

1 SETTEMBRE 2024



FITOSTABILIZZAZIONE

PROGETTO DEFINITIVO DI TRINCEA DRENANTE A CICLO CHIUSO



P.U.E. 8.36 VIA C. CIGLIA PESCARA

DOTT. AGRONOMO FORESTALE ANGELO PELLICCIOTTI
VEGA S.R.L VIA VESTINA 14 – 65015 MONTESILVANO PE

Sommario

INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INTERVENTO.....	2
Localizzazione.....	2
Caratteristiche ambientali	4
Bioclima.....	4
Vegetazione e habitat.....	5
Caratteristiche geologiche-idrogeologiche	6
Stato qualitativo dei suoli.....	8
Stato qualitativo delle acque sotterranee.....	10
Obiettivi dell'intervento	12
L'APPROCCIO FITOTECNOLOGICO PER L'AREA DI INTERVENTO	12
Il modello concettuale.....	12
Le specie vegetali	14
Aspetti Dimensionali E Costruttivi.....	15
Sistemi di ingresso e uscita dell'impianto	16
Efficienza del sistema	17
Il sistema di ricircolo/irrigazione – le componenti.....	17
La vegetazione.....	18
Il materiale di riempimento	19
Computo Metrico	21
CURE COLTURALI E GESTIONE DEI RESIDUI VEGETALI.....	21
ASPETTI NORMATIVI DELLO SMALTIMENTO E TRATTAMENTO DEI RESIDUI VEGETALI	23
ABACO DELLE ESSENZE (COPYRIGHT ANTHOSART 2020).....	26
Typha (Typha latifolia L.)	26
Rubus (Rubus idaeus L.)	27
Sambucus (Sambucus ebulus L.)	28
Ligustrum (Ligustrum vulgare L.).....	29
Calendula (Calendula officinalis L.)	30
Spartium (Spartium junceum L.)	31
Hypericum (Hypericum perforatum L.).....	32
BIBLIOGRAFIA.....	33

Premessa

Il modello concettuale rappresentato nell'Analisi di Rischio, individua la presenza di alcune passività ambientali a carico dei suoli insaturi e delle acque sotterranee nelle quali è stata rilevata la presenza di alcuni contaminanti inorganici (Boro, Manganese e Solfati) ritenuti essere non correlati con le attività storicamente condotte in sito.

Alla luce del modello di alterazione del suolo (SAM), la proposta tecnica oggetto del presente elaborato prevede un intervento di risanamento con tecniche di fitobonifica.

Tale tecnologia è stata selezionata sulla base dei risultati derivati dalle precedenti campagne di campionamento e analisi e fino alle più recenti (2022), eseguite sui suoli insaturi e sulle acque sotterranee e mira alla fitostabilizzazione dei contaminanti rilevati, all'interno di una fitobarriera drenante appositamente progettata.

Conseguentemente, il presente progetto ha l'obiettivo di incidere prevalentemente sul trattamento della componente acquosa, individuando e proponendo soluzioni impiantistiche specificamente progettate con i criteri di base del fitorimedio.

INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INTERVENTO

LOCALIZZAZIONE

L'area di progetto, di forma triangolare, è sita nella città di Pescara, in zona Porta Nuova-Tiburtina, ricompresa su due lati dalla Via Cetheo Ciglia e su di un lato da Via Lago di Campotosto, in prossimità della rotatoria con Via Alento. La superficie occupata è di 20.557 m² circa, interamente pianeggiante, tra le quote -2 e 0 m slm.



Tavola 1. Mappa stradale del sito di progetto, Open street map

Il contesto è di tutta evidenza completamente urbanizzato, sebbene situato in un'area di Porta Nuova dove persistono ancora spazi liberi, più o meno ampi, ineditati.



Figura 1: Vista del sito a volo d'uccello

Il sito catastalmente interessa 23 particelle del foglio 31b NCU del Comune di Pescara.



Tavola 2 Estratto di mappa catastale dell'area di intervento.

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

L'area di interesse si colloca in corrispondenza della superficie di un terrazzo alluvionale all'interno del fondovalle del fiume Pescara. I depositi costituenti il terrazzo alluvionale sono rappresentati da lenti e/o livelli di natura limoso-argillosa a forte componente organica per uno spessore di circa 40 metri, al di sotto dei quali è presente un orizzonte ghiaioso-sabbioso. Il passaggio al sottostante substrato marino è di natura erosiva. Il substrato geologico è rappresentato da argille ed argille marnose ascrivibili all'associazione pelitico-sabbiosa (FMTa) della Formazione di Mutignano.

BIOCLIMA

L'analisi dei dati pluvio-termici, che comprende un trentennio di osservazioni, definisce la regione bioclimatica del tipo temperato umido con estate calda (Cfa), come esplicitato nella classificazione proposta da Köppen e Geiger. Questa regione è caratterizzata dal clima temperato umido con estate molto calda, il sottotipo identifica le zone dove la temperatura media del mese più caldo supera i 22 °C; si tratta quindi del sottotipo più continentale con aridità estiva.

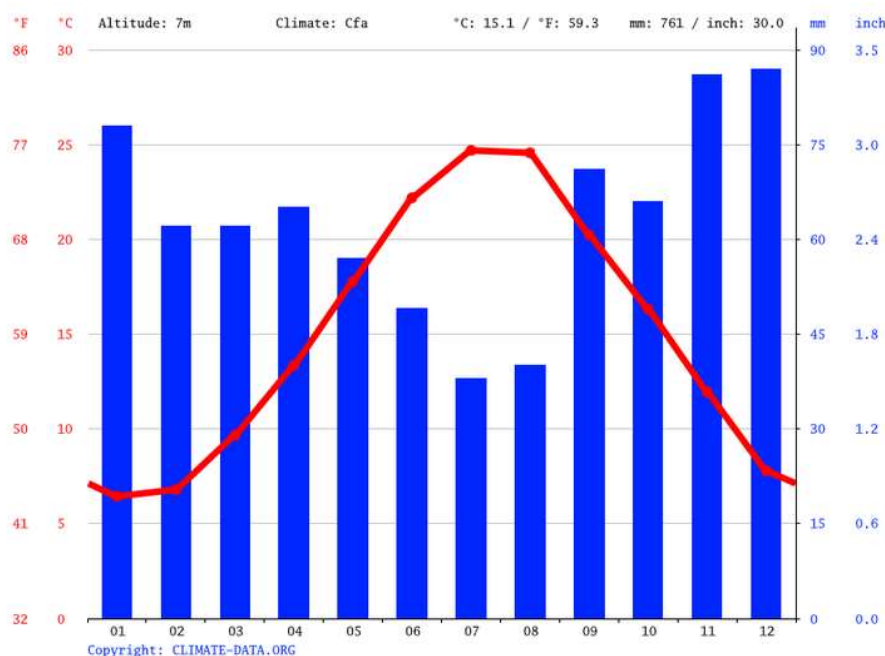


Figura 2 Diagramma pluvio-termico

Luglio è il mese caratterizzato dai livelli di precipitazione più bassi, con appena 38 mm di pioggia; dicembre viceversa è il mese con maggiore piovosità, registrando una media di 87 mm.

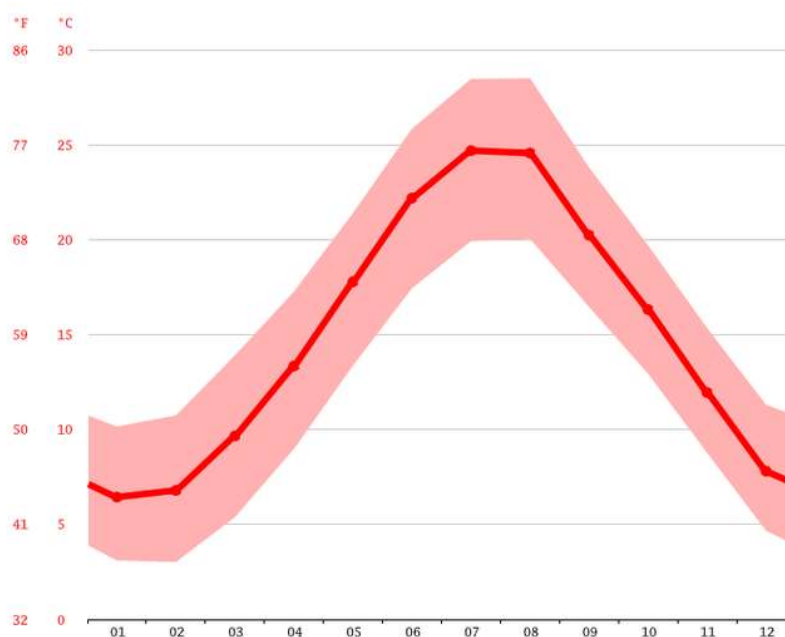


Figura 3 Diagramma delle temperature medie, minime e massime mensili

Nel periodo esaminato, il mese di luglio registra la temperatura più alta con un valore medio di 24.7 °C, gennaio invece, con 6.4 °C è il mese con la temperatura media più bassa dell'anno.

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Medie Temperatura (°C)	6.4	6.8	9.7	13.3	17.8	22.2	24.7	24.6	20.2	16.3	11.9	7.8
Temperatura minima (°C)	3.1	3	5.4	9	13.4	17.4	19.9	20	16.5	12.9	8.8	4.7
Temperatura massima (°C)	10.2	10.7	13.9	17.3	21.4	25.8	28.5	28.5	23.8	19.7	15.3	11.3
Precipitazioni (mm)	78	62	62	65	57	49	38	40	71	66	86	87
Umidità(%)	80%	77%	76%	76%	74%	71%	67%	69%	73%	80%	80%	81%
Giorni di pioggia (g.)	8	8	7	8	7	5	4	5	6	7	7	9
Ore di sole (ore)	5.8	6.8	8.3	10.1	11.6	12.7	12.7	11.7	9.8	7.5	6.4	5.8

Tabella 1 Anni: 1991-2021 Temperatura minima (°C), Temperatura massima (°C), Precipitazioni (mm), Umidità%, Giorni di pioggia. Anni: 1999 - 2019: Ore di sole

I dati pluviometrici evidenziano una decisa fluttuazione dei valori di precipitazione, con una varianza osservata di circa 50 mm tra il mese più asciutto e quello con maggiori precipitazioni. Statisticamente il mese con più eventi piovosi è dicembre (12 giorni). mentre luglio risulta il mese più arido dell'anno (5. giorni).

Il mese con la maggiore umidità relativa è dicembre (>80%) mentre quello più secco è luglio (67%). Le temperature medie mensili variano di circa 18°C tra il mese più caldo e quello più rigido dell'anno.

VEGETAZIONE E HABITAT

Come noto la vegetazione può essere studiata secondo diversi approcci, quello fitosociologico, nello specifico, appare più indicato a definire le specie maggiormente idonee all'habitat di progetto. Il risultato è la identificazione di associazioni vegetali che meglio rispondono a determinate caratteristiche ecologiche riscontrabili in situ. La rispondenza delle associazioni vegetali ai parametri fisico-chimici del suolo, al clima, agli impatti di natura antropica è, nella maggior parte dei casi, molto

più stretta di quanto non lo sia per le singole specie. Le fitocenosi divengono in tal modo indicatori biologici di notevole utilità (ZUCCARELLO et al., 1999). I “tipi” di vegetazione omogenei sul piano floristico ed ecologico ascrivibili all’area di studio possono riferirsi sostanzialmente alla vegetazione a sclerofille sempreverdi, tipiche del bacino del Mediterraneo; queste afferiscono alla classe fitosociologica “*Quercetea ilicis*” (BR.-BL EX A. & O. BOLOS 1950), che comprende le formazioni forestali e preforestali. Localmente gli arbusteti sempreverdi, appartenenti alla fisionomia della macchia bassa, costituiscono delle comunità derivanti dalla degradazione di vegetazioni legnose a struttura più complessa. Il riferimento fitosociologico è quello dell’alleanza *Oleo-Ceratonion* (BR.-BL. 1936 EM. RIV.-MART. 1975), che descrive sia le comunità climaciche arbustive e arbustivo-arboree eliofile a sclerofille sempreverdi, in climi aridi termomediterranei, sia le cenosi di sostituzione dei boschi sempreverdi in climi più freschi.

Le strutture più complesse, tendenti alla macchia alta, corrispondono in alcuni casi a comunità afferenti all’alleanza *Fraxino orni-Quercion ilicis* (BIONDI, CASAVECCHIA & GIGANTE 2003), che riunisce le fitocenosi miste di sempreverdi e caducifoglie, a dominanza di leccio, della Provincia fitogeografica Adriatica.

L’unità fitosociologica di riferimento individuabile è rappresentata dall’associazione denominata “*Cyclamino hederifolii-Quercetum ilicis*” (BIONDI, CASAVECCHIA & GIGANTE 2003), tipica della macchia a dominanza di leccio. Nella macroarea di riferimento, l’associazione vicaria, “*Fraxinoorni-Quercetum ilicis*”, a distribuzione balcanica, al quale erano state precedentemente attribuite diverse leccete del versante adriatico italiano; si afferma prevalentemente nella fascia costiera e collinare, su substrati arenaceo-conglomeratici. Le specie caratteristiche e differenziali sono: *Cyclamen hederifolium*, *Viola alba* subsp. *dehnhardtii*.

Le formazioni vegetali naturali maggiormente rappresentate nell’ambito di studio sono gli arbusteti a prevalenza di rose, rovi e prugnolo che formano un complesso vegetazionale eterogeneo per ecologia, composizione floristica e inquadramento a livello di associazioni. Il riferimento fitosociologico, pertanto si limita al rango gerarchico superiore, in particolare all’ordine *Prunetalia spinosae* (TÜXEN 1952), classe *Rhamno cathartici-Prunetea spinosae* (RIV.-GOD. & BORJA CARB. 1961 EX TUXEN 1962), che descrive gli arbusteti ed i mantelli di vegetazione mesofitici e xerofitici, principalmente spinosi, a distribuzione Eurosiberiana e Mediterranea.

CARATTERISTICHE GEOLOGICHE-IDROGEOLOGICHE

Le considerazioni di seguito riportate sono desunte integralmente dal modello concettuale rappresentato nell'Analisi di Rischio trasmessa a mezzo PEC in data 30/10/2023" dal Dott. Geologo William Palmucci.

La successione stratigrafica del sito in esame è stata ricostruita sulla base dei log dei sondaggi geognostici eseguiti a cura del Geol. A. Di Ninni. Nella successiva tabella si riporta uno schema riepilogativo della successione stratigrafica del sito.

Profondità da piano campagna (m)	Litologia desunta dai log dei sondaggi geognostici P6, P7, P8 e P9 di nuova realizzazione
0 – 1.2	Terreno di riporto.
1.2 – 5.0	Limo argilloso debolmente sabbioso di colore avana con sporadica presenza di piccoli clasti ed inclusi carboniosi
5.0 - 40	Limo argilloso e limo sabbioso di colore grigio chiaro
41 - 42	Ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso-limosa

Tabella 2. Successione stratigrafica caratteristiche del sito

Sulla base dell'assetto stratigrafico sopra descritto si ritiene che le formazioni presenti in corrispondenza del sito in esame non rappresentino un vero e proprio acquifero ma piuttosto un aquitard, ovvero formazioni a scarsa permeabilità ($k: 10^{-7}$ - 10^{-8} m/sec) all'interno delle quali si può avere circolazione idrica a bassa o bassissima velocità che può originare falde superficiali spazialmente discontinue. In tali falde manca un flusso di falda continuo poiché la loro alimentazione è riconducibile prevalentemente agli afflussi meteorici. In base a quanto appena descritto la saturazione delle formazioni poco permeabili presenti e di conseguenza la ricarica della falda, varia molto in funzione della stagionalità e della disponibilità di afflussi meteorici.

La scarsa permeabilità dei litotipi presenti, l'assenza di un vero e proprio flusso di falda e la dipendenza dagli afflussi meteorici determinano oscillazioni piezometriche marcate in risposta alla ricarica meteorica.

In linea con l'assetto idrogeologico descritto, i risultati dei monitoraggi condotti evidenziano che in sito è presente una falda freatica molto superficiale caratterizzata da marcate oscillazioni piezometriche.

La falda è posta a profondità variabili da 0.37 a 2.32 m da p.c., mentre i carichi idraulici, in alcuni casi, risultano inferiori al livello di base (i.e. livello del mare) a testimonianza dell'assenza di un vero e proprio flusso di falda.

Sulla base dei dati disponibili sono state realizzate delle ricostruzioni piezometriche al fine di individuare la direzione prevalente di movimento delle acque sotterranee. Dalle ricostruzioni eseguite si individua un gradiente in direzione circa OVEST-EST (Tavola 3). Si precisa che la ricostruzione eseguita relativamente al mese di marzo 2021 ha restituito una direzione di scorrimento in disaccordo con quanto appena affermato, probabilmente proprio a causa delle marcate oscillazioni piezometriche precedentemente citate. Ad ogni modo, in considerazione di quanto evidenziato dalle restanti ricostruzioni piezometriche ed in accordo con la direzione di deflusso a scala regionale, si ritiene che i piezometri S3 e S13 siano da ritenersi piezometri di monte idrogeologico, mentre i piezometri S1 ed S11 siano da ritenersi piezometri di valle idrogeologica da considerare quali punti di conformità (POC).

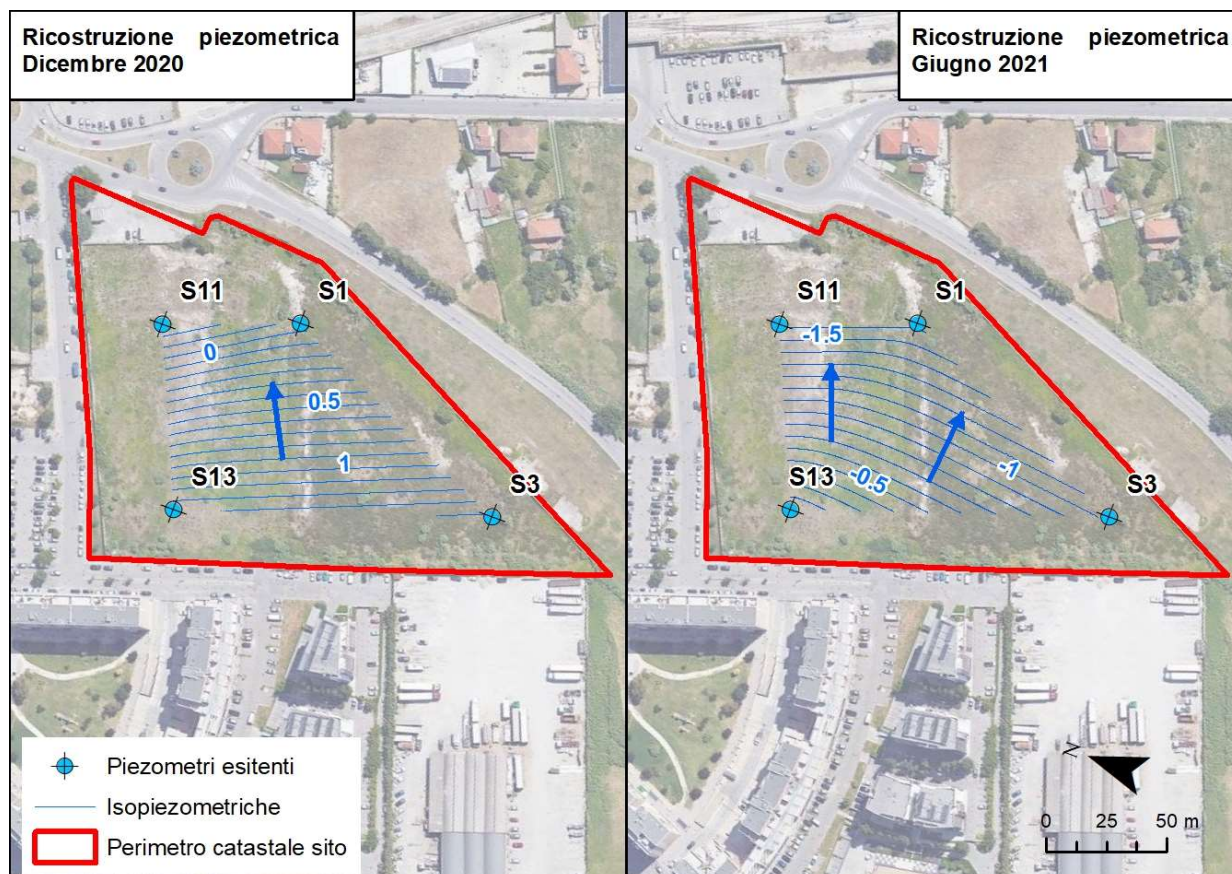


Tavola 3 Ricostruzioni piezometriche in condizioni statiche

Piezometro	Quota (m. s.l.m.)	Soggiacenza (m)		
		17/12/2020	25/03/2021	24/06/2021
S1	1.681	1.94	0.59	2.32
S3	1.804	0.47	0.37	1.5
S11	1.432	1.94	0.59	2.32
S13	1.775	0.59	0.63	0.82
Soggiacenza minima				
Soggiacenza massima				

Tabella 3 Misurazioni piezometriche 2020-2021

STATO QUALITATIVO DEI SUOLI

Le indagini svolte nell'ambito della caratterizzazione del sito, la cui ubicazione è riportate nella successiva immagine, hanno consentito di definire le caratteristiche chimiche dei suoli insaturi.

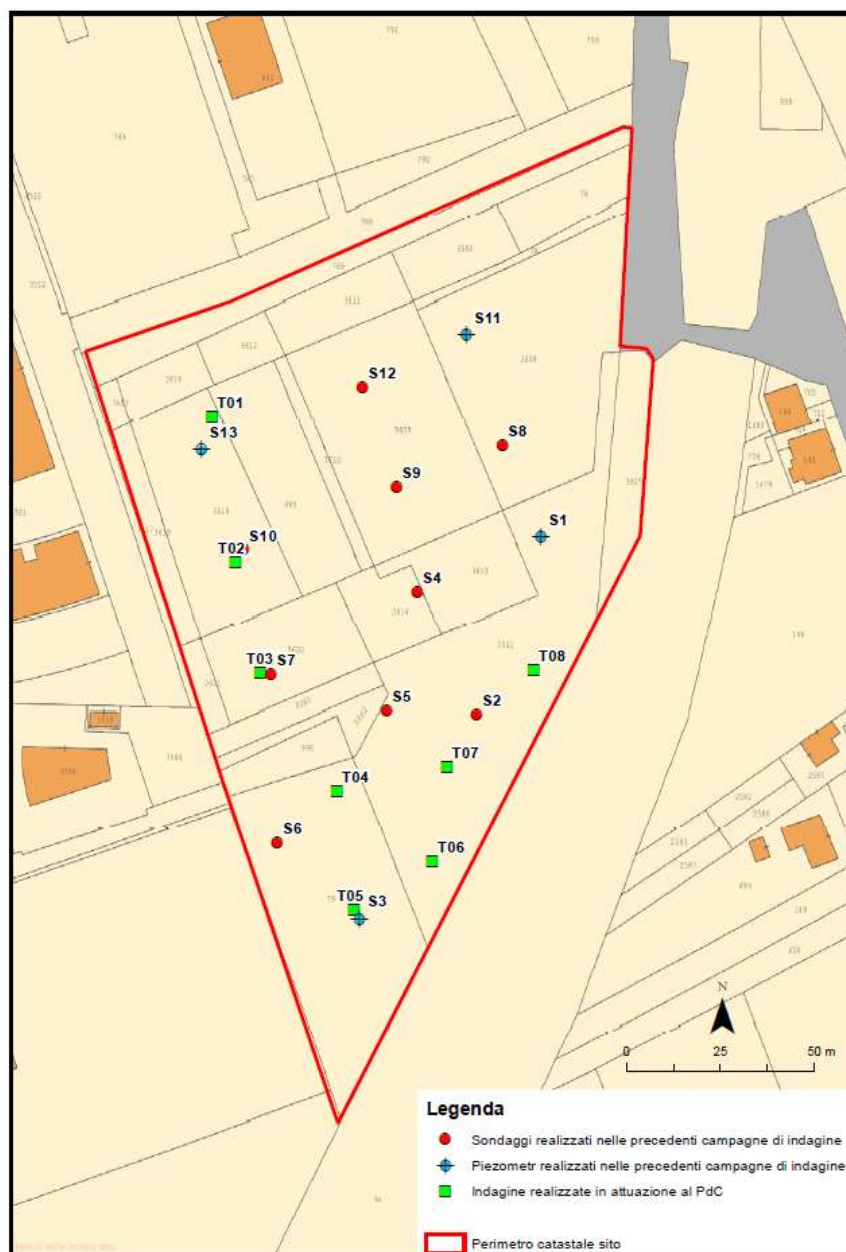


Tavola 4 Mappatura dei punti di sondaggio

Di seguito si riporta un riepilogo delle caratteristiche chimico-fisiche dei terreni investigati.

Punto	Profondità	Data	TESSITURA					pH	Cloruro di Vinile	Arsenico	Rame	Cadmio	Cromo totale	Mercurio	Nichel	Piombo	Zinco	Selenio	Vanadio	Cobalto	Berillio	Idrocarburi C-12	Taillo
			limo fine	limo grosso	sabbia fine	sabbia grossa	argilla																
			% p/p s.s.	% p/p s.s.	% p/p s.s.	% p/p s.s.	% p/p s.s.	-	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
		CSC							0,01	20	120	2	150	1	120	100	150	3	90	20	2	50	1
T01	0-1 m	08/02/2022	19,1	9,2	53,6	3,8	14,3	8,8		2,86	62	0,6	29	0,638	20	100	260	0,44	26	5,5	0,5	230	0,175
T01	1-2 m	08/02/2022	57,7	18,8	17,3	<0,1	5,2	8,4		8	12		26		20	7	43	2,2	29	6	0,6	13	0,195
T02	0-1 m	08/02/2022	29,2	11,8	42,7	6,1	10,2	8,7		2,31	21	0,4	16		12	40	95	0,46	26		0,7	94	
T02	1-2 m	08/02/2022	47,1	18,9	6,4	0,1	27,5	8,1			12		22		17	7,1	43		26		0,5	15	
T03	0-1 m	08/02/2022	33,3	14,2	42,1	4,4	6	8		3,79	29	3,3	20	0,37	16	200	150	1,18	37		0,4	110	1,49
T03	1-2 m	08/02/2022	49,1	5,6	30,2	1,1	14	7,9		10	16	0,3	30	0,472	23	20	57	2,6	30	5,5	0,6	47	0,918
T04	0-1 m	08/02/2022	24,2	8,2	54,3	3,3	10	8,1		3,89	42	0,3	18	14,1	21	48	92	0,469	18		0,3	66	
T04	1-2 m	08/02/2022	42,6	20,7	<0,1	<0,1	36,7	8,8		8,59	16		31	1,14	23	8,2	57	2,37	34	6,9	0,8	16	0,245
T05	0-1 m	08/02/2022	21,9	5,4	52,6	8,5	11,6	8,1		3,56	160	1,7	45	1,64	35	220	620	0,562	35	6,9	0,6	220	
T05	1-2 m	08/02/2022	72	18,2	8,4	0,7	0,7	8,1		3,68	29	0,2	26		20	52	90	0,899	31	6	0,7	11	
T06	0-1 m	08/02/2022	27,1	13,6	36,9	5,4	17	8		4,3	62	0,8	19	0,458	16	87	180	0,628	20		0,4	82	
T06	1-2 m	08/02/2022	43,5	21,6	<0,1	<0,1	34,9	8,2	0,12	7,63	16		31	0,103	23	9,2	52	2,39	34	6,4	0,7	12	0,206
T07	0-1 m	08/02/2022	14,9	8,5	49,3	14,3	13	8,5	2,28	2,99	32		28		21	23	71	0,566	33	6,3	0,7	72	
T07	1-2 m	08/02/2022	69,1	13,3	4,8	<0,1	12,8	8,5	1,68	8,6	15		32	0,105	24	7,5	51	2,8	35	6,4	0,7	18	0,246
T08	0-1 m	08/02/2022	10,3	7,6	65,5	11,2	5,4	8,3		5,66	170	1,2	20	0,487	15	330	200	0,795	18		0,3	250	0,142
T08	1-2 m	08/02/2022	45,3	21,4	7,5	0,4	25,4	8,2		9,01	18		28		21	17	92	2,47	30	6	0,6	22	0,276

Tabella 4. SSintesi delle caratteristiche chimico-fisiche dei terreni investigati.

STATO QUALITATIVO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Per la valutazione dello stato qualitativo delle acque sotterranee sono stati utilizzati i risultati analitici dei monitoraggi eseguiti nel periodo compreso tra gennaio e giugno 2021, nonché i risultati del monitoraggio realizzato nell'ambito del Piano di caratterizzazione del sito, eseguito in contraddittorio con ARTA Abruzzo nel febbraio 2022. Per i dettagli si rinvia al Progetto Operativo di Bonifica dove si riportano i risultati completi delle determinazioni analitiche disponibili.

Piezometro	Data	Conducibilità elettrica (µS/cm)	Nitrati (mg/l NO3)	Nitriti (µg/l NO2)	Ammoniaca (µg/l NH4)	Solfati (mg/l SO4)	Cloruri (mg/l)	Fluoruri (µg/l)	Manganese (µg/l)	Boro (µg/l)	Solfati (meq)	Cloruri (meq)	Boro (meq)	SO4/Cl	B/Cl	
S1	15/01/2021	5662	<1	<50	1,0	80	1541	776	508	960	1,67	43,5	88,8	0,04	45,33	87,12
S1	25/03/2021	2702	2,3	<50	0,6	450	125	790	62,2	1200	9,37	3,5	111,0	2,66	107,46	101,62
S1	24/06/2021	8326	1,2	<50	1,6	296	992	1290	126	984	6,16	28,0	91,0	0,22	63,04	84,85
S1	09/02/2022	4678	3	71	0,1	1390	469	1180	89,2	1150	28,94	13,2	106,4	2,19	93,14	77,42
S11	15/01/2021	3444	1,4	<50	0,7	95	759	660	348	740	1,98	21,4	68,4	0,09	47,04	66,46
S11	25/03/2021	2250	2,2	<50	0,5	400	261	660	367	504	8,33	7,4	46,6	1,13	39,25	38,29
S11	24/06/2021	3805	2,2	86	3,0	248	546	1080	302	615	5,16	15,4	56,9	0,34	41,48	51,72
S11	09/02/2022	3679	2	78	0,3	950	444	550	<2	535	19,78	12,5	49,5	1,58	36,96	29,70
S13	15/01/2021	6447	<1	61	0,6	240	1084	1020	674	380	5,00	30,6	35,1	0,16	4,58	30,15
S13	25/03/2021	5154	<1	<50	0,8	920	882	910	1260	884	19,15	24,9	81,8	0,77	56,89	62,61
S13	24/06/2021	6320	1,4	<50	4,5	615	1684	1410	816	749	12,80	47,5	69,3	0,27	21,79	56,47
S13	09/02/2022	6307	1	59	0,1	1370	1070	1130	1650	890	28,52	30,2	82,3	0,95	52,14	53,79
S3	15/01/2021	3238	4	167	0,8	230	262	1120	139	830	4,79	7,4	76,8	0,65	69,38	71,98
S3	25/03/2021	3303	3,2	161	2,3	800	218	1200	607	1150	16,66	6,1	106,4	2,71	100,22	89,71
S3	24/06/2021	4210	2,2	178	4,5	709	536	1410	583	987	14,76	15,1	91,3	0,98	76,17	76,53
S3	09/02/2022	3757	3	312	2,3	1070	1070	1190	652	1874	22,28	30,2	173,3	0,74	143,15	151,05

Tabella 5. Sintesi degli elementi rilevati nelle acque di falda

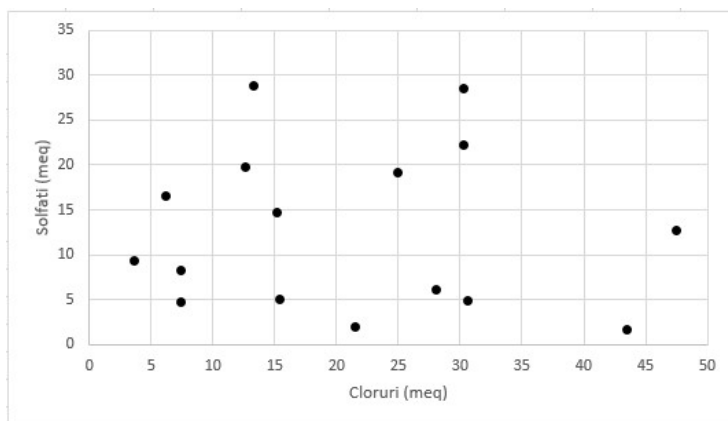


Figura 4 Grafico di correlazione Cloruri/Solfati

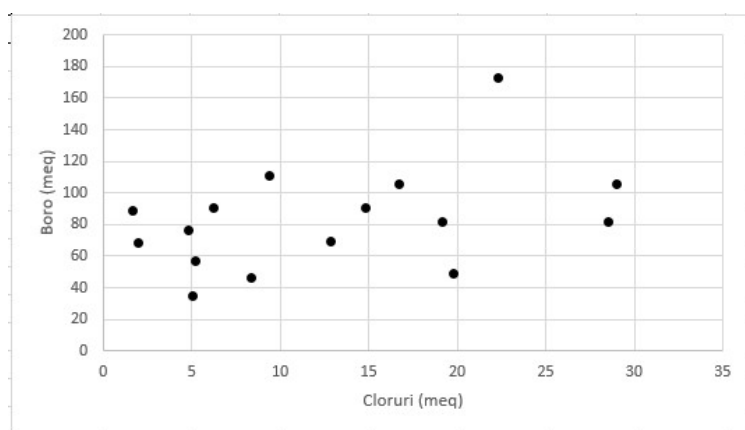


Figura 4 Grafico di correlazione Cloruri/Boro

Nella successiva Tabella si riporta un riepilogo dei superamenti delle CSC indicate nella Tabella 2, riportata nell'Allegato 5 alla Parte IV, Titolo V, del D.Lgs. 152/06 rilevati a carico delle acque sotterranee. I dati relativi allo stato di qualità della matrice acque sotterranee indicano superamenti delle CSC solo per alcuni contaminanti inorganici (Solfati, Selenio, Boro, Manganese).

PIEZOMETRO	Data	Solfati	Selenio	Boro	Manganese
		mg/l	µg/l	µg/l	µg/l
	CSC	250	10	1000	50 (154)
S1*	09/02/2022	1300		1520	124
S11*	09/02/2022	870		858	791
S1	09/02/2022	1390	8.59	1150	89.2
S11	09/02/2022	950	8.18	535	
S3	09/02/2022	1070	6.32	1874	652
S13	09/02/2022	1370	16.8	890	1650
S1	15/01/2021	80		960	508
S3	15/01/2021	230		830	139
S11	15/01/2021	95		740	348
S13	15/01/2021	240		380	674
S1	25/03/2021	450		1200	62.2
S3	25/03/2021	800		1150	607
S11	25/03/2021	400		504	367
S13	25/03/2021	920		884	1260
S1	24/06/2021	296		984	126
S3	24/06/2021	709		987	583
S11	24/06/2021	248		615	302
S13	24/06/2021	615		749	816

* campioni analizzati in contraddittorio da ARTA Abruzzo

Tabella 6 Sintesi dei superamenti rilevati a carico delle acque sotterranee

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO

L'obiettivo primario dell'intervento con fitotecnologie è quello di trattare e depurare le acque sotterranee, agendo nell'area in osservazione, in accordo con quanto emerso dall'Analisi di Rischio.

Gli obiettivi specifici sono:

- intercettare le acque subsuperficiali nei vari strati,
- immobilizzare gli elementi contaminati in soluzione e dissipare il flusso di acqua subsuperficiale (0-2.5 m) tramite processo evapotraspirativo;
- strutturare una comunità vegetale con funzione di immobilizzazione degli elementi target.

La soluzione di intervento studiata e qui proposta combina tecniche di bonifica e risanamento basate sull'impiego delle fitotecnologie, caratterizzate dall'ottimizzazione delle potenzialità depurative offerte dai sistemi vegetali.

L'APPROCCIO FITOTECNOLOGICO PER L'AREA DI INTERVENTO

IL MODELLO CONCETTUALE

Le fitotecnologie si possono annoverare tra i sistemi biologici di bonifica e utilizzano la capacità di alcune piante di interagire con contaminanti organici e inorganici presenti nel terreno, nei sedimenti e nelle acque. Utilizzando le piante è inoltre possibile attuare sistemi di controllo idrologico per realizzare interventi di confinamento ("fito-capping")

I contaminanti trattabili sono svariati: Esplosivi (TNT, NG), Erbicidi e pesticidi Organoclorurati (TCE, PCB), Inquinanti organici, Idrocarburi, Metalli pesanti, Radionuclidi.

I processi bio-chimici e fisici con i quali operano le fitotecnologie sono sostanzialmente quattro: Fitovolatilizzazione, Rizodegradazione, Fitostabilizzazione, Fitoestrazione. Il bioaccumulo dei contaminanti nei tessuti vegetali e nella linfa permettono, inoltre, il controllo qualitativo (monitoraggio) delle acque di falda e della presenza di contaminazione diffusa nell'area.

Tuttavia alcuni fattori possono limitare l'applicazione generalizzata delle fitotecnologie, ad esempio la presenza di contaminazione a profondità non raggiungibili dalle radici; oppure livelli di contaminazione fitotossici per le piante; necessità di bonificare in tempi brevi, in quanto i tempi azione, generalmente lunghi, possono variare in funzione della tipologia, diffusione e concentrazione dei contaminanti bersaglio. Non ultimo il contesto ambientale generale in cui si opera, riguardo le superfici disponibili, le caratteristiche del substrato, delle matrici ambientali coinvolte.

Inoltre, altre considerazioni possono derivare da previsioni strategiche riguardanti l'uso del sito, ciò comporta, necessariamente, la definizione degli obiettivi della bonifica, in modo da impostare la progettazione definitiva dell'intervento in maniera ottimale; in particolare per quanto attiene alla individuazione della/e piante idonee al trattamento dei contaminanti presenti nello specifico contesto.

Uno dei processi in gioco nella proposta progettuale è la “Fitostabilizzazione” che mira a ridurre il rischio associato a una contaminazione a carico del terreno o di una falda superficiale, limitando, quando presenti, la biodisponibilità dei metalli pesanti e dei metalloidi. Il principio operante nella fitostabilizzazione è fondamentalmente la speciazione di metalli pesanti e metalloidi nel suolo al fine di ridurre la tossicità (ad es. da Cr esavalente a Cr trivalente), la solubilità, la mobilità ambientale e la biodisponibilità. Quando la copertura vegetale è sufficientemente densa, le radici delle piante riescono a colonizzare in modo efficiente il suolo, riducendo significativamente il trasferimento di metalli pesanti e metalloidi mediante una loro progressiva organicazione. Per dare un ordine di grandezza delle potenzialità della fitostabilizzazione, in letteratura (vedi bibliografia) sono citate diverse sperimentazioni di campo di lungo corso che ne documentano l’efficacia come misura di messa in sicurezza di suoli e siti contaminati aventi concentrazioni di metalli pesanti e metalloidi nell’ordine di: 120 mg/kg per Cd, 2.600 mg/kg per Cu, 270 mg/kg per Ni, 4200 mg/kg per Pb, 12.000 mg/kg per Zn. Conseguentemente la fitostabilizzazione migliora indirettamente la fertilità biologica del suolo con ripercussioni positive sulla funzionalità ecologica dell’intero sistema, tanto più in assenza, come nel sito di progetto, di detti metalli e dette concentrazioni.

La riduzione della concentrazione di contaminanti nel suolo attraverso l’azione di microrganismi della rizosfera è stimolata dagli essudati delle piante con disponibilità di risorse nutritive che attraggono e consentono a diversi micro-organismi (batteri, protozoi, alghe, attinomiceti e micorrize) di proliferare e degradare/immobilizzare i diversi contaminanti citati in letteratura: metalli, idrocarburi policiclici aromatici (PAHs) e idrocarburi alifatici (AHs), isomeri del gamma esaclorocicloesano (lindano), policlorobifenili (PCBs), etc..

La rizosfera, come interfaccia suolo-radice, svolge quindi un ruolo significativo nella “phytoremediation” di suoli contaminati da metalli. La soluzione progettuale pertanto si configura come un micro-ecosistema in cui le radici hanno accesso agli elementi del suolo (Alford et al. 2010). Nonostante sia noto da letteratura che le comunità microbiche presenti a livello rizosferico siano potenzialmente in grado di incrementare le performance di fitorimedio (Jing et al. 2007), le interazioni fra le componenti rizosferiche restano ancora in gran parte poco note.

L’altro processo attivato nella soluzione proposta è la progressiva disidratazione dei substrati per l’azione traspirante delle piante che può ulteriormente agire sugli eventuali contaminanti presenti, riducendo la pericolosità ambientale delle matrici trattate. Il processo utilizza la capacità delle piante di estrarre acqua dal substrato di crescita grazie al gradiente di potenziale che si viene a determinare nel continuum suolo-pianta-atmosfera. Questa capacità viene utilizzata in senso idraulico per la progressiva disidratazione (drenaggio) del sedimento in situ, che sarà ottenuta dell’azione della Trincea drenante di progetto in combinazione con l’azione traspirante di specie vegetali (erbacee perenni e arbustive) poste a dimora nella Trincea.

L’uso delle piante per il trattamento delle acque, si dimostra in definitiva una soluzione molto efficace, a basso impatto visivo ambientale ed applicabile convenientemente nel caso specifico per la rimozione degli inquinanti. Il riempimento della trincea con materiale inerte come ghiaia, pietrisco e terreno, costituisce la matrice nella quale si sviluppano le radici delle piante emergenti. Il progetto

prevede che la circolazione idrica si mantenga al di sotto della superficie del materiale di riempimento (percolazione a flusso verticale), senza dispersione superficiale.

La rimozione degli inquinanti avviene attraverso processi quali l'assimilazione, le trasformazioni batteriche e i processi fisico-chimici come la sedimentazione, l'adsorbimento e la precipitazione. Gli apparati radicali delle macrofite forniscono la superficie adesiva e l'ambiente adatto per la proliferazione microbica, espletando la funzione di filtro e trasferendo inoltre ossigeno, attraverso i rizomi dall'ambiente esterno al substrato di coltivazione.

Attraverso la corretta miscelazione e stratificazione del medium di riempimento si raggiunge il giusto grado di aerazione del substrato e la massima superficie adesiva utile per i batteri responsabili dei processi degradativi; inoltre tale materiale svolge attivamente un'azione di filtrazione meccanica e di sedimentazione.

Le differenti condizioni di aerobiosi ed anaerobiosi che si alternano nel sistema condizionano il comportamento dell'impianto con una consistente capacità ossidativa degli inquinanti e quindi della loro rimozione dalla soluzione acquosa circolante.

In definitiva le piante vascolari sono utilizzate per bloccare i contaminanti lisciviati o in sospensione nelle acque sub-superficiali, in quanto le radici determinano una riduzione del carico di lisciviati che sono adsorbiti/flocculati/aggregati/organici e traslocati nei diversi organi e tessuti delle piante.

Si completa così un trattamento delle acque di infiltrazione/percolazione presenti negli strati superficiali e profondi di terreno, più o meno contaminati; che vengono intercettate e confinate dalla Trincea drenante. I flussi di acqua di falde contaminate poco profonde vengono intercettate sfruttando il gradiente idraulico in accordo alla piezometria del sito; di fatto si realizza la protezione delle aree in cui si svolgeranno attività sociali per le diverse destinazioni d'uso.

In conclusione la soluzione progettuale di seguito illustrata e descritta permette di controllare i fluidi pericolosi per l'ambiente con l'obiettivo di contenere, migliorare e confinare lo stato di inquinamento dell'area prima, durante e anche dopo le operazioni di rimozione e smaltimento dei rifiuti ed il successivo ripristino del sito.

Il progetto di fitorimedio ipotizzato, seguendo il dettato dell'art. 242, comma 7 del D.Lgs 152/2006 (applicazione a scala pilota in situ di tecnologie di bonifica innovative) può proporsi come soluzione di messa in sicurezza permanente a tutti gli effetti di legge.

LE SPECIE VEGETALI

L'individuazione delle specie maggiormente adatte costituisce la parte più critica della progettazione in quanto il mix di essenze selezionate dovrà garantire una elevata resilienza al sistema, anche in caso di fattori di stress di tipo ambientale (eccesso/scarsità idrica), sbalzi termici o biologico (fitopatogeni) e chimico (concentrazioni di elementi fitotossici, salinità, ecc.).

Le piante utilizzate dovranno assicurare la continuità del flusso evapotraspirativo nell'arco dell'anno per mantenere un richiamo quanto più costante e continuo dalle zone di terreno saturo in continuità

idraulica; in tal modo si genera un gradiente di potenziale idrico fra le zone di suolo più superficiali (0.2 - 1 metro), dove è massimo lo sviluppo radicale, e quelle più profonde. A questo processo può contribuire lo sviluppo di radici avventizie più profonde specializzate nella ricerca di acqua nei periodi estivi più siccitosi.

La ricerca è impostata su basi bibliografiche e riguarda ovviamente la capacità e l'efficienza delle singole specie nell'assorbire, processare e metabolizzare i diversi inquinanti, la loro plasticità di adattamento al contesto bio-climatico ed edafico, la tolleranza alla salinità, la frugalità verso i nutrienti, ecc. **La selezione della vegetazione privilegia, quando possibile, le specie naturalmente presenti nell'ambito bioclimatico di riferimento; ciò consente di evitare pericoli di adattamento a condizioni meteo-climatiche non adeguate.**

ASPETTI DIMENSIONALI E COSTRUTTIVI

Il sistema proposto è costituito da una trincea drenante a ciclo chiuso con ricircolo discontinuo della soluzione fluida intercettata. Il Materiale di riempimento è costituito da inerte a granulometria differenziata per strati, la permeabilità del medium, insieme al gradiente idraulico, contribuiscono a determinare il regime idraulico e quindi le condizioni necessarie per mantenere il flusso sub-superficiale orizzontale in ingresso e verticale di ricircolo nel sistema (estrazione e percolazione della soluzione acquosa). Il medium di riempimento della trincea drenante viene utilizzato sia come substrato per la messa a dimora delle piante sia come filtro; il gradiente di quote idrauliche e la permeabilità del terreno garantiscono il richiamo delle acque sotterranee all'interno della trincea.

Per la realizzazione della trincea si procederà con lo scavo a sezione obbligata, posizionato a distanza variabile, da 1 a 3 metri, lungo il perimetro della recinzione nei 2 lati a confine Est e Sud del blocco di costruzioni è in accordo al modello concettuale della contaminazione (sorgenti primarie, secondarie e percorsi di migrazione) individuato nel piano di caratterizzazione e nell'AdR; Il materiale di scavo verrà trattato in conformità alla procedura di gestione dei materiali di riporto descritta nel Progetto di Bonifica.

Lo sviluppo in lunghezza è di circa 150 metri, la profondità di 3 metri e la larghezza di 1 metro.

Lungo la parete di scavo a valle idraulica (lato palazzine da edificare) e sul fondo sarà messa in opera una geomembrana impermeabile, ancorata sul piano di campagna opportunamente regolarizzato e ricoperta con materiale di riporto per circa 20 cm di spessore..

Al fine di garantire il più possibile la condizione aerobica necessaria allo sviluppo delle radici profonde e all'attività microbica funzionale al ciclo dei nutrienti, alla base dello scavo sarà collocato un apposito tubo fessurato utilizzato per la raccolta delle acque drenate dalla trincea presenti nel terreno, da reimmettere nel sistema per il processo di ricircolo.

Il tubo fessurato in polietilene ad alta densità o polipropilene ad alto modulo elastico (classe di resistenza SN 4 kN/m²), diametro nominale interno di 75 mm, presenta una superficie corrugata esternamente e liscia internamente, le fessure permettono la raccolta delle acque sotterranee ed il convogliamento delle stesse verso il pozzetto di recapito per il ricircolo. Il tubo viene fessurato a

360°) La larghezza e la lunghezza delle fessure variano in funzione del diametro e del tipo di fessurazione.

La Trincea drenante avrà il compito di raccogliere le acque in eccesso alla capacità di ritenzione idrica del suolo (capacità di campo e saturazione), più l'eventuale frazione residua eccedente la capacità evapotraspirativa del sistema. Il gradiente idraulico teorico pari a 0,02 e il coefficiente di permeabilità di $2 \cdot 10^{-7}$ (0,017 m/giorno) determinano una portata di filtrazione calcolata in 0,35 l/m²; conseguentemente l'apporto idrico in ingresso alla fitobarriera è stimato in circa 225 litri/giorno.

Nell'intervallo dei due tronconi (lati est e sud) della fitobarriera sarà collocato un pozzetto interrato (dimensione 1x1x3m) per la raccolta dell'acqua di drenaggio con capienza di circa 3.000 litri, sufficiente a gestire idoneamente la raccolta e il ricircolo delle acque. Una pompa sommersa provvede ad attingere per alimentare il sistema con distribuzione a goccia. In tal modo si potrà garantire il recupero completo delle frazioni di acqua raccolte. Lo stesso sistema servirà anche per alimentare l'irrigazione estiva e quella di soccorso.

Infine vengono collocate le piante radicate in zolla o vaso in numero di 3 piante a metro quadrato, per favorire al massimo lo scambio di gas, le perdite evapotraspirative e l'azione di fissazione passiva degli inquinanti.

Questo sistema a ciclo chiuso si adatta facilmente alle variazioni del carico idraulico e degli inquinanti in ingresso, anche nelle situazioni estreme di massimo e minimo carico grazie alla possibilità di ricircolo delle acque in modo discontinuo nel mezzo poroso. Le acque eventualmente contaminate, entrando e uscendo da questo processo conferiscono al sistema di trattamento una grande flessibilità.

SISTEMI DI INGRESSO E USCITA DELL'IMPIANTO

Lo schema di funzionamento plug-flow è il seguente: la matrice acquosa drenata dalla Trincea si raccoglie nello strato poroso del fondo, qui le particelle più pesanti sedimentano per gravità dove avviene una sorta di mineralizzazione degli stessi, grazie alla presenza di batteri anaerobi. Le acque in eccesso dello strato di fondo vengono raccolte nella condotta di captazione, costituita da un tubo forato del tipo drenante, che le convoglia al pozzetto di accumulo e cacciata. Dal pozzetto di raccolta vengono reimmesse per mandate successive, tramite una pompa autoadescante, nel primo strato superficiale della Trincea per mezzo di una tubazione di adduzione e di manichette disperdenti forate (ali gocciolanti di polietilene autocompensanti), poste longitudinalmente sulla superficie superiore della Trincea su 2 file, che permette una distribuzione omogenea su tutta l'area disponibile.

Il materiale di riempimento (medium) è costituito partendo dalla base, da un primo strato di ghiaione o misto di cava 40/70 mm per uno spessore di 60 cm, da un secondo strato di ghiaia o pietrisco di granulometria 20/40 mm, per un'altezza di circa 40 cm; superiormente, previa interposizione di uno strato di tessuto-nontessuto, viene posto l'ultimo strato di 200cm. Tale strato sarà costituito per l'80% dal terreno di riporto derivante dalle operazioni di rimozione dei rifiuti che verrà opportunamente caratterizzato prima del riutilizzo secondo le procedure di gestione descritte

nel Progetto di Bonifica. Il restante 20% sarà costituito da ammendante compostato verde 5%, sabbia di fiume 10% pietrischetto fine (4-8 mm) 5%

Nella trincea vengono messe a dimora piante in grado mediamente di assorbire, in fase adulta, singolarmente acqua fino a 0,5-1- litri/giorno nella stagione estiva. Il potenziale evapotraspirativo teorico, atteso per l'intera Trincea, potrebbe quindi variare da un minimo di 300 ad un massimo di 600 litri/giorno in condizioni ottimali (da 3 a 1,5 mm/m²/giorno).

EFFICIENZA DEL SISTEMA

Questo schema costruttivo costituisce di fatto un impianto a circuito chiuso senza dispersioni per infiltrazioni o percolamenti esterni al sistema. In condizioni climatiche favorevoli, l'evapotraspirazione rappresenta il processo dominante, in queste particolari condizioni il bilancio idraulico può essere negativo (il volume di acqua evapotraspirata è maggiore di quello immesso nel sistema) e lo scarico in uscita dalla Trincea si azzerà.

Il processo di trattamento, che avviene principalmente per quote idrauliche, all'interno del medium include:

1. filtrazione,
2. aggiustamento del pH,
3. scambio ionico,
4. volatilizzazione,
5. purificazione e disinfezione,
6. ossidazione e riduzione,
7. assorbimento biologico vegetale
8. adsorbimento chimico-fisico,
9. precipitazione chimica
10. detenzione,
11. evapotraspirazione,
12. diluizione (dipendente dall'equilibrio tra apporti ed evaporazione).

La rimozione attesa di contaminanti inquinanti è significativa e rappresenta una caratteristica fondamentale del risanamento auspicato e della messa in sicurezza del sito

IL SISTEMA DI RICIRCOLO/IRRIGAZIONE – LE COMPONENTI

Al fine di garantire il ricircolo dell'acqua raccolta dal drenaggio all'interno della Trincea, l'impianto sarà costituito da:

Sistema idraulico: componenti necessarie al ricircolo del drenaggio sub-superficiale, al rilancio dell'acqua e alla distribuzione controllata., (piogge intense o periodi stagionali con scarsa evapotraspirazione).

Drenaggio sub-superficiale: trincea per raccogliere l'acqua di infiltrazione proveniente dal sito,

Impermeabilizzazioni: le pareti laterali, quella di valle e la base della trincea sono impermeabilizzate con geomembrana.

Percolazione: sono utilizzate due *ali gocciolanti* del tipo pluristagionale, autocompensante e con gocciolatore autopulente per impiego in subirrigazione. La distanza fra le ali è di 40 cm e la portata del gocciolatore può variare da 4-6 litri/ora. Le due linee sono poste al di sotto dello strato di pacciamatura.

Nella tabella seguente sono elencati in dettaglio gli elementi costituenti il sistema idraulico.

Quantità	Descrizione
1	Pozzetto in cls di raccolta e cacciata, utilizzabile per l'alloggiamento della pompa, m 1x1x3, munito di chiusino di ispezione e prelievo
1	Sensore di livello
1	Elettropompa autoadescante con inverter – portata: 0,5-1 mc/ora (potenzialità di ricircolo di quanto immagazzinato alla massima capienza in meno di 3 ore di funzionamento), pressione in uscita regolabile con inverter a pressostato: 2-4 bar; prevalenza min: 3 m
1	Quadro elettrico per alimentazione pompa con inverter, elettrovalvola e componenti di protezione
1	Raccordo di collegamento pompa - linea principale in uscita dal pozzetto
1	Filtri in linea, mesh 120-160 (130-100 micron), con portata fino a 2 mc/ora, con valvole di by-pass per la pulizia manuale o con controlavaggio automatico
1	Elettrovalvola 12/24V idonea a garantire un flusso di circa 10-20 litri/minuto (potenzialità di ricircolo di quanto immagazzinato alla massima capienza con circa 3 ore di funzionamento)
	Raccorderia di collegamento elettrovalvola e ali gocciolanti
300 metri	Ala gocciolante tipo pluristagionale, autocompensante e con gocciolatore autopulente per impiego in subirrigazione - distanza fra i gocciolatori 40 cm, portata gocciolatore 4-6 litri/ora /m
60	Picchetti x ali gocciolanti (ogni 5 m)
4	Anelli di chiusura ali gocciolanti
150 metri	Tubo di drenaggio di sezione interna 75 mm con calza filtrante in geotessile + manicotto e tubazione di raccordo al pozzetto di raccolta e ricircolo

Tabella 7 Elementi del sistema idraulico

LA VEGETAZIONE

Nella trincea le piante vengono disposte su 2 file distinte, discoste fra loro circa 40 cm e distanti dai bordi esterni circa 30 cm. Le essenze più tolleranti il ristagno idrico (Tifa e Sambuco) saranno poste nella sezione terminale in uscita dalla trincea.

Le piante arbustive saranno collocate a distanza di 1 metro lungo la fila F1 (lato palazzine) e quelle erbacee di 50 cm lungo la fila F2 (lato recinzione); la disposizione è a quinconce ovvero sfalsata di 0.5 metri tra una fila e l'altra, per ridurre la competizione tra le radici. Inoltre, la fila (F1) con gli elementi arbustivi (Tifa, Ligustro, Rovo e Ginestra comune) con maggiore sviluppo in altezza è posta sul lato (palazzine) esterno della trincea, al fine di ridurre l'ombreggiamento delle erbacee (F2) caratterizzate da un minor sviluppo in altezza (Calendula, Iperico e Sambuco). La disposizione lungo le file seguirà lo schema rappresentato nella Tavola allegata.

Nella tabella seguente sono riportate le quantità di piante per specie che saranno collocate nelle due file.

SPECIE ARBUSTIVE	Quantità
<i>Typha latifolia</i>	60
<i>Rubus ideaus</i>	40
<i>Ligustrum vulgare</i>	60
<i>Spatium junceum</i>	50
sub-tot F1	210
SPECIE ERBACEE	
<i>Sambucus ebulus</i>	20
<i>Calendula officinalis</i>	200
<i>Hypericum perforatum</i>	200
sub-tot F2	420
Tot	630

Tabella 8 Elenco delle piante collocate a dimora

Le piante saranno fornite in vaso o con pane di terra, con sviluppo radicale regolare e non spiralato con densità fogliare piena e numerosi getti di accrescimento alla base della pianta (forma cespugliosa). Le piante devono essere certificate dal punto di vista fitosanitario come indenni da organismi nocivi (ai sensi del Regolamento (UE) 2016/2031).

IL MATERIALE DI RIEMPIMENTO

Al fine di favorire il movimento dell'acqua dai terreni posti idraulicamente a monte della trincea verso le piante poste all'interno della stessa, il materiale di riempimento dovrà essere caratterizzato da un elevato coefficiente di permeabilità idraulica ($K > 10^{-5}$ m/sec) e da una porosità superiore al 30%. Tale permeabilità dovrà essere garantita su tutto il profilo di scavo, anche per stimolare lo sviluppo in profondità degli apparati radicali che hanno la funzione di rimuovere l'acqua (con riduzione del potenziale idrico - quindi sostenendo il gradiente di potenziale fra le due matrici) dalla Trincea drenante. Inoltre, lo strato di riempimento superiore dovrà assicurare il pieno sviluppo della vegetazione fornendo i nutrienti necessari alle "radici fini" normalmente presenti negli strati più superficiali (i primi 20-40 cm).

In accordo alle predette funzioni, la matrice di riempimento della fitobarriera sarà caratterizzata da strati di diverso spessore e composizione come riportato nella seguente tabella.

Strato	Spessore dello strato (m)	Quota alla base da p.c. (m)	Materiale di riempimento	Volume (mc) Superficie (mq)
Inferiore	0.6 m	-3.0 m	Pietrisco e/o Ghiaia grossolana (40-70 mm)	128 mc
Centrale	0.4 m	-2.4 m	Ghiaia fine (20-40 mm)	85 mc
	-	-2	Tessuto-nontessuto	150 mq
Superiore	2.0 m	- 2.0 m	Mix di terreno di riporto 80%, ammendante compostato verde 5%, sabbia di fiume 10% pietrischetto fine (4-8 mm) 5%	428 mc
Copertura	0,05	0	Mix Scaglie di corteccia di conifere, legno cippato, lapillo	10 mc
Rivestimento	-	-	Protezione delle pareti di scavo con telo impermeabile (geomembrana)	960 mq

Tabella 9. Composizione e dimensione degli strati di riempimento della fitobarriera

Per evitare la proliferazione della vegetazione infestante, in competizione con quella messa in opera, in particolare nei primi anni di attecchimento, sulla superficie della trincea viene steso uno strato pacciamante. Lo stesso materiale è utilizzato per proteggere e alloggiare le manichette forate (ali gocciolanti) sub-superficiali

Nella Tavola allegata sono illustrati i diversi elementi della Trincea drenante, rappresentati in una sezione tipo.

COMPUTO METRICO

Numero ordine	Indicazioni dei lavori e delle Somministrazioni	Unità di misura	Quantità	Prezzo	Importo Euro
1	Scavo per formazione di drenaggi a sezione obbligata per drenaggi fino alla profondità massima di 4 m dal piano di campagna 150.00*3.00*1.00	mc	450,00	11,81	5.315,00
2	Fornitura e posa in opera di inerti, ghiaia fine di pezzatura 20-40 mm 150.00*0.40*1.00	mc	60,00	30,00	1.800,00
3	Fornitura e posa in opera di inerti, pietrisco e/o ghiaia grossolana di pezzatura 40-70 mm 150.00*0.60*1.00	mc	90,00	30,00	2.700,00
4	Fornitura e posa in opera di ammendante compostato verde	mc	14,00	20,00	280,00
5	Fornitura e posa in opera di inerti, pietrischetto fine di pezzatura 4-8 mm	mc	14,00	30,00	420,00
6	Fornitura e posa in opera di sabbia di frantoio lavata	mc	28,00	30,00	840,00
6	Fornitura e posa in opera di pacciamatura, corteccia di pino/lapillo vulcanico	mc	7,00	45,00	315,00
7	Fornitura e posa in opera di tubo drenante in PEAD corrugato duro diametro nominale interno di 75 mm rivestito con calza filtrante, dreno di base	m	150,00	20	3.000,00
8	Fornitura e posa in opera di geotessile tessuto-nontessuto a massa areica inferiore o uguale a 300 g/m ²	mq	150,00	2,10	315,00
9	Protezione di pareti di scavo con telo impermeabile (geomembrana) 150.00*3.50+150.00*1.00	mq	675,00	4,40	2.970,00
10	Fornitura e messa a dimora di piantine di specie arbustive di età non superiore a 2 anni In vaso o con pane di terra	cad	148	7,20	1.065,00
11	Fornitura e messa a dimora di piantine di specie erbacee di età non superiore a 1 anno In vaso o con pane di terra	cad	396	5,50	2.178,00
12	Fornitura e posa in opera di 1 pozzetto in cls vibrato, a fondo chiuso 1.00*1.00*1.00 con 2 prolunghe 1.00*1.00*1.00, completo di chiusura	cad	1	1.500,00	1.500,00
13	Fornitura e posa in opera di pompa elettrica trifase 0,7 kW sommersa autoadescante, comprensiva di elettrovalvola, pressostato, raccordi e quadro elettrico di comando con dispositivi di sicurezza	cad	1	1.500,00	1.500,00
14	Tubazione di adduzione in polietilene, completa di raccordi e accessori dalla pompa alle manichette forate di distribuzione (ali gocciolanti 300 m. ,raccordi e accessori inclusi)	cad	1	3.000,00	3.000,00
	Totale				27.198,00

CURE CULTURALI E GESTIONE DEI RESIDUI VEGETALI

I sistemi di fitorimedio necessitano di manutenzioni periodiche e controlli agronomici per il controllo dell'accrescimento del grado di attecchimento e più in generale dello stato vegetativo e fitosanitario delle piante impiegate.

Pur utilizzando arbusti ed erbacee estremamente plastici e poco esigenti devono prevedersi cure culturali che consistono nel risarcimento delle fallanze, nel controllo delle infestanti e, qualora

presenti, intervenire con scerbature manuali. Bisogna inoltre monitorare costantemente la presenza di parassiti animali dannosi (ditteri, anellidi, lepidotteri, ecc.) e l'insorgenza di patologie di varia natura: batteriosi, virosi, micosi.

Altro fattore da controllare costantemente è il grado di umidità del terreno, intervenendo tempestivamente, in caso di stress idrico con innaffiature di soccorso, in special modo nei primi anni dopo l'impianto, onde evitare pericolosi avvizzimenti e disseccamenti delle piante.

Il materiale vegetale deiescente, in particolare foglie e rametti, può essere lasciato in sito se privo di fitopatogeni, arricchendo di sostanza organica il substrato di coltivazione attraverso i processi naturali di degradazione e umificazione.

Le essenze erbacee in progetto (calendula e hypericum) hanno taglie modeste e non richiedono potature, quelle arbustive, in particolare il rovo e il ligustro, denotano un certo vigore vegetativo e necessitano pertanto potature periodiche di formazione e contenimento di fusti e rami.

Questo materiale vegetale potrebbe contenere residui e dosi di inquinante in funzione dalla capacità fitoestrattiva, della biologia e del metabolismo dell'essenza utilizzata, conseguentemente l'inquinante potrebbe essere:

- 1) stabilizzato a livello radicale, ovvero assente dalla parte epigea, dove viene assorbito e non traslocato al fusto e alle foglie;
- 2) traslocato ed accumulato negli organi aerei (tronco, rami e foglie);
- 3) degradato in varie forme;
- 4) volatilizzato.

Se l'inquinante è metallico ed accumulato negli organi epigei, questo viene restituito al terreno se foglie e rametti deiescenti non vengono asportati e da questo ricircolato alla pianta nelle fasi di assorbimento dei liquidi nei flussi xilematici e floematici. Viceversa se i residui di potatura vengono asportati dal sito di radicazione, i metalli vengono rimossi e il materiale vegetale deve essere trattato come rifiuto speciale, pericoloso o non pericoloso in funzione della sua natura e concentrazione.

Analogo discorso per i composti organo-clorurati, con la differenza che i COV evidenziano una maggiore possibilità di degradazione e volatilizzazione e quindi tendenzialmente ad essere rimossi.

Sia per i metalli che per i COV il bioaccumulo nella fitomassa ipogea comportano una stabilizzazione in situ degli inquinanti ed il loro confinamento nella fitobarriera, fino ai livelli di fitotossicità tollerati dalle singole essenze.

I resti vegetali dei diserbi e delle potature se trattati termicamente (combustione) residuano i metalli pesanti che si depositano nelle ceneri o nelle ceneri leggere a seconda della volatilità dell'elemento chimico. COV e ftalati termolabili residuano prevalentemente nella frazione gassosa nelle forme elementari dei composti e in minore percentuale nelle ceneri leggere. La misura di questi elementi chimici richiede analisi complesse e costose.

I metalli pesanti, con l'eccezione del Fe e dell'Al, si trovano normalmente come elementi in traccia nell'ambiente, in concentrazioni molto basse (0.1%) dell'ordine delle parti per milione (ppm) e in

alcuni casi parti per miliardo (ppb). I metalli pesanti più significativi a livello eco tossico sono: As, Hg, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Zn e Se (Salomon e Förstner, 1984). Nel caso specifico di progetto, dei metalli citati, solo il manganese presenta una concentrazione sopra soglia, per questo elemento quindi si potrebbero attendere valori residui, in qualche misura, nei resti vegetali eventualmente da asportare e da smaltire.

Le condizioni fisico-chimiche del medium (umidità, temperatura, reazione ecc.) ed esterne (climatiche) influenzano in varia misura la mobilità degli inquinanti lungo il profilo e conseguentemente l'assorbimento degli stessi ad opera delle piante. Infatti l'accumulo degli elementi varia in funzione dello stato vegetativo e pertanto con la stagionalità e il ciclo fenologico delle singole piante.

Oltre ogni considerazione preventiva è bene sottolineare che i quantitativi di rifiuti vegetali da trattare e smaltire, a prescindere dalla pericolosità da accertare in fase di gestione, sono assai modesti, provenendo da una superficie di soli 150 m², dell'ordine di qualche decina di chilogrammi e soprattutto con una periodicità molto ampia, mediamente una o al massimo due volte l'anno.

Come si evince dal Computo metrico le essenze arbustive disposte nella fitobarriera sono 148, di queste solo una cinquantina (ligustro e rovo) richiedono interventi cesori più consistenti e periodici, con asportazioni di alcune centinaia di grammi di biomassa legnosa e fogliare per singola pianta e per singolo intervento. Dette cure colturali, consistenti in potature e rimonda del seccume, decorrono generalmente a partire dal secondo-terzo anno dall'impianto.

Le specie vegetali che presentano elevate concentrazioni di contaminanti sono definite da Baker e Brooks (1989) come "iperaccumulatrici" quando nei propri tessuti vengono rilevate concentrazioni di Cd, Cu, Co, Cr, Ni e Pb > 1.000 mg/kg, oppure concentrazioni di Mn o Zn > 10.000 mg/kg.

Secondo gli autori la pianta iperaccumula quando assorbe l'elemento inquinante e lo trasloca nella parte aerea sino a raggiungere valori > 1 nel rapporto tra le concentrazioni delle parti epigee e quelle ipogee.

ASPETTI NORMATIVI DELLO SMALTIMENTO E TRATTAMENTO DEI RESIDUI VEGETALI

Come riportato nelle Linee guida per la bonifica di siti orfani di discariche procedure, analisi di rischio, redatte dalla Regione Abruzzo, la caratterizzazione dei residui vegetali di sfalci e potature è legata alla loro origine, secondo quanto disciplinato dal c.1, art.184 Dlgs 152/06 e smi; alla vegetazione presente in un sito contaminato viene attribuita la qualifica di rifiuto sulla base del potenziale o effettivo contatto diretto dell'apparato radicale con i contaminanti e della concentrazione dei composti presenti nella matrice vegetale.

Le matrici ambientali suolo, acque sotterranee si definiscono potenzialmente contaminate solo quando vengono superate le concentrazioni soglia di contaminazione di cui alle Tabelle 1 e 2 dell'Allegato 5, alla parte quarta titolo V del D.Lgs 152/06 e smi, mentre per i gas nel suolo ci si riferisce ai valori soglia del soil gas della L.G. SNPA n. 17/18.

Analogamente l'effettiva contaminazione della matrice vegetale dovrebbe essere determinata prendendo in esame origine e concentrazione dei composti e sulla base di valori soglia.

La vegetazione presente nel sito può essere riferita a quattro possibili origini:

1. Vegetazione-Alberi spontanei con radici a contatto con i contaminanti: EER 16 03 05*rifiuti organici, contenenti sostanze pericolose o la voce a specchio non pericolosa 16 03 06
2. Vegetazione-Alberi utilizzati in impianti con radici a contatto con i contaminanti: EER 191302 "rifiuti solidi prodotti dalle operazioni di bonifica dei terreni, diversi da quelli di cui alla voce 19 13 01o la voce a specchio per rifiuti pericolosi EER 19 13 01*.
3. Vegetazione-Alberi utilizzati in impianti di fitotecnologie con radici confinate nel terreno dello strato di copertura, non a contatto con i contaminanti.
4. Vegetazione-Alberi spontanei con radici non a contatto con i contaminanti.

Nel caso in esame la vegetazione utilizzata nella fitobarriera può ascriversi alla seconda delle fattispecie sopra descritte.

Pertanto ai residui vegetali di un suolo contaminato, bisognerebbe attribuire, ope legis, la qualifica di rifiuto non pericoloso/pericoloso in funzione delle concentrazioni e della natura dei contaminanti presenti.

Ne consegue che in un'area contaminata in cui si eseguono cure colturali a carico della vegetazione impiegata nella fitoestrazione il produttore è obbligato a gestire come rifiuto speciale (smaltire/recuperare) il materiale potenzialmente contaminato derivante da diserbi e potature.

In considerazione di quanto detto, seppure possibile, appare superfluo effettuare la valutazione del valore di fondo dei contaminati nelle piante, analogamente a quanto previsto per i terreni dal Dlgs 152/06 e smi, predisponendo un piano d'indagine da concordare con l'Ufficio competente della Regione.

In ogni caso sarà possibile utilizzare un approccio di tipo tabellare, come proposto dalle Linee guida della Regione Abruzzo, confrontando i dati di eventuali analisi dei residui vegetali da asportare con i valori limite tipici per i contaminanti ammessi per la commercializzazione della biomassa legnosa di latifoglie (UNI EN ISO 17225-2-2014). Questi potrebbero essere assunti come valori soglia di concentrazione, equiparandoli ai valori di fondo naturale.

In conclusione, a partire dal secondo-terzo anno dalla piantagione, in concomitanza delle prime potature, potrebbero effettuarsi delle analisi per verificare la presenza di metalli, manganese in particolare e metalloidi, boro nello specifico, nei tessuti vegetali epigei (rametti e foglie) asportati.

Sebbene entrambi gli elementi target cercati non siano presenti nelle Tabelle 32 e 33 menzionate dalla Linee guida, si potrebbero comunque confrontare i valori di concentrazione degli altri elementi analizzati, con le soglie tabellari. In particolare per il manganese i valori rilevati nelle analisi potrebbero confrontarsi a quelli della Tabella 34 delle L.G. e dall'esito eventualmente favorevole delle risultanze si potrebbe ipotizzare un declassamento del rifiuto da Speciale a RSU ovvero materiale vegetale proveniente da sfalci e potature della manutenzione del verde (codice CER

200201); come stabilito dal Dlgs 152/2006 all'articolo 183, comma 1, lettera b-ter), punto 5 con l'integrazione dell'elenco dei rifiuti urbani che ha inserito "i rifiuti della manutenzione del verde pubblico, come foglie, sfalci d'erba e potature di alberi, nonché i rifiuti risultanti dalla pulizia dei mercati".



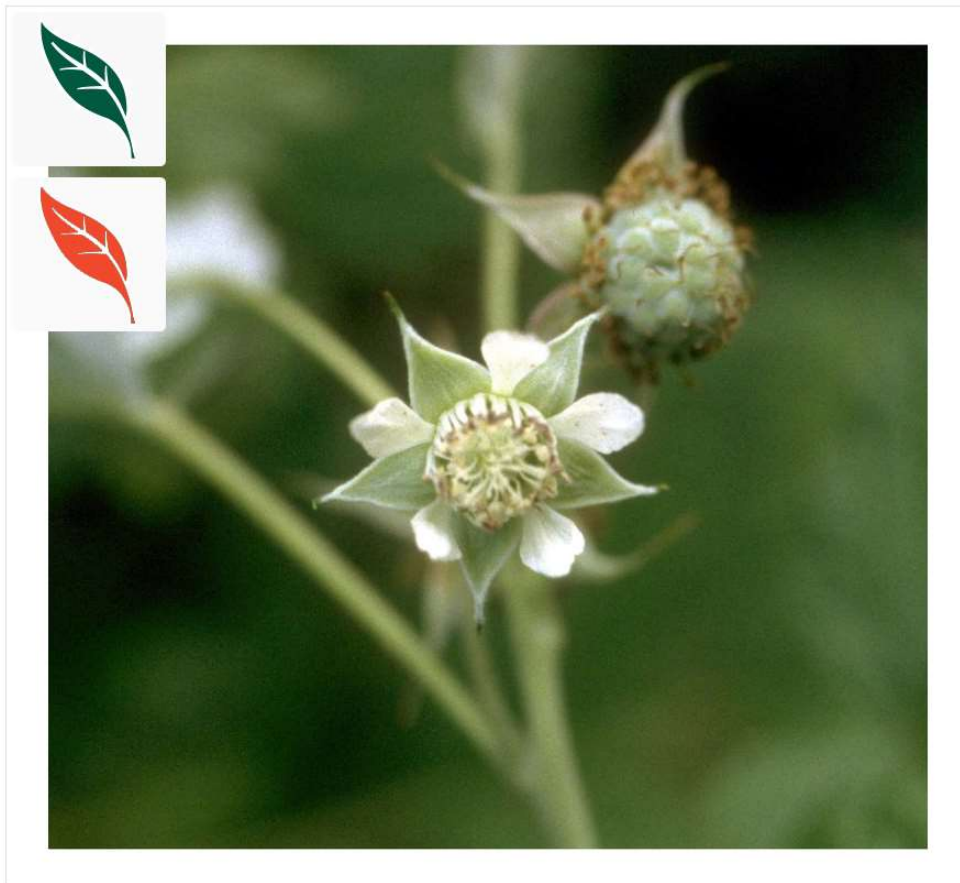
ABACO DELLE ESSENZE (COPYRIGHT ANTHOSART 2020)**TYPHA (TYPHA LATIFOLIA L)****USO NEL FITORISANAMENTO AMBIENTALE**

Contaminanti: Se, atrazina, Zn, Pb, Cd. **Matrici:** Acqua, Suolo. **Fitotecnologie:** Tollerante, Fitoaccumulo.

Azaizeh H. 2006. Uptake, translocation and accumulation of selenium by different plant species. 1st Scientific Meeting of WG1: Root to Shoot Translocation of Pollutants and Nutrients. Abstract Book. Santiago de Compostela, Spain. 22–24 June 2006.

Moore, Locke, Kröger, 2017. Mitigation of atrazine, S-metolachlor, and diazinon using common emergent aquatic vegetation, Journal of Environmental Sciences, Volume 56, 2017, Pages 114-121, ISSN 1001-0742, <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.09.009>.

YE, Z.H. et al (1997) Zinc, lead and cadmium tolerance, uptake and accumulation by Typha latifolia. New Phytologist, 136: 469-480.

RUBUS (RUBUS IDAEUS L.)**USO NEL FITORISANAMENTO AMBIENTALE**

Contaminanti: Mn, Pb, Cd. **Matrici:** Suolo. **Fitotecnologie:** .

Paz-Alberto, A. M. (2013). Phytoremediation: A Green Technology to Remove Environmental Pollutants. American Journal of Climate Change, 2013, 2, 71-86

SAMBUCUS (SAMBUCUS EBULUS L.)**USO NEL FITORISANAMENTO AMBIENTALE**

Contaminanti: Cr, Mn, Zn, Cu. **Matrici:** Suolo. **Fitotecnologie:** .

Dreshaj, A et al (2018). Concentration of heavy metals in pharmaceutical plants, Economic value in Kosovo. J. Pharm. Sci. & Res. Vol. 10(3), 2018, 454-457.

LIGUSTRUM (LIGUSTRUM VULGARE L.)**USO NEL FITORISANAMENTO AMBIENTALE**

Contaminanti: Ni, Pb. **Matrici:** Aria. **Fitotecnologie:** .

Ataabadi, M. Hoodaji and P. Najafi.; (2011). Biomonitoring of some heavy metal contaminations from a steel plant by above ground plants tissue. African Journal of Biotechnology, Vol. 10(20), pp. 4127-4132, 16 May, 2011.

CALENDULA (CALENDULA OFFICINALIS L.)**USO NEL FITORISANAMENTO AMBIENTALE**

Contaminanti: Pb, Cd. **Matrici:** Suolo. **Fitotecnologie:** Fitoaccumulo.

Mani D, Kumar C, Patel NK (2015). Hyperaccumulator oilcake manure as an alternative for chelate-induced phytoremediation of heavy metals contaminated alluvial soils. Int J Phytoremediation. 2015;17(1-6):256-263.

SPARTIUM (SPARTIUM JUNCEUM L.)**USO NEL FITORISANAMENTO AMBIENTALE**

Contaminanti: Ni, Zn, Pb, Cu, Cd. **Matrici:** Sedimenti di dragaggio. **Fitotecnologie:** Fitoaccumulo, Fitostabilizzazione.

Doni S et al. (2015). Heavy metal distribution in a sediment phytoremediation system at pilot scale, Ecological Engineering, Volume 81, 2015, Pages 146-157, ISSN 0925-8574

HYPERICUM (HYPERICUM PERFORATUM L.)**USO NEL FITORISANAMENTO AMBIENTALE**

Contaminanti: Pb. **Matrici:** Suolo. **Fitotecnologie:** Fitoaccumulo.

Fischer A et al (2017). The Assessment of Toxic Metals in Plants Used in Cosmetics and Cosmetology. Int J Environ Res Public Health. 2017 Oct 24;14(10):1282



BIBLIOGRAFIA

MA Y., PRASAD M.N.V., RAJKUMAR M., FREITAS H., 2011. Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. *Biotechnology Advances* 29: 248-258

MASSACCI A., ANCONA V., BARRA CARACCILO A., GRENNI P., URICCHIO V.F. 2014. Fitorimedio bioassistito. In: *Le innovazioni tecnologiche nel settore della caratterizzazione e bonifica dei siti contaminate – Panoramica sui più recenti sviluppi della ricerca italiana*, a cura di Brugnoli, Massarelli Uricchio e Zurlini, Cacucci Editore pp. 21-34.

RAJKUMAR A.N. M., Ae N., Prasad M.N.V., Freitas H., 2010. Potential of siderophoreproducing bacteria for improving heavy metal phytoextraction. *Trends in Biotechnology* 28: 142-149 2010.

TERZAGHI E., ZANARDINI E., MOROSINI C., RASPA G., BORIN S., MAPELLI F., VERGANI L., DI GUARDO A., 2018. Rhizoremediation half-lives of PCBs: Role of congener composition, organic carbon forms, bioavailability, microbial activity, plant species and soil conditions, on the prediction of fate and persistence in soil. *Science of the Total Environment* 612: 544-560. UROZ S., CALVARUSO C.,

TURPAULT M.P., FREY-Klett P. 2009. Mineral weathering by bacteria: ecology, actors and mechanisms. *Trends in Microbiology* 17: 378–87. VERGANI L., MAPELLI F., MARASCO R., CROTTI E., FUSI M., DI

GUARDO A., ARMIRAGLIO S., DAFFONCHIO D., BORIN S., 2017. Bacteria Associated to Plants Naturally Selected in a Historical PCB Polluted Soil Show Potential to Sustain Natural Attenuation. *Front Microbiol.* 8: 1385. WENZEL WW. 2009. Rhizosphere processes and management in plant-assisted bioremediation (phytoremediation) of soils. *Plant Soil* 321, 385–408.

GADD G.M. 2000. Bioremedial potential of microbial mechanisms of metal mobilization and immobilization. *Current Opinion in Biotechnology* 11: 271–9

KHAN MS, ZAIDI A., WANI P.A., OVES M. 2009. Role of plant growth promoting rhizobacteria in the remediation of metal contaminated soils. *Environmental Chemistry Letters* 7: 1-19. KIDD P., BARCELÓ J.,

BERNAL M.P., NAVARI-IZZO F., POSCHEN C. 2009. Trace element behaviour at the root–soil interface: implications in phytoremediation. *Environmental and Experimental Botany* 67, 243-59.

MASI F., MARTINUZZI N., 2007 “Constructed Wetlands for the Mediterranean countries: proposal of a hybrid system's optimised design for water reuse and sustainable sanitation”, in *Sustainable Water Management*, journal of the EU project “Sustainable Concepts towards a Zero Outflow Municipality” (ZerO-M), n 1, pp. 14-18.

La caratterizzazione fitosociologica dei boschi in Abruzzo, Gianfranco Pirone, Giampiero Ciaschetti, Anna Rita Frattaroli; Dipartimento di Scienze Ambientali, Università dell’Aquila

Linee guida per la bonifica dei siti orfani di discariche, Regione Abruzzo