

Biotecnica delle Specie Vegetali

R. Schicchi, P. Marino

La società moderna pone come prioritaria la complessa e difficile ricerca di uno sviluppo compatibile, in grado di coniugare le esigenze socio-economiche con quelle della tutela ambientale, in un rapporto armonico improntato su una migliore qualità della vita. A tale concetto generale si rifanno i nuovi criteri di programmazione, pianificazione e gestione del territorio. L'uomo ha determinato, nel corso dei secoli, profonde modificazioni ambientali e, negli ultimi cento anni, il ritmo di tali alterazioni è notevolmente cresciuto. Ciò ha causato, tra l'altro, una riduzione degli spazi naturali (boschi di pianura, zone umide, anse fluviali, ecc.) al fine di estendere le aree agricole e/o urbane. Il crescente degrado ambientale, ha portato alla crisi dell'intero sistema ecologico nel quale, in definitiva, l'uomo stesso vive. Di conseguenza, si è evoluta una nuova filosofia di azione che tende a recuperare habitat rari o degradati e a ricrearne di nuovi. Per indicare l'impostazione di fondo e le tecniche da adottare in tali interventi sono stati coniatati termini quali *recupero ambientale*, *rinaturalizzazione*, *rinaturazione*, *ingegneria naturalistica*, *biotecnica vegetale* ecc. In diversi paesi e, soprattutto, in quelli centro europei, da anni si stanno conducendo interessanti studi e realizzazioni che dimostrano le enormi capacità di recupero che certi ambienti, seppure gravemente degradati, possono manifestare qualora vengano eliminati i fattori di disturbo e siano compiuti gli opportuni interventi di recupero mediante l'uso di specie in possesso di adeguate caratteristiche biotecniche.

16.1 Recupero ambientale

Il recupero ambientale (*restoration*) riguarda tutti gli interventi finalizzati a favorire la ripresa spontanea della serie di vegetazione autoctona, costituita dalle associazioni legate da rapporti dinamici che si rinvergono in uno spazio ecologicamente omogeneo con la stessa potenzialità vegetazionale.

Tipico è il caso delle arce di cantiere che dopo la costruzione dell'opera dovranno essere recuperate all'ambiente naturale, degli imbocchi delle gallerie,

dei rilevati ferroviari e stradali, delle sponde di un alveo, delle cave, delle discariche, delle miniere ecc. (Blasi e Paoletta, 1993).

Il recupero si attua con metodiche tipiche della *Restoration ecology* basate su tecniche a basso impatto ambientale come quelle dell'ingegneria naturalistica.

All'interno del recupero ambientale si distinguono il *restauro* e il *ripristino*. Il *restauro* si riferisce in genere ad un ambiente arealmente ben definito, in cui si è avuta una progressiva alterazione puntuale. Si parla, invece, di *ripristino ambientale* quando l'obiettivo dell'intervento è quello di riproporre le forme e i tipi di vegetazione presenti in un determinato ambiente prima della sua occupazione. Non sempre è possibile ripristinare le condizioni di partenza di un'area molto degradata come per esempio quella delle cave.

16.2 Rinaturalizzazione, rinaturazione e ingegneria naturalistica

Il significato letterale di *rinaturazione* è creazione di nuova natura, in siti ormai artificializzati e rappresenta un'evoluzione del concetto di ripristino ambientale e restauro ecologico. Una distinzione significativa è quella tra *rinaturalizzazione* e *rinaturazione*: trattasi di due sfumature di significato dello stesso termine inglese (*nature restoration*). Nel caso della *rinaturalizzazione* la traduzione letterale è «aggiunta di caratteristiche di naturalità»: questa espressione si utilizza per interventi limitati ad una ricostruzione fisionomica naturale, senza l'intenzione di un ripristino dell'habitat naturale potenziale (Bucci e Novegno, 2004). Nel caso della *rinaturazione*, il cui significato letterale è «creazione di nuova natura», l'obiettivo è la ricostituzione dell'habitat potenziale del sito degradato, seguendo un iter più rigoroso e attento alla realtà ecosistemica locale, attraverso l'impiego, per esempio, di specie vegetali autoctone e di loro ecotipi locali (Malcevschi *et al.*, 1996). La rinaturazione diviene, quindi, il nuovo stile d'interpretazione del ripristino ambientale.

16.3 Lo studio di recupero ambientale e la scelta delle specie

Ai fini di una corretta pianificazione degli interventi, lo studio di recupero ambientale deve basarsi su un'approfondita conoscenza delle caratteristiche stazionali e su una attenta analisi delle comunità vegetali esistenti. In particolare, la conoscenza dei contatti seriali e catenali tra le varie tipologie vegetazionali presenti nel territorio, consente l'individuazione dello stadio della serie e le relative specie vegetali cui fare riferimento. Quest'ultime devono essere coerenti con le caratteristiche ecologiche stazionali, possedere adeguate proprietà

biotecniche e capaci di innescare processi dinamici evolutivi che nel tempo siano in grado di dare origine a formazioni vegetali sempre più complesse (Cornellini e Bianco, 2010).

Sulla base degli obiettivi di progetto ci si potrà riferire, di volta in volta, alle *comunità erbacee*, che rappresentano gli stadi iniziali della serie, alle *cenosi arbustive* che costituiscono gli stadi intermedi o alle *cenosi forestali* che rappresentano gli stadi più evoluti. Si passa cioè a livelli progressivamente crescenti di biomassa, biodiversità e complessità fisionomico-strutturale (stratificazione). Tale tendenza naturale esprime il dinamismo della vegetazione. Il processo di trasformazione progressiva della vegetazione, tramite la sostituzione delle associazioni all'interno della stessa unità ambientale, costituisce una successione. Questo processo è sempre accompagnato da cambiamenti delle caratteristiche del suolo che viene modificato e migliorato dalla copertura esercitata dalle specie vegetali edificatrici diventando in grado di ospitare tipologie di vegetazione sempre più complesse. Un suolo maturo è ricco di nutrienti, ha una buona dotazione in humus e un'elevata capacità idrica.

Le specie edificatrici, in genere, hanno portamento e forma biologica tali da modificare il suolo e le condizioni microclimatiche nelle sue immediate vicinanze. Per esempio la ginestra comune (*Spartium junceum*) – specie pioniera che si presta bene al consolidamento dei pendii franosi - ha un portamento a cespuglio alto e largo. Essa ombreggia il suolo, lo migliora e lo arricchisce di azoto, elemento fondamentale per la crescita delle piante. Della sua azione si avvantaggiano le plantule di diverse specie arboree come il leccio (*Quercus ilex*), le querce caducifoglie e l'orniello (*Fraxinus ornus*) tipiche delle formazioni forestali collinari e montane.

Nello studio di recupero ambientale, soprattutto in aree fortemente antropizzate dell'ambiente mediterraneo, come quello del territorio siciliano, particolare importanza rivestono gli ambiti territoriali nei quali permangono piccole aree di vegetazione seminaturale o sub-naturale oppure lembi residuali di vegetazione forestale o preforestale, spesso frammentarie o relitte fra i coltivi. Al loro interno, infatti, attraverso l'analisi floristica e fitosociologia - eseguita seguendo il metodo proposto da Braun-Blanquet (1928) e modificato da Pignatti (1952) - è possibile individuare le specie vegetali coerenti con i caratteri stazionali del sito d'intervento. Diversamente, nelle aree molto antropizzate non sono presenti le associazioni naturali dei luoghi (Sauli, 2002). In questo caso per avere informazioni utili si dovrà fare riferimento alle indagini floristiche e biogeografiche di area vasta, individuata mediante la classificazione gerarchica del territorio.

Seguendo questi criteri si eviterà di impiegare specie poco compatibili con l'ambiente che, dopo una temporanea permanenza, sono destinate a scomparire lasciando il suolo senza adeguata copertura (Paiero *et al.*, 1996).

16.4 Criteri di scelta delle specie

Per la riuscita degli interventi di recupero ambientale e per l'applicazione delle tecniche di ingegneria naturalistica è fondamentale la corretta scelta delle specie da utilizzare. Esse devono appartenere alla flora autoctona del territorio per scongiurare potenziali pericoli di inquinamento genetico c/o alterazione delle caratteristiche degli habitat dovuti all'incauta introduzione di entità esotiche, con particolare riferimento a quelle a carattere invasivo. Ciò è importante soprattutto quando le aree di intervento ricadono nell'ambito di aree naturali protette o all'interno dei siti Natura 2000 (SIC e ZPS).

Nella scelta delle specie alcune entità sono più importanti di altre sia per caratteristiche biotecniche che per amplitudine ecologica.

I materiali biologici, per quanto possibile, dovrebbero provenire da zone vicine al cantiere di lavoro (Schiechl e Stern, 1992).

L'individuazione delle specie, in sintesi, deve tenere conto dei seguenti criteri (Cornellini e Bianco, 2010; Pajero *et al.*, 1996; Schiechl e Stern, 1992):

- a) obiettivo degli interventi;
- b) coerenza con le caratteristiche ecologiche, bioclimatiche e floristico-vegetazionali dell'area di intervento;
- c) appartenenza ad uno stadio della serie dinamica della vegetazione autoctona;
- d) facilità di propagazione e di attecchimento;
- e) adattabilità e frugalità;
- f) caratteristiche biotecniche favorevoli che rendono la specie efficace nel consolidamento e nella protezione del suolo;
- g) facilità di reperimento in loco e/o di approvvigionamento nei vivai locali;
- h) ridotti interventi di risarcimento e cure colturali;
- i) valore estetico-paesaggistico.

Le specie arboree, in genere, possono essere utilizzate in aree forestali mentre, più problematico è il loro impiego negli interventi di stabilizzazione dei versanti, soprattutto in stazioni con caratteristiche ecologiche e morfologiche molto difficili. In questi ambiti il loro uso può essere addirittura deleterio in quanto con il peso e per l'effetto leva esercitato dagli apparati radicali – sollecitati dall'azione del vento che impatta sulle loro ampie chiome – possono incrementare l'instabilità dei versanti.

Diverse specie (*Quercus virgiliana*, *Q. dalechampii*, *Q. amplifolia*, *Q. cerris*, *Fraxinus ornus*, *Ostrya carpinifolia* ecc.), tuttavia, si prestano ad essere impiegate nella costituzione di fasce arborate finalizzate alla mitigazione degli impatti dovuti alle infrastrutture lineari e alla realizzazione di corridoi ecologici.

Le specie arbustive, incluse quelle suffruticose, sono le più utilizzate nei lavori di recupero ambientale e anche nella stabilizzazione del suolo delle

scarpate (Cornelini e Bianco, 2010). Gli arbusti pionieri con le loro radici sono in grado di consolidare uno spessore di suolo variabile da 30 a 60 cm, in quanto l'effetto ancoraggio delle radici si esplica su uno spessore inferiore alla profondità di radicazione. Con riferimento agli arbusti mediterranei, Cornelini *et al.* (2009) hanno accertato in Sicilia, su circa 100 specie esaminate, che la profondità media di sviluppo delle radici si aggira sui 60 cm, con valori massimi fino a 1,60 m.

Una specie arbustiva, o piccolo albero, di notevole interesse sia produttivo che protettivo, presente negli agrosistemi tradizionali dei versanti collinari dei Nebrodi in Sicilia è il nocciolo (*Corylus avellana*). Questa specie è provvista di un apparato radicale esteso orizzontalmente per una superficie doppia rispetto a quella della proiezione della chioma e raggiunge una profondità variabile in relazione alla natura del terreno e alle tecniche colturali praticate. Pur tuttavia, la maggior parte delle radici è localizzata nei primi 50 cm e le radici assorbenti sono distribuite in tutte le zone esplorate (Tombesi, 1985).

L'utilizzo delle specie erbacee è indicato soprattutto nelle stazioni molto acclivi e con substrato poco evoluto. Particolare attenzione andrà posta nella selezione delle sementi che comporranno il miscuglio da impiegare in funzione delle condizioni pedoclimatiche, floristiche e vegetazionali della località di intervento. In genere, il miscuglio è composto da specie con caratteristiche biotecniche complementari, appartenenti alla famiglia *Poaceae*, in grado di imbrigliare e trattenere il suolo più superficiale, e alla famiglia *Fabaceae* ad azione radicale più profonda e con capacità di arricchire il terreno in azoto; secondariamente anche da specie di altre famiglie ritenute utili e compatibili. Secondo Schiechl (1973) è necessario comporre miscugli tanto più ricchi di specie quanto più estreme si presentano le condizioni della stazione. Il consolidamento più efficace del terreno si ottiene, infatti, quando la compenetrazione radicale nel corpo terroso riguarda diversi strati dello stesso (Fig. 16.1).

La realizzazione d'interventi di rivestimento vegetale con specie erbacee è di norma sufficiente a proteggere gli strati più superficiali del terreno dai fenomeni erosivi. Le tecniche costruttive e i materiali impiegati sono differenti in base alle caratteristiche geopedologiche, morfologiche e climatiche dei siti. In diversi casi l'inerbimento è abbinato a strutture ausiliarie, che hanno la funzione di ricoprire e fissare la superficie del terreno instabile da trattare e di favorire lo sviluppo delle piante. Gli interventi di recupero e riqualificazione ambientale possono rappresentare buone occasioni per la diffusione negli ambiti opportuni di taxa endemici, rari e/o in pericolo di estinzione aumentandone, in tal modo, il valore ecologico-naturalistico. Questo tipo di interventi deve necessariamente prevedere una adeguata attività di propagazione delle specie presso i vivai locali, sia permanenti che temporanei.

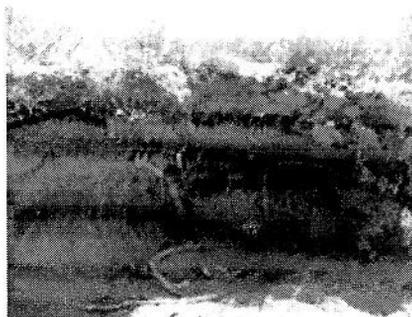


Figura 16.1 Fitta compenetrazione di apparati radicali fascicolati avventizi (*Poaceae*) e fittonanti di *Astragalus siculus*, specie endemica dell'Etna.

16.5 Materiali vegetali

L'approvvigionamento del materiale vegetale rappresenta uno degli aspetti di maggiore importanza nei lavori di selvicoltura e ingegneria naturalistica, di recupero ambientale e, in generale, di tutela e protezione dei suoli. Tali lavori, infatti, richiedono la disponibilità di elevate quantità di materiale vegetale appartenente ad una o più delle seguenti categorie:

- a) *talee* (segmento di fusto o di ramo, non ramificati, lignificati e di differente grossezza che, separato dalla pianta madre è capace di produrre radici avventizie e di rigenerare così un nuovo esemplare, a volte in breve tempo (es. salici, pioppi, tamerici, nocciolo, fico, cotogno, ecc). Un particolare tipo di talea è quello radicale che è un segmento di radice, prelevato durante il periodo di riposo vegetativo da diverse specie (salici, lampone, rovo, nocciolo, pioppo, ecc.) Per alcune specie, come *Ammophila arenaria* subsp. *arundinacea* e *Phragmites australis*, la talca è costituita da segmenti di culmo;
- b) *talee radicate* (segmento di fusto o di ramo provvisti di radici avventizie);
- c) *selvaggioni* (seminzale proveniente da disseminazione naturale senza l'intervento diretto dell'uomo, in contrapposizione ai semenzali ottenuti in vivaio);
- d) *verghe* (getti diritti, slanciati, poco ramificati, elastici, di lunghezza pari o superiori a 120 cm);

- e) *rami* (getti ramificati di almeno 60 cm di lunghezza e di differente spessore);
- f) *astoni* (getti dritti, poco ramificati, con lunghezza variabile da 1 a 3 m e diametro di 4-15 cm);
- g) *semi*;
- h) *semenzali e trapianti* di specie arbustive o arboree. Il semenzale è una giovane piantina ottenuta da seme in vivaio e non trapiantata. Gli alberi e gli arbusti possono essere utilizzati a radice nuda (latifoglie) o in fitocella con pane di terra. Le piante a radice nuda non offrono in genere le stesse garanzie di attecchimento di quelle in fitocella;
- i) *radici e rizomi* (parti di organi sotterranei, radici o fusti trasformati, con funzione assorbente e/o di riserva, provvisti di gemme in grado di dare origine a nuovi individui);
- j) *cespi e zolle erbose*: insieme compatto di radici e fusti erbacei, di origine naturale o prodotti in vivaio. La divisione di cespi riveste notevole importanza per la propagazione delle cosiddette graminacee cespitose (*Ampelodesmos mauritanicus*, *Dactylis glomerata*, *Hyparrhenia hirta*, *Lygeum spartum*, *Oryzopsis miliacea*, *Sesleria nitida* ecc.).

16.6 Caratteristiche morfometriche degli apparati radicali

La radice è quella parte del cormo che deriva dallo sviluppo del polo radicale dell'embrione. La prima radice di una pianta a seme è quella primaria o radice principale. Da essa, ad una certa distanza dall'apice e in sequenza acropeta, si formano numerose radici laterali che, a loro volta, danno origine ad altre radici secondarie. In questo modo si struttura l'apparato radicale che assicura alla pianta sia l'esplorazione capillare del suolo, per soddisfare le sue esigenze di acqua e sali minerali, sia un efficace ancoraggio (Arrigoni, 1977). L'estensione delle radici e la loro distribuzione nel suolo sono strettamente connesse alla stabilità meccanica della pianta. La conformazione dell'apparato radicale, pur essendo stabilita geneticamente, è fortemente influenzata dalle caratteristiche del terreno, dalla disponibilità di nutrienti e umidità, dalle associazioni con altri vegetali, dalla presenza di ostacoli meccanici e dal metodo di propagazione della pianta (Paiero *et al.*, 1996).

Nelle Dicotiledoni e nelle Gimnosperme la radice principale rimane viva per tutta la durata della vita della pianta e si accresce e sviluppa sia in lunghezza che in spessore più delle radici laterali che rimangono più corte e sottili. La tipologia di crescita è simile ad una piramide rovesciata per cui si parla di *apparato radicale a fittone o fittonante* (Fig. 16.2 e Fig. 16.3). A volte le radici laterali si

accescono molto raggiungendo o superando le dimensioni della radice principale. Il modello di sviluppo che ne deriva, costituito da numerose radici di potenza simile, è chiamato *apparato fascicolato* o *affastellato*.

Nelle Monocotiledoni la radice principale, in genere, muore poco tempo dopo dalla germinazione e l'apparato radicale si espande per l'emissione di numerose radici avventizie (in quanto non originatesi dai tessuti radicali) alla base del fusto in corrispondenza delle gemme ascellari. Questo apparato radicale è simile a quello fascicolato sia per la forma sia dal punto di vista funzionale: esso, tuttavia, ne differisce per la zona istologica da cui derivano le singole radici.

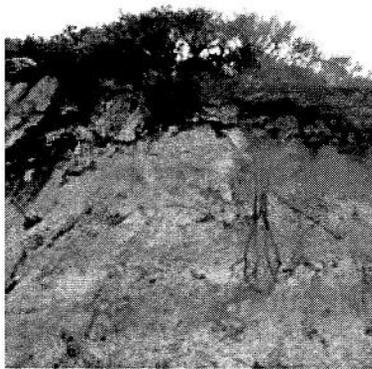


Figura 16.2 Apparato radicale fittonante di *Astragalus nebrodensis*, specie endemica delle Madonie, insediata sui substrati dolomitici di contrada Quacella.

Specie con apparato radicale fittonante possono acquisire un apparato radicale fascicolato nei seguenti casi:

- a) in tutte le forme di propagazione vegetativa per autoradicazione, spontanea, come, per esempio, la formazione di radici nei nodi degli stoloni della fragola, o artificiale nelle varie tecniche di moltiplicazione per parti di pianta (margotta, propaggine, talea ecc.). In quest'ultimo caso le radici hanno origine da meristemi secondari differenziati dal callo nel corso della rizogenesi;
- b) in caso di traumi a carico del fittone come, per esempio, in occasione di un trapianto o di un travaso: l'estirpazione di una pianta, anche in caso di prelievo con pane di terra, provoca di solito la rottura del fittone e di parte delle radici secondarie. La pianta reagisce, in sede di affrancamento, con l'emissione di nuove radici avventizie che faranno assumere all'apparato radicale una struttura tendenzialmente fascicolata.



Figura 16.3 Fittone radicale di *Teucrium fruticans*, piccolo arbusto aromatico utile per interventi di recupero ambientale.

Secondo Schütt e Koch (1983) e Paiero *et al.* (1996) le radici possono essere classificate sulla base della modalità di accrescimento in:

- a) *radici a fittone* o *fittonanti*, caratterizzate da un asse principale che si sviluppa in profondità e che domina sulle radici secondarie che da esso si dipartono (es. generi *Quercus*, *Abies*, *Pinus*, *Ulmus*). Esse riescono ad assorbire l'acqua dagli strati più profondi del terreno e forniscono un buon ancoraggio alla pianta;
- b) *radici orizzontali*, la cui radice principale viene ben presto sostituita da radici secondarie che presentano un portamento plagiotropo e si ramificano notevolmente (*Picea excelsa*, *Populus* sp.pl., *Fagus* ecc.) (Fig. 16.4);
- c) *radici fascicolate*, equivalenti tra loro per lunghezza e spessore, che tendono a svilupparsi verticalmente e che si originano nelle immediate vicinanze del ceppo (es., generi *Betula*, *Carpinus*, famiglia *Poaceae* e Monocotiledoni in genere, ecc.);
- d) *radici a candelabro*, che si formano in corrispondenza di grosse radici orizzontali e superficiali, dalle quali si dipartono verticalmente approfondendosi nel suolo (*Fraxinus* sp. pl., *Populus tremula* ecc.).



Figura 16.4 Apparato radicale a portamento plagio tropo di *Fagus sylvatica*.

16.7 Indici di parametrizzazione sintetica

Di seguito si riportano alcuni indici di parametrizzazione sintetica che, nell'insieme, forniscono una descrizione semplificata del comportamento biotecnico delle piante (Pirrer e Cornellini, 2008):

1) *Indice di semisfericità radicale A*

$$A = \frac{P}{2 Aip} \quad (16.1)$$

avendo indicato con P la profondità radicale e con Aip l'ampiezza radicale. Considerando l'ampiezza radicale rappresentativa del diametro dell'area esplorata dalle radici, tale indice adimensionale pone attenzione alla globalità dell'architettura radicale. Tenendo presente che la pianta possiede per $A=0.5$ uno sviluppo omogeneo dell'apparato radicale assimilabile all'emisferio, quanto più A è maggiore di 0.5, tanto più le radici si sviluppano in profondità e meno sul piano orizzontale. In particolare, si assume che la pianta ha una discreta tendenza al fittonamento per $A>1$. Tra le specie con tendenza al fittonamento figurano *Anagyris foetida*, *Asparagus acutifolius*, *Daphne gnidium*, *Rosa canina*, *Quercus calliprinos* e *Rhus coriaria*.

2) *Indice di stabilità relativa S*

$$S = \frac{P}{H} \quad (16.2)$$

avendo indicato con H l'altezza epigea della pianta. Tale indice adimensionale pone attenzione allo sviluppo e al comportamento verticale del campione. Per esempio valori contenuti dell'indice, cioè quando l'altezza epigea è maggiore della profondità radicale, possono esprimere una minore stabilità al ribaltamento. Di contro, valori elevati dell'indice di stabilità relativa mostrano un miglior ancoraggio al terreno della pianta. Tra le specie con elevati valori di S si ricordano: *Anagyris foetida*, *Atriplex halimus*, *Astragalus siculus*, *A. nebrodensis*, *Calicotome infesta*, *Plantago cupanii*.

3) Indice di stabilità potenziale S_p

$$S_p = \frac{L}{H} \quad (16.3)$$

avendo indicato con L la lunghezza della radice principale. Tale indice adimensionale integra le informazioni dell'indice di stabilità relativa S sulla capacità di ancoraggio degli apparati radicali. Si possono avere, infatti, forti ancoraggi su spessori limitati di suolo, grazie al forte sviluppo orizzontale delle radici principali. Questo indice vale maggiormente per le specie con radici fittonanti, mentre può perdere significato nel caso di specie con apparati radicali fascicolati. Tra le specie con elevati valori di S_p si segnalano: *Anagyris foetida*, *Atriplex halimus*, *Cistus monspeliensis*, *Astragalus siculus*, *A. nebrodensis*, *Calicotome infesta*, *Plantago cupanii*.

4) Indice di solidità relativa s

$$s = \frac{A_{ip}}{A_{ep}} \quad (16.4)$$

in cui si è indicato con A_{ep} l'ampiezza epigea. Valori contenuti di questo indice adimensionale, che si hanno quando l'ampiezza epigea è maggiore dell'ampiezza radicale, indicano una probabile stabilità precaria della pianta. Valori elevati dell'indice, invece, unitamente alla lettura degli altri indici, possono indicare una solidità del campione esaminato. Specie con discreti valori di S sono *Atriplex halimus*, *Calicotome infesta*, *Tamarix africana* e *T. gallica*.

5) Indice di stabilità radicale R

$$R = S s \quad (16.5)$$

L'indice adimensionale pone attenzione allo sviluppo e al comportamento in profondità e in orizzontale della pianta. Guardando sia alla stabilità in profondità che sul piano orizzontale, R è un indice globale e, nello stesso tempo, un indice del consolidamento del terreno. Per parametrizzare i risultati si assume un

comportamento tanto più stabile quanto più $R > 1$. Tra le specie con elevati valori di R si hanno *Atriplex halimus* e *Calicotome infesta*.

6) *Indice di stabilità globale P*

$$P = \frac{S}{s^2} \quad (16.6)$$

Questo indice adimensionale pone maggiore attenzione alla capacità di penetrazione tridimensionale, sia in verticale che in orizzontale del campione. In tal senso, P è un indice globale. Si assume un comportamento stabile quando i valori di P sono maggiori di 1. *Atriplex halimus*, *Crataegus monogyna*, *Calicotome infesta*, *Euphorbia dendroides* sono entità con elevati valori di P .

16.8 Caratteristiche biotecniche delle piante impiegabili nei lavori di ingegneria naturalistica

Le tecniche di ingegneria naturalistica utilizzano piante vive per consolidare e difendere versanti e sponde dei corsi d'acqua dai dissesti. Le piante rivestono grande interesse come materiali viventi da costruzione, in quanto offrono l'opportunità di ricostituire ambienti prossimi alla naturalità in linea con i principi della pianificazione e progettazione ecologica. È utile, nel considerare l'impiego delle piante, fare una distinzione tra gli interventi di tipo estensivo e di tipo intensivo.

Gli *interventi estensivi* sono considerati come operazioni su grande scala (idrosemina, copertura diffusa), che non prevedono necessariamente un forte impiego di manodopera; gli imboschimenti e i rinfoltimenti, con piantine forestali di specie arboree, fanno parte degli interventi estensivi, volti a ottenere una copertura vegetale generalmente su ampie superfici.

Gli *interventi intensivi* possono considerarsi, invece, come un'azione puntuale (briglia, palificata, ecc.) che, al contrario, può richiedere un dispendio notevole di operai e/o di mezzi meccanici con cui intervenire su un'area di limitata estensione.

16.8.1 Caratteristiche biotecniche

Molte piante possiedono caratteristiche biotecniche utili negli interventi di recupero ambientale e ingegneria naturalistica. Le caratteristiche biotecniche sono riconducibili a *proprietà tecniche* e a *proprietà biologiche*.

Le *proprietà tecniche* attengono alla *difesa dall'erosione*, all'*ancoraggio* e *tassellamento del suolo*, al *drenaggio* e alla *stabilità del suolo*.

Difesa dell'erosione. Le piante, ricoprendo il suolo, riducono l'azione battente dell'acqua piovana e, quindi, l'*erosione superficiale* e il conseguente trasporto solido verso valle. Ciò assicura una protezione delle sponde dei corsi d'acqua, dei versanti acclivi, delle scarpate ecc., tanto più efficace quanto maggiore è il grado di copertura e, in genere, la complessità strutturale della vegetazione. A sottolineare il ruolo delle piante basta ricordare che lungo un versante con copertura vegetale densa, la velocità di deflusso delle acque è di circa 1/4 rispetto a quella che si avrebbe, a parità di pioggia, su suoli privi di vegetazione; di conseguenza, l'azione erosiva, che varia con il quadrato della velocità, può scendere fino a 1/16.

Ai fini del consolidamento del terreno, le piante assolvono ad un'importante funzione meccanica grazie all'azione degli apparati radicali che con il loro fitto reticolo sono in grado di trattenere le particelle del suolo riducendone il distacco e il successivo dilavamento.

È stato calcolato, che la resistenza alla trazione delle radici di alcune specie di graminacee è di 20-30 N/m², quella degli arbusti è di 100-140 N/m² e quella della copertura diffusa di salici è di 150-300 N/m².

Quando la copertura vegetale, soprattutto a causa di attività antropiche diminuisce, i fenomeni erosivi risultano sempre più intensi determinando, spesso, la formazione di rivoli a scorrimento concentrato che tendono ad approfondirsi con il tempo. In questi ambiti, come sulle argilliti del Flysch Numidico delle alte Madonie, alcune specie si oppongono efficacemente all'erosione e, se opportunamente aiutate con la posa in opera di biofeltri e bistuoie, sono in grado di stabilizzare adeguatamente il substrato. Di esse si ricorda la ginestra di Cupani (*Genista cupanii*), arbusto endemico delle Madonie, formante cuscinetti emisferici alti da mezzo metro ad un metro, dotato di robusto e profondo fittone radicale (Fig. 16.5).

Ancoraggio e tassellamento del suolo. Gli apparati radicali delle piante, oltre a sostenere le loro parti epigee, *ancorano* e *tassellano* i vari strati del suolo, migliorandone i parametri geotecnici (coesione, angolo di attrito, resistenza al taglio). La chiodatura e il tassellamento operato dagli apparati radicali aumentano il grado di sicurezza contro lo scivolamento. Tali funzioni, tuttavia, richiedono radici robuste e poco flettenti e un'elevata resistenza alla rottura e alla trazione (Florineth, 2007).

Secondo Schiechl (1973) la resistenza delle radici delle piante acquista tanta più rilevanza quanto più esse sono fitte nel terreno. L'effetto consolidante del terreno, infatti, non è basato solo sull'elevata resistenza delle radici principali ma anche sulle numerose diramazioni dell'intero apparato radicale.



Figura 16.5 Caratteristici cuscinetti emisferici di *Genista cupanii* sulle argilliti del Flysch Numidico.

Drenaggio e stabilità del suolo. Le azioni di drenaggio e stabilità del suolo svolte dalle piante sono strettamente connesse alla composizione qualitativa della vegetazione e alla sua complessità strutturale. Le piante, grazie alla traspirazione svolta principalmente dalle foglie, sottraggono acqua dal suolo. Ne consegue un aumento della coesione tra le particelle del suolo, una maggiore resistenza di attrito, una minore pressione idrostatica nei pori, un peso inferiore e una diminuzione dei picchi delle piene a valle (Florineth, 2007).

Le piante con elevata valenza biotecnica possiedono le seguenti *proprietà biologiche*: *capacità di colonizzare i suoli grezzi e resistenza alle sollecitazioni meccaniche*.

Secondo Schiechl e Stern (1992) la *capacità di colonizzare i suoli grezzi* è tipica delle specie pioniere che sono in grado di colonizzare aree prive di vegetazione, preparando la strada agli ulteriori stadi della successione evolutiva. Si tratta in prevalenza di specie a vasta amplitudine ecologica. Tra le piante con spiccata capacità di colonizzare ambienti ostili e difficili, come quelli delle cave calcaree montane delle Madonie, si ricordano *Arenaria grandiflora*, *Cerastium tomentosum*, *Fraxinus ornus*, *Iberis pruitii*, *Onosma canescens*, *Pistacia terebinthus* (Fig. 16.6), *Prunus mahaleb* subsp. *cupaniana*, *Ptilostemon niveus*, *Rumex scutatus*, *Spartium junceum*, *Senecio candidus*, *Sideritis italica*, *Sorbus graeca* ecc. Nella stabilizzazione dell'ambiente dunale, invece, svolgono un ruolo notevole *Elytrigia juncea*, *Sporobolus arenarius*, *Otanthus maritimus*, *Ammophila littoralis*, *Medicago marina*, *Echinophora spinosa*, *Eryngium maritimum*, *Centaurea sphaerocephala*, *Ononis ramosissima* ecc. Tra le specie erbacee utili per la stabilizzazione dei versanti collinari figurano *Ampelodesmos mauritanicus*, *Dactylis glomerata* subsp. *glomerata*, *Dactylis glomerata* subsp. *hispanica*, *Hyparrhenia hirta*, *Lygeum spartum*, *Sesleria nitida*, *Anthyllis*

vulneraria, *Lotus corniculatus*, *Sulla coronaria* ecc. Sui calanchi argillosi dell'entroterra collinare siciliano possono essere utilizzate alcune entità pioniere tra cui *Lavatera agrigentina*, *Tripolium sorrentinoi* ecc.



Figura 16.6 *Pistacia terebinthus*, volgarmente noto con il nome di Spaccasassi per via del suo apparato radicale sviluppato e profondo che ben si adatta ai terreni rocciosi.

Tra gli arbusti pionieri della flora siciliana numerosi sono i taxa di possibile impiego tra i quali a titolo di esempio si citano *Cytisus scoparius*, specie eliofila con apparato radicale profondo e molto espanso e *Amelanchier ovalis*, specie eliofila, indifferente al substrato, a forte radicazione, adatta per le stazioni sassose e rocciose.

La resistenza alle sollecitazioni meccaniche è quella opposta dal germoglio e dalle radici nei confronti del denudamento, dell'interramento e dell'inghiaimento per opera del manto nevoso, della caduta massi, dell'urto e della forza del trasporto solido da parte di ruscelli c/o di fiumi, delle pressioni esercitate dalle correnti d'acqua turbolente, dalle sollecitazioni meccaniche provocate dai movimenti del terreno (trazione e taglio) (Schiechl e Stern, 1992). Alcune specie, come quelle dei generi *Salix*, *Pinus*, *Fraxinus*, *Abies*, *Sorbus*, *Acer* (Fig. 16.7), resistono ad inghiaimenti, fino a qualche metro senza danni evidenti. Un sedimento impermeabile è più sfavorevole, anche per gli alberi, rispetto a un sedimento grossolano. Le radici, in generale, forniscono coesione al suolo e si comportano in maniera molto simile ai pali utilizzati nell'ingegneria edile, ossia fornendo elementi tensili inglobati in un materiale che, di per sé, possiede solo resistenza alla compressione e pochissimo alla tensione (Wu *et al.*, 1988).

La resistenza alle sollecitazioni meccaniche delle radici dipende, rispettivamente, dalla resistenza alla rottura, all'estirpamento, al taglio e alla trazione.

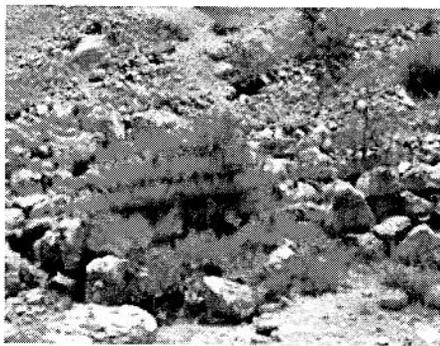


Figura 16.7 Da sinistra verso destra *Pinus halepensis*, *Scrophularia canina* subsp. *canina*, *Fraxinus ornus* e *Centranthus ruber*, specie con caratteristiche biotecniche utili per il recupero delle cave calcaree.

La resistenza alla *rottura* è uguale all'intensità di radicamento per la resistenza alla trazione delle singole radici. Essa rappresenta un valore derivante dalla somma della resistenza di ogni singola radice che compone l'apparato radicale della pianta.

La resistenza all'*estirpamento* è la forza necessaria per sradicare la pianta dal terreno. Tale forza può essere considerata come la misura per la stabilità della matrice terreno-radice e, quindi, l'incremento della stabilità da parte della singola pianta. I fattori che incidono principalmente su tale valore sono rappresentati dalle caratteristiche del terreno (granulometria, contenuto acqueo ecc.), dalle condizioni di crescita delle piante (disponibilità di acqua, luce, sostanze nutritive, competizione ecc.), dalla specie botanica e dalla relativa età (Florineth, 2004).

La resistenza degli apparati radicali ai fenomeni di *taglio* dipende esclusivamente dal diametro delle radici, dalla tipologia di apparato radicale e dalla densità radicale. Tra diametro delle radici e resistenza al taglio esiste una relazione inversamente proporzionale per cui la resistenza radicale diminuisce all'aumentare del diametro.

Per quanto concerne la resistenza alla *trazione*, il contributo offerto dalle radici alla stabilità del terreno è quello massimo esplicabile, rappresentato dal valore di resistenza a trazione della stessa. La resistenza alla *trazione* delle radici si scompone in una componente tangenziale che si oppone direttamente al taglio e in una componente normale al piano di taglio che incrementa la forza normale.

16.8.2 Azione consolidante del terreno

È la capacità che ha l'apparato radicale di legare e consolidare il terreno. Essa, pertanto, come riportano Schiechl e Stern (1992), è strettamente connessa alla forma della radice, alla densità della radicazione e, quindi, alla massa radicale.

L'influenza delle radici sul comportamento meccanico dei pendii risulta significativa soprattutto nel primo metro di profondità, laddove la densità radicale è tale da costituire un vero e proprio rinforzo meccanico.

Il numero di radici e la loro distribuzione all'interno dello spazio pedologico sono fattori che condizionano la densità radicale negli orizzonti. A livello generale, si può affermare che la densità radicale decresce all'aumentare della profondità (Bischetti *et al.*, 2004). Ciò, in genere, è dovuto alla scarsa disponibilità di nutrienti e di ossigeno negli orizzonti più profondi, oltre ad una maggiore incidenza di profili pedologici compatti.

La densità radicale (*root area ratio*), indicata con la sigla RAR, è uguale al rapporto tra l'area radicata A_r e la superficie mediamente occupata dall'intero apparato radicale A . In questo caso è difficile calcolare in modo oggettivo l'area mediamente occupata dall'intero apparato radicale. Se per le specie afferenti alle *Poaceae* l'individuazione di tale superficie è semplice, corrispondendo pressappoco all'area del cespo alla base, per le Dicotiledoni, dotate di apparati radicali più complessi e articolati, l'individuazione è spesso arbitraria.

La *forza edificatrice* è l'azione miglioratrice del terreno e/o della stazione, svolta dalla vegetazione mediante la quale l'associazione pioniera progredisce verso stadi vegetazionali più evoluti (Schiechl e Stern, 1992). Questo effetto è strettamente connesso al consolidamento del terreno, al miglioramento delle sue proprietà fisiche, chimiche e microbiologiche, nonché al microclima. A tal fine, di particolare importanza è l'uso di specie vegetali che, con l'aiuto dei loro simbionti e/ o la caduta delle loro foglie, arricchiscono di azoto il terreno. Possiedono questa proprietà soprattutto le specie della famiglia *Fabaceae* che, a livello radicale, formano speciali noduli ospitanti batteri simbionti azoto fissatori dei generi *Rhizobium* o *Bradyrhizobium*. Anche alcune specie non leguminose hanno la capacità di instaurare rapporti simbiotici con batteri attinomiceti azoto-fissatori del genere *Frankia* che portano alla formazione di noduli. Tra le piante indigene e naturalizzate della flora siciliana si ricordano, a tal riguardo, *Alnus glutinosa* e *A. cordata*.

La *resistenza alla sommersione*, anche per periodi prolungati, è una caratteristica di un gruppo ridotto di specie, per lo più arboree, tra cui salici (*Salix* sp. pl.), pioppi (*Populus alba*, *P. nigra*), ontani (*Alnus glutinosa*, *A. cordata* ecc.), platano (*Platanus orientalis*), oleandro (*Nerium oleander*), carpini (*Carpinus* sp. pl.), frassini (*Fraxinus angustifolia*, *Fraxinus excelsior*), canna (*Arundo donax*), cannuccia del Reno (*Phragmites australis* subsp. *australis*). Le sommersioni, della durata da poche ore fino ad alcune settimane, possono essere sopportate senza danni dalle specie delle associazioni riparali, anche più volte all'anno, ma la sommersione totale della pianta per periodi lunghi può provocarne la morte per asfissia.

La *resistenza al sale* ha importanza laddove vengono impiegati sali anticongelanti per lunghi periodi e in dosi elevate e lungo le zone costiere dove svolgono un ruolo importante le specie alofile che tollerano elevati valori di

salinità. Si tratta di specie erbacee o di arbusti, in grado di crescere in questi ambienti estremi grazie a diversi meccanismi di adattamento: molte piante accumulano all'interno dei vacuoli i sali contenuti nel terreno per aumentare la tensione di assorbimento dei peli radicali (*Chenopodiaceae*); altre, come per esempio i tamerici, possiedono ghiandole saline che emettono all'esterno soluzioni di sali molto concentrate; altre ancora, aumentano la concentrazione osmotica dei succhi vacuolari mediante l'idrolisi dei polisaccaridi e il conseguente aumento dei monosaccaridi (*Artemisia*).

Lungo gli argini delle saline e nei pantani salmastri tra le piante più specializzate figurano quelle appartenenti a numerosi generi della famiglia *Chenopodiaceae* come *Salicornia*, *Atriplex*, *Arthrocnemum*, *Beta*, *Halimione*, *Halocnemum*, *Halopeplis*, *Salsola*, *Suaeda*.

Tra le specie in grado di vivere sui terreni più o meno salati della fascia costiera degli ambienti mediterranei, e potenzialmente utili per i lavori di recupero ambientale e ingegneria naturalistica, si riscontrano, inoltre, *Limoniastrum monopetalum*, *Tamarix africana* e *T. gallica*, mentre sulle falesie e sulle rupi costiere sono frequenti diverse entità del genere *Limonium*. Negli interventi di consolidamento dunale rivestono, invece, notevole importanza specie come *Sporobolus arenarius*, *Otanthus maritimus*, *Cyperus kalli*, *Polygonum maritimum* e, soprattutto, *Elytrigia juncea* sull'avanduna; nella porzione più alta della duna risulta preziosa l'azione stabilizzatrice di *Ammophila littoralis* coadiuvata da altre specie come *Medicago marina*, *Echinophora spinosa*, *Eryngium maritimum* ecc.

La capacità di emettere radici avventizie e polloni dai fusti interrati è propria di diverse specie, come ontani (*Alnus* sp. pl.), salici (*Salix* sp. pl.), pioppi (*Populus* sp. pl.), frassini (*Fraxinus* sp. pl.), berretta da prete (*Euonymus europaeus*), viburno (*Viburnum tinus*), corniolo sanguinello (*Cornus sanguinea*), acero montano (*Acer pseudoplatanus*), nocciolo (*Corylus avellana*) ecc. (Sauli et al., 2006). Tale caratteristica biotecnica trova riscontro in natura nella resistenza che alcune specie evidenziano nei confronti dell'inghiaimento e del ricoprimento per sovralluvionamento che sono in grado di sopportare senza perdere la normale vitalità.

Questa proprietà va tenuta in debita considerazione per il consolidamento delle scarpate in ambito mediterraneo, dove non sempre è possibile utilizzare talee di salice nelle tecniche di ingegneria naturalistica. Pertanto, vanno individuate specie indigene termo-xerofile in grado di emettere radici avventizie dai fusti interrati, da usare come piante radicate, ma con la stessa funzione delle talee (Cornellini e Bianco, 2010).

La capacità di propagazione per via vegetativa consiste nel distacco dal corpo di un organismo vegetale di una sua porzione più o meno sviluppata, a volte specializzata per la propagazione (bulbo, bulbillo, stolone, propaguli ecc.), in grado di accrescersi in modo indipendente quando viene posta in condizioni

idonee. Tra le forme di propagazione vegetativa le talee, ottenute da rami o da altre parti epigeiche della pianta, costituiscono quella più importante e utilizzata.

Il fattore principale per la buona riuscita di questa tecnica è la possibilità di favorire la formazione delle radici prima che lo sviluppo dei germogli determini uno squilibrio nel bilancio idrico e, quindi, l'essiccamento della talea stessa."

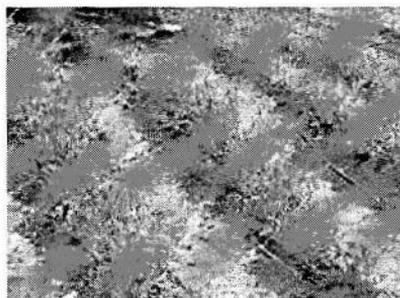


Figura 16.8 Propagazione per talea di *Salix alba* subsp. *alba*, specie utile per il recupero delle sponde dei corsi d'acqua.

Con l'impiego dei fitormoni e l'adozione dei metodi di radicazione per nebulizzazione (*mist propagation*), del riscaldamento basale e di altre tecniche, si riesce a propagare per talea un numero relativamente alto di specie legnose. In base allo stato vegetativo si usa distinguere le talee in:

- a) *Talee legnose*: prelevate dalle branche o dai rami nel periodo di riposo vegetativo, durante il quale sono ben lignificate, e conservate stratificate o in appositi ambienti refrigerati, fino al momento della piantagione (fino inverno) (Figg. 16.8 e 16.9);
- b) *Talee semilegnose*: sono prelevate durante il periodo vegetativo dai rami in via di lignificazione (di solito in estate, al termine della fase di accrescimento, nelle specie a foglie caduche; anche durante il periodo autunno-invernale nelle specie sempreverdi). È indispensabile l'impiego di appositi impianti di nebulizzazione. Le foglie troppo grandi possono essere ridotte per ridurre le perdite di acqua per traspirazione;
- c) *Talee erbacee*: sono rappresentate da germogli e foglie prelevati da parti di piante in vegetazione;
- d) *Talee radicali*: sono costituite da porzioni di radici di 15-20 cm di lunghezza, asportate in autunno, riunite in fascetti e stratificate in sabbia leggermente inumidita fino all'inizio della primavera epoca in cui verranno messe in piantonaio.

La talea radicata viene detta *barbatella*.

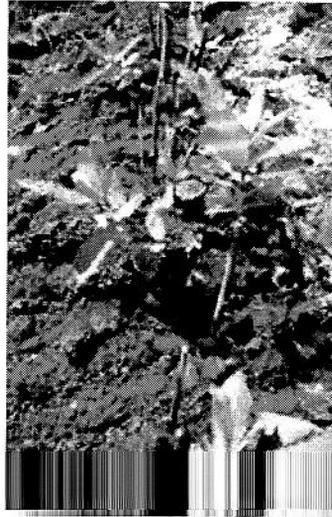


Figura 16.9 Propagazione per talea di *Salix pedicellata* in vivaio.

Le specie caducifoglie, e in particolare quelle che presentano una buona attitudine a formare radici avventizie, possono essere propagate per talea legnosa. Questo metodo, che prevede la radicazione di segmenti di ramo, con le gemme in fase di riposo vegetativo, è il sistema più economico e semplice di propagazione vegetativa.

La preparazione delle talee è, infatti, facile e rapida, e molto spesso non sono necessarie particolari forme di controllo dei fattori ambientali durante la fase di radicazione. È una forma di propagazione che si adatta assai bene a molti interventi con tecniche di ingegneria naturalistica nei quali risulti conveniente porre direttamente a dimora delle talee non radicate di specie che garantiscono un elevato attecchimento (salici, pioppi, tamerici).

Le dimensioni e la forma della talea sono alquanto variabili in funzione dell'utilizzazione, del materiale di partenza disponibile e da motivi di convenienza per la raccolta e la preparazione.

Le talee vanno raccolte da piante sane, caratterizzate da moderato vigore vegetativo e che crescono in siti con caratteristiche ambientali compatibili con le loro esigenze ecologiche. Nell'ambito della singola pianta vanno scartati i rami dotati di internodi troppo lunghi o troppo corti. Del singolo ramo è preferibile la porzione basale, più ricca di sostanze di riserva necessarie alla crescita delle radici avventizie. Il taglio basale va fatto subito sotto a un nodo e quello apicale da 1 a 3 cm al di sopra di un nodo; almeno due nodi dovrebbero essere inclusi nella talea; il diametro della talea può essere assai variabile a seconda della specie. Se da un lato è opportuno utilizzare materiale di 1-2 anni, dall'altro si dovrebbero privilegiare talee di buon diametro, dotate di maggiori riserve nutritive.



Figura 16.10 Propagazione per divisione di cespo *Oryzopsis miliacea*, specie con apparato radicale fascicolato di radici avventizie.

Tra le specie che si propagano facilmente per talea si ricordano: *Atriplex halimus*, *Artemisia arborescens*, *Cydonia oblonga*, *Corylus avellana* (talea radicale), *Ficus carica*, *Laburnum anagyroides*, *Nerium oleander*, *Populus* sp. pl., *Salix* sp. pl., *Sambucus nigra*, *Tamarix africana*, *T. gallica*, *Phragmites australis* (rizomi), *Arundo collina* (rizomi), etc. *Salix caprea* è una specie di salice non adatta per la propagazione per talea in quanto il grado di attecchimento è molto basso (circa 5%).

Nell'eseguire opere con tecniche di ingegneria naturalistica, si possono impiegare convenientemente solo quelle specie che hanno facoltà di propagazione vegetativa almeno nella misura del 60-70%.

La *propaggine*, i *succhioni* e i *polloni radicati* sono metodi di autoradicazione che hanno in comune la caratteristica di provocare l'emissione di radici su germogli ancora attaccati alla pianta madre.

La *propaggine* è una tecnica di moltiplicazione agamica alternativa alla talea che consiste nell'incurvare un ramo o un fusto lungo e flessibile, interrandone la parte mediana - dopo avere asportato preventivamente un anello di corteccia in corrispondenza di un nodo per facilitare l'emissione delle radici avventizie - facendo uscire dal terreno l'estremità apicale. Dopo un periodo variabile si potrà separare il ramo dalla pianta madre, lasciando il nuovo soggetto sul posto o trapiantandolo nel luogo prescelto. Questo metodo può essere facilmente utilizzato per le specie dotate di rami flessibili come il nocciolo, la vite, il castagno, il lampone, il rovo ecc.

Alla base di alcune specie come l'olivo, l'olivastro, il castagno, il pioppo tremulo si sviluppano dei *succhioni* che se interrati emettono radici avventizie. Staccati dalla pianta madre, possono essere utilizzati per la propagazione.

Alcune specie (*Prunus* sp. pl.) sono in grado di dare origine a diversi polloni dalle loro radici superficiali. Opportunamente recisi rappresentano un buon materiale di propagazione.

La *divisione dei cespi* si pratica sulle erbacee perenni (*Poaceae*, *Liliaceae* ecc.) al fine di dividere una pianta in tante unità, ognuna delle quali è dotata di radici e germogli. La nuova pianta che si ottiene è identica a quella da cui deriva. La divisione dei cespi si pratica in autunno, quando la pianta madre è in riposo, o all'inizio della primavera in prossimità della ripresa vegetativa (Fig. 16.10).

Riferimenti bibliografici

- ARRIGONI O. (1977), *Elementi di biologia vegetale*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano.
- BLASI - PAOLELLA (1993), *Progettazione ambientale: cave, fiumi, strade, parchi, insediamenti*, Nuova Italia Scientifica.
- BISCHETTI G.B. - CHIARADIA E.A. - SIMONATO T. (2004), *Valutazione del contributo degli apparati radicali nell'analisi di stabilità dei movimenti franosi superficiali*, Rivista di Ingegneria Agraria, 3:25-32.
- BRAUN-BLANQUET J. (1928), *Pflanzensoziologie*, Springer, Wien.
- BUCCI M. - NOVEGNO A. (2004), *Rinaturazione ed ingegneria naturalistica: conoscenze di base ed applicazione ad un caso-studio*, Energia, Ambiente e Innovazione, 3:56-68.
- CORNELINI P. - BIANCO P.M. (2010), *Progetto botanico*, in Ercole S., Bianco P.M., Blasi C., Copiz R., Cornellini P., Zavattero L., *Analisi e Progettazione Botanica per gli Interventi di Mitigazione degli Impatti delle Infrastrutture Lineari*, ISPRA, Roma.
- CORNELINI P. - FEDERICO C. - PIRRERA G. (2008), *Arbusti autoctoni mediterranei per l'ingegneria naturalistica*, Collana Sicilia Foreste, n. 40.
- FLORINETH F. (2007), *Piante al posto del cemento. Manuale di ingegneria naturalistica e verde tecnico*, Il Verde Editoriale, Milano.
- MALCEVSCHI S. - BISOGNI L.B. - GARIBOLDI A. (1996), *Reti ecologiche ed interventi di miglioramento ambientale*, Il Verde Editoriale, Milano.
- PAIERO P. - SEMENZATO P. - URSO T. (1996), *Biologia vegetale applicata alla tutela del territorio*, Edizioni Progetto, Padova.
- PIGNATTI S. (1952), *Introduzione allo studio fitosociologico della pianura veneta orientale con particolare riguardo alla vegetazione litoranea*, Arch. Bot. 28:265-329.
- PIGNATTI S. (1979), *I piani di vegetazione in Italia*, Gior. Bot. Ital. 113:411-428.

- PIGNATTI S. (1982), *Flora d'Italia*, Voll. I-III, Edagricole, Bologna.
- PIGNATTI S. - BIANCO P.M. - FANELLI G. - PAGLIA S. - PIETROSANTI S. - TESCAROLLO P. (2001), *Le piante come indicatori ambientali - Manuale tecnico-scientifico*, ANPA, Roma.
- PIRRERA G. - CORNELINI P. (2008), *Morfometria degli apparati radicali*, in Cornelini P., Federico C., Pirrera G., *Arbusti Autoctoni Mediterranei per l'Ingegneria Naturalistica*, Collana Sicilia Foreste, n. 40.
- RAIMONDO F.M. - SCHICCHI R. - DOMINA G. (2009), *Piante indigene e loro impiego nel recupero della biodiversità dei sistemi forestali siciliani*, Atti terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura, Accademia Italiana di Scienze Forestali, 1:289-293, Firenze.
- SAULI G. - CORNELINI P. - PRETI F. (2002), *Manuale di Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico nella regione Lazio*, Regione Lazio, Roma.
- SAULI G. - CORNELINI P. - PRETI F. (2006), *Manuale di Ingegneria naturalistica applicata alle sistemazioni di versante*, Regione Lazio, Roma.
- SCHIECHTL H.M. - STERN R. (1992), *Ingegneria naturalistica. Manuale delle opere in terra*, Edizioni Castaldi, Feltre.
- SCHIECHTL H.M. (1973), *Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau*, Verlag G.D.V., Callwey, Monaco.
- SCHIECHTL H.M. (1991), *Bioingegneria forestale. Biotecnica Naturalistica*, Edizioni Castaldi, Feltre.
- SCHUTT P. - KOCH W. (1983), *Botanica Forestale*, Tip. L'Artigiano, Firenze.
- TOMBESI A., (1985), *Il nocciolo*, Reda, Roma.
- WU T.H. - MCOMBER R.M. - ERB R.T. - BEAL P.E. (1988), *Study of soil-root interaction*, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 114:1351-1375.