

Michela Toni

Rinforzare sostenibile

Idee sull'utilizzo
dell'ingegneria naturalistica
attraverso esperienze
in Alta Versilia e in
Garfagnana



	Indice				
5	Premessa				
Capitolo 1					
7	Rinforzare sostenibile				
8	Progettazione ambientale e sostenibilità				
13	L'approccio dell'ingegneria naturalistica e il ruolo dell'architetto				
14	Prestazioni offerte dalle opere realizzate con le tecniche dell'ingegneria naturalistica				
20	Tipologie di intervento per la sistemazione di versanti				
22	Tipologie di intervento per la sistemazione di sponde fluviali				
Capitolo 2					
23	Osservare la realtà				
24	Indagine su interventi di riqualificazione ambientale realizzati in Alta Versilia e in Garfagnana con l'utilizzo di materiali naturali in aree comprese all'interno del Parco Regionale delle Alpi Apuane				
25	Intervento di sistemazione dell'alveo del torrente Turríte di Gallicano - località Boscaccio				
29	Interventi di sistemazione idrogeologica - località Grotta del Vento, Trimpello, Canale Battiferro				
34	Interventi di sistemazione di movimenti franosi - località Fornovolasco				
36	Interventi su infrastrutture viarie tra Fornovolasco, Grotta del Vento, S. Pellegrinetto				
42	Intervento di sistemazione del tratto terminale di alveo di torrente - località Fornovolasco				
45	Intervento di sistemazione di movimenti franosi su terrazzamenti storici - località Perchia di Sotto				
47	Intervento di consolidamento e di regimazione delle acque - località				
		49	S. Pellegrinetto		
		49	Intervento di regimazione idraulica sulla strada Campolemisi-S. Pellegrinetto		
		53	Intervento su movimenti franosi che interessano infrastruttura viaria - località Campolemisi		
		55	Interventi di sistemazione di movimenti franosi relativi al torrente Turríte di Gallicano		
		64	Interventi di sistemazione del tratto montano del torrente Caraglione-Turríte di Gallicano		
		69	Intervento sul bacino inferiore del torrente Caraglione lungo l'antica Strada Ducale		
		72	Interventi di stabilizzazione di un versante franoso lungo il torrente Caraglione-Turríte di Gallicano		
		76	Interventi di sistemazione idrogeologica del bacino dei torrenti Farneto - Capriola - Deglio		
		78	Intervento di rimodellamento del tratto terminale dell'alveo del torrente Deglio - località Cardoso		
		Capitolo 3			
		79	Costruire con il legno, le pietre, la terra		
		79	Interventi contro l'erosione		
		79	Semina		
		79	Idrosemina		
		80	Impianto di zolle erbose		
		80	Biotessile, geotessile		
		80	Opere di contenimento superficiale		
		81	Palizzata in legname con talee		
		82	Steconata		
		82	Viminata		
		84	Graticciata		
		84	Grata in legname con talee		
		86	Fascinata		
		86	Opere di sostegno		
		86	Palificata in legname a doppia o tripla parete con talee		
		88	Palificata in legname a parete		
				88	semplice con talee
				88	Palificata in legname a parete doppia con pietrame
				88	Grata e palificata
				90	Palizzata e palificata
				90	Muro di contenimento in pietra a secco
				90	Elementi di raccolta acque e drenaggio
				90	Canaletta in tronchi di legno
				90	Canaletta in legname di castagno e pietrame
				91	Canaletta scavata nel terreno
				91	Fascinata drenante
				91	Canaletta drenante a trincea
				91	Elementi di protezione di sponda
				91	Scogliera
				93	Palificata in legname a doppia parete con talee
				94	Elementi per la stabilizzazione di alveo
				94	Rampa
				94	Briglia in pietra
				95	Briglia in legno e pietrame
				Capitolo 4	
				97	Imparare facendo
				97	Una prima esperienza di cantiere
				98	Realizzazione di palificata a parete semplice con piantine radicate
				98	Determinazione della tipologia di opera da realizzare
				98	Materiali ed attrezzature da utilizzare
				99	Esigenze di cantiere
				100	Preparazione del sito
				101	Prima fase
				102	Seconda fase
				103	Terza fase
				105	Realizzazione di tratto di gradonata in curva
				105	Determinazione della tipologia di opera da realizzare
				105	Materiali ed attrezzature da utilizzare
				106	Esigenze di cantiere
				106	Preparazione del sito
				106	Prima fase
				108	Seconda fase
				109	Terza fase
				110	Una seconda esperienza di cantiere
				110	Realizzazione di canaletta in legname e pietrame
				111	Determinazione della tipologia di opera da realizzare
				111	Materiali ed attrezzature da utilizzare
				112	Esigenze di cantiere
				113	Preparazione del sito
				113	Prima fase
				113	Seconda fase
				115	Terza fase
				116	Realizzazione di tratto di gradonata rettilineo
				116	Determinazione della tipologia di opera da realizzare
				117	Materiali ed attrezzature da utilizzare
				117	Esigenze di cantiere
				117	Preparazione del sito
				117	Prima fase
				118	Seconda fase
				119	Terza fase
				120	Quarta fase
				Capitolo 5	
				121	Materiali e semilavorati innovativi per l'ingegneria naturalistica
				121	Prodotti per inerbimento con idrosemina
				122	Prati armati
				123	Biotessili
				126	Geotessili
				126	Sistemi di ancoraggio
				126	Sistemi di drenaggio
				128	Bibliografia

Capitolo 5 Materiali e semilavorati innovativi per l'ingegneria naturalistica

Uno sguardo sull'innovazione di prodotto nel settore dell'ingegneria naturalistica ci svela un panorama di materiali e semilavorati dedicati all'inerbimento, all'idro-semina, alla realizzazione di supporti per l'attecchimento della vegetazione in materiale naturale o sintetico e di prodotti costituiti da un insieme di componenti biodegradabili studiati per non lasciare residui chimico-fisici nel terreno; a questi si affiancano sistemi specifici per il drenaggio delle acque e per il fissaggio e l'ancoraggio delle opere ai diversi tipi di terreno che documentano l'attuale sviluppo dell'ingegneria ambientale¹.

Prodotti per inerimento con idrosemina

La pratica dell'*idrosemina* consiste nel depositare un miscuglio di semi, concime, collante in maniera uniforme sul terreno per proteggerlo per il tutto il tempo necessario a fare germogliare i semi e a sviluppare la vegetazione con funzione antierosiva.

Prodotti per l'idrosemina consistono pertanto in semi, collanti, fertilizzanti ed altri componenti che vengono mescolati in acqua ed applicati uniformemente sul terreno mediante spruzzatura con idrosemiatrice a pressione. L'insieme dei diversi tipi di prodotto può dar luogo a miscugli molto diversificati che permettono di rispondere a varie esigenze da soddisfare: la scelta è condizionata da fattori climatici, geologici, topografici, dalle caratteristiche chimico-fisiche del terreno e da elementi connessi con l'inserimento nell'ambiente naturale.

I semi utilizzati sono miscugli di varie specie, con prevalenza di graminacee e

leguminose, che sono scelte in relazione al clima della zona in cui devono essere poste in opera.

I *concimi* disponibili sono di vario tipo, in modo da potere essere utilizzati in funzione delle esigenze specifiche: in particolare, concime organico di origine naturale per migliorare le caratteristiche fisiche del terreno; concime minerale per attribuire proprietà fertilizzanti a terreni poveri di struttura; concime minerale a titolo bilanciato per compensare carenze di minerali del terreno; concime organico con azione biostimolante per favorire lo sviluppo dell'apparato radicale e la crescita delle piante in terreni poveri di elementi nutritivi; concime organico-minerale, in cui l'azione dell'azoto è associata a quella del fosforo per rendere più efficace la radicazione delle piante in terreni dissestati o rocciosi.

Per migliorare i processi di aggregazione delle particelle terrose, aumentare le sostanze organiche, favorire l'azotofissazione sono utilizzabili *attivatori naturali* del terreno a base di alghe.

Per l'attecchimento dei semi sono disponibili *stabilizzanti antierosivi* neutri per l'ambiente, quali:

- collanti in polvere a base di leguminose;
- collanti in polvere a base di semi di piante tropicali, prodotti naturali facilmente biodegradabili che formano una sostanza gelatinosa insolubile in acqua;
- collanti granulari a base di alghe marine e di colloidali di montmorillonite, prodotti naturali che formano un complesso colloidale gelatinoso insolubile in



acqua, in cui le alghe hanno la funzione di concime, mentre l'argilla facilita la capacità di scambio cationica;

- collanti liquidi a base di un polimero di polibutadiene, che formano una trama tridimensionale biodegradabile e atossica per uomo, animali, vegetali.

Per contrastare l'erosione del vento e dell'acqua, mantenere la temperatura ideale del terreno, proteggere i semi dall'irraggiamento solare, il trattamento può comprendere anche uno strato di protezione, detto *pacciamatura*, costituito da una miscela di materiali completamente naturali, destinati nel tempo a decomporsi e ad alimentare il terreno. In questo caso, dall'idrosemina semplice si passa all'*idrosemina potenziata* che, con un'unica fase di lavoro, irroro sul terreno una miscela di semi, collante, fertilizzante e coltre protettiva.

Per la protezione dei semi, il mercato offre vari tipi di materiali ad elevato potere di imbibizione, quali:

- pacciamanti a base di fibra di cellulosa per terreni in pendenza o in condizioni climatiche sfavorevoli;
- pacciamanti a base di fibra di paglia per terreni poveri di struttura;

- pacciamanti a base di fibre lunghe di legno, che presentano le più elevate prestazioni relativamente alla fondamentale funzione protettiva ed alla traspirabilità;
 - pacciamanti a base di fibre lunghe di legno mescolate a di fibre cellulosa.
- L'azione di controllo dei fenomeni erosivi è resa ancora più efficace con l'aggiunta di collante organico.

Per l'idrosemina potenziata sono presenti sul mercato *conglomerati di materiale biodegradabile*, costituiti da miscugli di semi, concimi, correttivi, ammendanti bilanciati, agglomeranti e coltri ricoprenti ad alto potere di ritenzione idrica da depositare in maniera uniforme sul terreno mediante idrosemiatrice a miscelazione e pressione di esercizio automatiche.

Ad essiccazione avvenuta, il conglomerato forma uno strato di materiale omogeneo e resistente al dilavamento, perfettamente aderente al terreno e capace di assorbire elevati quantitativi di umidità rispetto al peso iniziale, che si lascia permeare dall'umidità atmosferica

Conglomerato di materiale biodegradabile per idrosemina; nel tempo si sviluppano le condizioni di microclima adeguate per la crescita della vegetazione (*metodo Ultraverd*, tecnologia Bettoni).

Scarpata priva di vegetazione prima e dopo idrosemina (documentazione Bettoni).

¹ I dati sono desunti dalla documentazione tecnica delle aziende Bettoni, EURO TEC, Falzoni, Full Service, Gardin, G.M.L. Srl, Prati Armati®, SEIC geotecnica, Tenax, Virens, che si ringraziano per avere concesso l'utilizzo del materiale illustrativo.

e dall'ossigeno, determinando condizioni di microclima ottimali per lo sviluppo della vegetazione. Nel tempo, dopo avere assolto al compito antierosivo, l'insieme è assorbito biologicamente dal terreno sotto forma di sostanza nutritiva per le essenze erbacee ed arbustive che contiene, di cui garantisce il corretto sviluppo vegetativo.

In generale, questo tipo di soluzione tecnica è adatto a scarpate con superfici irregolari, povere di sostanze organiche e soggette a forte dilavamento.

In caso di forti pendenze o condizioni particolarmente critiche, il trattamento può anche essere svolto in vari passaggi successivi mediante *idrosemina a spessore*.

Una ulteriore tipologia, denominata *idrosemina a matrice di fibre legate o biostuoia idraulica*, permette di ottenere le prestazioni di una biostuoia con i tempi di esecuzione rapidi dell'idrosemina; questa tecnica presenta inoltre il vantaggio di ridurre l'impiego di manodopera e non richiede manutenzione.

Il trattamento si basa sulla applicazione di una matrice antierosiva, miscelata ad altri prodotti atossici e biodegradabili, che garantisce copertura ed aderenza totali rispetto al terreno. L'insieme si unisce a semi, concime, acqua per formare la miscela da spruzzare sul terreno con idrosemina.

Ad essiccazione avvenuta, la miscela forma un tappeto flessibile di fibre legate che impedisce il dilavamento dei semi, del concime, della terra, ma che, nello stesso tempo, agisce da idroretentore, consente il passaggio della luce e la crescita delle piante.

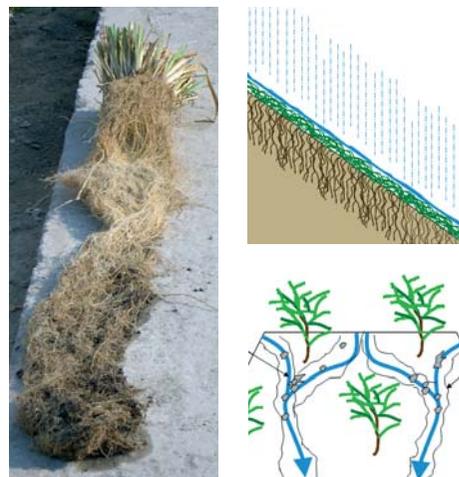
Esaurita la funzione protettiva e di sostegno dell'impianto vegetazionale, la struttura si decompone apportando sostanze organiche al terreno².

Prati armati

Si tratta di una tecnologia innovativa che utilizza una miscela di piante erbacee perenni, tipo graminacee perenni cespitose e leguminose, con radici profonde fino a 5 metri, sottili ed omogenee per tutta la lunghezza, caratterizzate da elevata densità e molto resistenti a trazione. Il sistema costituisce un'opera civile a tutti gli effetti, poiché produce un'armatura vegetale del terreno in grado di prevenire l'erosione e il formarsi di frane superficiali; per questo, è denominato anche *cemento verde*.

Le radici sono in grado di imbrigliare qualunque tipo di terreno, da quelli fini limosi argillosi a quelli grossolani ghiaiosi sabbiosi, e di attecchire persino su rocce deboli ed alterate; l'apparato radicale rappresenta, quindi, l'elemento base per il consolidamento e la conservazione del suolo, il cui effetto migliora nel tempo per una crescita rapida e continua che può raggiungere alcuni metri di lunghezza. La protezione dall'erosione superficiale è assolta dalla coltre vegetale che si sviluppa in maniera omogenea su tutta la superficie da consolidare: il fitto e flessuoso apparato fogliare, essendo in grado di piegarsi sotto l'azione della pioggia, riduce con grande efficacia l'energia cinetica della massa d'acqua ed agisce come uno strato di protezione naturale che contrasta le infiltrazioni.

La proprietà idrologica più interessante è rappresentata dalla *evapotraspirazione* profonda, che in questo tipo di impianto vegetale si esplica in un effetto bilanciato tra le funzioni degli apparati radicale e fogliare in maniera molto più sviluppata rispetto a quanto caratterizza coltri erbose correnti. L'evaporazione del suolo è determinata dalla capacità delle lunghe e fitte radici di assorbire l'acqua in eccesso e di diminuire la saturazione e



Radice sviluppata in 18 mesi dalla semina di una specie utilizzata per la realizzazione di armature vegetali del terreno con la tecnologia *Prati Armati*.

Sezione di un pendio in cui è stato applicato il sistema di armatura vegetale. Sotto l'azione sferzante della pioggia il terreno è protetto dal fitto fogliame della vegetazione.

A confronto, erosione, dilavamento e trasporto di detriti a valle che si verificano in un terreno non ricoperto in maniera omogenea dalla vegetazione.



L'efficacia della funzione antierosiva è manifestata dall'assenza di materiale inerte depositato sul fondo di un canale di raccolta acque ubicato a valle di un pendio rinforzato con le lunghe radici *Prati Armati*.

Ambiente rinaturalizzato con il sistema di armatura vegetale del terreno *Prati Armati*. (Documentazione Prati Armati ®)

la pressione interstiziale del terreno, con una forte azione di prevenzione della perdita di coesione del terreno e dell'instabilità dei versanti. La traspirazione è prodotta dalla fitta coltre di foglie che caratterizza la crescita aerea delle piante messe a dimora, contribuendo ad eliminare l'umidità in eccesso dal terreno. Tale funzione risulta ancora più interessante, poiché è esercitata in maniera variabile in relazione alla quantità di umidità del terreno: in particolare, si riduce nei periodi di siccità, salvaguardando condizioni di stabilità del sistema che pertanto è capace di resistere anche in condizioni estreme. La traspirazione assolve inoltre ad una importante funzione di riequilibrio del microclima del sito in cui è radicato l'impianto.

La presenza di un manto erboso consistente svolge un altro ruolo importante per l'ambiente, assorbendo rilevanti quantità di anidride carbonica.

La miscela utilizzata per realizzare l'armatura vegetale del terreno non è infestante; non richiede lo sfalcio e neppure altri interventi di manutenzione; può essere applicata anche a fronte di condizioni di temperature comprese tra -45°C e +60°C e di reazioni del terreno variabili tra pH 4 e pH 12.

Le particolari prestazioni rendono il sistema adatto a numerose applicazioni: per la protezione di opere infrastrutturali, rilevati e scarpate stradali, arginature, aree a mare, cave, miniere, discariche e anche per il ripristino di zone inquinate.

Nei casi di instabilità di versanti, la tecnologia può essere impiegata efficacemente in abbinamento con altre opere di ingegneria naturalistica, terre armate, gabbionate e con opere di ingegneria tradizionali in cemento armato, contribuendo a proteggerle nel tempo e a ridurre l'impatto sull'ambiente.

Biotessili

I prodotti sono costituiti da fibre naturali innocue per l'ambiente, assemblate in modo da formare un tessuto aperto e deformabile di pochi millimetri di spessore, in grado di adattarsi al terreno senza appiattirsi.

Sono caratterizzati da una struttura rugosa aerata, che assorbe sia l'energia dell'acqua che cade al suolo, sia di quella che scorre sulla superficie del terreno.

Si impiegano per la protezione dall'erosione provocata dalla pioggia o dalle acque di ruscellamento di pendii e sponde di canali con pendenze non elevate; si utilizzano anche per favorire la crescita della vegetazione.

Proteggono i semi dall'eccessivo irraggiamento solare, pur permettendo la penetrazione della luce che è necessaria per la germinazione.

Assorbono una quantità di acqua superiore al proprio peso e la rilasciano lentamente, garantendo la quantità di umidità che è necessaria per la vita delle piante. Possono essere seminati a posa avvenuta mediante la tecnica dell'idrosemia.

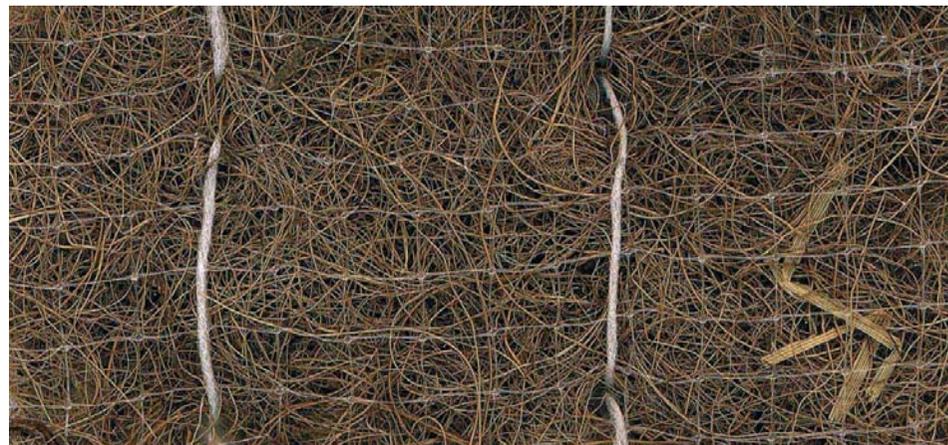
Alcuni prodotti sono forniti preseminati. La posa di biotessili si presta anche alla successiva messa a dimora di talee ed arbusti.

Al termine della propria vita utile si decompongono arricchendo il terreno di materia organica.

Sono forniti in rotoli, aventi generalmente una larghezza che può variare da 1 metro fino a 4 metri e una lunghezza che per i

Biotessili in paglia, cocco, cocco e paglia (produzione SEIC geotecnica).

² Con il tipo *Soil Guard*, di produzione Full Service, la matrice è composta da fibre lunghe di ontano ed è unita ad attivatori organici e minerali e a collante premiscelato polisaccaride, estratto da legume.



tipi più leggeri può raggiungere anche 90 metri.

Sono disponibili prodotti diversi per peso, composizione, spessore, struttura, dimensione delle eventuali maglie, resistenza meccanica, quali biostuoie, biofetri, bioreti.

Biostuoia

Materassino biodegradabile costituito da materiali naturali trattenuti mediante reti in materiale naturale fotossidabile, fogli di cellulosa oppure reticelle di materiale polimerico fotodegradabile; alcuni prodotti sono rinforzati con trapuntature. Favorisce l'attecchimento della vegetazione su scarpate in terra, poiché trattiene l'umidità, protegge i semi dal dilavamento della pioggia, sviluppa un microclima adatto alla crescita delle piante. La scelta del tipo dipende dalla pendenza e dalla lunghezza del terreno di posa, dalle caratteristiche geotecniche e chimiche, dal grado di dissesto. Generalmente è adatta ad applicazioni con pendenze minime.

Biostuoia in paglia: presenta ottime caratteristiche di ritenzione idrica. Può durare una o due stagioni vegetative. Adatta per scarpate con sottofondo fertile per ottenere un rapido attecchimento della vegetazione.

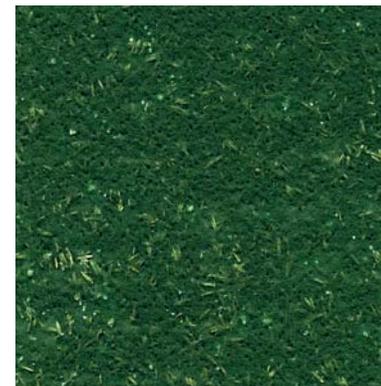
Biostuoia in cocco: offre una parziale funzione antierosiva. Può durare tre o quattro stagioni vegetative. Adatta per scarpate con sottofondo poco fertile, ma con bassa potenzialità erosiva.

Biostuoia in cocco e paglia: l'insieme di fibre di cocco e di paglia conferisce al prodotto un bilanciamento delle prestazioni; sono raggiunte pertanto una buona ritenzione dell'umidità, con conseguente aumento

della permeabilità del terreno, ed una discreta scabrosità del sottofondo, con capacità di trattenere le particelle di terreno anche in presenza di acqua. Adatta ad applicazioni su scarpate con sottofondo fertile in zone con scarsa umidità, soggette a deboli fenomeni erosivi. Adatta per scarpate con modesta pendenza.

Biostuoia in fibre lunghe di legno: si presenta in forma di materassino rinforzato con reticella di materiale sintetico fotodegradabile. Le fibre sono lunghe ed hanno una sezione quadrata o rettangolare sfaccettata; sono ondulate e dotate di barbette, in modo da costituire una struttura grimpante che garantisce l'aderenza al terreno; per eliminare il tannino e semi di piante che possono interferire con la crescita della vegetazione sono trattate termomeccanicamente. Adatta ad applicazioni su scarpate e a contatto con l'acqua. Biostuoia dotata di rete singola in polipropilene può essere utilizzata su corsi d'acqua con velocità massima della corrente pari a 1,5 metri al secondo. Se a rete doppia, può essere utilizzata su corsi d'acqua con velocità massima della corrente pari a 2 metri al secondo.

Biostuoia in fibre lunghe di legno ad alta resistenza: si presenta in forma di tappeto con una struttura pesante in fibre lunghe di legno arricciate, racchiuse da entrambi i lati da reti polimeriche ad alta resistenza; dopo la decomposizione delle fibre, la rete rimane nel terreno come rinforzo delle radici delle piante. Adatta alla protezione permanente di scarpate. Adatta a corsi d'acqua con velocità massima della corrente pari a 3 metri al secondo.



Vegetazione su pendio trattato con biofeltro presemato in fibre di cellulosa a confronto con scarso sviluppo del verde su pendio seminato in maniera tradizionale (produzione Virens).

Crescita rigogliosa della vegetazione su biofeltro presemato (produzione Virens).

Rotolo di biofeltro in fibre naturali di cellulosa presemato, tipo *Viresco*: la leggerezza del materiale favorisce il trasporto e la posa e ne facilita l'impiego anche per la formazione di prati (produzione Virens).

Biofeltro con trucioli di legno su rete in juta (produzione SEIC geotecnica).

Biofeltro in fibre naturali di cellulosa presemato (produzione Virens).

Nella pagina a fianco
Biorete in juta (produzione SEIC geotecnica).

Sviluppo della vegetazione su biorete in juta (produzione Falzoni).

Biorete in cocco (produzione SEIC geotecnica).

Biorete in cocco (produzione Falzoni).

Biostuoia in agave: si presenta come un tessuto a maglia aperta che favorisce la colonizzazione da parte delle specie impiantate con idrosemina. Le fibre di agave conferiscono al prodotto alta resistenza a trazione longitudinale e trasversale; si legano alle radici formando un insieme resistente con le piante in corso di germinazione che contrasta la perdita di coesione delle particelle del terreno. Adatta al controllo dell'erosione di scarpate.

Biofeltro

Non tessuto agugliato in fibre vegetali. Favorisce la crescita della vegetazione e controlla temporaneamente i fenomeni erosivi. Adatto a scarpate in terra o in roccia con inclinazioni anche elevate. Può essere preseminato industrialmente ed integrato con concimi e ritenitori idrici.

Biofeltro in fibra vegetale: prodotto con feltratura o termofissaggio su pellicola in polipropilene. Le fibre utilizzate possono essere in juta, canapa, lino, cotone o altro materiale naturale.

Riduce l'evaporazione dell'acqua e mantiene l'umidità in profondità. Regola la temperatura del suolo e favorisce lo sviluppo di microrganismi.

Biofeltro preseminato in fibre naturali di cellulosa: contiene sementi di specie erbacee, fertilizzanti ed eventuali idroritettori su trame di fibre in cellulosa naturali. Le fibre sono totalmente biodegradabili dopo alcuni mesi dalla posa. La leggerezza del materiale, che contraddistingue il prodotto rispetto ad altri tipi di biotessili, lo rende facilmente trasportabile e quindi agevole da utilizzare anche per realizzazioni in siti difficilmente accessibili.

Adatto ad applicazioni su pendenze elevate e su canali per una crescita veloce e diffusa della vegetazione. Adatto per inerbimento e protezione antierosiva di superfici soggette a dilavamento e ad erosione superficiale.

Biofeltro con inclusione di trucioli di legno: fibre di legno accoppiate a rete in juta formano il materiale; in alcuni prodotti è previsto anche un foglio di cellulosa. La presenza dei trucioli aumenta la capacità di ritenzione idrica e rende il materiale più aerato.

Biorete

Stuoia biodegradabile realizzata con grosse fibre di materiale naturale vegetale, disposte secondo trama e ordito a maglia quadrata aperta, variabile a seconda del tipo, caratterizzata da elevata resistenza a trazione.

Rallenta la velocità di scorrimento superficiale dell'acqua con funzione antierosiva. Favorisce l'attecchimento della vegetazione.

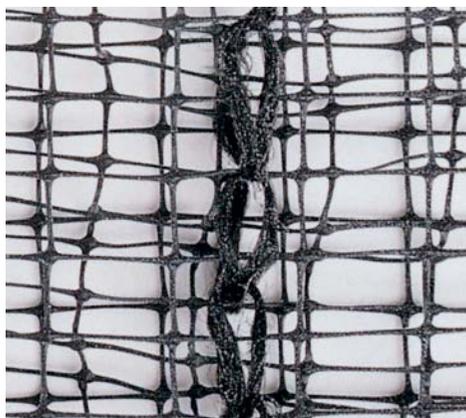
Adatta a scarpate con pendenze elevate.

Biorete in juta: presenta buone caratteristiche di protezione dall'erosione eolica e pluviale; buone caratteristiche di ritenzione idrica e di regolazione termica del terreno rispetto a condizioni di irraggiamento, ombreggiamento, evaporazione, radiazione.

Adatta ad ambiente terrestre alterato per erosione, come quello di cave e discariche.

Biorete in cocco: ottima resistenza meccanica, ottima resistenza agli agenti degradanti. Adatta ad ambiente acquatico o caratterizzato da umidità permanente, come argini di corsi d'acqua, bacini di raccolta d'acqua, zone palustri. Utilizzabile anche per la realizzazione di dune artificiali.





Geotessili

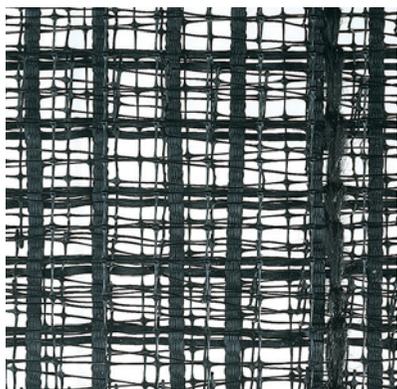
Si tratta di materiali o prodotti tessili utilizzati per proteggere il terreno, rinforzare il suolo e favorire il drenaggio.

La fibra maggiormente impiegata per la resistenza elevata e la lunga durata è il polipropilene.

Possono essere tessuti e non tessuti. I prodotti tessuti sono formati da due o più filamenti di fibre o bandelle incrociati perpendicolarmente tra di loro, in modo da ottenere la maggiore resistenza a rottura con il minore peso.

Sono forniti in rotoli aventi generalmente una larghezza di circa 2 metri e una lunghezza di alcune decine di metri.

Sono disponibili prodotti diversi per peso, composizione, spessore, struttura, dimensione delle eventuali maglie, resistenza meccanica. Per le applicazioni specificamente mirate al settore dell'ingegneria naturalistica, interessa particolarmente la produzione di geostuoie.



Geostuoia sintetica (produzione Tenax).

Geostuoia sintetica ad elevata resistenza a trazione (produzione Tenax).

Geostuoia preseminata (produzione Tenax).

Geostuoia

Questa tipologia di prodotto è costituita da filamenti di materiali sintetici, quali polipropilene, poliammide o altro, aggrovigliati in modo da costituire uno strato molto deformabile avente uno spessore di 10-20 millimetri, con un'elevata percentuale di vuoti.

È usata principalmente su pendii e scarpate per contrastare l'erosione determinata dalla pioggia e dal ruscellamento superficiale. Entro certi limiti, può essere impiegata per la protezione dall'erosione di sponde di corsi d'acqua e di canali. Costituisce un rinforzo superficiale che favorisce la crescita della vegetazione e che è destinato a rimanere nel tempo nel terreno per rinforzarlo.

Geostuoia tridimensionale in polipropilene: geosintetico tridimensionale grimpante ad alto

indice alveolare avente uno spessore di circa 20 millimetri, costituito dall'assemblaggio e dalla cucitura di più strati di geogriglie base in polipropilene estruse e successivamente bi-orientate; il processo di stiratura molecolare innalza le caratteristiche meccaniche del prodotto.

Due strati esterni di griglie piane conferiscono una buona resistenza a trazione e minimi allungamenti; uno strato centrale pieghettato meccanicamente attribuisce consistenza e spessore e una buona resistenza alla schiacciamento.

Adatta alla protezione e all'inerbimento di scarpate soggette ad erosione superficiale in presenza di idoneo substrato vegetale.

La resistenza a trazione si innalza anche fino a 200 kN/m se nella struttura è inserita una trama in poliestere ad alta tenacità (PET).

Il tipo ad alta resistenza è adatto ad applicazioni in pendii molto lunghi, inclinati ed anche impermeabilizzati. La geogriglia consente inoltre di trattenere ciottoli e sassi.

Geostuoia tridimensionale preseminata: geosintetico tridimensionale a tre strati con inserito feltro vegetativo preseminato assemblato nella parte inferiore del prodotto.

Adatta alla protezione di versante, costituisce il rinforzo del cotico erboso e favorisce l'inerbimento.

Intasata con terriccio di coltura fine ed asciutto, preserva i semi dalle escursioni termiche e dal dilavamento.

Sistemi di ancoraggio

Per il fissaggio e l'ancoraggio degli elementi lignei delle opere di ingegneria naturalistica si utilizzano barre in acciaio ad aderenza migliorata.

L'esigenza fondamentale è quella di realizzare strutture stabili su terreni che presentano diverse caratteristiche meccaniche e morfologiche. Condizioni di lavoro rese particolarmente difficili da rischi di instabilità e forti pendenze richiedono, inoltre, di mettere in atto le diverse fasi di cantiere in sicurezza e con una certa rapidità.

Per rispondere a tali esigenze, sono disponibili sul mercato vari tipi di prodotto; il sistema *Palovit*, ad esempio, permette di infiggere rapidamente nel terreno elementi di sostegno verticali in acciaio con l'uso di perforatore pneumatico. Gli elementi di ancoraggio sono costituiti da tubi in acciaio cavi e forati, aventi una lunghezza di 120 centimetri e un diametro variabile da 26 millimetri a 50 millimetri. Ad infissione ultimata, all'interno dei pali è iniettata malta cementizia che, dopo avere riempito l'interno del tubo, esce dai fori e si espande: quando la malta ha fatto presa, si realizza in questo modo un ancoraggio stabile che attribuisce ai sostegni verticali la necessaria resistenza a trazione per sfilamento.

Sistemi di drenaggio

La realizzazione di opere di drenaggio con inerti può essere particolarmente difficoltosa su terreni in forte pendenza per l'onere di trasportare e movimentare il materiale; anche situazioni di scarsa stabilità possono rendere problematico mettere in opera materiali pesanti. Per rispondere a queste particolari esigenze, il mercato dell'innovazione nel settore della difesa del suolo propone sistemi drenanti tubolari ad alte prestazioni

idrauliche e meccaniche, che costituiscono soluzioni alternative specifiche per raccogliere e convogliare in trincea flussi di acque superficiali o per intercettare falde. Il sistema *Spirodren*, ad esempio, è costituito da strutture cilindriche prefabbricate multifunzionali di portata nota, leggere e facilmente movimentabili che presentano elevata permeabilità senza l'impiego di materiali pesanti.

Si tratta di elementi aventi una lunghezza di 2 metri, con diametri di 400-600-800 millimetri, in funzione delle portate di captazione e di deflusso che si vogliono ottenere. La funzione portante è assolta da un'intelaiatura interna realizzata con una spirale in acciaio armonico zincato di 8/10 millimetri di diametro che conferisce all'insieme la necessaria resistenza meccanica allo schiacciamento; la parte filtrante è costituita da un rivestimento esterno formato da georete a maglia romboidale in polietilene ad alta densità, accoppiata a tessuto non tessuto in polipropilene, con una permeabilità 5-10 volte superiore a quella del terreno; la parte del sistema che deve raccogliere e smaltire l'acqua è quella inferiore, rivestita da geomembrana in polietilene a bassa densità, rinforzata con armatura interna in tessuto di polietilene ad alta densità.

Il collegamento tra i singoli tratti di elemento drenante è realizzato con giunti a manicotto prima che la tubazione sia calata all'interno degli scavi realizzati nel terreno. Come nelle tradizionali opere idrauliche, nelle zone di collegamento tra i tubi e in quelle in cui si verificano variazioni di pendenza devono essere predisposti pozzetti per l'ispezione.

Con il sistema si possono realizzare diverse tipologie drenanti, quali canalette di scolo per la raccolta di acqua al piede di pendii; trincee drenanti per la regimazione delle acque di falde sospese; dreni sub-orizzon-

tali per l'intercettazione di falde profonde. Il sistema può essere integrato con materassi drenanti, strutture in geocomposito tridimensionale in polipropilene che si posano in verticale all'interno di scavi a sezione obbligata con pareti sub-verticali, tracciati con disposizione a lisca di pesce a valle di scarpate interessate da presenza di acqua. I pannelli sono collegati con le tubazioni drenanti e scaricano l'acqua all'interno delle trincee.

Sezione del sistema di pali ad infissione rapida *Palovit* applicato ad una palizzata: gli elementi verticali in legno, che sostengono la struttura verso valle, sono collegati mediante giunti in acciaio a bicchiere ai pali cavi in acciaio del sistema conficcato nel terreno; funi in acciaio per il controventamento della palizzata sono ancorate a barre in acciaio infisse nel terreno verso monte.

Particolare del collegamento tra l'elemento verticale ligneo della palizzata e il palo per l'ancoraggio in acciaio realizzato con giunto a bicchiere.

Vista di palizzata sostenuta da pali in acciaio ad infissione rapida.
(produzione G.M.L. Srl, Torino).

Vista interna di elemento tubolare del sistema *Spirodren* che assolve alla funzione di raccogliere ed incanalare l'acqua senza l'utilizzo di materiali drenanti pesanti.

Giunzione a manicotto di elementi drenanti.

Posa di elemento drenante a monte di una palizzata per la raccolta delle acque provenienti dal terreno sovrastante.

Integrazione di tubazione e materassino drenante per una maggiore intercettazione dell'acqua presente nel terreno.
(produzione G.M.L. Srl, Torino).

