

7.1 I materiali

In funzione dei problemi da risolvere o dei miglioramenti da apportare a un ecosistema paranaturale, le tecniche di Ingegneria Naturalistica utilizzano diversi materiali, seguendo il principio di associazione di materiali vivi (piante) e materiali inerti.

Attualmente, oltre ai materiali inerti naturali, il mercato offre una vasta gamma di materiali industriali, perciò è opportuno suddividere i vari materiali disponibili in:

- Materiali organici:
 - vegetali vivi;
 - inerti naturali;
 - inerti industriali.
- Materiali inorganici:
 - naturali;
 - industriali.

7.1.1 Materiali vegetali vivi

Sono materiali provenienti dal mondo vegetale che hanno la capacità di rinnovarsi rapidamente rendendo più stabile il terreno:

- sementi;
- semenzali e trapianti di specie arbustive o arboree;
- talee di specie arbustive o arboree: la talea è un segmento di fusto separato dalla pianta madre capace di produrre radici avventizie e di rigenerare così un altro esemplare, a volte con sviluppi considerevoli ed in breve tempo (per esempio, salici, pioppi, noccioli).

Le talee possono presentarsi sotto diverse forme:

- *culmo*: stelo di graminacea, in genere elofita, che produce un tallo;
- *talea piccola*: fusto legnoso di 20-50 cm di lunghezza ed un diametro < 1-2 cm;
- *talea grossa*: fusto legnoso di 1-3 m di lunghezza ed un diametro di 2-5 cm;
- *astone*: fusto legnoso sino a 7 m di lunghezza ed un diametro di 4-15 cm;
- *ramaglia*: rami dai quali non vengono eliminate le ramificazioni secondarie;
- *rizomi e radici*: parti di organi sotterranei di riserva, capaci di produrre nuove piante;
- *piote erbose (zolle)*: insieme compatto di radici e fusti erbacei, di origine naturale o prodotti in vivaio; vengono commercializzati in elementi di dimensioni variabili (0,3-0,5 m x 0,5-2,5 m), hanno uno spessore di 1-5 cm ed un peso di 20-30 kg/mq;
- *margotte*: è la propaggine per la quale il ramo da sottoporre al trattamento riproduttivo si incide e recinge di terra debitamente mantenuto da un apposito manicotto.

Particolare attenzione andrà posta per la salvaguardia della vegetazione arborea e arbustiva presente in loco, in quanto, se compatibile con i lavori previsti, consente di ottenere un recupero ambientale, nonché idrogeologico, più immediato e sicuro.

Quando si opera con materiale vegetale vivente il grado di attecchimento richiesto può essere variabile a seconda che si utilizzino piantine a radice nuda o in contenitore. Esso varia anche in relazione alla densità di impianto e alle caratteristiche stazionali.

Di seguito si riportano alcune percentuali ottimali di attecchimento, considerandolo uniformemente distribuito sul terreno.

- Al collaudo:
 - *piantina a radice nuda*: non inferiore al 90%;
 - *piantine in contenitore*: non inferiore al 100%.
- Alla fine del periodo di garanzia:
 - *piantina a radice nuda*: non inferiore all'80%;
 - *piantine in contenitore*: non inferiore al 90%.

Qualora si eseguano dei recuperi ambientali in zone soggette al pascolo di animali domestici o selvatici è consigliabile realizzare opportune recinzioni per la protezione delle piantine.

L'uso di mezzi meccanici idonei consente di ridurre l'impatto anche nelle fasi di impianto del cantiere e di realizzazione dell'opera.

Come più volte affermato, i recuperi ambientali si basano, oltre che su precise regole ecologiche, anche sul rispetto e sulla sensibilità nei confronti della flora e della fauna spontanea. Al termine dell'intervento è doveroso rimuovere tutti i residui di lavorazione ancora presenti nel cantiere (contenitori vari, parti di griglie o reti, filo di ferro, ecc.).

7.1.1.1 Sementi

I principali obiettivi raggiungibili con l'impiego di miscugli di sementi di specie erbacee sono di carattere idrogeologico (azione antierosiva), naturalistico e paesaggistico.

I campi d'applicazione degli inerbimenti sono vari:

- versanti franosi;
- piste da sci;
- argini fluviali;
- ex cave;
- discariche;
- infrastrutture viarie o ferroviarie.

Particolare attenzione andrà posta nell'adeguato modellamento del terreno, nella corretta scelta del periodo d'intervento, ma soprattutto

to nella selezione del miscuglio delle sementi da impiegare in funzione delle condizioni pedologiche, climatiche e della vegetazione presente nella località d'intervento.

In genere un miscuglio di sementi erbacee è composto da graminacee (ad azione radicale superficiale), da leguminose (ad azione radicale profonda e con capacità di arricchimento in azoto del terreno), e da altre specie ritenute necessarie e compatibili.

Un ottimo prodotto per i miscugli di sementi erbacee è il "fiorume" ricavabile dai fienili; anche se, il suo reperimento risulta difficoltoso, in quanto la fienagione avviene in un determinato periodo della stagione, precisamente prima che il seme raggiunga la piena maturità (questo per ottenere un prodotto di grande nutrimento per gli animali). Il taglio precoce delle piante, pertanto, non permette di ottenere una grande quantità di seme maturo (le quantità richieste di "fiorume" sono comunque elevate: 0,5-2 kg/mq); se ne consiglia pertanto l'uso solo su piccole superfici di notevole valore naturalistico che richiedono un'elevata qualità dei semi.

La semina del "fiorume" in quantità massima del 30% o del seme prodotto in vivaio, da effettuarsi preferibilmente durante il periodo vegetativo, può avvenire manualmente o meccanicamente nei seguenti modi:

- *semina a spaglio*;
- *idrosemina*: le sementi di specie erbacee sono poste in soluzioni acquose contenenti concimi chimici o organici, sostanze miglioratrici del terreno, leganti, prodotti fito-ormonici; fibre vegetali, pasta di cellulosa; diverse sono le soluzioni possibili, in relazione alla tipologia ed alla quantità delle sostanze impiegate:
 - *idrosemina semplice*: costituita da seme, fertilizzante e collante. Crea un letto di germinazione ottimale su terreni in cui è presente abbondante frazione fine e colloidale, ma con inclinazioni non superiori a 20°;
 - *idrosemina con mulch*: simile alla precedente ma con l'aggiunta di *mulch* di fibre e di legno o di pasta di cellulosa. È adatta a terreni con le stesse caratteristiche della idrosemina semplice ma con inclinazioni fino a 35° e con presenza di fenomeni erosivi di media intensità;
 - *idrosemina con mulch a fibre legate*: è una idrosemina con *mulch* in fibre di legno di lunghezza controllata in quantità elevata e collante naturale ad elevata viscosità. È una idrosemina con un forte potere protettivo ed elevata capacità di ritenzione idrica. È adatta a terreni fortemente erodibili con inclinazione fino a 50°-60°, 1,2:141,7:1, mediamente poveri di materia organica e di frazione fine;
 - *idrosemina a spessore*: è una idrosemina ricca di materiale organico (torba ed eventualmente *compost*) e *mulch* di fibre di legno. È adatta alle situazioni in cui il substrato è particolarmente povero di materiale organico, è sassoso o roccioso. In

condizioni difficili per forte pendenza e sulle terre rinforzate si miscela della paglia triturrata da aggiungere all'ultimo passaggio per la formazione di una copertura che dovrà avere uno spessore variabile da 2 a 4 cm a seconda della quantità di materia organica;

- *semina con coltre protettiva di paglia (mulch)*: le sementi vengono distribuite sul terreno e poi ricoperte da materiale vegetale a funzione protettiva; è particolarmente idonea su superfici povere di humus;
- *semina con coltre protettiva di paglia e bitume*: le sementi vengono coperte da sostanze vegetali (paglia) fissata da un'emulsione bituminosa instabile a funzione protettiva.

È comunque consigliato l'inserimento di specie vegetali tipiche della zona, anche se l'azione miglioratrice del terreno di particolari specie pioniere transitorie può costituire un valido aiuto all'insediamento di quelle definitive più esigenti assicurandosi che non siano presenti specie particolarmente espansive.

7.1.1.2 Semenzali

Si possono impiegare *semenzali e trapianti di specie arbustive o arboree* sulle rive dei corsi d'acqua (al piede delle sponde e delle piante elofite, nell'alveo le idrofite) o sulle pendici instabili, anche ad integrazione del consolidamento effettuato con talee.

Gli alberi e gli arbusti possono essere acquistati a *radice nuda* (latifoglie), in *fitocella* o *con pane di terra* e l'apparato radicale dovrà essere proporzionato alle dimensioni della chioma; va sottolineato che le piante a radice nuda non offrono le stesse garanzie di attecchimento di quelle in fitocella o con pane di terra. Per quanto concerne la messa a dimora delle piantine, il periodo più idoneo è quello del riposo vegetativo. Particolare cura dovrà essere posta sia nell'acquisto del materiale vegetale, verificandone attentamente la provenienza, lo stato sanitario (assenza di malattie, parassiti, ferite, ecc.) e le dimensioni, sia durante il trasporto e la messa a dimora delle piante, al fine di evitare di procurare loro ferite, traumi, essiccamenti.

7.1.1.3 Talee e astoni

Possono offrire spazi disponibili per una rapida espansione delle specie esotiche presenti nelle aree limitrofe (per es: Robinia, Ailanto). Diverse specie (*Salix spp.*, *Populus spp.*) hanno la capacità di svilupparsi a partire da semplici rami o loro parti, denominate appunto talee (getti non ramificati, lignificati, della lunghezza da 25 a 60 cm) o astoni (getti diritti poco ramificati con una lunghezza di 1-3 m). Con esse si possono realizzare alcune tra le tipologie di consolidamento del terreno più importanti, quali:

- la *viminata*: talee intrecciate tra paletti;
- la *fascinata*: rami lunghi e raccolti a mazzi, di lunghezza > 1 m (astoni); si possono così realizzare consolidamenti di pendici soggette ad erosione, nonché drenaggi;

- la *difesa spondale con ramaglia* (getti ramificati di almeno 60 cm di lunghezza e di differente spessore): fasci di rami stesi in una nicchia d'erosione di una sponda fluviale e trattenuti da pali di legno; l'effetto filtrante della struttura determina un deposito dei materiali fini trasportati in sospensione dalla corrente che aumenta la stabilità dell'opera, la quale protegge la sponda dall'azione erosiva dell'acqua;
- la *copertura diffusa con astoni* (3 m): grosse talee disposte sulle sponde dei corsi d'acqua in modo da formare un rivestimento dell'intera superficie e svolgere così una funzione antierosiva;
- il *rinverdimento dei manufatti*: le talee sono utilissime per poter rinverdire le opere di consolidamento, di sostegno o di difesa spondale quali gabbioni, scogliere, muri di sostegno o palificate.

L'epoca del taglio e dell'utilizzo delle talee è legata al periodo di riposo vegetativo delle diverse specie e, quindi, a quello autunnale-primaverile; tutte le talee per potere radicare e svilupparsi, devono essere dotate di gemme laterali. Le talee, se poste orizzontalmente, producono una maggiore massa di radici, a differenza di quelle poste in senso verticale. Particolare attenzione andrà posta, infine, durante il trasporto e lo stoccaggio al fine di evitarne l'essiccamento.

Si consiglia di impiegare parti di piante legnose quanto più grosse e lunghe possibili, adattate di volta in volta al metodo di costruzione, poiché il successo della radicazione e della cacciata aumenta col crescere del volume dei rami. In base all'esperienza, i risultati migliori si ottengono con porzioni della dimensione di un dito fino a quella di un braccio. Verghe e rami sottili disseccano facilmente e quindi vengono per lo più impiegati solo in combinazione con parti vegetali di maggiori dimensioni. Per procurarsi le quantità occorrenti di parti vegetali si hanno le seguenti possibilità a disposizione (Schiechtel, Stern, 1994):

- le parti di piante legnose possono essere ottenute da popolamenti naturali posti nelle vicinanze, affini dal punto di vista ecologico;
 - nel corso d'interventi culturali gli arbusti possono essere tagliati da sistemazioni già esistenti, eseguite con materiale idoneo e, le parti legnose delle piante che ne derivano possono essere utilizzate;
 - in caso di bisogno le parti vegetali necessarie possono essere ottenute anche da vivai, nel caso non siano disponibili o lo siano solo difficilmente, soprassuoli naturali.
1. *Margotte*: è una tecnica che consiste nel piegamento di un ramo o di un pollone e nel suo successivo interrimento: in tali condizioni vengono emesse nuove radici e, una volta che il ramo viene separato dalla pianta madre, si ha un nuovo esemplare.
 2. *Rizomi*: si possono ottenere individui arborei o arbustivi anche utilizzando rizomi o loro pari.

3. *Piote o zolle erbose*: servono a proteggere le sponde o i pendii sistemati di recente. La posa in opera delle zolle può avvenire in diversi modi: a scacchiera, a linee oblique, a cordoni orizzontali, in modo continuo o isolatamente; gli eventuali spazi vuoti verranno chiusi naturalmente dalla vegetazione spontanea con il passare del tempo, anche se, a volte si potranno verificare difficoltà in tal senso. In relazione agli elevati costi d'impianto, gli interventi che prevedono la copertura totale potranno essere effettuati solo su piccole superfici o in zone molto importanti da un punto di vista naturalistico laddove l'impiego di specie autoctone risulti essere indispensabile; va sottolineato il fatto che l'utilizzo di zolle provenienti da località limitrofe è una garanzia d'idoneità del materiale di propagazione utilizzato.

4. *Tappeto erboso*: assolve alle stesse funzioni delle piote erbose naturali, ma la sua produzione in vivaio offre alcuni vantaggi: maggiore disponibilità, maggiore uniformità e relativo migliore attecchimento.

7.1.2 Materiali organici inerti naturali e artificiali

I materiali di origine organica, ma senza capacità vegetativa, vengono detti inerti o "morti"; il loro uso può rendersi necessario quando sia richiesta una efficacia immediata dell'intervento, che non possa essere garantita dalle piante a causa dei tempi necessari al loro sviluppo:

Materiali organici inerti naturali:

- *legname*: tronchi, ramaglia, sciaveri;
- *concimi organici*: da impiegarsi qualora il substrato sia povero di sostanze nutritive;
- *ammendanti*: sostanze miglioratrici del terreno; idonee su substrati poveri di sostanze nutritive o con una struttura ed una tessitura del terreno non ottimale;
- *reti di juta, fibra di cocco o di altri vegetali* (ad esempio, paglia, sisal, kenaf): sono strutture a maglie aperte realizzate mediante tessitura (annodatura) di fibre vegetali;
- *biostuoie*: sono materassini di fibre vegetali (legno, paglia, cocco), contenute in reticelle poliolefiniche o organiche (ad esempio, juta), in commercio sono disponibili anche stuoie preseminate e preconciate;
- *concimi organici*: da impiegarsi qualora il substrato sia povero di sostanze nutritive;
- *mulch di legno, pasta di cellulosa vergine o riciclata* per impieghi nelle miscele da idrosemina.

7.1.2.1 Legname

Il legname viene impiegato con funzione di consolidamento temporaneo in attesa che la vegetazione subentri in tale ruolo. Si usano vari tipi di legname: abete bianco, abete rosso, larice, castagno, pino, douglasia sono i materiali più diffusi. Spesso ai fini di aumentarne la durabilità vengono scortecciati. Le dimensioni, sia in lunghezza che diametro, variano a seconda degli

impieghi. Vengono, molto spesso, usati tondami fuori misura - cortame (diversi dai canonici 2 e 4 metri) e non di prima scelta. Si faccia attenzione alla provenienza del materiale (ad esempio, larice della Siberia o quercia della Slovenia) in relazione alle distanze con il cantiere.

7.1.2.2 Bioreti e biostuoie

Bioreti e biostuoie possono essere impiegate in svariate condizioni, prevalentemente con funzione di controllo dell'erosione, nelle opere di:

- consolidamento di versanti franosi;
- consolidamento di dune costiere;
- consolidamento di piste da sci;
- recupero di ex cave;
- consolidamento di rilevati artificiali (discariche, infrastrutture viarie e ferroviarie, ecc.);
- costruzione di barriere antirumore;
- realizzazione di parchi urbani ed impianti sportivi.

Questi materiali offrono diversi vantaggi, quali:

- riduzione dell'erosione superficiale di origine idrica o eolica durante il delicato periodo post-intervento di sistemazione in attesa che la copertura vegetale si affermi; sono particolarmente utili in zone caratterizzate da notevoli avversità ambientali;
- non ostacolano, bensì favoriscono l'inerbimento delle superfici interessate dall'intervento, sia grazie alla capacità di trattenuta delle particelle più fini utili allo sviluppo della vegetazione, sia per la costituzione di un supporto per le specie vegetali pioniere;
- inducono una riduzione dell'evaporazione idrica del terreno e capacità di conservazione di un certo grado di umidità del suolo: alcuni prodotti di origine naturale possono assorbire 2-3 l/mq di acqua;
- inducono un benefico "effetto-serra" con conseguente trattenuta di calore;
- hanno una capacità di drenaggio superficiale degli accumuli di acqua nel terreno;
- sono disponibili di una vasta gamma di prodotti con trama, struttura e resistenze diverse che si prestano all'applicazione in diverse condizioni;
- sono competitivi dal punto di vista economico rispetto a soluzioni tradizionali, in relazione ai costi di produzione, di trasporto e di posa in opera;
- hanno capacità di incrementare la fertilità del terreno in seguito alla loro decomposizione e conseguente apporto di sostanza organica; esse sono totalmente biodegradabili, in quanto costituite da cellulosa e lignina (si decompongono completamente in 1-6 anni) ed inoltre non sono dannose per piante ed animali.

7.1.3 Materiali organici e inorganici naturali

I materiali naturali usati tradizionalmente nell'Ingegneria Naturalistica sono:

- ammendanti (organici/inorganici);
- terreno vegetale (organico);
- fertilizzanti, compost (organici);
- pietrame, altri inerti (inorganici).

7.1.3.1 Ammendanti

Le tecniche di ammendamento del terreno sono stabilite in base alle caratteristiche dei terreni che confluiscono nelle aree in cui si intende intervenire. Nel caso di terreni a forte drenaggio si possono impiegare polimeri accumulatori dell'acqua o collanti.

L'ammendamento può essere effettuato a seconda del prodotto con due modalità sostanziali:

- mediante miscela in fase di movimentazione del terreno;
- con applicazione dopo la stesura mediante aspersione superficiale.

Si possono effettuare le seguenti operazioni di inoculo, ove il caso lo richieda (in fase di lavori, spetta alla direzione dei lavori decidere a proposito):

- mediante piccole quantità di terreno prelevate in loco per innesco del processo microorganico con ceppi autoctoni e selezionati;
- mediante batteri e micorrize, di provenienza dal mercato, addizionati alle miscele di sementi per l'idrosemia.

Tra i materiali impiegabili per l'ammendamento e concimazione dei terreni vengono segnalati i seguenti:

- lapillo e/o pomice;
- bentonite di tipo agricolo;
- corteccia;
- compost di corteccia;
- paglia;
- flocculanti (compresi acidi umici);
- polimeri flocculanti;
- sabbia;
- argilla;
- sostanza organica (fertilizzante organico);
- ammendanti chimici;
- concimi chimici;
- micorrize.

Il miscelamento del terreno viene controllato dalla direzione dei lavori ed avviene in apposito piazzale predisposto dalla stessa.

Per quanto concerne la corteccia, questa deve essere matura (con giusto grado di umidità e non fresca per evitare l'inibizione della crescita delle piante soprattutto erbacee) ed a scaglie non troppo grandi.

Per la sostanza organica va privilegiato l'impiego di letame bovino maturo; è possibile l'impiego di letame equino ed ovino nella misura del 30% sul totale. La percentuale di sostanza organica aggiunta non dovrà comunque mai eccedere il 5%.

7.1.3.2 Terreno vegetale

In relazione al valore ecologico intrinseco del terreno vegetale, eventualmente presente, nell'area oggetto di un qualsiasi intervento sul territorio che prevede un successivo recupero ambientale, è consigliato provvedere alla rimozione ed allo stoccaggio del suddetto terreno che in seguito, potrà essere utilizzato in loco al fine di costituire un prezioso substrato per la messa a dimora di specie vegetali.

Il terreno vegetale eventualmente utilizzato e

proveniente da altro sito dovrà rispondere a determinate caratteristiche, quali:

- assenza di corpi estranei;
- assenza di pietrame;
- presenza di materiale inerte grossolano, avente un diametro > 2 mm, in quantità inferiore al 25% del volume totale;
- assenza di materiale legnoso (tronchi, rami, radici);
- assenza di agenti patogeni della vegetazione;
- assenza di sostanze tossiche;
- presenza della parte organica (batteri, micorizze, microfauna).

A tal fine l'analisi del suolo consentirà di evidenziare le caratteristiche fisico-chimiche del materiale.

È importante non eccedere nella quantità di terreno vegetale adoperato in quanto le radici delle piante tenderebbero a colonizzare lo strato fertile, ma incoerente, senza ancorarsi al substrato roccioso, con possibili conseguenze di smottamenti per sovraccarico; è consigliato, quindi riportare uno strato di terreno non superiore a 16-20 cm di spessore.

7.1.3.3 Fertilizzanti e compost

I fertilizzanti vengono impiegati per raggiungere elevate rese produttive.

I compost sono il risultato di una fermentazione aerobica controllata che consente di ottenere residui di varia natura, prevalentemente derivanti da Residui Solidi Urbani (RSU), in cui la componente organica risulta stabilizzata ed in parte umificata.

7.1.3.4 Pietrame

Il pietrame viene impiegato spesso per opere di protezione, di consolidamento e, più raramente, di sostegno, nonché per la realizzazione di opere trasversali quali le rampe di risalita per pesci.

7.1.4 Materiali inorganici industriali

Esistono diversi prodotti industriali che consentono di integrare efficacemente le tecniche "biologiche" e svolgere diverse funzioni in maniera permanente:

- controllo dell'erosione superficiale dovuta agli agenti meteorici;
- controllo dell'erosione in ambito fluviale;
- contenimento e rinforzo per la realizzazione di opere di sostegno;
- rinforzo del terreno: aumento della resistenza al taglio del terreno al fine di aumentarne la stabilità e di realizzare pendii e opere di sostegno;
- drenaggio;
- separazione e filtrazione;
- impermeabilizzazione;
- contenimento e rafforzamento superficiale;
- funzioni accessorie (fissaggio e collegamento);
- correzione ed integrazione delle proprietà chimico-fisiche dei terreni.

Questi materiali sono realizzati con acciaio, polimeri e sostanze chimiche di varia natura:

- *geogriglie*: materiale polimerico sia deforma-

bile che non conformato a forma di griglia realizzato connettendo tra di loro e fissando nelle giunzioni i materiali polimerici stessi.

I principali tipi sono quelle:

- estruse;
- tessute;
- a nastri sovrapposti e saldati.

Possono essere realizzate con poliestere, polipropilene, polietilene; possono essere dotate di rivestimento protettivo o meno. Sono materiali dotati di resistenza a trazioni significative e di bassa deformabilità, pertanto vengono usati prevalentemente nel rinforzo dei terreni (opere di sostegno e pendii rinforzati) e per la ripartizione di carichi su terreni a bassa portanza;

- *geotessuti*: sono strutture piane e regolari formate dall'intreccio di due o più serie di fili costituiti da fibre sintetiche, che consentono di ottenere aperture regolari e di piccole dimensioni. In relazione al telaio utilizzato si distinguono in tessuti: a trama e ordito, a maglia a catenella (*warp knitted*). Possono essere in poliestere o polipropilene (più raramente polietilene). Vengono usati con funzione di rinforzo, filtrazione e separazione nelle opere idrauliche e stradali e di consolidamento;
- *geotessili non tessuti*: materiali costituiti da fibre polimeriche coesionate mediante agugliatura o termosaldatura. Ne esistono con caratteristiche idrauliche e meccaniche anche molto diverse e vengono usati con funzione di filtrazione e separazione nelle opere idrauliche, stradali e di consolidamento;
- *reti metalliche a doppia torsione a maglie esagonali in filo d'acciaio*: vengono realizzate mediante la tessitura di trafilato d'acciaio. Per aumentarne la durabilità il filo viene galvanizzato con lega di zinco ed alluminio ed eventualmente plasticato. Possono avere diverse resistenze a seconda delle combinazioni diametro del filo - tipo di maglia. Sono reti per uso ingegneristico dotate di elevata resistenza e caratterizzate dalla capacità di confinare localmente le eventuali rotture o strappi. Si utilizzano per molteplici applicazioni: realizzazione di elementi per rinforzo dei terreni, realizzazione di rivestimenti vegetativi (in abbinamento con biostuoie o geostuoie) per il controllo dell'erosione su scarpate ripide, realizzazione di gabbioni e materassi da riempire con pietrame che sono utilizzati nelle difese fluviali e nelle opere di sostegno;
- *geostuoie tridimensionali*: sono costituite da filamenti di materiali sintetici (polietilene ad alta densità, poliammide, polipropilene o altro), aggrovigliati in modo da formare uno strato molto deformabile dello spessore di 10-20 mm, caratterizzato da un indice dei vuoti molto elevato (> 90%). Possono essere saturate con materiali naturali (ghiaia, bitume) e sintetici (gomme) per applicazioni particolari; le geostuoie possono venire rinforzate mediante reti metalliche a doppia torsione e geogriglie;
- *geocompositi drenanti*: sono costituiti dal-

Tab. 7.1 - Piante e materiali utilizzabili a seconda delle diverse tipologie d'impiego

Ambiti d'impiego		PIANTE			MATERIALI UTILIZZABILI			
		Naturalità crescente ←			Naturalità crescente ←			
		Piante autoctone	Piante esotiche naturalizzate	Piante esotiche di recente introduzione	Materiali naturali	Materiali biodegrad.	Materiali artificiali	
1 2 3 4 5 6	↑ Naturalità crescente	Aree protette	X X X	-	-	X X	X X	- ⁽¹⁾
		Aree naturali	X X X	-	-	X X	X X	X
		Aree agricole	X X	X	-	X X	X X	X
		Parchi e giardini	X X	X	X	X	X	X
		Aree urbane	X X	X	X	X	X	X
		Aree industriali	X X	X	X	X	X	X

Legenda:

- XXX = impiego esclusivo;
 XX = possibilità di impiego preferenziale;
 X = impiego indifferente in funzione delle scelte progettuali;
 - = incompatibilità assoluta.

⁽¹⁾ Utilizzo solo per la soluzione di problemi geotecnici ed idraulici per la protezione diretta di edifici o infrastrutture esistenti.

^(*) Nelle categorie materiali biodegradabili, naturali o artificiali si fa riferimento a quelli strutturali e non ai componenti

Fonte: AIPIN, 2002.

Tab. 7.2 - Materiali impiegati per l'Ingegneria Naturalistica in funzione delle loro caratteristiche meccaniche

Materiali	Massa areica (g/m ²)	Durabilità (anni)		Resistenza alla trazione (kN/m)	
		Minima	Massima	Minima	Massima
Biorete juta	200 ÷ 500	1	2	1	2
Biorete cocco	400 ÷ 900	5	8	5	10
Biostuoia cocco	300 ÷ 400	0,5	1	0,3	0,5
Biostuoia paglia	300 ÷ 400	0,3	0,5	0,3	0,4
Biostuoia in legno	500 ÷ 800	1	2	1,8	2,2
Geostuoia tridimensionale	500 ÷ 800	> 5		1,3	1,8
Geostuoia tridimensionale rinforzata	1.500 ÷ 2.500	> 5		38	200
Geogriglie	300 ÷ 2.200	20	120	30	1.000
Geotessuti	80 ÷ 1.000	10	50	10	500
Reti metalliche a doppia torsione	1.200 ÷ 1.750	30	> 100	27	65

l'associazione (in produzione) di uno strato di georete (o di geostuoia) racchiuso tra uno o due strati di geotessile (o tra una membrana e un geotessile). Lo spessore complessivo del geocomposito può variare tra 5 e 30 mm. Svolgono funzione filtrante e drenante nelle trincee drenanti e nei dreni a tergo di opere di sostegno;

- *geomembrane*: svolgono la funzione di barriere idrauliche per impermeabilizzare bacini, argini, canalette, ecc. Possono essere polimeriche (HDPE, PVC, PP) o bentonitiche (argilla bentonitica intrappolata tra due geotessili).

Possiamo riassumere tramite la **tabella 7.1** la preferibilità d'impiego dei materiali per le tecniche di Ingegneria Naturalistica.

Nella **tabella 7.2** si riporta l'elenco dei materiali impiegati per l'Ingegneria Naturalistica in funzione delle loro caratteristiche meccaniche.

Bibliografia



AA.VV., Regione Emilia Romagna - Assessorato all'Ambiente, Regione Veneto - Assessorato Agricoltura e Foreste, 1993

Manuale Tecnico di Ingegneria Naturalistica, Bologna.

Schiechtl H.M., Stern R., 1992

Ingegneria Naturalistica. Manuale delle opere in terra, Edizioni Castaldi, Feltre (BL).

Schiechtl H. M., Stern R., 1994

Ingegneria Naturalistica. Manuale delle costruzioni idrauliche, Edizioni Arca, Gardolo (TN).

Pirolì S., s.d.

Quali materiali per quali opere, in Regione Liguria - Assessorato Edilizia, Energia e Difesa del Suolo, *Opere d'Ingegneria Naturalistica e recupero ambientale*, Genova.