Funzione estetica

Descrizione della specie

Foglie	Le foglie sono caduche a contorno obovato-oblunghe, più larghe nel terzo distale, ristrette alla base e leggermente e irregolarmente asimmetriche con 5-7 lobi ampi e seni arrotondati
Fiori	La fioritura è contemporanea alla fogliazione dalla fine di aprile a maggio ed è formata da fiori maschili in amenti penduli e da fiori femminili localizzati nella parte apicale del rametto all'ascella delle foglie,
Frutti	La ghianda è allungata e liscia con dimensioni variabili da 2 a 3,5 cm a maturità di colore marrone con striature longitudinali più scure
Portamento	Grande albero deciduo di prima grandezza, con chioma colonnare nella varietà ‘Fastigiata’
Sviluppo radicale	L'apparato radicale è inizialmente un grosso fittone che penetra profondamente nel terreno, ma in pochi anni si formano anche robuste radici laterali che creano una rizosfera molto espansa, ma abbastanza superficiale
Distribuzione	In Italia, è presente in tutte le regioni tranne Campania, Puglia e Sicilia
Habitat	Componente delle grandi foreste planiziali tendenzialmente continentali dell'Europa centrale, predilige i terreni profondi, freschi, fertili, con buona disponibilità idrica per tutto l'anno, anche con falda freatica superficiale
Resistenza al freddo	Fino a -28 °C
Esposizione	Pieno sole
Tasso di accrescimento	60 cm anno



Salix babylonica L.

Famiglia: Salicaceae

Nome comune: Salice piangente

Area di impianto	Area B
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Funzione estetica

Descrizione della specie

Foglie	Le foglie sono lunghe 8-16 cm, caduche, provviste di un corto picciolo, con forma lanceolata acuminata e margine seghettato, più chiare inferiormente
Fiori	Infiorescenze formate da piccole brattee alla cui ascella è posto un unico pistillo in quelle femminili, due stami in quelle maschili,
Frutti	I frutti sono capsule coniche, allungate, prive di peduncolo e perfettamente lisce
Portamento	Chioma dall'aspetto caratteristico, con i giovani rami, sottili, allungati e penduli, che possono arrivare fino a terra
Sviluppo radicale	Vigoroso
Distribuzione	Originario del bacino del fiume Yangtze Kiang
Habitat	Specie ripariale
Resistenza al freddo	Fino a -20 °C
Esposizione	Da pieno sole a mezz'ombra
Tasso di accrescimento	Accrescimento rapido (90 cm anno)

Salix eleagnos Scop.

Famiglia: Salicaceae

Nome comune: Salice ripaiolo

Area di impianto	Area A
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Fitotrattamento acqua di falda

Descrizione della specie

Foglie	Foglie caduche, alterne, brevissimamente picciolate, da strettamente lineari a lineari-lanceolate, lunghe 6-12 cm (fino a 20 volte la larghezza), a margine dentato-sinuato, spesso revoluto verso la pagina inferiore
Fiori	Fiori dei due sessi portati su individui diversi (specie dioica); i maschili in amenti generalmente ricurvi verso l'esterno, cilindrici, lunghi 3-4 cm, diametro 0,5 cm, con antere di colore giallo uovo; i femminili pure in amenti, più sottili, brevemente peduncolati, verdastri, con pistillo peloso alla base
Frutti	Frutti in piccole capsule bivalve coniche allungate, contenenti numerosi semi provvisti di pappo.
Portamento	Arbusto, o anche alberello alto eccezionalmente fino a 15 m, con corteccia da bruno-grigio a bruno-verdastro, rami sottili e flessibili giallastri o bruno-rossastri
Sviluppo radicale	Le radici sono espanse, forti e profonde
Distribuzione	È presente sulle catene dell'Europa meridionale, dalla Penisola Iberica, Alpi, ai Balcani
Habitat	Specie tipica di ecosistemi ripari, preferendo substrati alluvionali calcarei, sabbiosi o ghiaiosi
Resistenza al freddo	Fino a -28°C
Esposizione	Pieno sole
Tasso di accrescimento	Accrescimento rapido

Salix purpurea L.

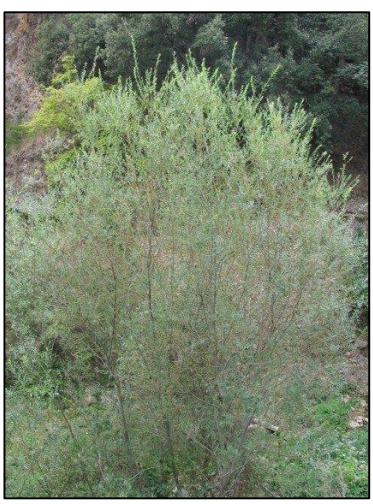
Famiglia: Salicaceae

Nome comune: Salice rosso

Area di impianto	Area A
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Fitotrattamento acqua di falda

Descrizione della specie

Foglie	Foglie di norma alterne, prive di stipole, con breve picciolo, tipicamente oblanceolate, lunghe da 4 fino a 12 cm, a margine finemente seghettato verso l'apice, verde più scuro e lucide nella pagina superiore, con nervatura pennata
Fiori	Fiori maschili in amenti cilindrici piccoli (lunghi fino a 5 cm) compatti ed eretto-patenti. Fiori femminili pure in amenti (fino a 6 cm), portati su individui diversi (pianta dioica)
Frutti	Capsule ovoidali pubescenti. Semi piccolissimi e provvisti di pappo cotonoso abbondante per la disseminazione anemofila.
Portamento	Arbusto policormico (fino a 5-6 m), raramente a portamento arboreo, con Rami sottili, il primo anno rosso-bruni, in seguito giallo-grigiastri
Sviluppo radicale	Apparato radicale forte e capace di adattamento alla variazione in profondità della falda freatica
Distribuzione	dall'Europa al Giappone.
Habitat	E' diffuso lungo le sponde ed i greti dei corsi d'acqua, su suoli ghiaiosi e/o sabbiosi poco evoluti dalla pianura alla montagna
Resistenza al freddo	Fino a -20 °C
Esposizione	Pieno sole
Tasso di accrescimento	Accrescimento rapido



Tamarix africana Poir.

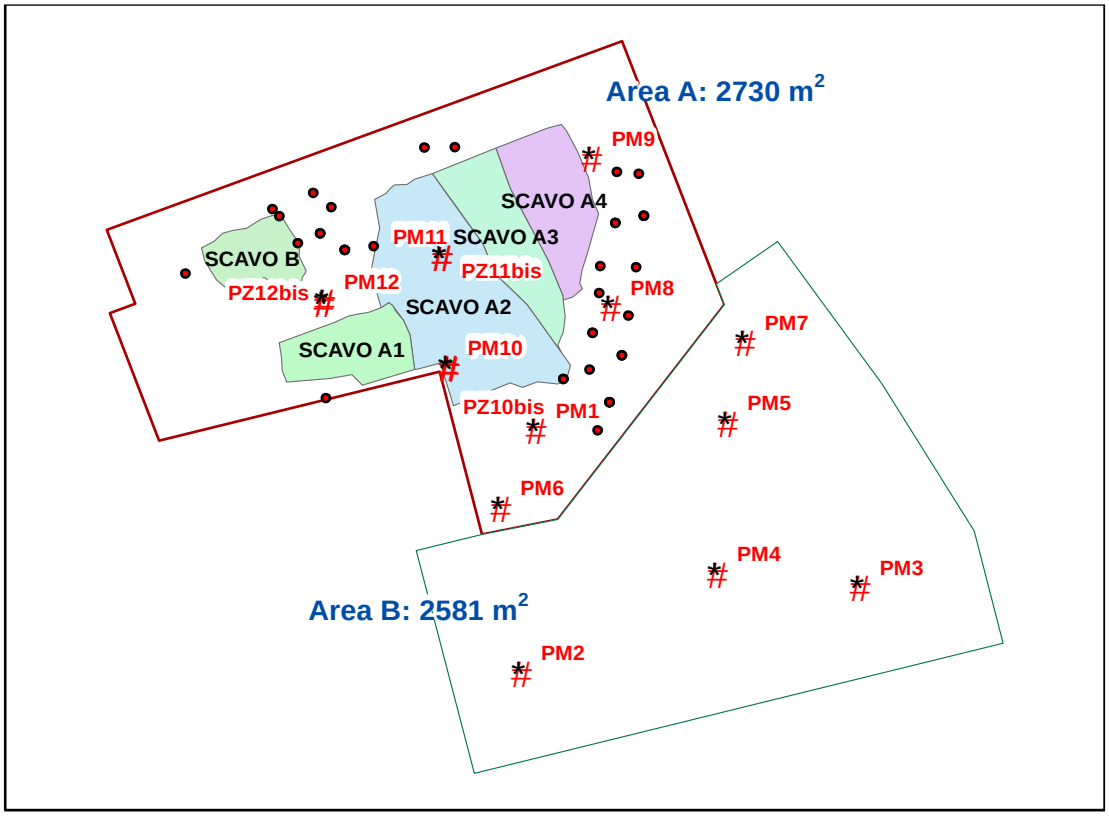
Famiglia: Tamaricaceae

Nome comune: Tamerice maggiore

Area di impianto	Area A
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Fitobonifica suolo – Funzione estetica

Descrizione della specie

Foglie	Le foglie in genere misurano 1,5 - 4 mm; ridotte a squame sovrapposte, sono lisce o papillose, acute, sottilmente traslucide al margine
Fiori	Le infiorescenze sono costituite da racemi che misurano 30-60 x 5-8 mm. La corolla si compone di petali delle dimensioni di 2-3 x 1-2 mm, bianchi, o rosa pallido, di forma ovata o triangolare-ovata.
Frutti :	Il frutto è una capsula dalla quale, una volta maturi, si liberano i semi sormontati da una coroncina di peli necessari per la diffusione anemofila.
Portamento:	Albero dal portamento spesso arbustivo che può raggiungere i (3) 5 - 6 m di altezza, con corteccia grigio-bruno o bruno-rossastra nei rami più giovani
Sviluppo radicale	Il sistema radicale è molto sviluppato; dopo la germinazione, le radici principali si approfondiscono rapidamente
Distribuzione	Le specie del genere *Tamarix* sono diffuse in climi aridi e semiaridi; nell'area Mediterranea *Tamarix africana* è presente in Portogallo, Spagna, Francia, Italia, Tunisia, Algeria e Marocco
Habitat	Specie tipicamente Mediterranea, presente sia lungo le rive dei fiumi (sostituendo le salicacee) che nelle aree umide e dunali costiere. È in grado di tollerare prolungati periodi di sommersione e acqua salmastra.
Resistenza al freddo	Fino a -17 °C
Esposizione	Pieno sole
Tasso di accrescimento	Accrescimento rapido



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA Tuscia

Comune di Pesaro

ARPAM AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE AMBIENTALE DELLE MARCHE

PROPOSTA INTEGRAZIONE PROGETTO DI BONIFICA AREA EX AMGA

SCHEDE BOTANICHE – II

A cura di:

DIBAF - UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA TUSCIA
Dipartimento per la Innovazione nei Sistemi Biologici Agroalimentari e Forestali
Progettista Responsabile Prof. Paolo De Angelis PhD
Esperto Botanico Dr. Dario Liberati PhD
Esperto Cartografia Dr. Diego Giuliarelli PhD

COMUNE DI PESARO
Servizio Sviluppo Economico, Sostenibilità e Servizi ai cittadini e alle imprese
Responsabile Dott. Marco Fattore
U.O. Ambiente e Energia Responsabile Arch. Annarita Santilli
Esperto Tutela del Territorio Ing. Antonio De Tullio
Esperta Ambientale Dott.ssa Lara Gea Valsecchi
Esperto Sistemi Informativi Territoriali Geom. Lucio Tonucci

ARPAM - Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale delle Marche

Carex acutiformis Ehrh.

Famiglia: Cyperaceae

Nome comune: Carice tagliente

Area di impianto	Canale Fitolago
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Fitotrattamento acque

Descrizione della specie

Foglie	Foglie verde glauco, generalmente più lunghe dei fusti, indivise, alterne, ruvide nel bordo e nella nervatura mediana, con guaina chiusa, senza stipole
Fiori	Infiorescenza allungata, spighe maschili cilindriche di 2-4 cm , spighe femminili cilindriche di 3-7 cm, spaziate, erette appressate al fusto, le inferiori generalmente con largo peduncolo.
Frutti	I frutti sono acheni, obovati, trigoni, coriacei, indeiscenti di colore marrone o verdastro
Portamento	Perenne, erbacea, culmi fertili di 40-120 cm, trigoni, eretti, robusti, ruvidi, avvolti alla base da fibre reticolate bruno-porporine.
Sviluppo radicale	Specie stolonifera, con rizoma molto robusto
Distribuzione	È presente in tutta Italia, eccetto che in Puglia
Habitat	È diffusa in paludi, stagni, sponde dei laghi, corsi d'acqua; generalmente fino a 800 m s.l.m., raramente fino a 2.000 m s.l.m.
Resistenza al freddo	- 28 °C
Esposizione	Preferisce esposizione in pieno sole, si adatta anche a condizioni di parziale ombreggiamento
Gestione della specie	Se necessario, in primavera può essere applicata una concimazione a lento rilascio (2 o 3 compresse di Osmocote Tablet vicino al rizoma della pianta)

Iris versicolor L.

Famiglia: Iridaceae

Nome comune: Giaggiolo palustre blu

Area di impianto	Canale Fitolago
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Fitotrattamento acque

Descrizione della specie

Foglie	Foglie gladiformi, flessuose, strette e allungate, di colore verde glauco, alte fino a 80 cm circa
Fiori	Nel mese di maggio spuntano alti gli steli floreali con 3-4 fiori di 8-10 cm, a sepali cadenti di colore blu con una piccola macchia centrale color bianco
Frutti	Il frutto è una capsula con 3 celle, spesso persistente durante l'inverno,contenente 40-120 semi
Portamento	Specie erbacea perenne alta 0.6-1 m
Sviluppo radicale	Il rizoma è coriaceo e ramificato con lunghe radici
Distribuzione	Iris originaria degli Stati uniti settentrionali e del Canada
Habitat	Diffuso lungo i corsi d'acqua e nelle aree umide
Resistenza al freddo	Resiste fino a temperature di -25 °C
Esposizione	Mezz'ombra
Gestione della specie	Se necessario in primavera può essere applicata una concimazione a lento rilascio (2 o 3 compresse di Osmocote Tablet vicino al rizoma della pianta)

Iris pseudacorus L.

Famiglia: Iridaceae

Nome comune: Giaggiolo palustre giallo

Area di impianto	Canale Fitolago
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Fitotrattamento acque

Descrizione della specie

Foglie	Foglie fascicolate, ensiformi, distiche, piuttosto tenere, alte circa 80 cm e larghe 3, spesso ripiegate
Fiori	Scapo fiorale eretto, alto 1-1.20 m, terminato da 2-7 fiori grandi, gialli. Fiorisce da aprile a giugno
Frutti	Il frutto è una capsula trigona fusiforme lunga 4-7 cm, contenente semi marrone chiaro
Portamento	Specie erbacea perenne
Sviluppo radicale	Pianta con rizoma strisciante, ramificato e fittamente anulato
Distribuzione	Specie diffusa in tutta italia
Habitat	Aree umide, fossi, sponde di corsi d'acqua e paludi
Resistenza al freddo	Resiste fino a temperature di -15 °C
Esposizione	Pieno sole o mezz'ombra
Gestione della specie	Se necessario in primavera può essere applicata una concimazione a lento rilascio (2 o 3 compresse di Osmocote Tablet vicino al rizoma della pianta)

Acorus gramineus - Sol. ex Aiton.

Famiglia: Araceae

Nome comune: Acoro

Area di impianto	Fitolago
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine
Ruolo della specie nell'intervento	Creazione di un ecosistema acquatico all'interno del fitolago

Descrizione della specie

Foglie	Foglie inguainanti, lineari-ensiformi, strette, coriacee, numerose, lunghe circa 15-20 cm, di colore verde lucido
Fiori	Fiori giallastri, insignificanti, sono riuniti in spadici laterali di 4-5 cm
Frutti	I frutti sono bacche carnose
Portamento	Specie erbacea perenne alta 0.2-0.3 m
Sviluppo radicale	Rizomi striscianti, sottili e ramificati
Distribuzione	Specie asiatica diffusa in Cina, Giappone, India, Corea, Tailandia, Myanmar e Filippine
Habitat	Aree umide, pantani
Resistenza al freddo	Resiste fino a temperature di -15 °C
Esposizione	In pieno sole o mezz'ombra
Gestione della specie	Se necessario in primavera può essere applicata una concimazione a lento rilascio (2 o 3 compresse di Osmocote Tablet vicino al rizoma della pianta)
Varietà usata	*Acorus gramineus "Variegatus"*

Ninphaea alba L.

Famiglia: Nymphaeaceae

Nome comune: Ninfea

Area di impianto	Fitolago
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine in cesti microforati riempiti con terra di campo
Ruolo della specie nell'intervento	Creazione di un ecosistema acquatico all'interno del fitolago

Descrizione della specie

Foglie	Foglie cuoriformi-discoidali, natanti, consistenti, glabre, di colore verde lucente, larghe 20-30 cm. Picciolo piuttosto grosso, lungo 1-2 metri
Fiori	Fiori solitari, ascellari. Di 6-10 cm, con numerosi petali bianco latte
Frutti	Frutti carnosi indeiscenti, che si ritirano sott'acqua a maturare
Portamento	Pianta acquatica rizomatosa con foglie galleggianti
Sviluppo radicale	Rizoma carnoso che si sviluppa nei sedimenti del fondo del bacino
Distribuzione	Diffusa in tutta Italia ad eccezione di Marche, Abruzzo e Molise e Sicilia
Habitat	Diffusa in bacini con acqua stagnante, ferma o a debolmente corrente, non troppo ricca di sostanze nutritive: stagni, lame canali a corso lento
Resistenza al freddo	Resiste fino a temperature di -15 °C
Esposizione	In pieno sole o mezz'ombra
Gestione della specie	Rinvaso da ripetere ad intervalli di due anni, o quando l'apparato radicale ha occupato tutto lo spazio disponibile nel vaso. Al rinvaso i rizomi vanno divisi, eliminando le parti vecchie e ripiantando nel vaso con gli apici vegetativi posizionati al centro del vaso. Concimazione con concime Osmocote Tablet a lento rilascio (5 compresse da inserire nel vaso in prossimità del rizoma) da ripetere ogni anno in primavera
Varietà usate	Ninfea varietà "Hever White" (fiore bianco), Ninfea varietà "Almost black" (fiore fucsia) Ninfea varietà "Madame Wilfron Gonnere" (fiore rosa)

Myriophyllum spicatum L.

Famiglia: Haloragaceae

Nome comune: Millefoglio d'acqua comune

Area di impianto	Fitolago
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine in cesti microforati riempiti con terra di campo
Ruolo della specie nell'intervento	Creazione di un ecosistema acquatico all'interno del fitolago

Descrizione della specie

Foglie	Fusti molli, cilindrici, fluttuanti, sommersi, poco ramificati, lunghi 30-300 cm, verdi, o più spesso rossastri. Foglie pennate (10-35 mm), riunite in (3)4(5) verticilli, completamente divise fino alla nervatura centrale in 15-35 fragili segmenti filiformi ± opposti
Fiori	Infiorescenza terminale spiciforme, afilla, eretta ed emersa, lunga 4-15 cm, con minuscoli fiori tetrameri, unisessuali, disposti in 3-4 glomeruli verticillati
Frutti	Il frutto (2,5-3 mm) è un drupa subsferica schizocarpica
Portamento	Pianta acquatica sommersa, perenne, rizomatosa, radicata sul fondo
Sviluppo radicale	Apparato radicale superficiale e fibroso
Distribuzione	La specie è diffusa in tutta italia ad eccezione del molise e della valle d'aosta
Habitat	Acque dolci stagnanti o lentamente fluenti, generalmente calcaree, eutrofiche
Resistenza al freddo	Resiste fino a temperature di -15 °C
Esposizione	Pieno sole o mezz'ombra
Gestione della specie	Sfalcio e rimozione di una parte delle piante in caso di eccessivo sviluppo

Ceratophyllum demersum L.

Famiglia: Ceratophyllaceae

Nome comune: Ceratofillo comune

Area di impianto	Fitolago
Tecnica di impianto	Ancoraggio dei filamenti in cesti microforati contenenti sabbia o terra di campo
Ruolo della specie nell'intervento	Creazione di un ecosistema acquatico all'interno del fitolago

Descrizione della specie

Foglie	Le foglie, sono raggruppate a sei o dodici con una lunghezza singola variabile dagli 8 ai 40 mm di lunghezza, e possono essere semplici o biforcate
Fiori	I fiori raggiungono come massima i 2 mm di lunghezza. I petali hanno una colorazione verde, per poi divenire leggermente più scuri.
Frutti	Il frutto consiste in una noce di 4–5 mm di lunghezza, solitamente con tre spine, due basali ed una apicale
Portamento	Pianta acquatica sommersa, che cresce in filamenti che possono raggiungere anche 1–3 metri di lunghezza
Sviluppo radicale	Questa specie non forma radici
Distribuzione	Specie con distribuzione cosmopolita: il suo areale si estende dalle Azzorre e dall'Europa, attraverso il Medio Oriente e il subcontinente Indiano, sino al sud-est asiatico e alla Cina; è inoltre presente in Africa, a nord e a sud del Sahara, in Madagascar, in Australasia e in tutto il continente americano
Habitat	Cresce in prevalenza in acque immobili o poco mosse, in stagni od acquitrini
Resistenza al freddo	Resiste fino a temperature di -15 °C
Esposizione	Pieno sole o mezz'ombra
Gestione della specie	Sfalcio e rimozione di una parte delle piante in caso di eccessivo sviluppo

Potamogeton crispus L.

Famiglia: Potamogetonaceae

Nome comune: Erba gala

Area di impianto	Fitolago
Tecnica di impianto	Messa a dimora di piantine in cesti microforati riempiti con terra di campo
Ruolo della specie nell'intervento	Creazione di un ecosistema acquatico all'interno del fitolago

Descrizione della specie

Foglie	Foglie sommerse, membranoso pellucide, indurite alla base, ondulate sul margine, lanceolate, lunghe 4-6 cm e larghe 1-1.15 cm
Fiori	Fiori riuniti in spighe brevi, talora ridotte a pochi fiori, connessi ad un peduncolo sottile di 1-5 cm
Frutti	Frutti lungamente rostrati lunghi 1 mm
Portamento	È una pianta sommersa radicata al fondo, con fusti quadrangolari ramificati, lunghi fino a 2 m
Sviluppo radicale	Apparato radicale formato da rizomi che radicano ai nodi
Distribuzione	Diffuso in tutta italia
Habitat	Acque correnti e stagnanti
Resistenza al freddo	Resiste fino a temperature di -15 °C
Esposizione	Pieno sole o mezz'ombra
Gestione della specie	Sfalcio e rimozione di una parte delle piante in caso di eccessivo sviluppo