

DAUERGRASPFLANZEN MIT TIEFWACHSENDEN WURZELN WELCHE DEN BODEN FESTIGEN UND ZUM KYOTO PROTOKOLL¹ BEITRAGEN

Die innovative **PRATI ARMATI®** Technologie, eine ökologische Lösung für die Befestigung und den Schutz des Bodens, des Kampfes gegen die Erosion und Wüstenausdehnung. Diese Technologie, die der Renaturalisierung von verseuchten Standorten dienen kann, nutzt eine ausgewogene Mischung von zum Großteil autochthonen Dauergrasarten. Diese Dauergrasarten befestigen den Boden bis in die Tiefe und bilden eine dichte Vegetationsdecke, welche die Infiltration der meteorischen Gewässer, Hauptursache von Erdbeben und Bodenerosion, bedeutend vermindert.

Diese innovative Technologie einer pflanzlichen Befestigung des Erdbodens hat folgende Eigenschaften:

Botanische und agronomische Eigenschaften

- Dauergrasarten
- rustikal
- natürlich (nicht genetisch modifiziert)
- zum Großteil autochthon
- nicht befallend
- Futterpflanzen

Eigenschaften der Wurzelanlage

- schneller Wachstum der Wurzelanlage (bis zu 2 Metern in aufgelösten Bodenverhältnissen in einem Zeitraum von 18 Monaten – siehe Foto)
- tiefer Wurzelwachstum (einige Meter tief in aufgelösten Bodenverhältnissen)
- hohe Wurzelkonzentration
- feiner und gleichmäßiger Wurzelwuchs (ein Durchmesser zwischen 0,1 und 3 mm)
- durchschnittliche Widerstandskraft der Wurzeln bis zu 205 MPa (20,5 kg/mm²)



Physiologische Eigenschaften

- Anpassungsfähigkeit an jede Art von Boden (von den feinen, schlammigen, lehmigen bis hin zu den gröberen, sandigen Erdböden; sie wachsen aber auch auf schwachen und angegriffenen Felsen und Steinen)
- Anpassungsfähigkeit an extreme pedoklimatische Bedingungen (pH: 4 / 11; Temperaturen: –45°C / +60°C)
- außerordentliche Widerstandskraft gegenüber Dürre /Trockenheit, salzhaltigen Böden, Überschwemmung und gegenüber Feuer, mit einer hohen Neuentfaltungskapazität selbst nach Bränden

¹ Die PRATI ARMATI® Pflanzen saugen im Gegensatz zu anderen, besser verbreiteten Pflanzen, einen um die 30% höheren Anteil an Kohlendioxid (CO₂) aus der Atmosphäre. Damit tragen sie zu den vom Kyoto Protokoll festgelegten Forderungen bei.

- Pionierpflanzen, die in der Lage sind auch auf Böden, die arm an organischen Substanzen und Nährstoffen oder die verseucht sind, zu entfalten und somit die Renaturalisierung zu fördern
- hohe photosynthetische Leistungsfähigkeit (**Pflanze C4**), welche dazu beiträgt mehr CO₂ aus der Atmosphäre zu entziehen

Hydrologische Eigenschaften:

- tiefe Evapotranspiration
- Bodenabdichtung des Hanges
- Schutz vor der Bildung von Sprüngen, Rissen und Felsspalten

Synergien und Kombinierbarkeit mit zivilen Bauarten und naturalistischem Ingenieurwesen und der Milderung deren Wirkung auf die Umwelt und die Landschaft

- Zementwerke
- Stahlnetze zur Festigung von Felsbrocken
- Weidenkörbe, Klippen
- Geonetze, Geomatten, Biomatten und Geozellen
- Palisaden und Pfahlzäune aus Holz
- Dränierungen und Wachtgraben

Es ist die Gesamtheit der hier genannten einzigartigen Eigenschaften, die diese Technologie so innovativ macht.

Vorteile in den Bereichen: Technik; Durchführung und Kosten

Durch diese pflanzliche Befestigungstechnologie des Bodens mit Anwendung von Dauergräsern mit tiefwachsenden Wurzeln, kann man Erosionsprobleme beseitigen. In vielen Fällen kann man dank dieser Technologie folgende Materialien, Verarbeitungen und Kosten verhindern (und dies sehr zum Vorteil für Auftraggeber und Unternehmen):

- Aufschüttungsmaterial (ihre Wurzeln fassen auch auf vollkommen sterilen Böden, wie zum Beispiel auf den grauen Tonerden);
- Biomatten, Geonetze, Geomatten und Geozellen;
- Nacharbeit von Hängen (welche uns in jedem Fall in einem groben und rauen Zustand überlassen werden sollen);
- Traditionelle, intensive oder gesteigerte Hydrosaat, usw. (diese löst das Erosionsproblem nicht, selbst wenn sie mit anderen Materialien kombiniert wird)

Sowohl der **Zeitraum der Bearbeitung**, als auch die damit **verbundenen Risiken (siehe Gesetz 626)** und zu einem späteren Zeitpunkt entstehende Instandhaltungskosten **werden drastisch reduziert**.

Vorteile für die Umwelt und die Erscheinung

Es handelt sich um eine ganz natürliche Technologie, welche es ermöglicht in sehr kurzen Zeiträumen eine vollkommene Renaturalisierung der Anlagen zu erhalten, ohne dass dabei die Umwelt oder die Umgebung zu Lasten kommen, wie es zum Beispiel beim Gebrauch von Plastiknetzen, Geonetzen, Geogittern und Biomatten usw. geschehen kann. In der Mischung sind vorwiegend C4 Pflanzen enthalten, welche sich besonders dazu eignen der Umwelt das CO₂ zu entziehen (sie verarbeiten über 30% mehr Kohlendioxyd als andere mehr verbreitete Pflanzen)

und welche **somit dem Kyoto Protokoll zuarbeiten**, insbesondere wenn es sich um Straßenbaueingriffe und ökologisch kompatible Infrastrukturen handelt.



Provinz Terni: SP 111 in Orvieto (TR).

Mai 2006: war die Böschung wieder vollkommen verankert und begrünt.

Die im Dezember 2004 abgerutschte Böschung.

Die Anwendungen

Die Technologie der pflanzlichen Befestigung findet folgende Anwendungen:

- An Straßen, Autobahnen und Zuglinien liegenden Erhebungen und Böschungen ;
- Eindämmungen von Wildbächen, Flüssen, Kanälen, Seen und Meeresböschungen ;
- Befestigung von Hängen, die Erdbeben ausgesetzt sind;
- Wiederherstellung und Renaturalisierung von Brüchen/ Gruben, Minen, Deponien und verseuchten Anlagen

In der Folge Fotografien von einer Auswahl an Anwendungen.



Großer Erdbeben in Ancona Straßenböschung



Straßenböschung Berggemeinschaft Santerno



Eisenbahnböschung Italferr – Aulla (MS)



Flussufer Noncello Staatliches Bauamt di Pordenone



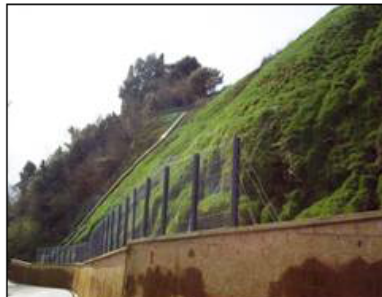
Meeresböschung Hafen Genua



Pavia Böschung eines Bewässerungskanals



Sidief Böschungen (Immobilie Banca d'Italia) Como



Straßenböschung -Provincia di Terni



Caseificio Mauri – Lecco



Befestigung und Renaturalisierung einer Deponie in Ozieri (SS) Befestigung und Renaturalisierung eines ehemaligen Tonbruches in Sciacca (AG)
Widerherstellung einer von Kohlenwasserstoff verseuchten Anlage in der Provinz von La Spezia



Die Anlagentechnologie

Die Anlagentechnologie sieht eine sehr einfache und schnelle Bautechnologie vor. Sie besteht darin die zu befestigende Oberfläche mit einer Mischung aus Wasser, besonderen Düngemitteln, natürlichen Bindemitteln, Erdreichergänzer und einer ausgewogenen Mischung von technischen Samen, die die obengenannten Eigenschaften mit sich bringen, zu bestreuen.

Es handelt sich um eine besondere Hydrosaattechnik, welche durch die Anwendung von spezifischen Hydrosaatmaschinen (Foto links). Es handelt sich um Zisternen von 1.000 bis zu 10.000 Litern, welche auf kleine Laster, oder 4-Rad-Antriebsfahrzeugen oder selbst Raupenschlepper aufgebaut werden. Diese Mittel ermöglichen es hohe Gefälle und schwer zu erreichbare Anlagen zu bearbeiten; man nutzt sogar Schläuche bis zu 300 m lang, um besonders entlegene oder schwer zu erreichbare Anlagen zu bearbeiten. (Mittleres Foto und Foto rechts).



Castelviscardo (TR)



Trento



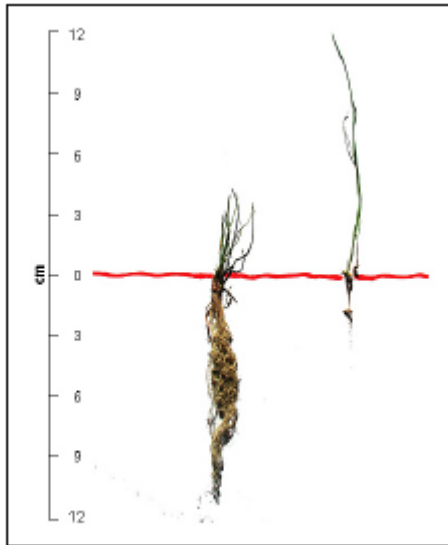
Trento

Handelt es sich um sehr weitläufige Anlagen oder um Gegenden, die nicht erreichbar sind, so kann man die Hydrosaart auch per Helikopter vornehmen.



Es ist sehr wichtig die Befestigungstechnologie nicht mit geläufigen Hydrosaatsystemen zu verwechseln, denn letztere benutzen Mischungen aus Gräsern und Hülsenfrüchtlern, die obengenannte außerordentliche Eigenschaften nicht haben. Vor allem fehlen diesen traditionellen Mischungen folgende Eigenschaften:

- Die Tiefe der Wurzelanlage (einige Meter in aufgelösten Bodenverhältnissen, wo herkömmliche Gräser nur wenig Zentimeter tiefe Wurzeln haben);
- durchschnittliche Widerstandskraft der Wurzeln bis zu 205 MPa gegen 10-30 MPa der herkömmlichen Gräserarten);
- schneller Wachstum der Wurzelanlage (bis zu 10-mal höher als bei den herkömmlichen Grasarten).



Vergleich zwischen einer Pflanze, die in einer solchen Befestigungsanlage genutzt wird (links, man sieht die schon tiefwachsende und gesammelte Wurzel) und eine herkömmliche Gräserart (rechts, mit einer unbedeutenden Wurzel). Beide Pflanzen sind 3 Wochen alt.

In der Folge erläutern wir die wichtigsten technischen Aspekte, die diese innovative Technologie zur Befestigung der Böden charakterisieren.

PRATI ARMATI® und das Kyoto Protokoll

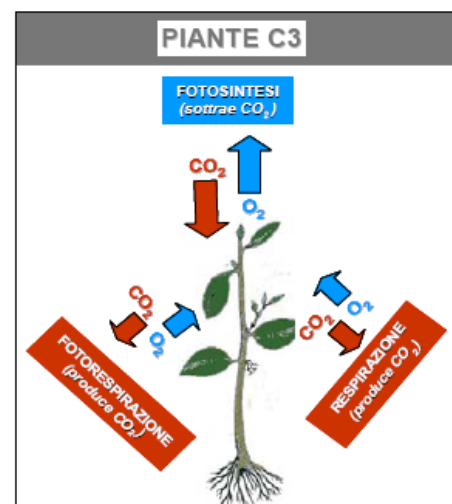
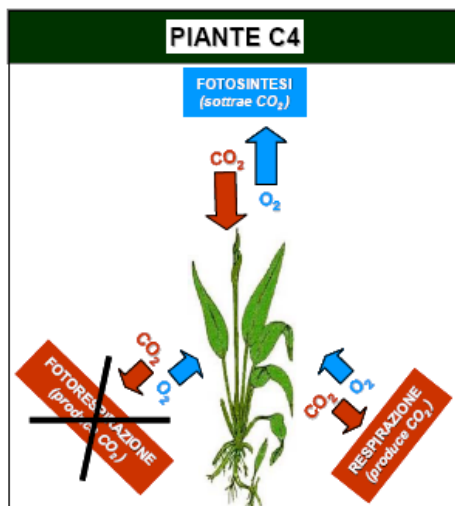
Die hier beschriebene **PRATI ARMATI®** Technologie nutzt vorwiegend **C4 Gräser** welche, im Gegensatz zu herkömmlichen C3 Pflanzen (mehr als 90% der auf der Erde wachsenden Gräserarten gehören zu den C3 Gräsern), eine modifizierte Photosynthese aufweisen können. In der Photosynthese der C3 Pflanzen wird das Kohlendioxyd in eine Zusammensetzung aus 3 Karbonium - Atomen aufgenommen.

Diese Pflanzen weisen sowohl die Respiration als auch die Photorespiration auf, und diese Eigenschaft allein vermindert die Photosynthese schon um 50%. Die Photosynthese wird durch Temperatur und hohe Lichtstärke deaktiviert.

Die C4 Pflanzen weisen eine modifizierte Photosynthese auf, denn hier wird das CO₂ in eine Zusammensetzung aus 4 Karbonium - Atomen aufgenommen.

Die C4 PRATI ARMATI® Pflanzen sind viel leistungsfähiger als die traditionellen C3 Pflanzen dank folgender Eigenschaften:

- Abwesenheit von Photorespiration, somit stärkere Leistungsfähigkeit gegenüber C3 Pflanzen
- Verminderter Wasserverlust; hohe Anpassungsfähigkeit an trockene Klimaverhältnisse
- Hohe Toleranz gegenüber salzhaltigen Erdböden
- Schneller Wuchs, selbst in prohibitiven Verhältnissen für C3 Pflanzen
- Temperaturen und hohe Lichtstärke deaktivieren die Photosynthese nicht



Die PRATI ARMATI® C4 Pflanzen absorbieren also über 30% mehr Kohlendioxyd (CO₂) aus der Atmosphäre als

herkömmliche Pflanzen und somit erfüllen sie die vom Kyoto Protokoll festgelegten Forderungen.

Der Traktionswiderstand der Wurzeln und die Steigerung des Sicherheitsfaktors (Fs)

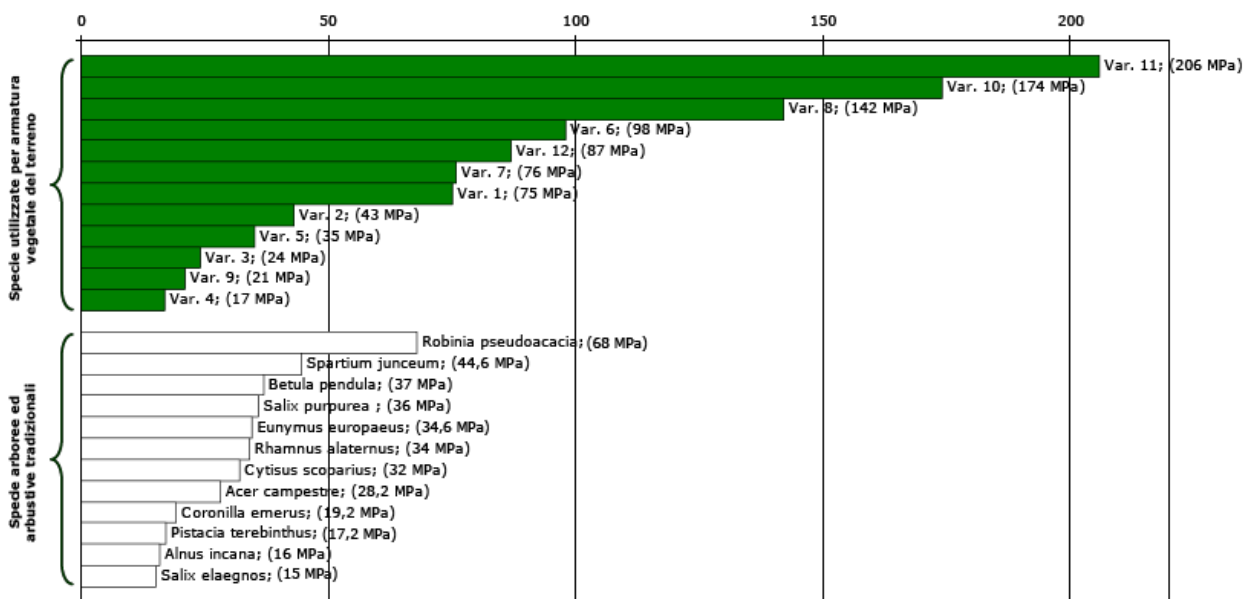
Hauptziel der Befestigung des Bodens durch Gräser, ist es den Schnittwiderstand der Hänge, die Bodenerosion und Erdrutschen ausgesetzt sind zu erhöhen und somit den Sicherheitsfaktor des Bodens (Fs) zu steigern. Insbesondere soll das Verhältnis zwischen jenen Faktoren, die den Hang befestigen (Kohäsion, Bestandteil Normalgewicht der Rutschoberfläche, Widerstandskraft der Wurzeln) und all jenen Faktoren, die zu der Unbeständigkeit des Bodens beitragen können (Saturierung, Tangentengewicht auf der erodierenden Fläche, usw.) erhöht werden. Desto höher der Fs, desto beständiger wird der Boden.

Die Stärkungsfähigkeit der besonderen Gräserarten die diese innovative Technologie nutzt, besteht darin den Boden zu bändigen und ihm den Traktionswiderstand der Wurzeln zu übertragen. Die vorhandenen zahlreichen Wurzeln haben einen feinen Durchmesser (zwischen 0,1 und zirka 3 mm), einen gleichmäßigen Durchschnitt während ihrer gesamten Entwicklung und eine so hohe mechanische Widerstandskraft, dass sie es ermöglicht eine tiefe, einzigartige, Befestigung des Bodens zu gewährleisten.

Die Wirksamkeit der unterschiedlichen Arten den FS Faktor zu erhöhen hängt vor allem mit der mechanischen Widerstandskraft der Wurzeln und der Wurzelanlage zusammen.

Die von dem Institut für Landwirtschaftliche Hydraulik der Universität Mailand (Istituto di Idraulica Agraria dell'Università degli Studi di Milano) durchgeführten Widerstandstests haben den hohen Wert der Widerstandskraft(12) der Mischung für diese Art von Anlage vorhandenen Wurzeln untersucht.

Die Einmaligkeit der durchschnittlichen Widerstandswerte (grüner Strich) ist offensichtlich, vor allem, wenn man sie mit den Werten von einigen Busch und Baumarten vergleicht (weiße Striche). Die von der Universität Mailand durchgeführten Untersuchungen erbrachten, dass die für die pflanzliche Befestigung genutzten Gräserarten außerordentliche Widerstandswerte aufweisen, Werte die bis über 205 MPa gemessen wurden (mit Spitzenwerten von 468 MPa, welche den Werten von einem Stahl von mittlerer Qualität entsprechen).



Widerstandswerte einiger Grasarten, die für die pflanzliche Befestigung des Bodens genutzt werden, und Werte einiger Strauch und Baumarten (Bonfanti 2004)

Das Software entwickelt für die Berechnung des Zuwachses des Schnittwiderstandes und des Sicherheitsfaktors der mit Wurzeln befestigten Böden

Die Beobachtung und Quantifizierung aller physio-mechanischen Aspekte, die diese Arten charakterisieren, haben es ermöglicht ein Software zu entwickeln, welches, auf Grund der eingegebenen Parameter (wie z.B. Art des Bodens, Hang, Kohäsion, Gewicht des Volumens des Bodens, Tiefe der Verwurzelung usw.) den Schnittwiderstand des befestigten Bodens errechnen kann: sowohl Sicherheitsfaktor als auch Schnittwiderstand eines nicht definierten Hanges können somit kalkuliert werden.

Die lineare Verteilung des Schnittwiderstandes gemeinsam mit der Tiefe des Wurzelwuchses, wurde von der ursprünglichen Formulierung von Waldron, 1977, abgeleitet. Dieselbe wurde in der Folge von Bonfanti und Bischetti im Jahr 2001 modifiziert:

$$\Delta S_r = 1.15 \left(\int_{\phi_1}^{\phi_2} (T_r(\phi) \cdot F_d(\phi)) d(\phi) \right) \frac{A_R}{A} \begin{matrix} \Delta S_r \\ T_r(\phi) \\ F_d(\phi) \\ A_R / A \end{matrix}$$

ΔS_r Steigerung des Schnittwiderstands des Bodens durch die Wurzeln

$T_r(\phi)$ Funktion des Bruchwiderstandes der Zugkraft der Wurzeln

$F_d(\phi)$ Funktion der Verteilung des Wurzel diameters

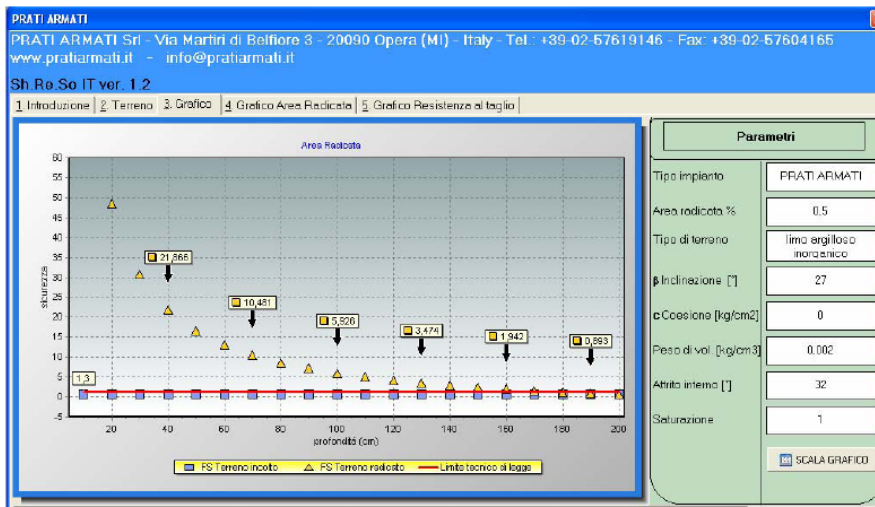
A_R / A Verhältnis der verwurzelten Fläche mit der Gesamtfläche

Zahlreichen Wurzelstränge von den in der Mischung genutzten Gräsern (12 davon sind untersucht worden) sind auf Traktionswiderstand getestet worden. Sowohl die Diameter diese Gräser als auch Länge der Wurzelstränge sind gemessen worden, bis man die erfordernten Parameter der obengenannten Rechnung erhalten hat.

Die Integration dieser Funktion im Software mit jener, die das Verhalten der verwurzelten Fläche in der Tiefe beschreibt (linearer Fall wurde aus Vorbehalt vorausgesetzt) ermöglicht es die Gesamtheit des verwurzelten Volumens zu charakterisieren.

Dieses somit entwickelte Instrument ermöglicht es also die Ergebnisse dieser innovativen Technologie der natürlichen Befestigung des Bodens in Bezug auf Steigerung des Schnittwiderstandes und des Sicherheitsfaktors (Fs) zu berechnen. Die Ergebnisse der Berechnung mit der Software können als Eingaben für die traditionellen und komplexeren geotechnischen Stabilitätsmodelle angewandt werden.

Die in die Software eingegebenen Parameter, welche einen mit Gräsern befestigten Boden (gelbe Kurve) mit einem unbehandelten Boden derselben Art (blaue Linie) vergleichen, ergeben folgende Graphik. Die Graphik zeigt klar, wie der Beitrag der Wurzeln den Sicherheitsfaktor bedeutend



Steigerung des Sicherheitsfaktors des mit Wurzeln befestigten Bodens (gelbe Kurve)

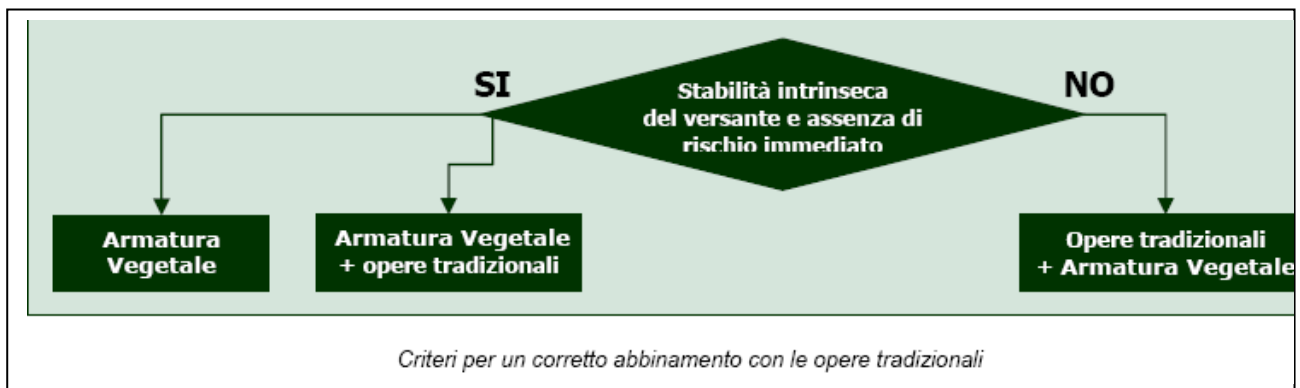
Kombination mit traditionellen Befestigungswerken

Eine der interessantesten Eigenschaften der pflanzlichen Befestigung des Bodens mit **PRATI ARMATI®** ist, dass diese Technologie die traditionellen Befestigungswerke (zivile Bauten oder Werke naturalistischen Ingenieurwesens) ergänzt, vervollständigt und verbessert und in Synergie mit ihnen arbeitet:

- sie vervollständigt deren Schutzfunktionen gegenüber des Bodens, indem sie gleichmäßig auf der gesamten zu befestigenden Fläche wirkt;
- sie schützt die traditionellen Zivilbauten;
- sie vermindert deren Auswirkung auf die Umwelt, indem sie der Landschaft ein natürliches, wieder begrüntes Aussehen verleiht.

In Falle von oberflächlicher Erosion von der stabile Hänge angegriffen sind und in Abwesenheit von unmittelbaren Risiken, kann die natürliche Befestigung des Bodens traditionelle Befestigungswerke im Kampf gegen oberflächliche Erosion mit klaren ökonomischen und bautechnischen (begrenzte Zeiten und Kosten) Vorteilen ersetzen und zusätzlich einen positiven Einfluss, dank der Renaturalisierung dieser innovativen Technologie, auf die Umwelt haben.

Stabilität des Hanges und Abwesenheit von einem unmittelbaren Risiko



Kriterien zur korrekten Kombination mit traditionellen Werken

Pflanzliche Befestigung

Traditionelle Bauten + Pflanzliche Befestigung

Pflanzliche Befestigung

In anderen Fällen dagegen ist es notwendig diese innovative Technologie mit den traditionellen Zivilbauten oder mit Eingriffen des naturalistischen Ingenieurwesens synergisch zu kombinieren. Dies wird in den folgenden Beispielen illustriert: hier wurde die Kombination mit befestigten Böden, Weidenkörbe und Holzpalisaden verwirklicht.



Florinas (SS)



Castelviscardo (TR)



Lumezzane (BS)

DIE PRATI ARMATI® TECHNOLOGIE: *Hydrologische Eigenschaften*

Am 5 Dezember 2006 während einer Konferenz über diese innovativen Technologien in Orvieto, mit der Unterstützung della Provinz Terni organisiert, hat Professor Giovanni Calabresi² in seinem Bericht folgende Aussage gemacht:

“... Die Vegetation ist einer der Faktoren, welcher das Gleichgewicht eines Hanges und dessen Anfälligkeit zum Erdsturz beeinflusst. Die Wirkungen der Vegetation auf die Gleichgewichtsbedingungen der Hänge sind:

- *Widerstandskraft dank der Wurzelanlagen*
- *Zunahme der Evaporation des Niederschlages*
- *Verminderung des Sättigungsgrades des Bodens*
- *Verminderung der interstitiellen Belastung*
- *Verminderung der Infiltration*

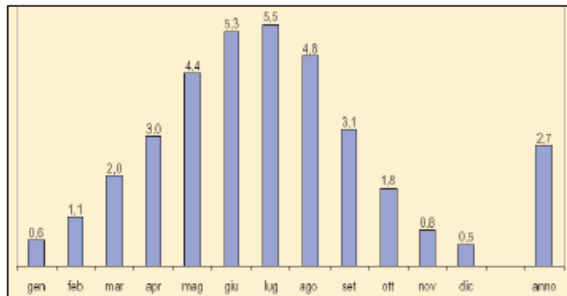
...”

Evapotranspiration

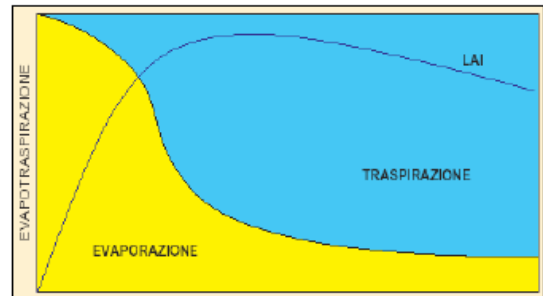
Eine der interessantesten Eigenschaften dieser Art von Anwendung ist die Evapotranspiration der Pflanzen (kombinierter Effekt der Evaporation des Bodens und der Transpiration der Blätter), welche den Wasseranteil des Bodens verringert und damit die Sättigung desselben verzögert und vermindert. Dieser Prozess begrenzt den Druck in den Poren des Bodens, damit wird der Verlust an Kohäsion der feinen Böden (schlammige und tonhaltige Böden) vermieden.

² Professor für Geotechnologie and der Fakultät für Ingenieurwesen der Universität Rom “La Sapienza” – siehe in der Anlage Programm und Inhalt der Konferenz

Im Standardfall einer Grasfläche bewachsen mit traditionellen 12 cm hohen Gräsern ist die Evapotranspiration in der Sommerzeit in zirka 5mm Wasser täglich (d.h. 5l/qm am Tag) zu quantifizieren (siehe Graphik a).



a)



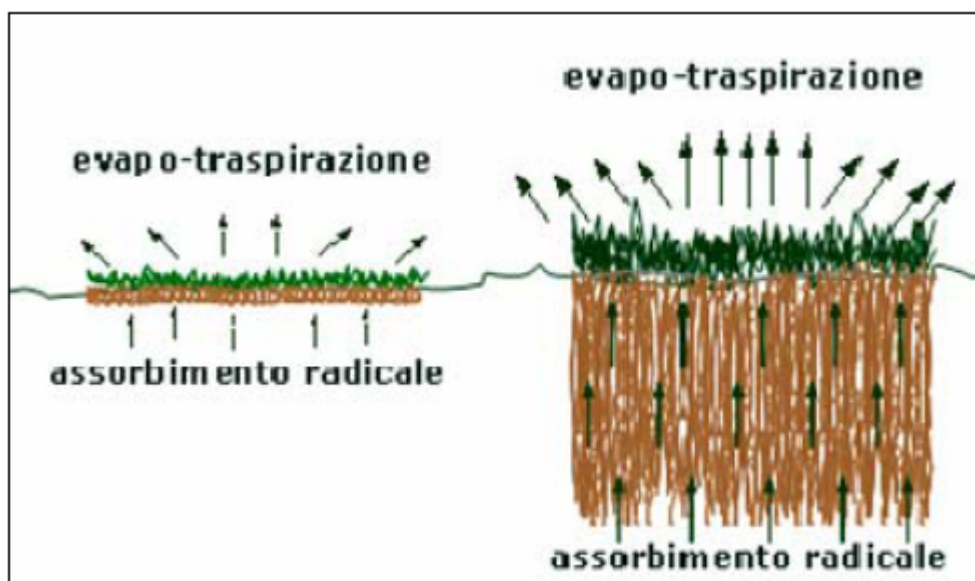
b)

Evapotranspiration eines traditionellen Rasens (Quelle: Ermes Agricoltura)

Verhältnis zwischen Evaporation und Transpiration in Bezug auf den Blätterindex (LAI) des Anbaus (Quelle: Ermes Agricoltura)

Aus derselben Quelle stammt die Graphik b), welche dagegen das Verhältnis zwischen der Evaporation des Boden und der Transpiration der Blätter im Laufe der Zeit, im Verhältnis zu dem Index der Blättermasse, (qm Blatt/ qm Boden) analysiert. Besonders bemerkenswert ist die Tatsache, dass die Transpiration der Blätter bei einem ausgewachsenen Rasen die Oberhand hat, und dies entspricht der Wirkung einer dichten pflanzlichen Bewachsung von PRATI ARMATI®. Dort wo die Vegetation abwesend oder mangelnd ist, wird der Boden in der Trockenzeit von einem System von Spalten/ Rissen befallen, welche, vor allem auf flachen Flächen eine Steigerung der Wasserinfiltrationen mit sich bringt: Auf den Hängen kann dieses Phänomen auch eine Zunahme der Erosion mit Ablösungen und mehr oder weniger erheblichen Nachgeben von Erdanteilen führen.

Im Falle eines traditionellen Rasens (Beispiel links) kann dieser nicht tiefer als 30 – 40 cm das Grundwasser aus dem Boden entnehmen, denn dies ist die maximale Tiefe die dessen Wurzelapparat erreichen kann. Im Falle einer Anlage mit PRATI ARMATI® dagegen (man siehe das rechte Beispiel) ist die Evapotranspiration viel bedeutender, sowohl dank der Blätteranlage welche viel ausgeprägter ist (je nach Art können die Blätter bis zu 50 – 150 cm hoch wachsen) als auch dank der bedeutenderen Tiefe und Dichte der Wurzelanlage, welche das Grundwasser entlang der gesamten Wurzel auffassen kann und das bis zu einigen Metern tief.

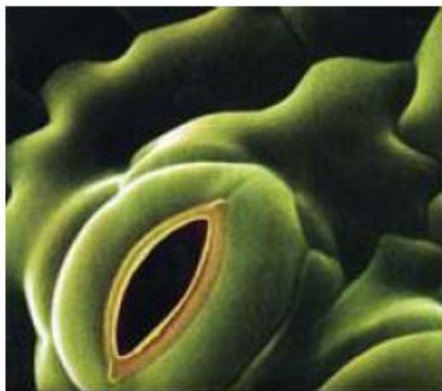


Die Evapotranspiration eines traditionellen Rasens (links) und einer Anlage von PRATI ARMATI (rechts)

Wenn man von der Transpiration einer traditionellen Rasenart ausgeht (wobei die Transpiration einer Grasart mit tiefwachsender Wurzel bis zu 10 mal so intensiv sein kann), so kann diese bis zu zirka 5 l/qm a Tag betragen, d.h. 10 Tonnen Wasser am Tag pro Hektar in der Sommerzeit.

Die Transpiration der Pflanzen ist natürlich je aktiver, desto höher der Wasseranteil in dem Boden ist. Herrscht jedoch Wasserknappheit können die Pflanzen ihr Stoma schließen (man beachte den Ausschnitt aus dem elektronischen Mikroskop). Dadurch können sie auch im Falle einer Dürre überleben, ohne deshalb den Boden zu sehr seziert zu haben. Dies ist besonders anwendbar im Falle von den hier genannten Arten, welche, dank ihrer besonders entwickelten Wurzelanlage, das Wasser auch in bedeutender Tiefe sammeln können.

Das folgende Foto, welches sich auf eine mit dieser Technologie durchgeführten Anlage im Zentrum Italiens, veranschaulicht dieses Verhalten klar: dieselben Pflanzen sind zum Teil in einer vegetativen Stauung auf Grund des Wassermangels (gelbe Pflanzen). Auf derselben Anlage, dort wo lokale Wasservorkommen aufzuweisen sind, führen sie die Evapotranspiration durch und befinden sich somit in einem Vegetationswachstum (siehe die grüneren Anteile). Nach der vegetativen Stagnation und mit dem Übereinkommen des Niederschlages, erholen sich Pflanzenarten wie PRATI ARMATI® sehr schnell und werde auch zügig wieder grün. Die geschieht nicht mit der traditionellen Hydrosaat welche, auf Grund der geringeren Wurzelanlage, langen Dürrezeiten nicht gewachsen ist. Dies geschieht oft auch für Baume und Büsche die kurz nach dem Aufbau der Anlage zur Renaturalisierung angebaut werden.



Pflanzliches Stoma



Castelviscardo (TR) Juni 2006

Oberflächliches Gleiten und Verringerung der Infiltration

Eine weitere maßgebende Eigenschaft der **PRATI ARMATI®**, vor allen Dingen was den Wasserhaushalt betrifft, besteht darin, dass die Dichte der Blätter das Regenwasser, selbst in starker Intensität, auffangen kann und damit dessen kinetische Energie verringert und somit die oberflächliche Auswaschung vermeiden kann. Der Hang ist folglich vor Erosion geschützt.

Wie man aus den folgenden Bildern entnehmen kann, wird im Falle von starkem Niederschlag der Luftanteil der Pflanzen umgelegt und fördert damit das Fließen des Wassers auf der Oberfläche und somit den Ablauf der meteoritischen Gewässer, selbst bei heftigen Wasserströmen.



Orvieto (TR)



Appiano (BZ)

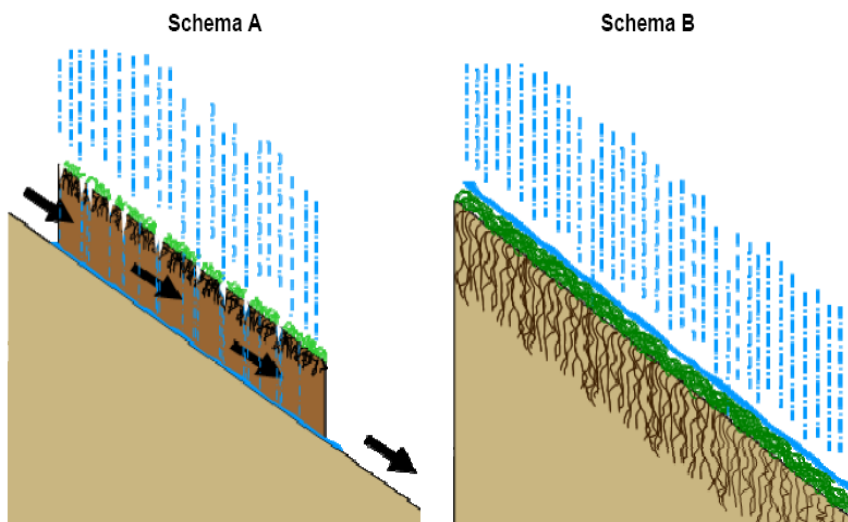


Cittadella (PD)



Cittadella (PD)

Die Effekte der Stabilisierung des Hanges sind also mehrere: eine schnelle und drastische Reduzierung der oberflächlichen Erosion und eine klare Verminderung der meteoritischen Wasserinfiltration. Folgende Schemata veranschaulichen diese Stabilisierungseffekte:



Schema A Schema B

Traditionelle Hydrosaat mit Aufschüttung Pflanzliche Befestigung des Bodens wie er ist.

Im **Schema A** wird folgende Situation beschrieben:

- Die Arten, welche in der traditionellen Hydrosaat angewandt werden, haben keine tiefwachsenden Wurzeln und ihr Traktionswiderstand ist gering. Sie können keinen bedeutenden Zuwachs des Schnittwiderstandes und des Sicherheitsfaktors des Bodens garantieren. Dazu kommt, dass durch die begrenzte Tiefe die sommerliche Austrocknung den pflanzlichen Schutz des Hanges drastisch reduziert und somit die Infiltration fördert.
- Im Falle von starkem Niederschlag hat man also eine Erosion der Oberfläche, eine bedeutende Infiltration, einen erhöhten Sättigungsgrad des Bodens, eine Steigerung des interstitiellen Druckes und die Bildung von Gleitplatten aus unterschiedlichen und in jedem Fall nicht homogenen Materialien. Insbesondere das im Schema abgebildete Beispiel, zeigt einen lehmigen Substrat mit begrenzter Permeabilität und, wie es oft der Fall in traditionellen Hängen ist, eine oberflächliche Schicht, welche locker und verändert (z.B. Aufschüttungserdreich) ist. Die Infiltration fördert die Bildung von einer Rutschschicht und somit den Rutsch oder das mögliche Nachgeben der oberflächlichen Schicht.

Anders als im **Schema B** gezeigt können die besonderen Gräserarten der **PRATI ARMATI®** in der Anwendung zur Befestigung des Bodens, dank ihres tiefen Wurzelwachstums und der außerordentlichen Widerstandskraft gegenüber der Trockenheit, eine immer optimale pflanzliche Überwachung des Bodens bieten. Diese Technologie findet in fast allen Arten von Böden (von den feinen, schlammigen, lehmigen Böden, bis zu den groben, sandigen, kiesigen, und ihr Wachstum kann auch ihre Anwendung auf schwachen und veränderten Felsblöcken gewährleistet werden) ihre Anwendung, selbst auf praktisch sterilen Böden, ohne in diesem Falle pflanzliches Erdreich zufügen zu müssen, und damit kann man vermeiden mögliche Rutschebenen zu bilden.

Man wird folglich in jeder Jahreszeit eine vollkommene Befestigung des Hanges haben:

- Blockade der Bodenerosion und der Bildung von oberflächlichen Bächen
- Verringerung der Infiltration, die dichte pflanzliche Bewachsung, welche sich im Falle von starkem Niederschlag biegen, fördert den Abfluss des oberflächlichen Gewässers
- Die tiefgehende Evapotranspiration wird gefördert;
- Der Sättigungsgrad des Bodens wird verringert;
- Der interstitielle Druck wird verringert;
- Die Kohäsion wird gesteigert;
- Durch die Wurzelanlagen wird dem Boden ein Schnittwiderstand gegeben.

Damit die oberflächlichen Gewässer korrekt eingegliedert werden, ermöglicht die dichte pflanzliche Schicht, welche sich dem Strom anpassen kann, dieser Anlage das oberflächliche Gleiten und somit die Sammlung des Wasser am Fuße der Hänge. Es ist möglich diese zu sammeln und durch kleine Kanäle und Schutzgraben zu kontrollieren. Dieser Prozess wird auf dem folgenden Foto illustriert. Das Foto bezieht sich auf einen Anlage in Orvieto (Provinz von Terni) auf sehr steilen Hängen.



Orvieto (TR)



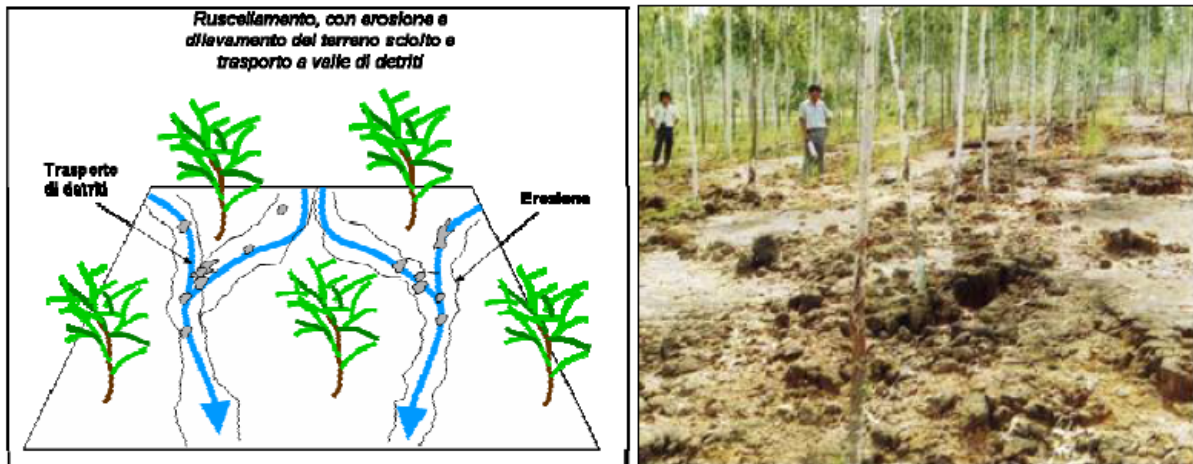
Detail des kleinen Kanals

Die pflanzliche Abdeckung dieser Art von Anlage verhält sich wie die Dächer von Hütten (welche auch mit dem oberirdischen Teil der Pflanzen gebaut werden), welche den Abfluss von selbst starken Niederschlägen ermöglichen und somit die Wohnstätte wasserundurchlässig machen.

Auch im Falle schon schwachem Niederschlag wird die exzessive überflüssige Infiltration durch die Evatranspiration vermindert oder gar vermieden (wie oben beschrieben).



Diese Art von Eingriff der Hänge ist viel wirksamer als andere naturalistische Eingriffe, welche den Einsatz von buschigen Pflanzen oder Bäumen vorsehen. Wie im linken Schema beschrieben, garantieren diese nicht die vollkommene pflanzliche Abdeckung des Hanges, so dass sich ein starker Wasserstrom bilden kann und damit auch die Erosion und Auswaschung des nicht lockeren Bodens. Das rechte Foto stellt diesen Prozess in den Vordergrund.



Renaturalisierung

Die **PRATI ARMATI®** Technologie zeichnet sich auch durch dessen Einfluss auf die Renaturalisierung der Anlagen aus, vorausgesetzt, dass der Auftraggeber nicht die Absicht besitzt die spätere Entwicklung von Büschen oder Bäumen zu vermeiden. Dies kann zum Beispiel der Fall sein bei einem Flussbett, wo hochwachsende Bäume ein Instandhaltungsproblem darstellen können. In solchen Fällen kann die Renaturalisierung vermieden werden, indem man systemische Unkrautbekämpfung vor der Saat betreibt und späterhin gezielte und spezifische Eingriffe zur Begrenzung der befallenden Arten vornimmt.

Wo dies kein Problem darstellt können die pflanzlichen Befestigungen dagegen die Renaturalisierung des Bodens fördern, denn diese Grasarten mit tiefwachsenden Wurzelanlagen garantieren eine schnelle Bewachsung und Schutz der Erosion ausgesetzten Hänge. Sie verhalten sich wie Pionierpflanzen, welche sich auch in Böden die arm an Nährstoffen und organischen Substanzen sind, entwickeln können. Sie fördern somit die spätere Ansiedlung von Strauch- und baumartigen Pflanzen auf einem nunmehr gefestigten und fruchtbar gewordenen Boden. Dieser Renaturalisierungsprozess, welcher als Ökologische Staffel definiert werden kann, sieht folgende Phasen vor:

- ⊕ die schnellwachsenden Grasarten befestigen, befeuchten und verbessern die Struktur des Erdbodens;
- ⊕ Im Laufe der Zeit können von Wind, Vögeln oder anderen Tierarten verbreitete Samen, oder auch Samen und Setzlinge, welche der Anlage absichtlich zugetragen werden, in den schon befestigten Boden Wurzeln fassen. Sie werden nicht dem Risiko ausgesetzt durch die dauernde Auswaschung fortgetragen zu werden;
- ⊕ Einige Jahre später werden sich auch Strauch- und Baumarten üppig entwickeln und somit die vollkommen wiederhergestellte und renaturalisierte Anlage in die Umgebung und die Landschaft eingliedern.

Wie oben angedeutet kann die Renaturalisierung gefördert und beschleunigt werden indem lokale Saatgut entweder gleichzeitig durch eine Hydrosaat oder in einer späteren Phase, auch mit Stecklingen, auch diese vor oder nach Aufbau der Anlage angewandt wird.



*Renaturalisierung einer früheren Tonbruchs
Provinz von Bolzano:*



*Befestigung und Renaturalisierung mit
späteren Entwicklung von einheimischen
Sträuchern*



*Trento: Renaturalisierung einer sterilen
Gletscherzunge in einem früheren Bruch*

Kein Befall

Die für die pflanzliche Befestigung angewandten Gräser der **PRATI ARMATI®** bieten keinerlei Befallsrisiko. Verseuchende Pflanzen sind definiert als solche Pflanzenarten, die sich auf virulente und unkontrollierte Art und Weise fortpflanzen und von keinem Nutzen sind.

Diese Eigenschaft kann man zur Genüge mit den unterschiedliche Anlagen, die diese Technologie angewandt haben, bewiesen werden, denn die Trennung zwischen behandeltem und nicht behandeltem Boden ist klar: noch Jahre später kann man keine Verunkrautung feststellen (siehe folgende Abbildungen).



Ancona



Appiano (BZ)



Florinas (SS)

Autochthone Arten

Diese Technologie nutzt eine Mischung von etwa 10 Arten (Hülsenfrüchtler), von denen viele autochthon sind und ihren Ursprung von vielen europäischen Ländern haben. Welche Arten jeweils in einer bestimmten Anlage genutzt werden hängt mit den pedoklimatischen Bedingungen des Standorts und auch mit den spezifischen Bedingungen des Auftraggebers zusammen.

Im Moment des Aufbaus des Anlage kann man des Weiteren lokale Gras -, Busch – oder Baumarten hinzufügen: dies fördert die spätere Renaturalisierung des Standortes

Feuerwiderstand

Diese zur pflanzlichen Befestigung des Bodens angewandten Arten haben auch eine hohe Kapazität nach Bränden (Neuentfaltungskapazität) (Foto links) erneut zu sprossen. Das mittlere Foto zeigt dagegen den zerstörerischen und irreversiblen Effekt eines Feuers auf ein Plastiknetz, welches mit traditioneller Hydrosaat mit Gras bepflanzt worden ist.

Sind zu den geeigneten pedoklimatischen Bedingungen einige Arten grün in der Sommerzeit, dann können diese der Entwicklung und der Verbreitung von Bränden entgegenwirken.



Neuentfaltung nach einem Brand



Geonetze und traditionelle Hydrosaat nach einem Brand

Widerstand gegenüber Dürre und Trockenheit

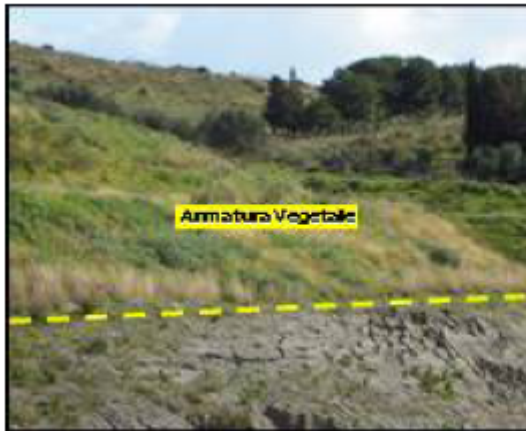
Normalerweise braucht eine pflanzliche Befestigungsanlage des Bodens keine Wasserzufuhr. Dies ist eine erforderliche Eigenschaft für die Befestigung und Renaturalisierung von Straßen – und Autobahnböschungen, oder Böschungen an Zuggleisen, Gruben, Minen und Deponien und allgemein an jenen Standpunkten, wo es undenkbar ist, eine Bewässerungsanlage aufzubauen.

Die bedeutende Fähigkeit dieser Arten der Trockenheit standzuhalten liegt an der Tiefe ihrer Wurzelanlagen, welche in der Lage sind die immer anwesende Feuchtigkeit in den tiefen Schichten des Bodens zu tanken.

Wie alle natürlichen Systeme, können auch diese Pflanzen sich selbst regulieren: wenn der Erdboden hohe Feuchtigkeitsanteile aufweist, entziehen sie das überflüssige Wasser aus den tiefen Schichten des Bodens und ermöglichen somit dessen Evaporation. Damit werden die geotechnischen Eigenschaften des Bodens verbessert. Während der trockenen Monate können diese Pflanzen ihr Stoma schließen (in den vorhergegangenen Seiten am Mikroskop gezeigt) und somit die Evaporation stark vermindern.

Auf dem linken Bild dagegen ist die Anlage in Siccacabidda (AG) (im März 2004 ausgeführt) abgebildet: auf grau-blauer Tonerde, in Richtung Süden gelegen und somit dem Schirokko Wind ausgesetzt. Es handelt sich um einen Hang wo die Temperaturen sehr heiß und trocken werden können, und dennoch ist dort eine Anlage selbst ohne Wasserzufuhr gelungen.

Das rechte Foto bezieht sich auf eine RSU Deponie der Firma Chilivani Ambiente in Ozieri (SS) wo die Bewässerungen, die zu Anfang für den ganzen Sommer vorgesehen waren, schon im Monat Juni vollkommen unterbrochen worden sind. Trotzdem hat die Anlage den dürren Sommer Sardinens stand gehalten und im Monat November war sie wieder vollkommen begrünt.



Sciacca (AG): früherer Tonbruch



RSU Mülldeponie von Ozieri (SS)

Resistenz gegen Salz

Die Mischung enthält sehr rustikale Arten, welche selbst sehr salzhaltige Konzentrationen ertragen können: bis zu zirka 10.000 µS/cm (dies entspricht zirka 1/5 des Salzgehalt des Meeres).

In den folgenden Abbildungen kann man einige Anlagen auf Meeresböschungen erkennen: links die Anlage für die Gemeinde Ancona in 2002; in der Mitte die 2004 durchgeführte Anlage für die Gemeinde von Castelsardo (SS), welche direkt auf das Meer blickt und starken Mistral Winden ausgesetzt ist; ganz rechts die Anlage für die Hafenautorität von Genua in 2002.



Ancona



Castelsardo (SS)



Porto di Genova

Wartung (Instandhaltung)

Sobald die **PRATI ARMATI®** Anlage in Betrieb genommen worden ist, braucht sie keinerlei Wartung und damit werden die Instandhaltungskosten für den Auftraggeber aufgehoben. Des Weiteren tragen die pflanzlichen Befestigungen des Erdbodens dazu bei die Effizienz von Zivilanlagen wie Kanäle und Dränierungen beizubehalten und somit wiederum die Kosten der Auftraggeber zu verringern.

Folgende Fotos beziehen sich auf eine Anlage, welche auf dem großen Erdbeben von Ancona durchgeführt worden ist, insbesondere in der Bypass Zone. Man kann folgendes erkennen: links: dort wo keine pflanzliche Befestigung durchgeführt worden ist, erkennt man einen verstopften Kanal; rechts: in einer angrenzenden Zone ein vollkommen freier Kanal, welcher mit dieser Technologie befestigt worden ist.



Ancona – verstopfter Kanal in der nicht pflanzlich befestigten Zone



Einwandfreier Kanal in der geschützten Zone

Fallwiderstand

Die hier beschriebenen **PRATI ARMATI®** Arten weisen eine beachtliche Widerstandskraft gegenüber Überschwemmungen auf und daher sind sie besonders für die Befestigung von Becken, Flüssen oder Bächen geeignet.

In diesem Sinne folgen hier einige Bilder einer Anlage dieser Art durchgeführt in Pordenone für den Zivilkorps, Ministerium für Öffentliche Werke, Magistratur der Gewässer entlang des Ufers des Flusses Noncello (Nebenfluss des Meduna), welcher auf Grund von einer Überschwemmung zusammengebrochen war.

In den Jahren von 1998 bis 2000 durchgeführt, wurde hier eine Kombination zwischen einem korrekten Projekt von pflanzlicher Befestigung mit tiefwachsenden Wurzelanlagen und naturalistischen Ingenieurwerken wie Palisaden aus Holz und Dränierungen in angewandt. Diese Anlage hat milden Jahreszeiten aber auch den Überschwemmungen von November 2000 und 2002, wo der Wasserstand bis über 20 Meter gestiegen ist und somit alle Pflanzen vollkommen überschwemmt hat, standgehalten. Diese Phänomene haben jeweils 4 Tage angehalten und die Wassermengen sind von 200 auf 1400 mc/sec gestiegen.

Folgende Abbildungen heben hervor, in welcher Zone keine Befestigung durchgeführt worden ist (Testzone) und welche auf Grund der obengenannten Phänomene zusammengebrochen und zirka 10 Meter zurückgewichen ist und hohe Bäume ausgerissen hat. Diese Testzone hat in der Tat die Wirksamkeit dieser Art von Eingriff hervorgehoben, denn sie hat jegliche Erosion und Nachgeben vermeiden können.



Erneute Instandhaltung der Ufer

Hydrosaat auf dem erneut behandelten und vorbereiteten Ort

Anlage nach zirka 1 Jahr



Die Baustelle unter Wasser nach der Überschwemmung im November 2002

Von dem Erdbeben mitgerissener Baum in der nicht behandelten Zone



Detailblick der nicht-befestigten und von dem Erdbeben befallenen Zone mit ausgerissenen Bäumen und Zurücksetzen des Ufers um mehr als 10 Meter

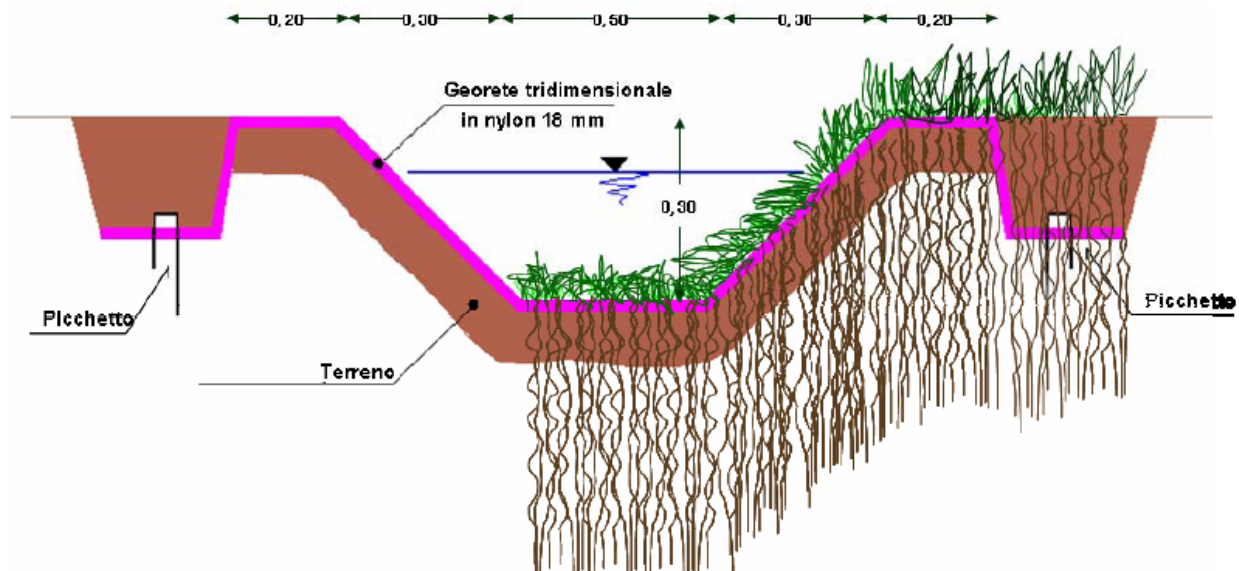


Gesamtanblick der Anlage 2 Jahre nach dem Eingriff

Schutz von Kanälen und Wachtgräben

Damit ein korrekter Abfluss der Meteorwasser geleistet werden kann und um die Kanäle zu schützen, ist es möglich diese Technologie mit der Technologie der dreidimensionalen Geonetze, aus 18mm Nylon hergestellt, zu verknüpfen. Die Geonetze werden durch Erdreich verankert und mit dieser Art von pflanzlicher Bewachsung begrünt (siehe Abbildung unten). Die pflanzliche Befestigungsanlage verankert das Geonetz in der Tiefe und schützt es an der Oberfläche dank der Blättermasse, welche die Wasserströmungen abfängt und verlangsamt und somit schnellere und

länger anhaltende Resultate garantiert. Eine bessere Verankerung des Geonetzes und der Schutz des Kanals sind auch im Falle von Wasserströmungen von über 5/6 m/sec gewährleistet.



Voraussetzungen für die Realisierung dieser Art von Kanälen sind folgende:

- Grabung des Kanals
- Einsetzen des Geonetzes
- Seitliches Abstützen des Geonetzes, Befestigung mit mehreren Pflocken und Abdeckung mit Erdreich
- Besatzung des Geonetzes, mit dem aus dem Graben fortgetragenen Erdreich
- Begrünung (im vorhergehenden Kapitel bereits beschrieben)

Die Rustikalität der bereits beschriebenen Arten ermöglicht es, auf die Abdeckung des angetragenen Erdreichs um das Geonetz zu besetzen, zu verzichten: Es wird ausreichend sein die Erde, die von den Kanalausgrabungen fortgetragen worden ist, zu nutzen.

Der Markt bietet unterschiedliche Materialien für die Geonetze, aber es empfiehlt sich dennoch die Netze aus Nylon zu nutzen, denn sie sind technisch funktionstüchtiger und haben eine längere Dauerhaftigkeit.

In der Folge ein Eingriff in der Gemeinde von Ancona, welche die Wirksamkeit dieser innovativen Technologie zur Befestigung von Erdkanälen, die mit Geonetzen verankert sind (und somit ihre Resistenz gegenüber der Strömungsgeschwindigkeit von 2,5 m/sec für einfache Geonetze auf über 5-6 m/sec für verankerte Geonetze) erhöht.

Auf der linken Abbildung erkennt man einen Kanal, welcher mit einem traditionellen begrünten Geonetz realisiert worden ist. Dieser Kanal hat eine schwache anti-erosive Effizienz, denn die Wassergrube unter dem Entwässerungskanal wurde fast vollkommen von dem Erosionsmaterial verstopft (Foto unten links).

Die rechte Abbildung bezieht sich auf eine nicht weit entfernte Zone, welche mit einer pflanzlichen Bedeckung von **PRATI ARMATI®** behandelt worden ist. In diesem Fall ist der

Entwässerungskanal vollkommen von einer dichten pflanzlichen Schicht geschützt, welche die Erosion vollkommen abblockt: die Wassergrube unter dem Entwässerungskanal ist in diesem Falle selbst nach 2 Jahren vollkommen sauber (Foto unten rechts).

Kanal mit Plastikgeonetz und traditioneller Hydrosaart

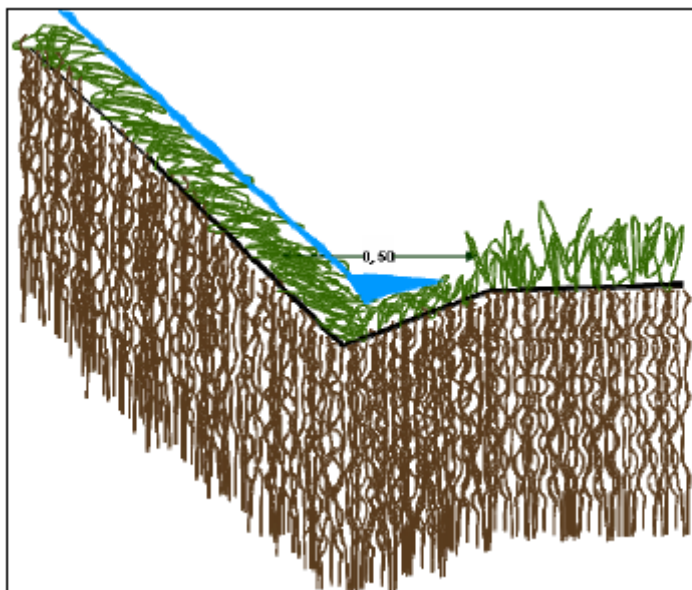


Kanal mit Plastikgeonetz kombiniert mit der Befestigung von PRATI ARMATI®



Diese Art von pflanzlicher Befestigung ist in jedem Fall kombinierbar mit allen traditionellen Techniken des naturalistischen Ingenieurwesens, welche zum Schutz von Kanälen und Gewässern verwirklicht werden und welche die Anwendung von Holzpalisaden, Gleisbettungen wie auch zu begrünende Zementblöcke, bevorzugen.

In einigen kritischen Fällen, wie zum Beispiel dort, wo die Geschwindigkeit des Flusses sehr hoch ist (schätzungsweise nicht höher als 1,5 m/sec, wenigstens so lange die Anlage nicht vollkommen in Stand gesetzt worden ist), kann man mit dieser Technologie auch einfache Wachtgräben oder begrünte Kanäle verwirklichen. (siehe Abbildung)



Diese Art von Anlage ermöglicht es die Kosten auf ein Mindestmaß herabzusetzen, indem man befestigte und begrünte Ufer oder auch einfache begrünte Wachtgruben wie oben beschrieben (man sehe folgende Abbildungen) verwirklicht. Die dichte pflanzliche Abdeckung der pflanzlichen Befestigung, zusammen mit der Wirksamkeit der tiefwachsenden Wurzelanlage, welche einen hohen Traktionswiderstand garantiert, können einen optimalen Schutz des Ufers oder des Wachtgraben und dessen Instandhaltung im Laufe der Zeit garantieren.

In der Folge zwei Beispiele der Anwendung auf Gewässern, einer in der Provinz von Brescia kombiniert mit Holzpalisaden und der andere in der Provinz von Matera kombiniert mit Böschungsmauern.



Oktober 2001: Kanalufer zusammengebrochen nach einem Hochwasser in der Provinz von Brescia.



Anlage befestigt mit PRATI ARMATI im Mai 2002



November 2006: Hydrosaat von PRATI ARMATI kombiniert mit Böschungsmauern in der Provinz von Matera



Die Anlage befestigt und begrünt im Mai 2007. Die Pflanzen liegen alle in Richtung des Stromes nach einem Hochwasser