



DICEA
Sapienza, Università di
Roma



DICATA
Università degli Studi
di Brescia



DICAR
Università degli Studi
di Catania

SiCon 2015

***Workshop su: Siti Contaminati. Esperienze negli
interventi di risanamento***

**Taormina
5-7 Febbraio 2015**

**Piante erbacee a radicazione profonda
per il contrasto dell'erosione ed il
ripristino ambientale di siti contaminati**

Nicola Era, Tiziana Verrascina, Marcello Zarotti
Prati Armati srl
Via del Cavaliere, 18 - 20090 Opera (MI) - Italia
info@pratiarmati.it

“Piante erbacee a radicazione profonda per il contrasto dell’erosione ed il ripristino ambientale di siti contaminati”

Piante erbacee a radicazione profonda per il contrasto dell’erosione ed il ripristino ambientale di siti contaminati

*Nicola Era, Tiziana Verrascina, Marcello Zarotti
Prati Armati srl*

Sommario. Il contrasto dell’erosione ed il ripristino ambientale di siti contaminati, come vecchie discariche ormai in disuso, cave e miniere dismesse, risultano spesso essere difficoltosi, soprattutto perché le specie erbacee tradizionalmente utilizzate a questo scopo non riescono a vegetarvi (e quindi a sviluppare una densa copertura vegetale) e le tecniche tradizionali non sono quindi applicabili. Nel corso degli anni sono state sviluppate diverse metodologie per il contrasto dell’erosione, la protezione del suolo e rinaturalizzazione. Tra queste spicca quella che utilizza esclusivamente piante erbacee perenni naturali a radicazione profonda (prati armati), aventi una particolare fisiologia vegetale che consente di operare in zone dove le condizioni climatiche e la contaminazione del suolo erano fino a pochi anni fa considerate proibitive per lo sviluppo della vegetazione: terreni aridi, rocce alterate o fratturate, terreni trattati con aggiunta di calce fino al 5% in peso, suoli inquinati da rifiuti, idrocarburi e metalli pesanti in concentrazioni fino a 10 volte superiori ai limiti massimi ammessi dalla legge. L’utilizzo di queste piante consente il contrasto dell’erosione idrica ed eolica, la riduzione del dilavamento di inquinanti e dell’infiltrazione delle acque meteoriche, con conseguente riduzione della produzione di percolato nelle discariche.

1 FENOMENI EROSIVI E RIPRISTINO AMBIENTALE

I fenomeni erosivi sul territorio italiano sono molto diffusi e legati alle condizioni climatiche delle nostre latitudini, dove le precipitazioni pluviometriche rappresentano l’agente più incisivo. L’intensità dell’azione erosiva dipende da vari fattori: intensità e durata delle precipitazioni, lunghezza e inclinazione del pendio, permeabilità del terreno e grado di saturazione, presenza di vegetazione, erodibilità intrinseca del terreno. L’intensa erosione impedisce la formazione di humus ed accelera il dilavamento dei nutrienti, rendendo così molto

“Piante erbacee a radicazione profonda per il contrasto dell’erosione ed il ripristino ambientale di siti contaminati”

difficoltosa la crescita di vegetazione. Alcune specie erbacee particolarmente frugali, riescono a volte ad attecchire sui nudi pendii erosi, ma spesso per sradicarle è sufficiente un evento meteorico intenso.

Studi recenti hanno evidenziato la capacità di alcune specie erbacee perenni a radicazione profonda e con una particolare fisiologia vegetale (prati armati) di riuscire a vegetare anche in condizioni pedoclimatiche proibitive, riuscendo così a contrastare i fenomeni erosivi. Queste piante si comportano infatti da organismi pionieri vegetando anche su terreni sterili e contaminati ove sviluppano una densa copertura vegetale ed un profondo apparato radicale, contrastando l’erosione idrica ed eolica e l’infiltrazione delle acque meteoriche. Migliorano inoltre la fertilità e la struttura del terreno, rendendolo così adatto alla colonizzazione di specie vegetali più esigenti come quelle arbustive ed arboree, accelerando quindi il processo di rinaturalizzazione.

2 PROVE DI GERMINAZIONE E DI APPROFONDIMENTO RADICALE IN SITI CONTAMINATI DA METALLI PESANTI

Per testare la capacità delle piante erbacee a radicazione profonda tipo prati armati di vegetare anche in terreni contaminati sono state effettuate prove di germinazione su materiali delle discariche minerarie del distretto di Montevecchio in Sardegna, ove sono stati abbancati sterili di tracciamento e residui di coltivazione di minerali come galena (solfuro di piombo), blenda o sfalerite (solfuro di zinco). L’analisi degli inquinanti è stata condotta mediante spettrometria ottica di emissione al plasma ICP-OES (Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometer). I principali inquinanti rilevati sono stati arsenico, cadmio, cobalto, cromo, rame, mercurio, nichel, piombo, antimonio, selenio, zinco in concentrazioni anche di dieci volte superiori ai limiti massimi di legge.

Parametri determinati sul campione tq	Data inizio analisi	Unità di misura	Valori trovati	Valori di riferimento
As	01/06/10	mg/kg	544,4	50
Cd	01/06/10	mg/kg	140,3	15
Pb	01/06/10	mg/kg	9263,0	1000
Zn	01/06/10	mg/kg	20216,5	1500

Tabella 1. Contenuto di inquinanti in uno dei campioni di terreno contaminato da metalli pesanti utilizzati per le prove di germinazione dei prati armati

“Piante erbacee a radicazione profonda per il contrasto dell’erosione ed il ripristino ambientale di siti contaminati”

2.1 Prove di germinazione in siti contaminati da metalli pesanti

Per effettuare i test di germinazione di alcune specie erbacee a radicazione profonda tipo prati armati sono stati utilizzati 7 campioni di terreno assimilabile per caratteristiche a 7 diverse discariche dello stesso distretto minerario. E’ stata testata la germinabilità di 9 specie diverse di piante erbacee a radicazione profonda messe a germinare su ognuno dei 7 campioni, utilizzando vasi del diametro di 16 cm, uno per ogni specie, per un totale di 63 vasi. I vasi sono stati sottoposti a cicli irrigui tali da simulare eventi piovosi. Ad un mese dalla semina sono stati evidenziati i seguenti risultati: delle 9 specie erbacee testate, almeno 4 sono state in grado di germinare in tutti i campioni di terreno, sviluppando contestualmente un apparato radicale su tutto il volume di terreno contenuto in ogni singolo vaso. La stessa sperimentazione ha messo in luce quali tra le specie erbacee testate avevano dimostrato di potersi adattare a condizioni critiche, e di poter essere utilizzate per il trattamento di siti contaminati da metalli pesanti. A questa prima fase di prove di germinazione, ha fatto seguito una seconda fase di sperimentazione sulla capacità di approfondimento radicale.



Figura 1. Risultati ad un mese dalla semina: prove di germinazione e sviluppo dell’apparato radicale all’interno dei vasi di prova

2.2 Prove di radicazione in siti contaminati da metalli pesanti

Tra i vasi delle specie erbacee a radicazione profonda che erano riuscite a germinare su suoli contaminati, ne sono stati prelevati 4, uno per ogni specie. Ciascun vaso è stato trapiantato in un tubo in Plexiglas trasparente di lunghezza pari a 2 m e con diametro di 20 cm contenente lo stesso tipo

“Piante erbacee a radicazione profonda per il contrasto dell’erosione ed il ripristino ambientale di siti contaminati”

di terreno contaminato che era presente nel vaso. I tubi di prova sono stati dotati di impianto di irrigazione a goccia. Grazie alla trasparenza del materiale di cui erano costituiti i tubi di prova, è stato possibile monitorare nel tempo l’accrescimento radicale delle 4 specie erbacee. A circa un anno dalla semina è stato evidenziato come l’accrescimento radicale sia stato intenso nella totalità delle specie testate e nel 50% dei casi sia stato superato un metro di profondità radicale, arrivando in una specie a superare 1,80 m di profondità radicale. Le prove di approfondimento radicale hanno quindi dimostrato che le essenze erbacee testate non solo sono in grado di germinare su suoli contaminati da metalli pesanti ma riescono a vegetarvi vigorosamente e ad accrescere in profondità l’apparato radicale.



Figura 2. Tubo di prova utilizzato per le prove di radicazione e particolare dell’apparato radicale dei prati armati

3. PROVE DI GERMINAZIONE SUI FANGHI ROSSI

Per testare la capacità delle piante erbacee a radicazione profonda di vegetare anche in terreni fortemente contaminati quali i cosiddetti “fanghi rossi”, sono stati effettuati dei test di germinazione su scarti di lavorazioni dei minerali nell’impianto elettrolitico di Monteponi in Sardegna. I fanghi rossi veri e propri sono abbancati in terrazzamenti e ricoprono una superficie di circa 7 ettari. Sono da decenni una fonte di

“Piante erbacee a radicazione profonda per il contrasto dell’erosione ed il ripristino ambientale di siti contaminati”

intenso inquinamento dovuto sia a processi di ruscellamento e infiltrazione delle acque meteoriche sia alla dispersione aerea delle polveri inquinanti dovuta alla deflazione eolica. In questa zona sono stati inoltre depositati materiali di varia provenienza quali residui di fonderia, di trattamento gravimetrico e di lisciviazione, di laveria magnetica, scorie mineralizzate Waeltz e residui di scavo. In quest’area sono stati prelevati dei campioni per mezzo di pozzetti e sondaggi. Su tutti i campioni prelevati sono stati determinati i parametri pH, Fe₂O₃, As, Cd, Cr_{tot}, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, S_{tot}, Sb, Se, SO₄, Zn, fluoruri e cianuri liberi.



Figura 3. Ubicazione dei sondaggi di fanghi rossi. Nel cerchio giallo i siti di prelievo dei campioni utilizzati per i test di germinazione

Sigla	Strato	Matrice	pH	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Sb	Zn
25O	0,00 - 0,20	Ripporto carbonatico	6,8	85	882	577	101,3	15.610	19	108.800
25O	0,20 - 2,00	Fanghi rossi	7,0	57	409	345	61,3	15.410	13	78.840
25P	0,00 - 2,00	Fanghi rossi	6,9	68	457	386	58,5	18.120	12	89.110
25S	0,00 - 0,20	Ripporto carbonatico	7,0	73	174	326	98,0	10.330	10	54.290
25S	0,20 - 2,00	Fanghi rossi	7,1	44	176	306	36,7	21.730	7	59.760

Tabella 2. Determinazioni analitiche (mg/kg) nei campioni di fanghi rossi utilizzati per effettuare le prove di germinazione

Tra i campioni di terreno analizzati ne sono stati selezionati 5 tra i più rappresentativi per l’intera area e maggiormente contaminati e sono stati

“Piante erbacee a radicazione profonda per il contrasto dell’erosione ed il ripristino ambientale di siti contaminati”

mescolati al fine di ottenere un terreno che avesse delle caratteristiche omogenee e medie, rappresentative dell’intera area. Il miscuglio di fanghi rossi così ottenuto è stato utilizzato per effettuare dei test qualitativi di germinazione per valutare la capacità delle singole specie di prati armati di germinare e accrescersi su tali substrati contaminati. Con il miscuglio di fanghi rossi sono stati riempiti 14 vasi di 10 cm di diametro e in ognuno è stata seminata una singola specie di prati armati. I vasi sono stati posti in serra riscaldata e illuminata (visto il periodo invernale non adatto alla germinazione naturale) e sottoposti a cicli irrigui in modo tale da simulare eventi piovosi. Ad un mese dalla semina, delle 14 specie erbacee testate, almeno 7 sono state in grado di germinare ed accrescersi, di cui 4 in modo più vigoroso, sviluppando contestualmente un apparato radicale su tutto il volume di terreno contenuto in ogni singolo vaso. La sperimentazione ha evidenziato quali tra le specie testate sono in grado di adattarsi a condizioni critiche e di poter quindi essere utilizzate per il trattamento antierosivo, la rinaturalizzazione ed il ripristino ambientale di siti contaminati assimilabili ai fanghi rossi.



Figura 4. Test di germinazione sui fanghi rossi prima della semina e dopo un mese dalla semina di prati armati

4. TEST DI GERMINAZIONE SU SUOLI INQUINATI DA IDROCARBURI

Per testare la capacità delle piante erbacee perenni a radicazione profonda tipo prati armati di vegetare anche in terreni fortemente contaminati da idrocarburi sono state effettuate delle prove di germinazione di tipo qualitativo su campioni prelevati nei pressi di un impianto petrolchimico in Sardegna. L’analisi chimica dei campioni di terreno analizzati ha rivelato la presenza di idrocarburi totali pari a 4.150 ppm, mentre i valori

“Piante erbacee a radicazione profonda per il contrasto dell’erosione ed il ripristino ambientale di siti contaminati”

limite di legge sono pari a 1.000 ppm. Con il terreno prelevato sono stati riempiti 12 vasi del diametro di 10 cm e in ogni vaso è stata seminata una singola specie di prati armati. I vasi sono stati posti in serra riscaldata e illuminata (visto il periodo invernale non adatto alla germinazione naturale) e sottoposti a cicli irrigui in modo tale da simulare eventi piovosi. Dopo 20 giorni dalla semina, delle 12 specie erbacee testate, almeno 4 sono state in grado di germinare ed accrescersi in modo vigoroso, sviluppando contestualmente un apparato radicale su tutto il volume di terreno contenuto in ogni singolo vaso. La sperimentazione ha evidenziato quali tra le specie erbacee a radicazione profonda testate possono essere utilizzate per il trattamento antierosivo ed il ripristino ambientale di siti contaminati da idrocarburi.



Figura 5. Test di germinazione su suoli inquinati da idrocarburi prima della semina e dopo 20 giorni dalla semina di prati armati

5. APPLICAZIONI DELLE PIANTE ERBACEE A RADICAZIONE PROFONDA: RINATURALIZZAZIONE, IMPERMEABILIZZAZIONE E CONTRASTO DELL’EROSIONE IN CAVE, MINIERE, DISCARICHE

Il campo di applicazione delle piante erbacee a radicazione profonda è molto vasto: rilevati e scarpate stradali e ferroviarie, arginature, cave, miniere, discariche, aree a mare, protezione spondale di fiumi, torrenti, canali artificiali. Nel caso di siti contaminati e vecchie discariche, in particolare:

- si ottiene in tempi brevi la copertura e la protezione dei versanti dall’erosione idrica grazie allo sviluppo di una fitta coltura vegetale;

“Piante erbacee a radicazione profonda per il contrasto dell’erosione ed il ripristino ambientale di siti contaminati”

- vengono fortemente attenuati i processi di lisciviazione e infiltrazione degli inquinanti negli strati sottostanti del terreno e in falda;
- si riduce la deflazione eolica che genera nubi di polveri inquinanti in quanto la coltre vegetale limita la mobilitazione delle polveri stesse;
- si riduce fortemente la produzione di percolato nelle discariche, grazie all’intensa capacità traspirativa di queste piante ed all’elevata riduzione delle infiltrazioni di acque meteoriche dovuta all’impermeabilizzazione del versante che si ottiene in quanto una frazione rilevante delle acque meteoriche ruscella al di sopra della coltre erbacea allettata;
- viene ridotto il trascinarsi a valle dei rifiuti affioranti, che vengono inglobati nella copertura vegetale;
- vengono immobilizzati i rifiuti all’interno della coltre vegetale che vengono quindi isolati dall’ambiente esterno migliorando così l’impatto visivo dell’area trattata.

5.1 Rinaturalizzazione di una cava dismessa a Catania

Un esempio di intervento di rinaturalizzazione di una cava dismessa mediante l’impiego di specie erbacee a radicazione profonda è quello realizzato in Sicilia, nei pressi di Catania, in un’area attualmente utilizzata per attività industriali di trasformazione dei rifiuti. A distanza di pochi mesi dall’intervento, le specie erbacee impiantate hanno completamente rinaturalizzato il versante, bloccando contestualmente l’erosione.



Figura 6. La cava dismessa nei pressi di Catania. Situazione prima e dopo l’intervento di rinaturalizzazione con i prati armati

“Piante erbacee a radicazione profonda per il contrasto dell’erosione ed il ripristino ambientale di siti contaminati”

5.2 Rinaturalizzazione della discarica di Casteldaccia (PA)

Le discariche a pendio sono accumuli di rifiuti scaricati abusivamente in vallate o a ridosso di pendii. I rifiuti di vario genere, natura e dimensioni, quali rifiuti speciali, scarti dell’edilizia, terreni di scavo o inquinati, RSU, etc., si sono accumulati negli anni con spessori anche di decine di metri.

Vista l’età che spesso hanno queste discariche abusive e considerando le vecchie pratiche di coltivazione, la produzione di biogas è quasi nulla, mentre è ancora attiva quella di percolato. Il ripristino ambientale di tali siti è tecnicamente complesso e costoso sia da un punto di vista economico, sia energetico. Non essendo possibile un ripristino completo, si propende per la messa in sicurezza d’emergenza che ha alcuni mirati obiettivi: impedire l’apporto di nuovo materiale, isolare i rifiuti dall’ambiente circostante, diminuire la produzione di percolato, mitigarne l’impatto visivo.

Le soluzioni più utilizzate per la messa in sicurezza di discariche a pendio finora sono state:

- **soluzione minerale** che prevede la copertura della discarica mediante una struttura multistrato con uno spessore complessivo di circa 3 m costituita, dal basso, verso l’alto da almeno 5 strati separati tra loro da geotessile non tessuto: strato di regolarizzazione spesso circa 20 cm per permettere la corretta messa in opera degli strati sovrastanti; strato drenante di materiale arido con spessore di almeno 0.5 m, strato di argilla con spessore di almeno 0.5 m; strato drenante di materiale arido con spessore di almeno 0.5 m; strato superficiale di terreno vegetale spesso almeno 1 m per favorire la rinaturalizzazione e la protezione dall’erosione;
- **Soluzione con geosintetici** che prevede la copertura della discarica mediante una struttura bistrato con uno spessore complessivo molto inferiore, di circa 1 m costituita, dal basso, verso l’alto da almeno 2 strati: strato di regolarizzazione generalmente spesso 20 cm per permettere la corretta messa in opera degli strati sovrastanti e strato superficiale di terreno vegetale spesso almeno 1 m per favorire la rinaturalizzazione e la protezione dall’erosione, con i due strati separati da un manto in HDPE spesso 2 mm incluso tra 2 strati di geocomposito drenante.

A queste si è affiancata negli ultimi anni la **soluzione vegetale** che

“Piante erbacee a radicazione profonda per il contrasto dell’erosione ed il ripristino ambientale di siti contaminati”

impiega esclusivamente piante erbacee perenni a radicazione profonda per realizzare sulla discarica una fitta coltre erbacea direttamente sul substrato tal quale, senza ulteriori trattamenti e senza apporre alcun altro strato di rivestimento, senza utilizzo di materiali di riporto, con tempi di intervento molto più brevi. Questo trattamento può fornire una soluzione rapida ed economica per la messa in sicurezza d’emergenza delle discariche a pendio. Tali interventi (cfr. D.M. 471/99) rientrano nella categoria delle tecniche “*in situ*”, senza cioè movimentazione o rimozione del suolo inquinato e dei rifiuti. L’impiego di piante erbacee perenni a radicazione profonda può fornire una soluzione concreta all’esigenza della messa in sicurezza in situazioni di emergenza, dove la rapidità dei tempi d’esecuzione associata ad una soluzione naturale ed economica, può essere considerata la più utile in condizioni di somma urgenza e in carenza di risorse finanziarie. Spesso infatti, non sono tecnicamente realizzabili le coperture impermeabili comunemente adottate (soluzione minerale o con geosintetici), vista l’impossibilità tecnica di posarle in opera a regola d’arte in condizioni di forte pendenza.

Un tipico esempio di messa in sicurezza d’emergenza mediante piante erbacee perenni a radicazione profonda è l’intervento eseguito in Sicilia presso la discarica di Casteldaccia (PA). A distanza di pochi mesi dall’intervento le specie erbacee seminate hanno coperto il versante, bloccando l’erosione idrica ed eolica, diminuendo l’infiltrazione e rinaturalizzando il versante nonostante le condizioni pedoclimatiche sfavorevoli all’attecchimento.



Figura 7. La discarica di Casteldaccia (PA). Particolare prima dell’intervento e dopo 2 anni dalla semina

“Piante erbacee a radicazione profonda per il contrasto dell’erosione ed il ripristino ambientale di siti contaminati”



Figura 8. Situazione della discarica di Casteldaccia (PA) prima dell’intervento e dopo 1 anno dalla semina

5.2.1 Analisi energetica e di inquinamento per la sistemazione della discarica a pendio di Casteldaccia (PA)

Il Politecnico di Milano, Facoltà di Ingegneria Industriale, ha recentemente condotto uno studio dal titolo *“Analisi del ciclo di vita delle principali tecnologie di protezione superficiale dei versanti”* volto a quantificare il consumo di risorse naturali, intese come materie prime, associato alla produzione di materiali e tecnologie per la protezione superficiale dei versanti.

Sono stati presi in esame vari casi di studio, tra cui uno riferito proprio alla discarica a pendio di Casteldaccia, di cui si riportano di seguito i risultati. La superficie di riferimento è stata di 10.000 m². Sono state confrontate le richieste energetiche (espresse in GJ¹) e l’inquinamento prodotto (CO₂, CO, NO_x, SO_x e pm), ipotizzando la sistemazione della discarica con le tre soluzioni seguenti:

- soluzione minerale;
- soluzione con geocomposito;
- soluzione con piante a radicazione profonda (indicate nello studio come piante R.P.). Tale soluzione è quella poi adottata per la sistemazione di tutta la discarica (oltre 20.000 m²).

¹ 1.000 GJ corrispondono all’energia contenuta in 24 t di petrolio.

“Piante erbacee a radicazione profonda per il contrasto dell’erosione ed il ripristino ambientale di siti contaminati”

Lo studio ha chiaramente messo in evidenza che sia i fabbisogni energetici, sia le emissioni di inquinanti (CO_2 , CO, NO_x e pm) relativi alla soluzione con piante a radicazione profonda siano nettamente inferiori a quelle di alcune tipiche tecniche di sistemazione della discariche (soluzione con geocomposito e soluzione minerale).

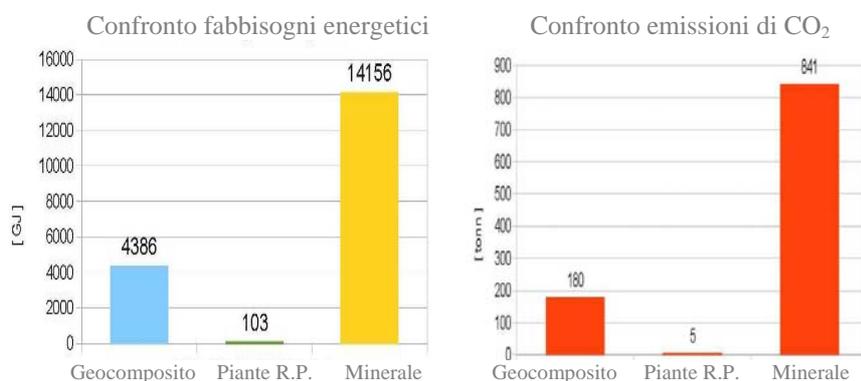


Tabella 3. Confronto tra fabbisogni energetici ed emissioni di CO_2 delle varie soluzioni

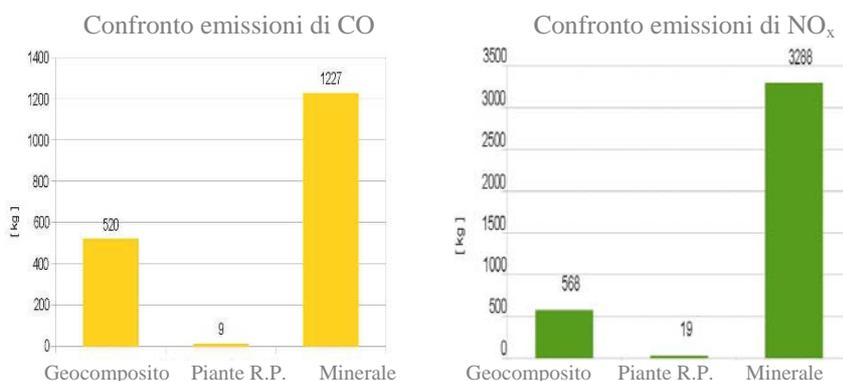


Tabella 4. Confronto tra emissioni di CO e di NO_x delle varie soluzioni

“Piante erbacee a radicazione profonda per il contrasto dell’erosione ed il ripristino ambientale di siti contaminati”

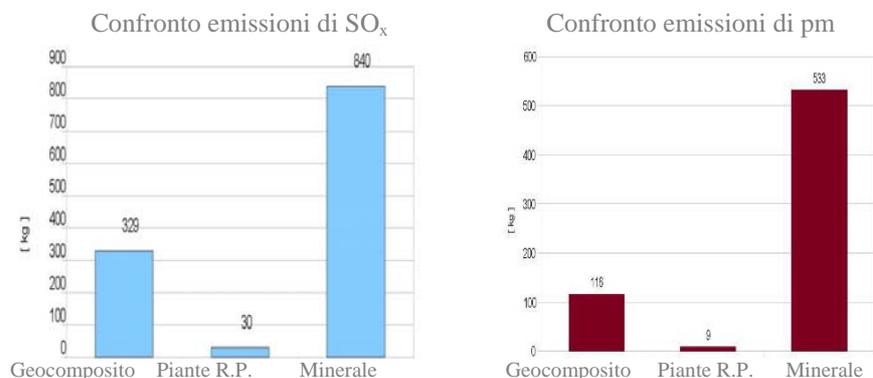


Tabella 5. Confronto tra emissioni di SO_x e pm delle varie soluzioni

BIBLIOGRAFIA

- Bischetti G.B., Bonfanti F., Greppi M., 2001. Misura della resistenza a trazione delle radici: apparato sperimentale e metodologia d’analisi. *Quaderni di Idronomia Montana*, 21/1, 349-360.
- Bischetti G.B., Chiaradia E. A., Epis T., 2009. Prove di trazione su radici di esemplari di piante Prati Armati®. *Rapporto conclusivo. Dipartimento di Ingegneria Agraria, Università degli Studi di Milano*.
- Bonfanti F., Bischetti G., 2001. Resistenza a trazione delle radici e modello di interazione terreno – radici. *Istituto di Idraulica Agraria, Milano – Rapporto interno*.
- Cecconi M., Pane V., Napoli P., Zarotti C., 2013. Mechanical and hydraulic effects of deep rootsplanting on slope stability. *Coupled Phenomena in Environmental Geotechnics (CEG) - from theoretical and experimental research to practical applications" Torino, luglio 2013, Atti*
- Celi L., La sostanza organica del suolo. *Environment, Ambiente e Territorio in Valle d’Aosta*.
- Napoli P., Cecconi M., Pane V., Calabresi C., 2014. Interazione terreno-vegetazione nei fenomeni superficiali di instabilità dei versanti. *Culture Territori Linguaggi – 5, 201, Università degli Studi di Perugia*
- Omodeo Vanone A., Summa D., Colombo E., Rocco M. V., 2012. “Analisi del ciclo di vita delle principali tecnologie di protezione superficiale dei versanti”. *Tesi di Laurea, Politecnico di Milano, Facoltà di Ingegneria*

“Piante erbacee a radicazione profonda per il contrasto dell’erosione ed il ripristino ambientale di siti contaminati”

Industriale, Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Energetica

Prati Armati srl, *archivio fotografico e banca dati.*

Rassam D.W., Cook F., 2002. Predicting the shear strength envelope of unsaturated soils. *Geotechnical Testing Journal, Technical Note*, 25: 215-220.

Rettori A., Cecconi M., Pane V., Zarotti C. 2010. Stabilizzazione superficiale di versanti con la tecnologia Prati Armati®: implementazione di un modello di calcolo per la valutazione del coefficiente di sicurezza. *Accademia Nazionale dei Lincei – X Giornata Mondiale dell’Acqua, Convegno: Frane e Dissesto Idrogeologico, marzo 2010, Atti.*

Richards, L.A., 1931. Capillary conduction of liquids through porous medium. *Physics, Vol. 1.*

Waldron L.J., 1977. The shear stress resistance of rootpermeated homogeneous and stratified soil, «*Soil Sci. Soc. Am. J.*», n. 41, pp. 843-849.

W.H. Wishmeier, D.D. Smith, 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountain. *Agr. Handbook*, n. 282, U.S. Dept. of Agr.

Zarotti C., 2014. L’interazione pendio-atmosfera: piante erbacee a radicazione profonda per la protezione dei versanti in caso di fenomeni meteorologici intensi. *XXV Convegno Nazionale di Geotecnica: la geotecnica nella difesa del territorio e delle infrastrutture dalle calamità naturali, Baveno (Lago Maggiore), giugno 2014, Atti*