

### 8.1 Premessa

L'Ingegneria Naturalistica è una disciplina che utilizza piante vive per consolidare e difendere versanti o sponde dai dissesti. Le piante sono viste oggi con grande interesse come materiali da costruzione viventi, in quanto offrono l'opportunità di ricostituire ambienti prossimi alla naturalità in linea con i principi della pianificazione e progettazione ecologica.

L'impiego di opere "in grigio" rigide e impattanti, come per esempio i muri di sostegno in cemento armato e le arginature con materiali sintetici, è dettato esclusivamente da aspetti tecnici con l'aggravante che un'opera "in grigio" rispetto ad un'opera "in verde" è più costosa, più impattante sull'ambiente. Più soggetta al degrado nel tempo.

È opportuno, considerando l'impiego delle piante, fare una distinzione tra gli interventi di difesa del suolo estensivi e intensivi, sebbene entrambi concorrano a garantire un maggior equilibrio nell'assetto idrogeologico: l'estensività e l'intensività non devono solo essere considerati in termini economici (un intervento estensivo permette di operare con pochi mezzi e poca manodopera contro la grande disponibilità di materiale; un intervento intensivo, permette di agire con grande disponibilità di mezzi e manodopera, ma relativa scarsità di materiale).

Per chiarire meglio è necessario precisare che 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 intensivi, volti a ottenere una copertura vegetale, per l'appunto boschiva, generalmente su ampie superfici.

Un intervento intensivo può considerarsi, invece, un'azione puntuale (briglia, pennelli, ecc.) che, al contrario, può richiedere un dispendio di operai o di mezzi meccanici con cui intervenire su un'area di limitata estensione.

Questo capitolo ha lo scopo di evidenziare le opportunità offerte dall'utilizzo di piante negli interventi a carattere intensivo, tra i quali trovano posto le opere di Ingegneria Naturalistica. Nell'Ingegneria Naturalistica le piante non sono più considerate solo da un punto di vista estetico, ma funzionale, ovvero come un efficace materiale vivente da costruzione e ciò costituisce la peculiarità maggiore di tale disciplina che si differenzia da quelle che utilizzano solo materiali inerti o impiegano le piante per l'arredo degli spazi urbani; le moderne innovazio-

ni, inoltre, hanno consentito di ampliare le applicazioni di queste tecniche vegetali e di aumentarne l'efficacia.

I principali vantaggi offerti dall'uso dei materiali viventi sono i seguenti:

- svolgono un'importante funzione antiersiva; in particolare, ai fini del consolidamento del terreno, le piante assolvono ad un'importante funzione meccanica trattenendo le particelle del suolo ed evitando il loro dilavamento: è stato calcolato, che la resistenza alla trazione di certe radici di graminacee è di 20-30 N/m<sup>2</sup> (*Borkenstein*), quella degli arbusti è di 100-140 N/m<sup>2</sup> e quella della copertura diffusa di salici è di 150-300 N/m<sup>2</sup> anche se tali valori possono essere in alcuni casi superati (fino a 450 N/m<sup>2</sup>);
- conferiscono stabilità al terreno in maniera dinamica, in modo direttamente proporzionale al loro sviluppo;
- costano relativamente poco, in quanto spesso si trovano in loco e/o provengono da operazioni di manutenzione di lavori simili effettuati in precedenza e di conseguenza anche l'onere per il trasporto può essere modesto; si può affermare che, in diversi casi, queste tecniche consentono sostanziali economie (dal 40% al 90%) in rapporto a quelle tradizionali;
- creano *habitat* naturaliformi per la fauna selvatica (luoghi d'alimentazione, di rifugio e di riproduzione), zone *source-sink* (concetto utilizzato per spiegare la complessità delle dinamiche delle popolazioni in ambienti eterogenei) (Pulliam, 1988; Lewin, 1989; Harrison, 1991);
- forniscono un ombreggiamento utile per limitare l'eccessiva crescita di altre compagini vegetali indesiderate nell'alveo fluviale, mantenendo bassa, nel contempo, la temperatura dell'acqua;
- favoriscono, a livello radicale, la depurazione del corso d'acqua dalle impurità presenti assimilando gli eccessi di sostanza organica ed assorbendo anche metalli pesanti o altre sostanze chimiche (fitodepurazione);
- contribuiscono ad aumentare la diversità biologica, principale fattore di pregio e di stabilità di ogni ambiente naturale;
- non sconvolgono le relazioni che intercorrono tra il corso d'acqua e la falda freatica;
- conservano e migliorano il paesaggio ed il patrimonio naturale e culturale che esso rappresenta.

I principali svantaggi di tali tecniche possono essere così riassunti:

- richiedono, in genere, una regolare manuten-

- zione, scaglionata nel tempo ed eseguita da manodopera professionalmente competente;
- esistono fattori limitanti nella loro applicazione (altitudine, illuminazione, regime termo-pluviometrico, caratteristiche del suolo, livello d'inquinamento, periodo di intervento, ecc.);
  - non sempre i risultati desiderati sono immediati e spesso richiedono un certo periodo di tempo per poter verificare l'efficacia dell'intervento.

Una considerazione di carattere generale da tenere presente in caso di recupero ambientale è quella relativa agli ecosistemi; questi risultano più stabili se il numero delle specie presenti è elevato comportando il relativo aumento della diversità biologica. A tal proposito, occorre tener presente che esiste un limite oltre il quale l'eccesso di biodiversità può portare alla fragilità dell'ecosistema; pertanto, sin dalla fase di analisi della vegetazione si dovrà considerare questo particolare aspetto, prevedendo l'inserimento di un certo numero di specie vegetali, in modo tale da rendere meno precario l'equilibrio ecologico che si sta cercando di ricreare.

La conoscenza delle esigenze delle diverse specie vegetali arboree, arbustive ed erbacee, è altresì, fondamentale per effettuare una corretta scelta e per la buona riuscita dell'intervento.

A tale fine, nella fase progettuale, è importante quindi precisare quale ruolo le piante dovranno svolgere in quella precisa situazione, e per fare ciò sarà opportuno analizzare, come già visto, i seguenti fattori di natura fisica, chimica e biologica:

- il *clima* (regime termometrico, pluviometrico, anemometrico, ecc.);
- il *suolo* (profondità, granulometria, pH, ecc.);
- l'*orografia* (altitudine, esposizione, pendenza);
- le *caratteristiche biotecniche delle piante* (capacità di consolidamento del terreno, di resistenza alle sollecitazioni meccaniche, all'erosione e all'inghiainamento, di miglioramento del suolo, di depurazione delle acque, ecc.). I salici, e in misura minore anche altre latifoglie, da una talea rigenerano una nuova pianta (riproduzione per via vegetativa): dalla parte interrata della talea emettono radici e, dalla parte aerea germogli e foglie. Ontano, salice, pioppo, frassino, nocciolo, acero e ligustro e pochi altri alberi ed arbusti sopportano senza danni ricoprimenti di terreno fino a 1-2 m di altezza: nella parte del fusto interrato formano radici avventizie. Esistono poi, piante con forte resistenza alla sommersione. Anche la capacità di adattamento di alcune piante è molto alta: alla pressione di vento o neve reagiscono con una maggiore crescita dell'apparato radicale nella direzione opposta. Le radici si sviluppano in direzione dell'acqua e degli elementi nutritivi: terreni fortemente concimati o umidi sono per lo più attraversati da apparati radicali poco profondi;
- le *caratteristiche fisiologiche delle piante*,

- quali la capacità di propagazione e di moltiplicazione, la velocità di crescita, la resistenza ad attacchi parassitari, la rusticità e l'adattabilità (specie viventi in un ampio spettro di ambienti hanno spesso minori esigenze edafiche o climatiche);
- il *grado di inserimento ecologico* (sono da preferirsi le piante autoctone);
- il *grado di inserimento estetico-paesaggistico* (cromatismo, morfologia, contrasto, ecc.);
- l'*evoluzione spazio-temporale dell'ecosistema* (successioni vegetali, dinamica delle associazioni);
- la *provenienza delle sementi e delle piante e la relativa disponibilità sul mercato vivaistico* (con particolare attenzione al possibile inquinamento genetico);
- il *periodo d'intervento* (periodo vegetativo, di piene fluviali, ecc.);
- la *necessità di cure colturali* (diradamenti, potature, ecc.);

Un intervento può considerarsi riuscito qualora si verifichino le seguenti condizioni:

- la copertura vegetale (erbacea, arbustiva ed arborea) è totale e si è affermata un'associazione vegetale metastabile;
- il substrato sterile si sta trasformando in terreno vegetale;
- i fattori predisponenti l'erosione e/o l'instabilità del versante o della sponda sono stati neutralizzati;
- la superficie oggetto di intervento è tutelata e gestita in maniera corretta ed adeguata.

In sintesi, si può sostenere che è da considerarsi "ben riuscita" un'opera che dopo un certo intervallo di tempo, non presenta più segni riconoscibili della "mano dell'uomo"; spesso in alcuni casi ben riusciti è stato difficile anche individuare l'areale della zona ripristinata.

## 8.2 La scelta delle specie e le caratteristiche biotecniche delle piante

La giusta scelta delle piante è la premessa per sicuri e duraturi interventi di Ingegneria Naturalistica. La scelta e l'impiego di specie vegetali inadatte può, infatti, portare al fallimento delle sistemazioni naturalistiche. Le piante con larga amplitudine ecologica sono particolarmente adatte per l'impiego in tali interventi. Spesso nelle aree di progetto (Sauli, 2002) non sono presenti le associazioni naturali dei luoghi, per cui, in tal caso si fa riferimento alla vegetazione "potenziale" ed in particolare agli stadi delle serie dinamiche attinenti alle diverse condizioni d'intervento.

Nella scelta delle specie ci si riferisce a quelle spontanee presenti o potenziali della stazione; alcuni gruppi sono più importanti di altri sia per le caratteristiche biotecniche che possiedono, come le specie arbustive, preferite a quelle arboree (Sauli, 2002), inclusi i suffrutici e, nell'ambito delle erbacee, si ricorre a specie delle famiglie delle graminacee e delle leguminose.

L'uso quasi esclusivo di specie autoctone derivate da materiale di propagazione locale per evitare insuccessi o contaminazioni genetiche o ecologiche, garantisce l'idoneità alle condizioni geopedologiche e fitoclimatiche del luogo, fermo restando i problemi legati al periodo stagionale ed alle condizioni microambientali di messa a dimora.

Per quanto riguarda i rapporti tra idraulica e Ingegneria Naturalistica si rimanda al successivo paragrafo 11.2.

Dal punto di vista geologico e geotecnico si rimanda alle normali strategie di analisi e progettazione in uso. Attenzione particolare va posta nell'interpretazione dei dinamismi geomorfologici ed in particolare idrologici, privilegiando scelte progettuali che tendano al mantenimento o alla ricostituzione di morfologie naturaliformi (Sauli, 2002).

Nella progettazione, la scelta delle specie è funzione, anche dei seguenti fattori:

- aspetti ecologici;
- possibilità di propagazione;
- attitudini biotecniche;
- forza edificatrice;
- capacità di crescita;
- provenienza del seme;
- scopo del rinverdimento;
- effetto produttivo ed estetico.

Del punto di vista ecologico è di grande importanza conoscere le esigenze delle piante, la loro richiesta di sostanze nutritive e di umidità del terreno, temperatura e luce.

H. Gams (1939, 1940, 1941) ha dato dei contributi essenziali in questo campo con riguardo alle esigenze delle sistemazioni dei torrenti e delle valanghe, delle sistemazioni delle sponde di fiumi e ruscelli e della sistemazione delle scarpate stradali nelle Alpi. Non è necessario misurare tutti i fattori stagionali, poiché il fattore ecologico determinante è rappresentato di norma da un minimo o da un fattore dannoso in eccesso (Lundegardh, 1954). Ad esempio, su pendii franosi scoperti manca raramente la luce; in questo modo restano indeterminati solo i rimanenti fattori stagionali.

Attualmente esistono solo sporadiche precise misurazioni per la determinazione delle esigenze stagionali. Un indirizzo di ricerca più recente si occupa del rilevamento di aree minori, ecologicamente equivalenti, che in ultima analisi approderà nella definizione ecologica delle caratteristiche stagionali di determinate unità vegetazionali (Friedl, 1961, 1962; Prutzer, Cernusca, 1965).

I suoli da rinverdire sono spesso substrati privi di vita o grezzi (secondo DIN 18915 dei terreni superficiali). Per questo motivo è importante analizzare e valutare le loro caratteristiche fisiche (granulometria, contenuto di acqua e aria, compattezza) e chimiche (contenuto in sostanze nutritive, contenuto in sostanza organica, valore del pH). Queste analisi sono assolutamente necessarie (Schiechtel, 1973) in caso di substrati estremi (materiale di riporto da gallerie, depositi di scavo di miniere, residui d'industrie).

Come valutazione sommaria ci si basa sul fatto che i terreni ben areati sono più favorevoli, rispetto a quelli compatti, alla formazione di condensa dell'acqua (rugiada), mentre quelli addensati sono o troppo secchi o troppo bagnati. I terreni grezzi carbonatici sono più caldi di quelli privi di carbonato o dei terreni silicati.

Per le condizioni macroclimatiche si prendono in esame i dati della stazione climatica più vicina di pari latitudine o, per dati più dettagliati, presso il servizio meteorologico competente. Sulle condizioni mesoclimatiche è, invece, la vegetazione esistente a fornire, rapidamente, le indicazioni cercate. Su versanti da rinverdire, ad esempio per la scelta delle specie, si devono tener presenti le superfici lasciate indisturbate dai lavori di livellamento e scoronamento, a causa del diverso mesoclima.

Vi possono essere, poi, differenze considerevoli, soprattutto in corrispondenza di zone più vaste e ad elevate altitudini. Per questo motivo è consigliabile tenere distinte più aree in un unico pendio da rinverdire, sulle quali vengono impiegati diversi tipi di piante o miscugli di seme (per esempio, piste da sci).

Per una rapida e sommaria valutazione delle condizioni stagionali si può utilizzare lo schema riportato nella **tabella 8.1**.

La scelta delle specie secondo la più facile possibilità di propagazione, è il primo presupposto per l'utilizzazione di una pianta (Schiechtel, 1973).

In concordanza con il principio della provenienza, e poiché agli effetti pratici sono richieste spesso grandi quantità di materiali biologici da costruzione, per motivi economici sorge l'esigenza di una facile moltiplicazione del materiale vegetale, affinché non si debbano verificare difficoltà di approvvigionamento. Secondo Schiechtel (1973), a proposito del periodo di moltiplicazione più favorevole per le talee, si possono effettuare le seguenti riflessioni:

- non solo in primavera è possibile la moltiplicazione delle talee;
- le diverse specie presentano un ritmo individuale un po' differenziato;
- la formazione di radici e getti dipende dallo stato vegetativo della pianta al momento del taglio della talea.

È stata accennata la possibilità di sincronizzare il reperimento di materiale da talea, con gli interventi di gestione e manutenzione delle fasce vegetate ripariali, in aree golenali o marginali per non gravare eccessivamente sui popolamenti naturali.

Le possibilità di moltiplicazione delle piante, oltre al periodo più favorevole di moltiplicazione e alla provenienza delle sementi, sono alla base dei metodi di piantagione. Una facile moltiplicazione è, quindi, la via più diretta all'utilizzo di una specie. Le piante possono riprodursi per via sessuale (semina, piantagione, selvaggioni, trapianto di intere associazioni con zolle erbose o pani di terra) oppure moltiplicarsi per via vegetativa (talee caulinari, astoni,

Tab. 8.1 - Schema per la valutazione di condizioni stazionali

Campo di valutazione	Indici di stima	Fattori influenti
Stato del terreno	1 = molto buono; 2 = buono; 3 = medio; 4 = cattivo; 5 = pessimo.	Granulometria (contenuto in granuli fini), permeabilità, capacità di ritenzione idrica, umidità del terreno (ristagno d'acqua o simili), reazione del terreno (valori di pH), fertilità (in particolare il contenuto in sostanze tossiche, profondità (spessore) dello strato portante della vegetazione).
Clima	1 = molto favorevole; 2 = favorevole; 3 = medio; 4 = sfavorevole; 5 = molto sfavorevole.	Quantità e distribuzione delle precipitazioni, umidità dell'aria, durata e frequenza dei periodi di siccità, intensità dell'evaporazione (vento, insolazione), frequenza della variazione del periodo dei geli, durata del manto nevoso, temperatura media e variazioni di temperatura, condizioni di luce (quantità, esposizione).
Pericolo d'erosione	1 = molto modesto; 2 = modesto; 3 = medio; 4 = elevato; 5 = molto elevato.	Acclività (pendenza dell'area), tendenza agli effetti del maltempo (piogge torrenziali, caduta grandine, sommersione), vento (frequenza, intensità, raffiche), coesione del terreno (distribuzione della granulometria, conformazione dei granuli, contenuto in parti leganti, umidità del terreno), frequenza dei geli, pericolo di franamento (strati di scivolamento e simili).

talee radicali, talee di rizoma, propaggini, divisione di cespi).

Si elencano di seguito alcune delle diverse possibilità, con cui propagare le specie vegetali:

- *semine*:

- *piante legnose*: non tutte le piante si riproducono convenientemente tramite semina (Schiechtl, 1973). Nel caso di salici e di pioppi si preferisce usare la via di propagazione vegetativa, perché i loro semi inaridiscono rapidamente, a causa dell'assenza del rivestimento di protezione e conservano la facoltà germinativa solo per pochi giorni. Molte specie legnose sono propagate tramite semine in pieno campo (come nel caso di conifere, di querce, di aceri e di frassini). Metodi più recenti ed economici sono la semina a piazzole (per somministrare la semente a rinverdimento iniziale avvenuto) e tramite l'idrosemia (in caso di scarpate ripide e sassose). Per quelle specie legnose che non si possono moltiplicare in pieno campo a livello soddisfacente, si ricorre a vivai. I selvaggioni ottenuti da soprassuoli possono essere utilizzati solo come soluzione di ripiego (Schiechtl, 1973) nel caso non esista nessun'altra possibilità di procurarsi le piante. Il materiale vegetale viene danneggiato durante l'estrazione in misura molto maggiore di quanto non avvenga nell'estrazione in vivaio ed, inoltre, esso non è uniforme per età e per crescita. Tuttavia anche la semina di qualche specie legnosa in vivaio presenta delle difficoltà. Per l'utilizzazione dei lavori con tecniche di Ingegneria Naturalistica bisognerebbe far uso solo di materiale vegetale di ottima qualità.

Al di là delle determinazioni generalmente valide (grandezza prescritta, età, tipo di allevamento, assenza di parassiti e malattie) occorre controllare che la semente sia adatta allo scopo specifico, facendo attenzione alla provenienza del seme ed al luogo di allevamento, che devono presentare ambedue condizioni analoghe di stazione rispetto al luogo d'impiego, oltre ad un rapporto favorevole fra radice e parte aerea;

- *graminacee ed erbe non graminoidi*: fra questa categoria vi sono molte piante adatte all'Ingegneria Naturalistica, ma solo un numero ridotto si trova in commercio come semente. La scelta dei miscugli di seme adatti al metodo di semina prescelto è molto importante per raggiungere il risultato desiderato. Non è, inoltre, solo necessaria la conoscenza delle specie vegetali, delle loro esigenze, delle loro caratteristiche di accrescimento, ma anche la capacità di valutare di volta in volta la stazione in modo giusto (Schiechtl, 1973). Sempre secondo Schiechtl (1973) una vegetazione ricca di specie è più stabile e resistente di una povera. Per questo motivo, continua Schiechtl, è necessario comporre dei miscugli che siano tanto più ricchi di specie quanto più estreme si presentano le condizioni stazionali; ecco i motivi:

§ le monocolture sono sempre minacciate, rappresentano il presupposto causale per calamità patologiche, sia per quanto riguarda il tappeto erboso, sia che si tratti di selvicoltura o di agricoltura (Sauer, 1966);

§ le monocolture sono rare in natura e in

tal caso sono indice di condizioni sfavorevoli;

§ le stazioni estreme non si possono confrontare con i terreni prativi o agrari, dove bastano dei miscugli costituiti da poche specie e capaci di vita propria;

§ anche in caso di tappeti erbosi occorre tendere verso la longevità e la durata del rinverdimento;

§ non sempre i semi in commercio sono adatti all'Ingegneria Naturalistica, in quanto sono stati coltivati per altri scopi.

La quantità di seme da impiegare dipende dal numero dei semi delle specie vegetali contenute nel miscuglio e dal grado di difficoltà della superficie da ricoprire con manto erboso. È necessario tenere conto delle perdite, dovute:

- ad impurità ed alla germinabilità ridotta;
- al trasporto da parte dell'acqua e del vento;
- al consumo da parte di animali e di uccelli;
- alla elevata parte di granuli grossolani sulla superficie dei terreni grezzi.

Come regola di condotta nei miscugli di graminacee si usa una quantità di semente che varia dai 10 ai 20 g/m<sup>2</sup> (su superfici favorevoli) fino a 30 g/m<sup>2</sup> (su superfici sfavorevoli). Una semina troppo densa è altrettanto sfavorevole di una rada, perché le specie a crescita lenta e durevoli possono venire soffocate da quelle più rapide.

In riferimento ai miscugli di sementi esiste nell'Ingegneria Naturalistica l'annoso ed insoluto problema di disporre agli effetti pratici soltanto dei cosiddetti "miscugli standard". Per le semine di manti erbosi non è purtroppo possibile trovare in commercio le specie che corrispondano allo sviluppo naturale della vegetazione. Da molto tempo infatti, non vengono più raccolti semi indigeni selvatici.

Il *fiorume* (i residui provenienti da fienili o da depositi di fieno) rappresenta quindi localmente un materiale da costruzione molto prezioso. La raccolta di semente proveniente da soprassuoli naturali è per lo più antieconomica e, può essere presa in considerazione solo per casi particolari. Nella scelta del miscuglio di semente vanno però tenuti in considerazione, non solo la stazione e l'obiettivo dell'intervento, ma anche il prezzo. L'utilizzo del fiorume potrebbe incentivare lo sfalcio di aree pascolive non produttive e, quindi, contribuire al mantenimento degli stessi pascoli.

In interventi costruttivi realizzati secondo le regole dell'Ingegneria Naturalistica ha dato buon esito la scelta, fra le sementi reperibili in commercio, delle graminacee, delle erbe non graminoidi e delle piante legnose più adatte.

Come accennato, la maggior parte dei tipi di varietà di semi offerti in commercio vengono coltivati per l'agricoltura e non corri-

spondono spesso, o in prevalenza, alle esigenze richieste dall'Ingegneria Naturalistica. I miscugli di sementi ricchi di specie sono i più vicini al prato naturale e, risultano anche i più stabili. I miscugli puri di graminacee sono adatti, infatti, solo in misura modesta per interventi di Ingegneria Naturalistica.

In alcuni paesi sono stati raccomandati per regioni ed anche per stazioni i cosiddetti *miscugli-norma* di sementi; anche i commercianti offrono miscugli del genere, prodotti sulla base delle loro esperienze. Così a volte risulta vantaggioso, lasciar comporre il miscuglio di semi da parte di un esperto o da un ufficio specializzato. I miscugli offerti o raccomandati dal mercato dovrebbero venire esaminati in merito alla loro efficacia, attitudine e rispetto alla possibilità di introduzione di specie invasive.

I miscugli per le semine di piante legnose richiedono particolare esperienza. Oltre ai semi delle piante legnose devono essere di norma aggiunti anche semi di graminacee e di erbe non graminoidi, perché la semina non serve solamente per la costituzione di una vegetazione di piante legnose, ma anche per il consolidamento della scarpata. Sono perciò da escludere le graminacee e le erbe non graminoidi che possono svilupparsi determinando una forte concorrenza per le piante legnose.

• *Talee*: Lindemann (1952) indica i fattori che influiscono sulla radicazione delle talee:

- scelta della pianta madre;
- temperatura;
- umidità;
- substrato di moltiplicazione;
- contenuto di sostanze nutritive e di crescita delle parti di talea;
- scelta dei tipi di pollone;
- sostanze sintetiche di crescita;
- influenza della luce (ritmo annuale e diurno).

Nell'Ingegneria Naturalistica non è possibile prendere in considerazione tutti questi fattori, pertanto non è quasi mai possibile la scelta di piante madri particolarmente vitali; allo stesso modo, in campagna non si può influenzare la temperatura o (raramente) l'umidità e il substrato (Schiechtel, 1973). Si consiglia di operare con le tecniche di Ingegneria Naturalistica in autunno o all'inizio della primavera, per far sì che le talee al sopraggiungere del periodo di aridità, abbiano già formato delle radici sufficientemente lunghe. Un'irrigazione artificiale dovrebbe essere tentata su pendii in frana solo in casi eccezionali, poiché i terreni grezzi tendono all'erosione ed un apporto di umidità eccessiva porta ad un'insoddisfacente formazione di radici. Un leggero miglioramento del substrato, quasi sempre sufficiente, avviene durante i lavori preparatori all'inverdimento, durante lo scoronamento dei margini di distacco.

Per migliorare le condizioni trofiche è consigliabile l'impiego di concimi artificiali, il che

avviene nel modo migliore mediante la somministrazione ripetuta di concimi complessi ternari in piccole dosi. La facoltà di emettere getti e radici, secondo Leibundgut e Grüning (1951) dipende da sostanze di crescita che sono immagazzinate nel tessuto vivente, nelle gemme e da qui viene trasportata verso la superficie del taglio basale, dove si raccoglie e provoca la formazione di radici. È stato dimostrato che la talea più lunga, ovvero quella più grossa, mostra una capacità di crescita più elevata a causa della sua migliore condizione di partenza; le lunghezze delle radici aumentano con il volume, ovvero con la lunghezza delle talee.

Agli effetti pratici, lo spessore della talea è limitato solo dalla convenienza (difficoltà di trasporto e spese più elevate) e del problema del rifornimento da parte dei popolamenti naturali o dei vivai. Vanno quindi impiegati tutti gli spessori dei rami che raggiungono il diametro di un braccio. I rami sottili e le punte dei rametti vengono mescolati con i rami più grossi e vecchi. Nei lavori su pendii, dove può agire l'erosione, l'inghiainamento, la caduta di massi, l'inacidimento e l'abrasione, le talee vanno tagliate con lunghezze da circa 0,75 m fino a 1,20 m (a seconda delle condizioni del terreno) e vanno disposte con tutte le loro diramazioni.

- **Talee radicali:** possono essere allevate per la moltiplicazione come polloni radicali, anche se non danno dei risultati migliori rispetto a questi ultimi. Anche in questo caso si ottiene una maggiore percentuale di radicazione, usando delle talee vicine alla base ed un più alto numero di radici rispetto a quelle lontane dal fusto, secondo il principio delle articolazione delle fasi (Passecker, 1949, 1954).
- **Propaggini e margotte:** i rami bassi delle piante legnose che si moltiplicano agamicamente radicano spesso laddove i rami vengono a contatto con il terreno. Si può trarre vantaggio da questa particolarità, fissando i rami al terreno. Dopo la crescita del ramo si interrompe il collegamento con la pianta madre, tagliandolo, infatti, si ottiene una nuova pianta. Serve per infoltire ed espandere rapidamente l'arbustame già esistente.
- **Divisione di rizomi e di cespi:** le piante messe allo scoperto per fenomeni di erosione o scoronamento, possono essere suddivise e nuovamente impiantate. Ciò si può fare in tutte quelle piante che formano più ricacci, la cui diramazione si trova nel terreno (arbuti), ma anche nelle graminacee e nelle piante erbacee perenni a forte crescita di tipo cespitoso (Schiechtel, 1973).

Per evitare di creare dei soprassuoli vegetali monospecifici, si tende ad utilizzare specie vegetali diverse tra loro, che presentino comunque le stesse caratteristiche. Questo accorgimento può però dare origine a nuove piante, ibridi di specie differenti, cosa che può avvenire con le specie del genere *Salix*, o con graminacea del genere *Festuca*.

L'inquinamento genetico delle specie presenti sul territorio sul quale viene fatto l'intervento di Ingegneria Naturalistica si può mitigare seguendo un protocollo per il reperimento delle piante da utilizzare per le opere progettate. Per tale motivo si cerca sempre di utilizzare specie autoctone, intendendo per piante autoctone non solo quelle della stessa specie, ma anche dello stesso luogo. È, infatti, frequente il caso in cui piante della stessa specie, ma di zone differenti, risultano geneticamente distanti tra loro.

Il protocollo si articola secondo i seguenti punti:

- si devono utilizzare piante autoctone (della stessa specie e dello stesso luogo);
- nel caso non fosse possibile utilizzare piante del posto, si possono utilizzare piante prese nelle immediate vicinanze del cantiere; per principio occorre cercare di utilizzare solo piante erbacee e legnose autoctone, provenienti dalla zona di vegetazione più vicina al cantiere di lavoro. Quanto più alti sopra il livello del mare sono ubicati i cantieri, tanto più criticamente andrebbe affrontato questo punto; non solo, ma anche le precipitazioni medie annuali, caratteristiche della zona, influenzano la scelta delle specie;
- se non è possibile procedere come descritto al punto precedente, ci si rivolge a vivai specializzati per il reperimento delle talee, tenendo presente che i vivai generalmente non sono in grado di fornire grandi quantità;
- nel caso non fosse possibile operare neanche secondo il punto descritto precedentemente, si vanno a reperire le piante anche in zone distanti dall'area di cantiere, ma sempre in ambito regionale, con piante certificate.

Per procurarsi le quantità occorrenti di parti vegetali si hanno, pertanto, le seguenti possibilità a disposizione:

- le parti di piante legnose possono essere ottenute da popolamenti naturali posti nelle vicinanze, affini dal punto di vista ecologico;
- nel corso di interventi colturali 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, da soprassuoli naturali.

Esempi di specie con larga valenza ecologica riportati in letteratura, sono:

- **Alberi:** ontano bianco (*Alnus incana*), larice (*Larix decidua*), robinia (*Robinia pseudo-acacia*), salicone (*Salix caprea*), betulla bianca (*Betula pendula*), ontano nero (*Alnus glutinosa*), pioppo nero (*Populus nigra*), pino silvestre (*Pinus sylvestris*).
- **Arbusti:** sanguinella (*Cornus sanguinea*), salice da ripa (*Salix eleagnos*), gisilostio (*Lonicera xylosteum*), salice da vimini (*Salix viminalis*), ligustro (*Ligustrum vulgare*), salice da ceste (*Salix triandra*), salice rosso

(*Salix purpurea*), sambuco (*Sambucus nigra*), salice di monte (*Salix nigricans*).

- **Graminacee e leguminose:** agrostide bianco (*Agrostis stolonifera*), loglio perenne (*Lolium perenne*), ginestrino (*Lotus corniculatus*), erba mazzolina (*Dactylis glomerata*), bolognino (*Trifolium pratense*), festuca rosa (*Festuca rubra*), paleino odoroso (*Anthoxanthum odoratum*), trifoglio ladino (*Trifolium repens*), erba fienarola (*Poa pratensis*), antillide (*Anthyllis vulneraria*).

La distribuzione naturale potenziale della vegetazione e della sua flora (specie vegetali) si orienta verso regioni floristiche ben precise: medioeuropea, mediterranea, ecc.

Così come per le piantine in vaso o con pane di terra, anche per le talee occorre fare attenzione alle condizioni stagionali delle specie vegetali utilizzate.

Le piante possiedono proprietà biotecniche che si possono riassumere qui di seguito:

- **Per quanto riguarda le proprietà tecniche:**
  - difesa dall'erosione, copertura del terreno e riduzione degli impatti provocati dalle precipitazioni: a titolo di esempio si riporta un caso osservato da F. Florineth in Alto Adige (*Studienblatte zur Vorlesung Ingenieurbiologie*) ove sono state misurate asportazioni di suolo in solchi di erosione più o meno ripidi, durante un periodo vegetativo, da 300 a 1.300 g/m<sup>2</sup> di terreno, mentre in una sola giornata con 60 mm di precipitazioni e in presenza di grandine, è stata rilevata l'asportazione di circa 5 kg/m<sup>2</sup>; al contrario superfici rinverdate mostrano dopo il terzo anno, fenomeni erosivi modesti dell'ordine di grandezza di 25-140 g/m<sup>2</sup> e, le associazioni prative naturali alpine, non hanno dato luogo ad alcuna asportazione;
  - regolazione del bilancio idrologico del terreno (evaporazione, formazione e miglioramento del suolo);
  - riduzione della velocità di scorrimento superficiale e della forza di trascinamento dell'acqua;
  - formazione di capillizio radicale nel suolo (forma delle radici; rapporto tra radici e parte epigea);
  - aumento della resistenza alla trazione;
  - aumento della resistenza al taglio.
- **Per quanto riguarda le proprietà biologiche:**
  - capacità di rigenerazione;
  - capacità di adattamento all'ambiente;
  - resistenza alla sommersione anche per periodi prolungati: salici (*Salix spp.*), pioppo bianco (*Populus alba*), ontano nero (*Alnus glutinosa*) e frassini (*Fraxinus excelsior*);
  - capacità di emettere radici avventizie: ontani, salici, pioppi, frassini, ciliegio (*Prunus avium*), ligustro (*Ligustrum sp.*), acero montano (*Acer pseudoplatanus*) e altre;
  - capacità di riproduzione per via vegetativa, ovvero per talea: tamerice (*Tamarix gallica*, *T. africana*, *T. articulata*), salici, pioppo

nero (*populus nigra*), maggiociondolo (*Laburnum anagyroides* e *L. alpinum*), miricaria (*Myricaria germanica*), sambuco (*Sambucus sp. nigra*), canna (*Phragmites australis*); talea radicale: ontano bianco (*Alnus incana*), crespino (*Berberis vulgaris*), nocciolo (*Corylus avellana*), lampone (*Rubus idaeus*), rizoma.

Con il termine "attitudine biotecnica" si indica una pianta, che si adegua all'esigenze di una attività che impieghi l'Ingegneria Naturalistica. Più specifico è il termine di "costituzione ecologica" (*ecotecnica*) con il quale intendiamo la resistenza di parti di piante e/o di piante nei confronti delle forze meccaniche che agiscono sul germoglio e/o sulla radice. Le piante con elevata valenza biotecnica dovrebbero possedere le qualità elencate di seguito:

- **Resistenza alla sollecitazione meccanica del germoglio e della radice.** Secondo Schiechl (1973), la resistenza delle radici delle piante acquista tanta più importanza quanto più esse sono fitte nel terreno. L'effetto consolidante del terreno mediante le radici non è basato solo sull'elevata resistenza, ma anche sulle molte diramazioni dell'intero sistema radicale. Si veda a tale proposito il paragrafo successivo *Apparati radicali*.
- **Resistenza contro la sommersione periodica od episodica.** Le brevi sommersioni della durata da varie ore fino a due settimane possono verificarsi nelle associazioni riparie e in quelle arbustive, ogni anno o più volte all'anno. La vegetazione di questi luoghi è adeguata a questi eventi. Su tali stazioni le specie introdotte artificialmente, non autoctone, verrebbero danneggiate in maniera da forte a letale e falliscono. Solamente poche specie, per lo più alberi, sopportano un ristagno dell'acqua con durata lunga, fino a permanente. È stata notata una buona compatibilità nei confronti del ristagno nel salice bianco (*Salix alba*), nel salice fragile (*Salix fragilis*) e nel suo incrocio *Salix rubens* come anche nel salice odoroso (*Salix pantandra*). Un ristagno improvviso produce effetti più dannosi di un innalzamento graduale dello specchio d'acqua. In presenza di un ristagno artificiale permanente gli alberi dovrebbero venir schermati con pietrisco e ciottolame fin sopra lo specchio d'acqua, affinché si possano formare radici avventizie (**tab. 8.2**).
- **Resistenza all'inghiainamento.** Un ricoprimento con il trasporto solido da parte di ruscelli o di fiumi provoca il deperimento progressivo della maggior parte delle graminacee e delle erbe non graminoidi, soprattutto quando i sedimenti sono molto impermeabili (argilla, limo) ed hanno uno spessore maggiore di 10 cm. Di contro, molte piante legnose sopportano questa colmata senza perdere la vitalità. I salici, e anche i pini, hanno resistito ad inghiainamenti, fino oltre i 3 m (fino al 30% dell'altezza dell'albero) senza danni evidenti.
- **Facoltà di formare nell'acqua radici galleggianti.** Specialmente alcune specie di salici

**Tab. 8.2** - Alcune specie legnose resistenti alla sommersione

Nome latino e nome italiano delle latifoglie	Piano altitudinale
<i>Alnus glutinosa</i> Ontano nero	Collinare sub-montano da 100 a 1.200 (1.800) m s.l.m.
<i>Populus alba</i> Pioppo bianco, gattice	Collinare sub-montano da 0 a 800 (1.500) m s.l.m.
<i>Populus nigra</i> Pioppo nero, albero	Collinare sub-montano fino a 800 (1.800) m s.l.m.
<i>Salix Alba</i> Salice bianco	Collinare sub-montano fino a 900 m s.l.m.
<i>Salix fragilis</i> Salice fragile	Collinare sub-montano fino a 1.100 m s.l.m.

formano sott'acqua, quando stanno vicine ad essa, lunghi e densi ciuffi di radici che galleggiano liberamente. Esse smorzano adeguatamente l'energia della corrente e proteggono così le sponde dall'erosione.

- **Capacità di resistenza alle sollecitazioni meccaniche.** Si presenta in terreni franosi e in caso di erosione; questa resistenza è richiesta anche nei sistemi di costruzione più stabili, dove nei primi anni occorre tener conto di limitati movimenti sulla superficie del terreno, della caduta di sassi e dell'abrasione da neve. La pianta è esposta a queste influenze anche quando è stata messa a dimora con gradonate, viminate, fascinate, sebbene essa goda in tali casi di una maggiore protezione (Schiechtel, 1973).

Nelle specie pioniere alpine, l'espressione dell'adattamento a particolari condizioni di terreno, si può notare dalle forme di crescita anormali, a seguito di condizioni di vita estrema.

Queste meccanomorfosi contraddistinguono, in genere, quelle specie che sono in grado di sopportare delle sollecitazioni estreme. Esse sono l'espressione di una reazione correlativa per la perdita del getto apicale, per il ribaltamento, pressione e spinta della neve, erosione del suolo, inghiaamento, oscillazione del livello del terreno, caduta sassi.

Queste specie, il cui verticello di radici più basso resta ancora in funzione, dopo l'inghiaamento e la formazione di un verticello di radici avventizie, sopportano l'oscillazione del livello del terreno e, quindi, alternativamente l'inghiaamento e l'erosione, fatto questo che si riscontra solo in specie legnose geneticamente giovani. Fra le conifere hanno tali caratteristiche il pino silvestre (*Pinus silvestris*) ed il pino mugo nella sua forma eretta (*Pinus mugo var. uncinata*).

- **Azione consolidante (legante) del terreno.** È la capacità di legare e consolidare il terreno

mediante il sistema radicale della pianta; essa è una risultante derivante dalla forma della radice, dalla densità della radicazione e quindi dalla massa radicale. Queste qualità possono essere in parte compensate da una corrispondente resistenza allo strappo. Particolarmente importante appare il rapporto fra il volume dei getti ed il volume delle radici (della massa), tanto più che con ciò è possibile stimare, senza lunghi complessi scavi, in base alle parti della pianta visibile, quelle nascoste nel terreno (Schiechtel, 1973). Le specie a radicazione estensiva, con un ampio sistema radicale strisciante e/o penetrante in profondità (tipo di pianta legnosa; cfr. tab. 8.3), formano sistemi orizzontali e verticali; mentre questi ultimi vengono suddivisi, nel caso di individui adulti, propagati per via sessuale a seconda della forma, in radici fittonanti e fascicolate (specie a radicazione profonda) ed in radici penetranti in profondità (specie a radicazione piatta). Le piante legnose moltiplicate agamicamente in sito, possono però essere difficilmente inquadrare in uno di questi schemi. Il gruppo delle specie a radicazione intensiva, con radici meno striscianti in profondità, molto ramificate e fittamente addensate, rappresentano il tipo delle graminacee. Nel caso delle erbe non graminoidi, anzitutto nelle leguminose, esistono delle transizioni fra i due tipi di radice. Il consolidamento più efficace del terreno si ottiene in ogni modo quando la compenetrazione radicale nel corpo terroso avviene in diversi strati del terreno. È quindi assolutamente necessario impiegare diverse specie, anche ai fini della stabilizzazione del terreno.

- **Facoltà di colonizzare i suoli sterili,** propria delle specie pioniere, che nella colonizzazione naturale di aree prive di vegetazione, preparano, come colonizzatori primari, la strada agli ulteriori stadi di successione. Si tratta in prevalenza di specie a vasta amplitudine ecologica.
- **Forza edificatrice.** Con questo termine si intende l'azione miglioratrice del terreno o della stazione, esercitata dalla vegetazione mediante la quale l'associazione pioniera viene portata, senza ulteriore intervento, attraverso la successione, verso stadi vegetazionali più evoluti. Questo effetto trae origine dal consolidamento del terreno, dal miglioramento del mesoclima e del terreno. La velocità di sviluppo, e con ciò la produzione di sostanza organica, hanno in questa circostanza un ruolo essenziale. Di particolare importanza agli effetti pratici risulta l'utilizzazione di specie vegetali che, con l'aiuto dei loro simbiotici e/o la caduta delle loro foglie, arricchiscono in azoto il terreno. Soprattutto gli ontani e le leguminose possiedono questa proprietà. Il lavoro d'edificazione si basa principalmente su:
  - qualità generali delle specie pioniere;
  - facoltà di migliorare il terreno;
  - consolidamento e coesione del terreno.



Tab.8.3 - Piante radicate con capacità di sviluppo di radici avventizie

Specie	Resistenza all'inghiamento	Resistenza agli slittamenti e movimenti di neve	Grande resistenza alla caduta sassi	Buon consolidamento del terreno	Grande resistenza alla trazione
<i>Acer pseudoplatanus</i>	X	X	X	X	X
<i>Acer platanoides</i>				X	
<i>Alnus incana</i>	X		X	X	
<i>Alnus viridis</i>	X	X	X		
<i>Sorbus aucuparia</i>	X	X	X		
<i>Sorbus aria</i>		X	X		
<i>Fraxinus excelsior</i>		X	X	X	X
<i>Populus tremula</i>			X	X	
<i>Alnus Glutinosa</i>	X			X	
<i>Castanea sativa</i>			X		
<i>Ulmus montana</i>				X	
<i>Quercus robur</i>				X	
<i>Salix spp.</i>	(X)	X	X	(X)	X
<i>Cornus spp.</i>		X		X	
<i>Liguster spp.</i>	X	X	X	X	X
<i>Sambucus spp.</i>	(X)		X		
<i>Viburnum opulus</i>				X	
<i>Berberis vulgaris</i>	X	X	X		X

Fonte: AIPIN, sezione Bolzano, 1995.

Le proprietà meccaniche del terreno vengono migliorate utilizzando robuste radici, profonde e molto estese che, penetrando nel terreno, consentono l'apporto in profondità di ossigeno e della fauna entro di esso. La decomposizione delle specie vegetali morte favorisce l'aumento di umidità e di contenuto trofico, così come la copertura della superficie del terreno con foglia larga causa un sostanziale mutamento nel microclima, rendendo possibile una rapida formazione di *humus*. La forza edificatrice delle piante permette di avviare una successione vegetale naturale, creando delle colonizzazioni di biocenosi più esigenti, a scapito delle piante che possiedono tale qualità.

- **Resistenza al sale.** Essa ha importanza sulle coste marine o laddove vengono impiegati sali anticongelanti per lunghi periodi ed in dosi elevate come, ad esempio, lungo la viabilità per la sicurezza del traffico.
  - **Capacità di crescita.** È una proprietà fondamentale per la buona riuscita dell'Ingegneria Naturalistica. Si preferiscono radici che raggiungano già nei primi anni un'adeguata profondità e che i getti crescano presto in altezza o in larghezza, proteggendo il terreno.
- Altre specie di piante radicate con capacità di sviluppo di radici avventizie, impiegate in opere di Ingegneria Naturalistica, come le gradonate vive con latifoglie, che presentano particolari caratteristiche biotecniche, sono elencate, a titolo d'esempio, nella **tabella 8.3**.

### 8.3 Apparatî radicali

Affinché le radici delle piante impiegate per stabilizzare un terreno in movimento, oppongano la giusta resistenza alle sollecitazioni meccaniche del suolo stesso, è necessario conoscere il comportamento che presentano nei confronti:

- delle elevate velocità di deflusso;
- delle forti pressioni della corrente e delle correnti d'acqua turbolente (per quanto riguarda un corso d'acqua);
- delle grandi forze di trascinarsi;
- della tolleranza nei riguardi dello sterco e del rinterro temporaneo;
- dell'urto e della forza del trasporto solido.

Le sollecitazioni meccaniche provocate dai movimenti del terreno e quelle di trazione e di taglio che ne derivano, come pure quelle dovute alle forze del manto nevoso e della caduta di sassi, dovrebbero ugualmente venire tollerate.

La resistenza alla rottura dell'apparato radicale è il prodotto dell'intensità di radicamento per la resistenza alla trazione delle singole radici. La resistenza all'estirpamento delle piante è diversa, come si può vedere nelle **tabella 8.4**.

Le specie che formano stoloni hanno una scarsa resistenza alla trazione, mentre nelle altre graminacee e nelle erbe con apparato radicale profondo, questa è superiore (Florineth, 1994). Arbusti ed alberi offrono una resistenza alla trazione fino a 5.500 N (1N=0,1 kg). Semine di graminacee e popolamenti misti di leguminose e graminacee offrono rispettiva-

**Tab. 8.4** - Resistenza all'estirpamento di piante erbacee e latifoglie

Specie	Forza di trazione (N)	Diametro della radice (Ø mm)	Tensione di trazione (N/cm <sup>2</sup> )
<i>Poa annua</i>	1,04		
<i>Agrostis stolonifera</i>	1,24		
<i>Festuca duriuscula</i>	2,04		
<i>Deschampsia caespitosa</i>	2,90		
<i>Lolium perenne</i>	5,00		
<i>Nardus stricta</i>	7,60		
<i>Bromus inernis</i>	9,90		
<i>Trifolium repens</i>	3,50	0,9	547
<i>Anthyllis vulneraria</i>	86	3,5	901
<i>Trifolium hybridum</i>	125	3,1	1.658
<i>Lotus corniculatus</i>	142	3,6	1.404
<i>Trifolium pratense</i>	154	3,7	1.438
<i>Onobrychis sativa</i>	350	10	443
<i>Medicago sativa</i>	3.250	30	460
<i>Salix caprea</i>	5.500	85	97
<i>Betula pendula</i>	3.000	53	136
<i>Carpinus betulus</i>	4.000	78	83

Fonte: Florineth, 1993.

**Tab. 8.5** - Resistenza al taglio di un terreno misurata come pressione laterale massima con un sovraccarico di 20 kN/m<sup>2</sup>

Prova n.	Popolamenti di graminacee e leguminose	Sr (%)	$\tau^{(20)}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\Delta \tau^{(20)}$ (kN/m <sup>2</sup> )
1	<i>Alopecurus geniculatus</i>	63	48,7	9,0 23%
2	<i>Poa pratensis</i>	63	43,7	
3	<i>Agrostis stolonifera</i>	61	38,5	5,2 16%
4	<i>Festuca pratensis</i> <i>Festuca rubra</i> <i>Poa pratensis</i> <i>Trifolium pratense, ecc.</i>	84	37,8	13,4 55%
5	<i>Poa pratensis</i>	74	37,0	7,5 25%
6	<i>Agrostis stolonifera</i>	100	35,7	4,8 16%
7	<i>Lolium multiflorum</i> <i>Agrostis stolonifera</i> <i>Poa annua</i> <i>Trifolium repens, ecc.</i>	39	30,7	2,9 9%
8	<i>Lolium multiflorum</i> <i>Agrostis stolonifera</i> <i>Poa annua</i> <i>Trifolium repens, ecc.</i>	65	30,4	-0,6 -2%
9	<i>Alopecurus geniculatus</i>	100	30,1	

Fonte: Florineth, 1993.

mente delle resistenze al taglio di 30,1-48,7 kN/m<sup>2</sup> in cui la differenza tra l'orizzonte radicato e quello non attraversato da radici arriva fino al 55%.

La grande differenza dipende soprattutto dalla composizione delle specie vegetali: graminacee note come *Poa pratensis*, *Festuca rubra* e *Festuca*

*pratensis* confermano il loro valore per il consolidamento del terreno mediante inerbimenti, mentre il *Lolium multiflorum* si è mostrato inadatto secondo quanto si rileva dall'esame della tabella 8.5 in cui:

- *Sr* è il grado di saturazione dell'acqua nel terreno;

- $\tau$  (20) è la resistenza al taglio calcolata con una tensione normale di 20 kN/ m<sup>2</sup>;
- $\Delta\tau$ (20) è l'aumento della resistenza al taglio del terreno attraversato da radici in confronto ad uno privo di radici.

Per quanto riguarda la resistenza a trazione delle radici, si può fare riferimento ai valori riportati in letteratura. Essa dipende dal tipo di specie vegetale.

Nella **tabella 8.6** sono riportati i valori medi relativamente a piante più comunemente diffuse lungo le sponde di alvei fluviali o su versanti.

Di più difficile valutazione risulta invece la porzione di terreno occupata dalle radici, per la determinazione del termine ( $\Delta\tau/\Delta$ ), essendo limitati i dati disponibili in letteratura e considerando inoltre che esso varia anche in funzione della profondità e del tipo di terreno.

Dal rapporto radice-parte aerea della pianta, calcolato con il volume o peso delle rispettive parti vegetali, possiamo constatare che alcune piante hanno più radici che germogli o foglie

(vedi lo schema riportato nella **tabella 8.7** e nella **figura 8.1**).

Le specie vegetali da impiegare devono offrire una grande capacità di resistenza, una crescita rapida, una copertura diffusa, una radicazione forte e un'elevata rusticità, soprattutto per quanto riguarda le esigenze edafiche (**fig. 8.2**). In particolare, esistono specie che resistono all'immersione totale delle proprie radici in acqua (permanenza costante) ed altre che rifiuggono tale situazione.

Nelle **figure 8.3-8.20** sono raffigurati una serie di apparati radicali (erbacei ed arborei), che mettono bene in evidenza il volume di terreno coinvolto dalla stabilizzazione delle radici stesse, e l'idoneità degli apparati radicali in funzione della pendenza e della tipologia di sponde e scarpate (**fig. 8.20**).

### 8.3.1 Salici

Data la prevalente distribuzione naturale dei salici nei biotopi umidi e in generale nei pressi dei corpi idrici, essi hanno costituito sin dai tempi più remoti, a causa della loro regolare e frequente presenza, un materiale da costruzione privilegiato per il consolidamento delle sponde.

Nelle sistemazioni con tecniche di Ingegneria Naturalistica, i salici vengono utilizzati soprat-

**Tab. 8.6** - Valori di resistenza e trazione delle radici di alcune piante più comunemente presenti lungo le sponde fluviali e sui versanti

Specie	Nome comune	Resistenza a trazione (Mpa)
<i>Alnus incana</i>	Ontano bianco	32
<i>Populus nigra</i>	Pioppo nero	5 ÷ 12
<i>Populus canadensis</i> o <i>P. x euroamericana</i> .	Pioppo americano	32 ÷ 46
<i>Quercus robur</i>	Farnia	32
<i>Robinia pseudacacia</i>	Robinia	68
<i>Salix purpurea</i>	Salice rosso	36
<i>Salix fragilis</i>	Salice fragile	18
<i>Salix dasyclados</i>	Salice	17
<i>Salix elaeagnos</i>	Salice ripaiolo	15
<i>Salix helvetica</i>	Salice elvetico	14
<i>Salix hastata</i>	Salice astato	13
<i>Salix cinerea</i>	Salice cinereo	12

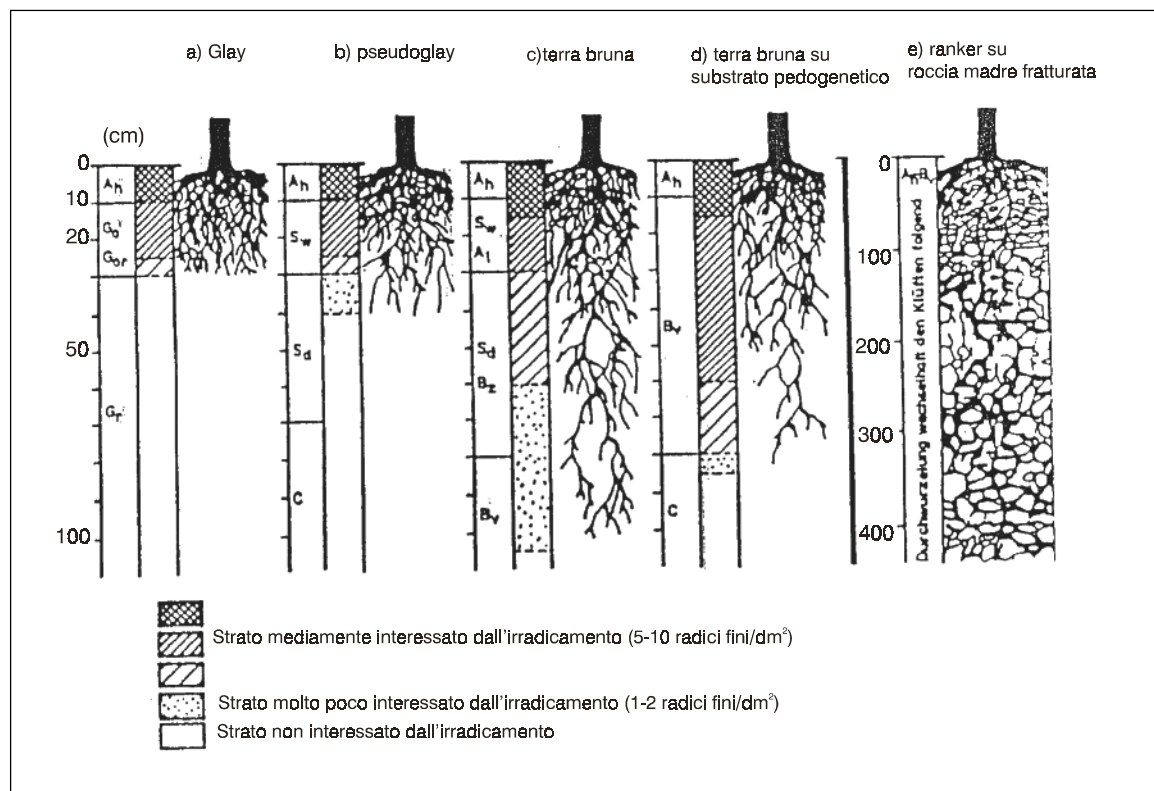
Fonte: Greenway, 1987.

**Tab. 8.7** - Rapporto tra il volume dell'apparato radicale e la parte aerea di diverse piante

Arbusti ed alberi	
<i>Salix glabra</i>	2,4
<i>Viburnum Lantana</i>	2,3
<i>Erica carnea</i>	2,0
<i>Salix eleagnos</i>	1,8
<i>Salix nigricans</i>	1,8
<i>Alnus viridis</i>	1,6
<i>Salix purpurea</i>	1,5
<i>Fraxinus excelsior</i>	1,5
<i>Ligustrum vulgare</i>	1,2
<i>Acer pseudoplatanus</i>	1,1
<i>Hippophae rhamnoides</i>	1,0
<i>Berberis vulgaris</i>	0,6
<i>Salix alba</i>	0,5
Piante erbacee	
<i>Stipa species</i>	5-15
<i>Equisetum arvense</i>	5,5
<i>Rumex scutatus</i>	5,5
<i>Deschampsia caespitosa</i>	1,6
<i>Festuca ovina</i>	1,1
<i>Anthyllis vulneraria</i>	0,8
<i>Achillea millefolium</i>	0,7
<i>Lotus corniculatus</i>	0,7

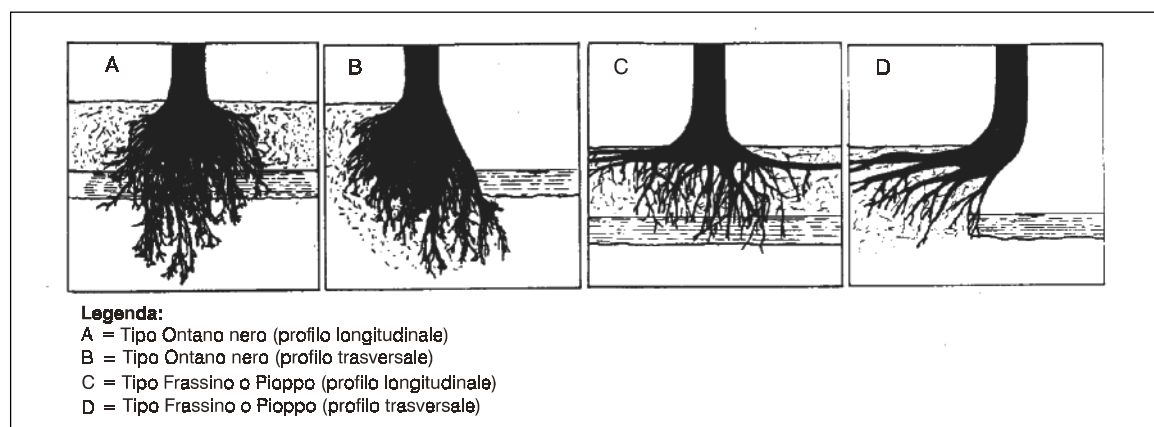
Fonte: Florineth, 1993.

Fig. 8.1 - Schema illustrante l'apparato radicale di una pianta in relazione ai diversi tipi di terreno



Fonte: Dispense AIPIN del “Corso di specializzazione sulle caratteristiche biotecniche delle piante utilizzabili in Ingegneria Naturalistica”, 1995, modificato in Palmeri, 2001.

Fig. 8.2 - Diversità tipologiche degli apparati radicali

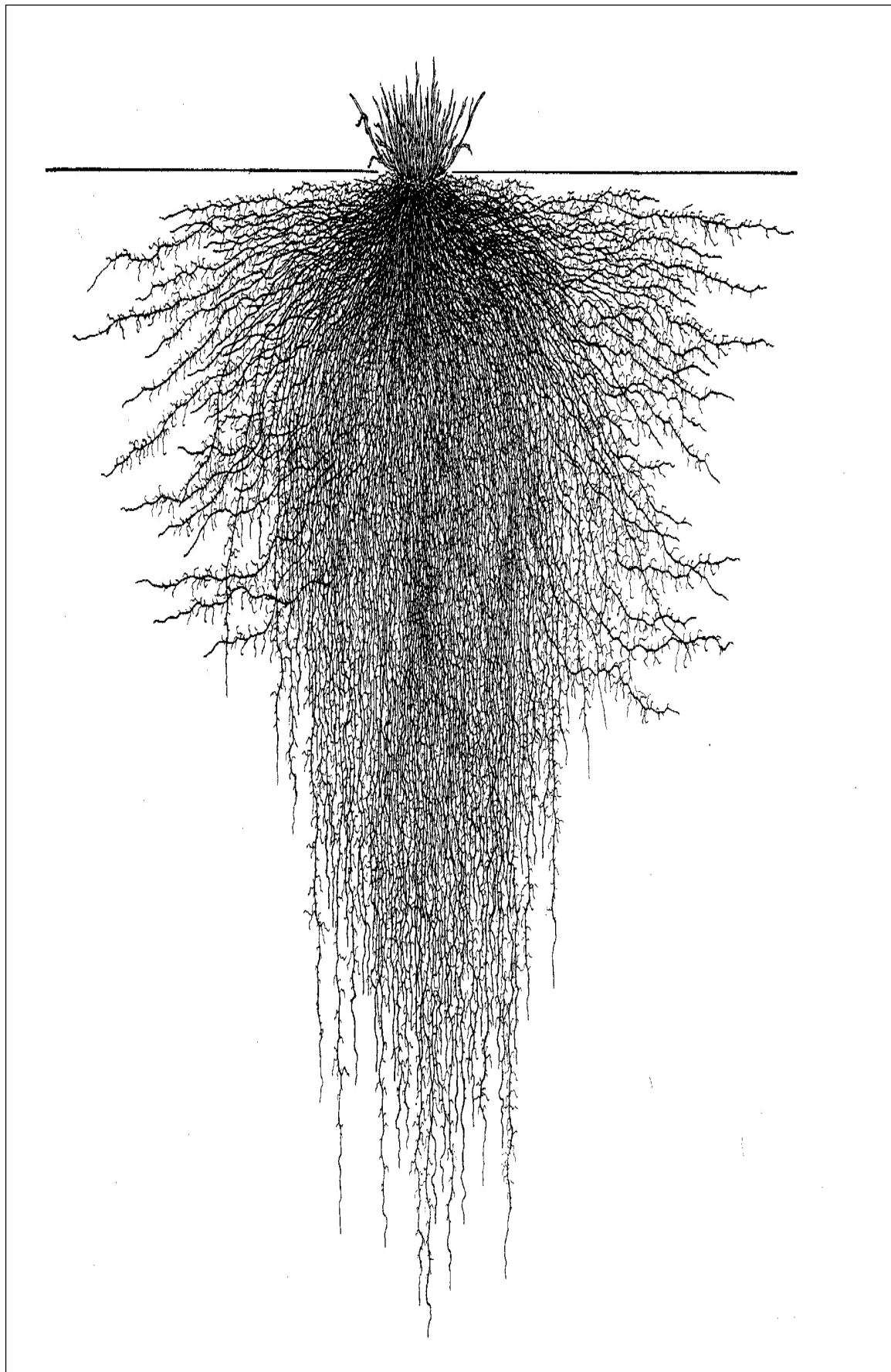


Fonte: Lachat, 1991.

tutto perché hanno un'ottima attitudine biotecnica (Schiechl, 1992) e una rapida propagazione vegetativa. Per poter utilizzare i salici nei lavori di consolidamento, attuati con opere di Ingegneria Naturalistica, è necessario che le loro parti legnose siano in grado di formare radici e getti avventizi alle condizioni esistenti al momento dell'evento costruttivo. I rami di salice con capacità di propagazione vegetativa vengono impiegati nelle sistemazioni di Ingegneria Naturalistica in campo idraulico per diversi scopi:

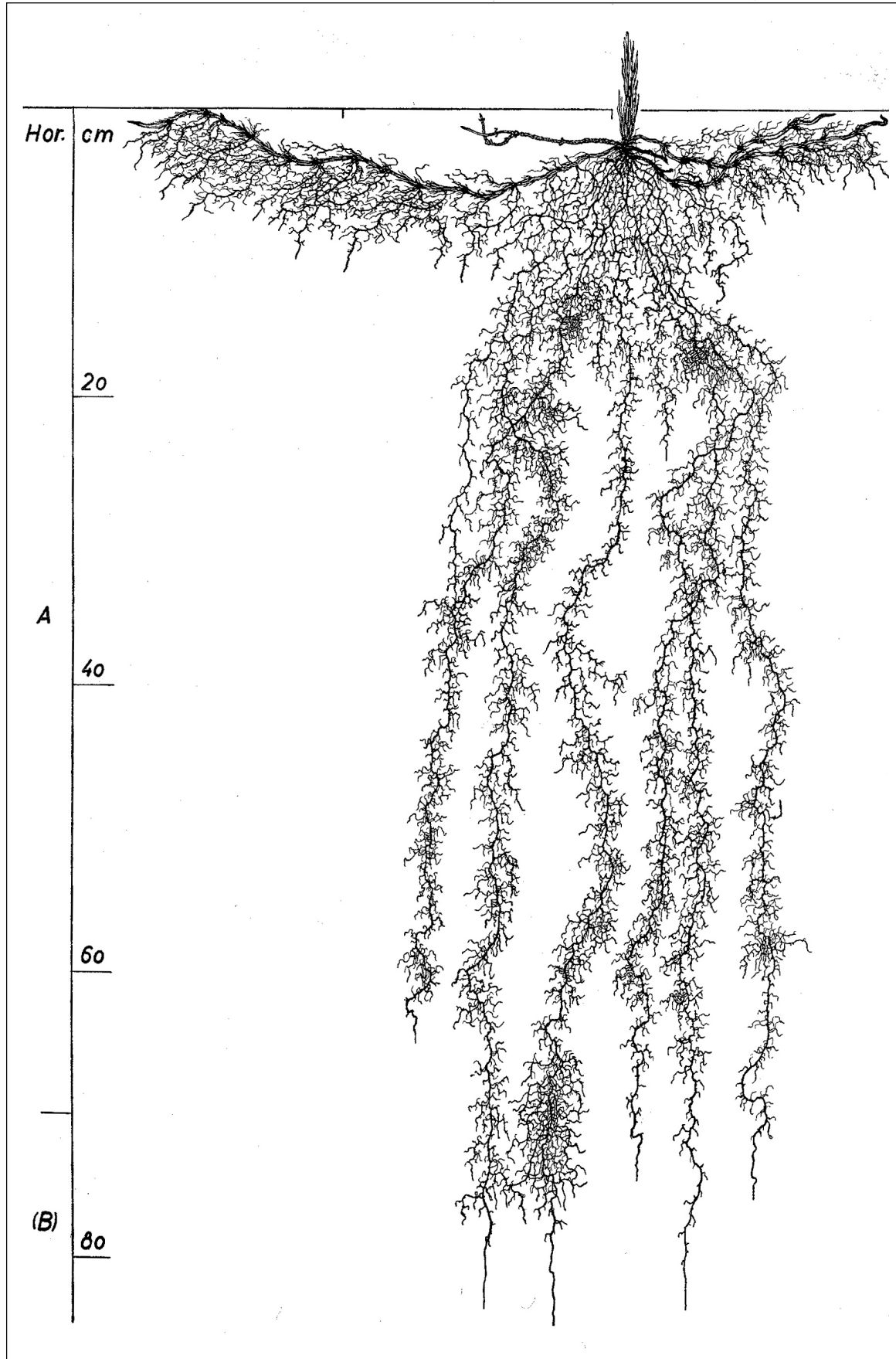
- per il prosciugamento;
  - come opere trasversali nei corsi d'acqua;
  - per la protezione spondale lungo i corsi d'acqua e i laghi;
  - per il risanamento di punti danneggiati.
- Il loro impiego per i lavori in terra ha, invece, i seguenti scopi:
- per il prosciugamento;
  - per il consolidamento di fossi;
  - per sostenere ripide scarpate instabili;
  - per la protezione del terreno da franamenti ed erosione su pendii.

**Fig. 8.3** - Apparato radicale di *Lolium perenne*



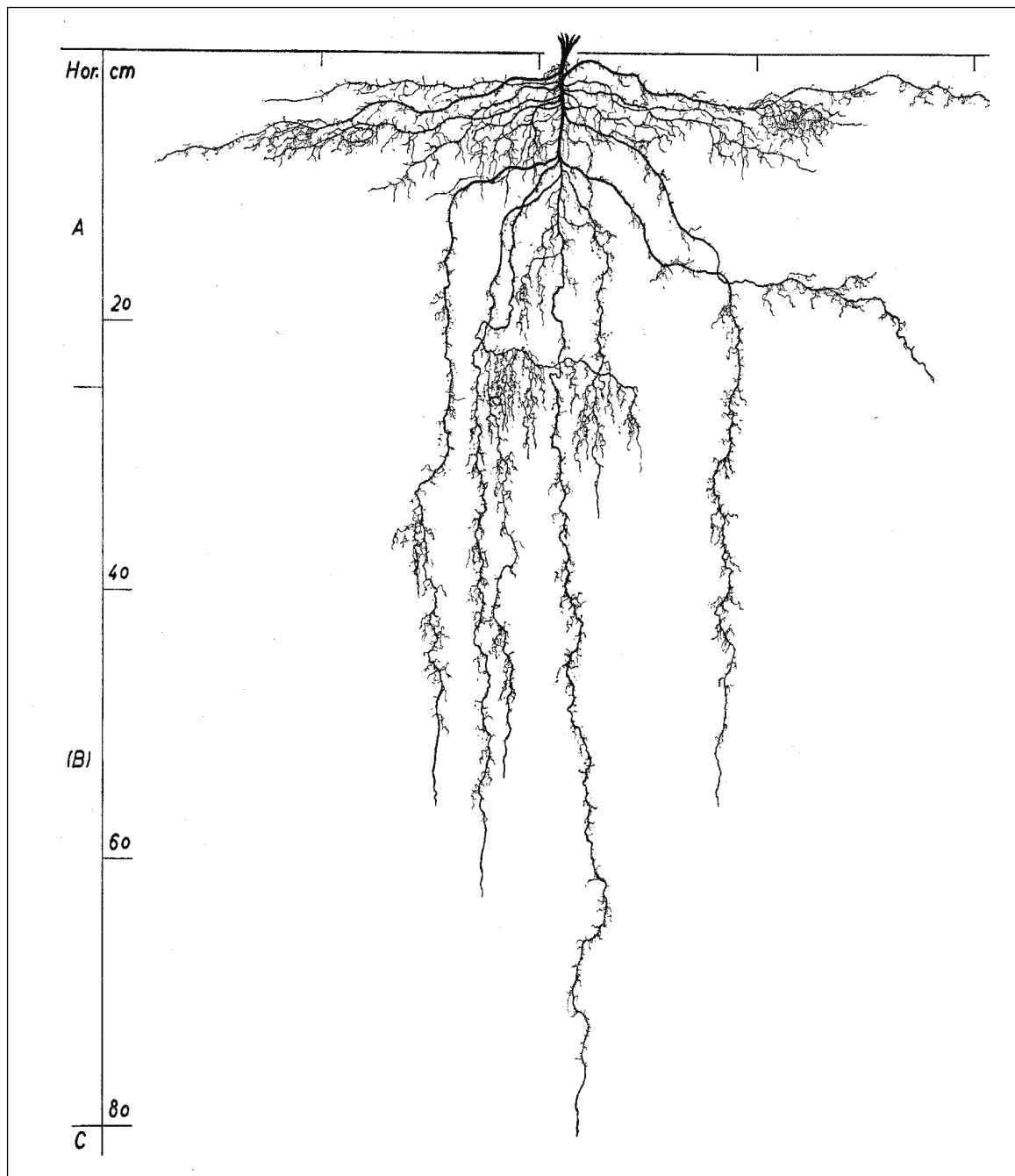
Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

Fig. 8.4 - Apparato radicale di *Agropyron repens*



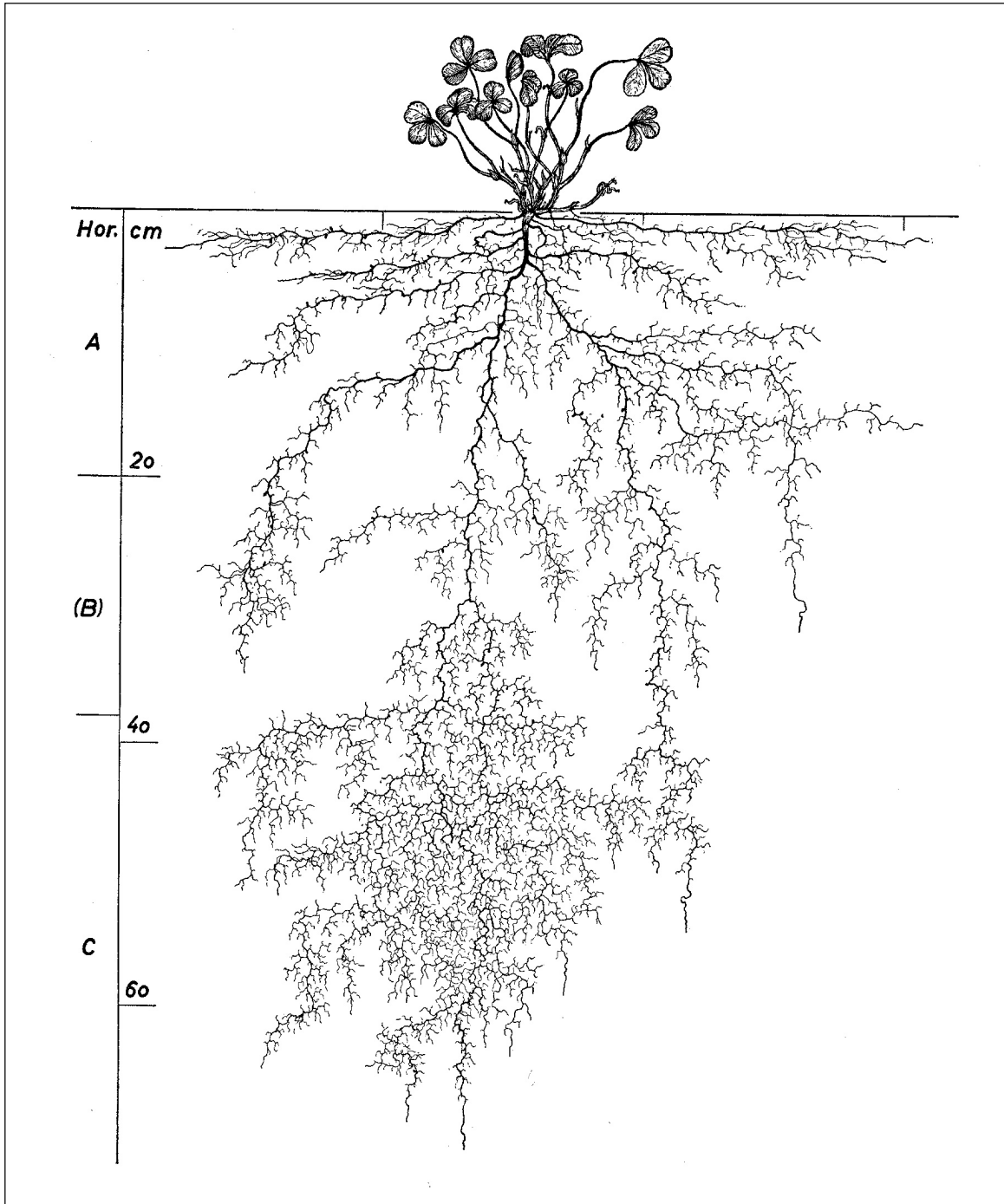
Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

Fig 8.5 - Apparato radicale di *Trifolium pratense*



Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

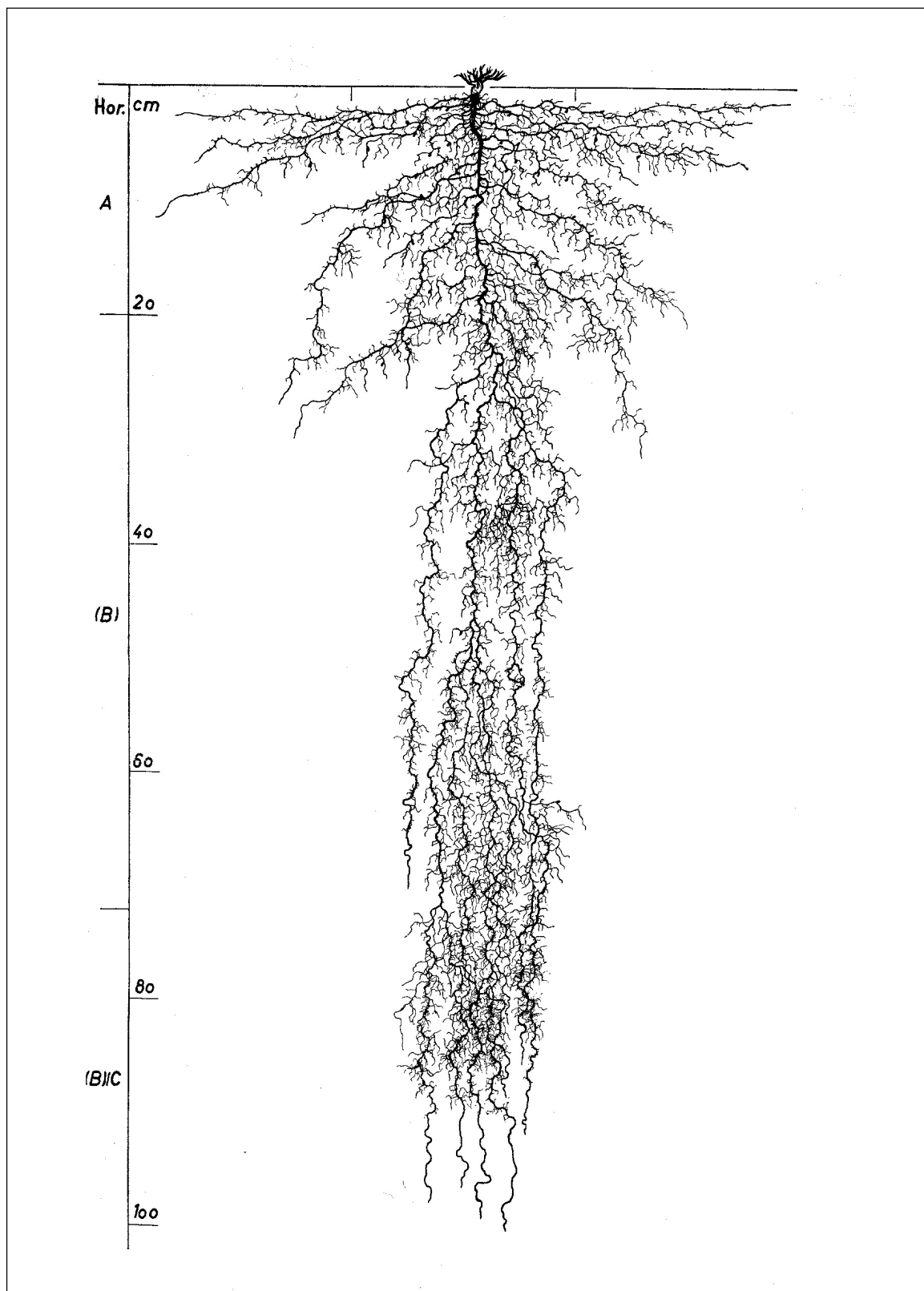
Fig. 8.6 - Apparato radicale di *Trifolium repens*



Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

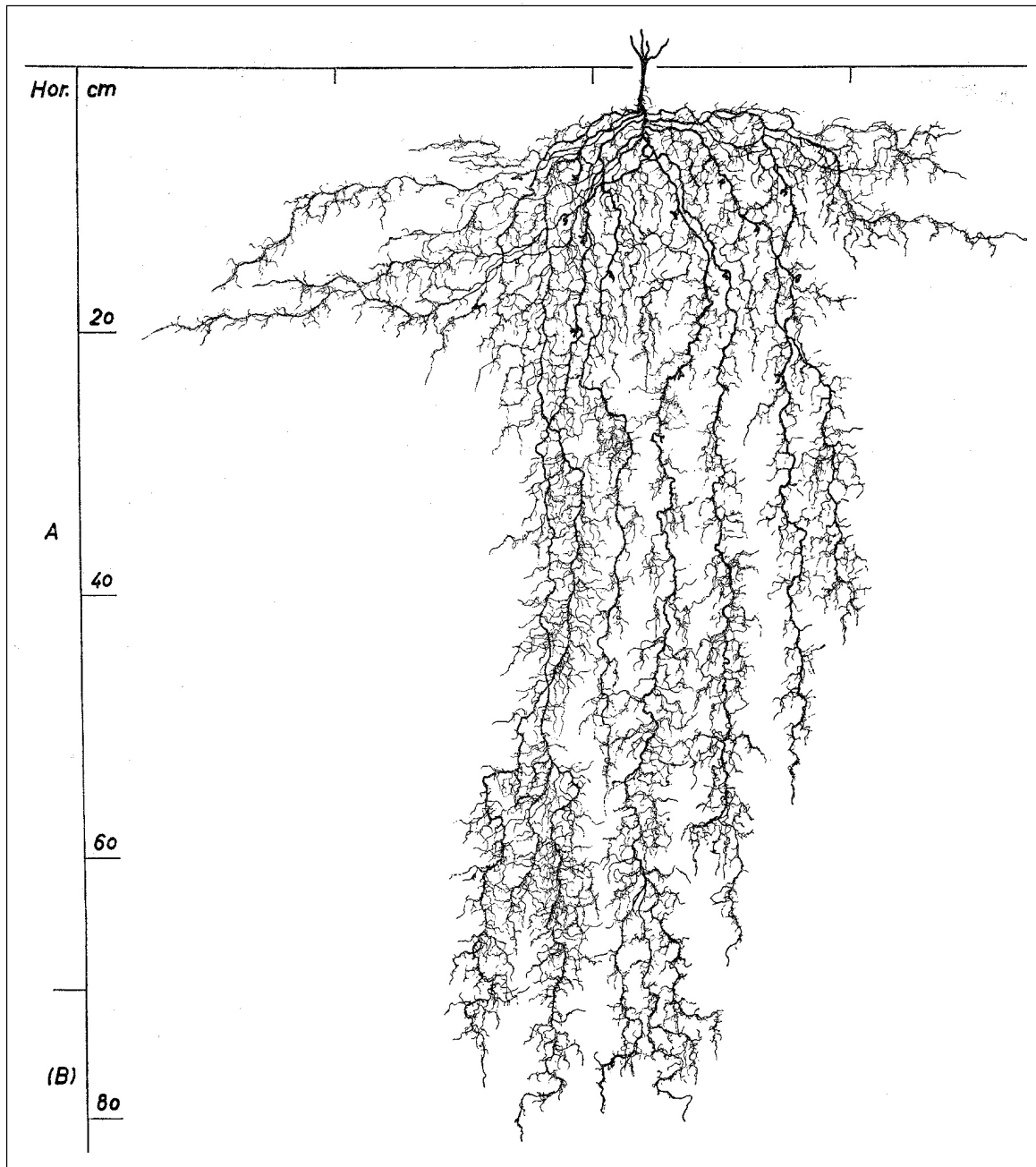


Fig. 8.7 - Apparato radicale di *Lotus corniculatus*



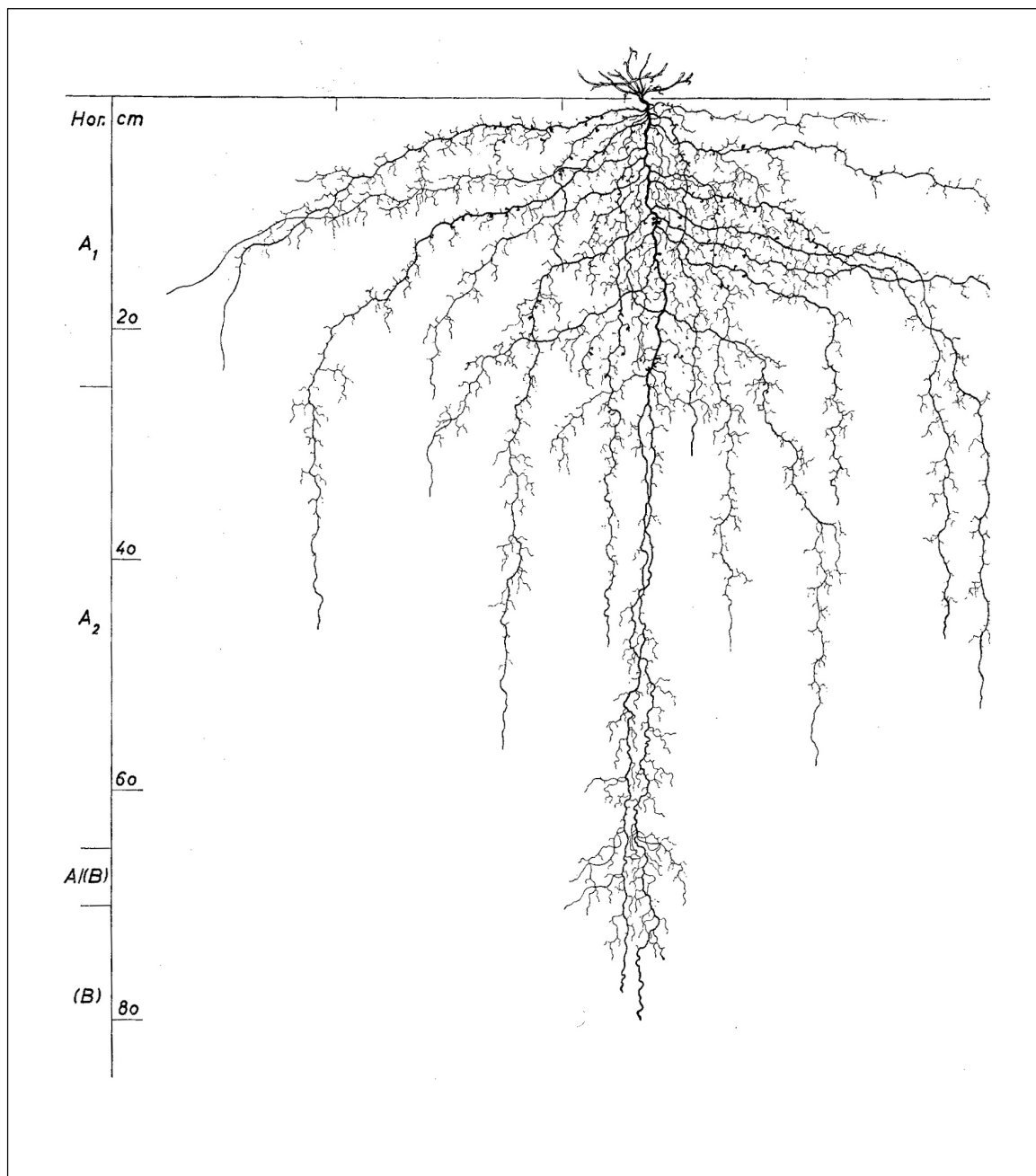
Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

Fig. 8.8 - Apparato radicale di *Vicia villosa*



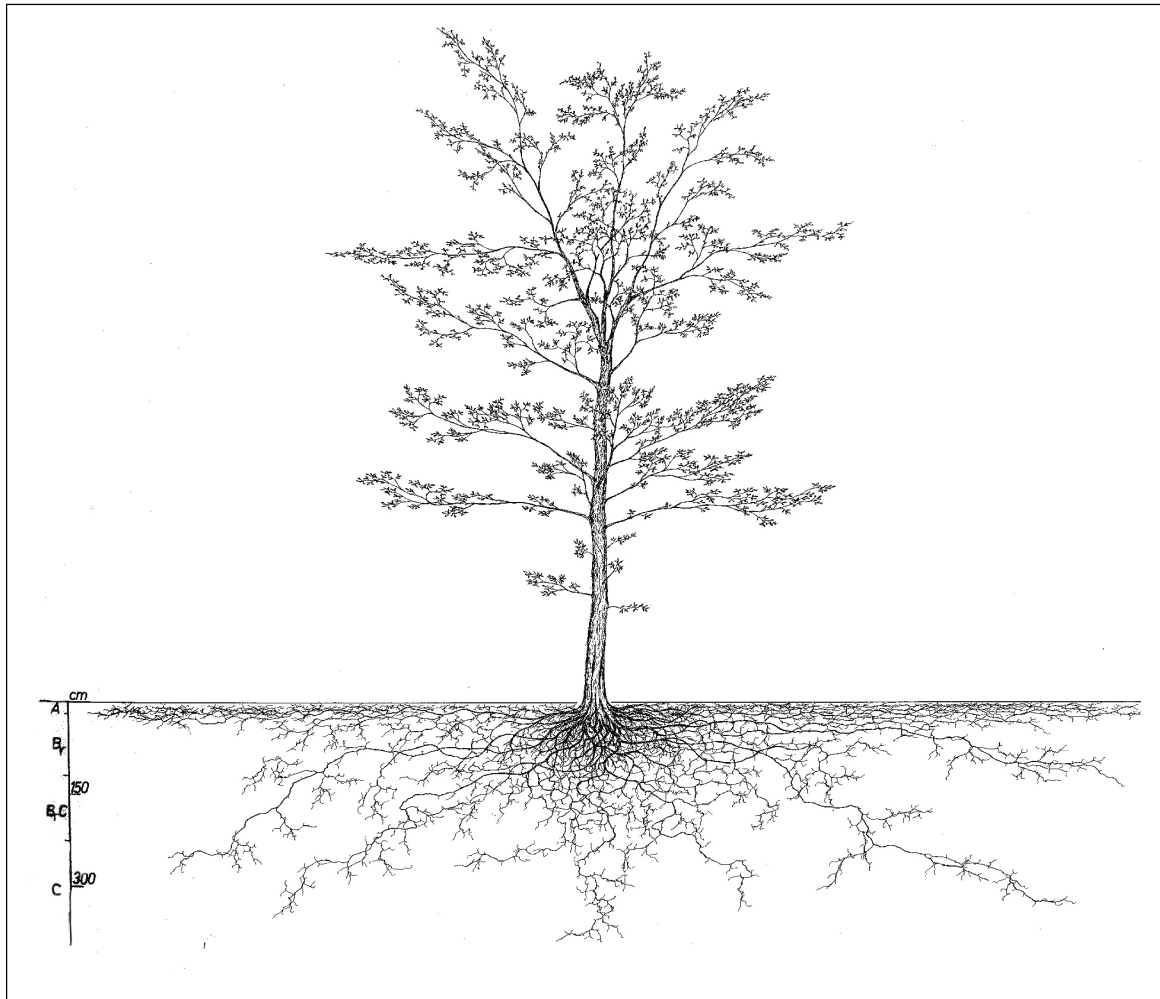
Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

Fig. 8.9 - Apparato radicale di *Vicia sativa*



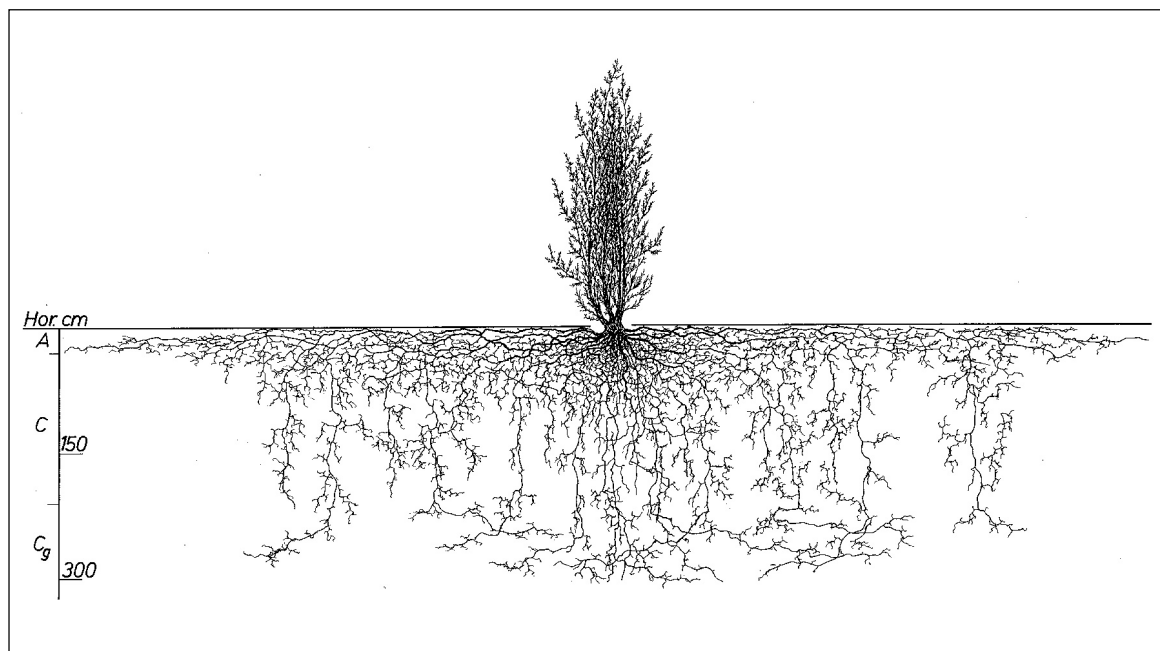
Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

Fig. 8.10 - Apparato radicale di *Carpinus betulus*



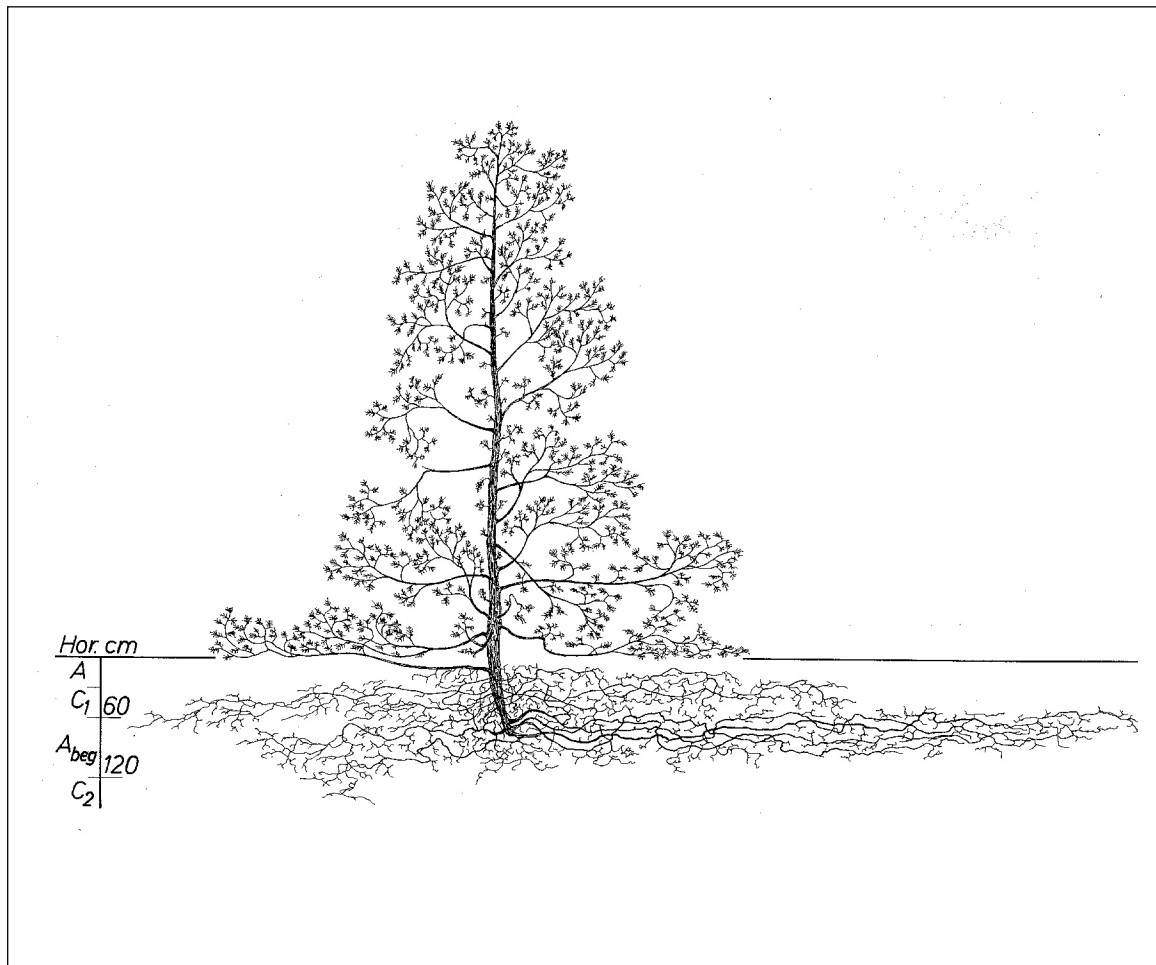
Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

Fig. 8.11 - Apparato radicale di *Juniperus communis* ssp. *Communis*



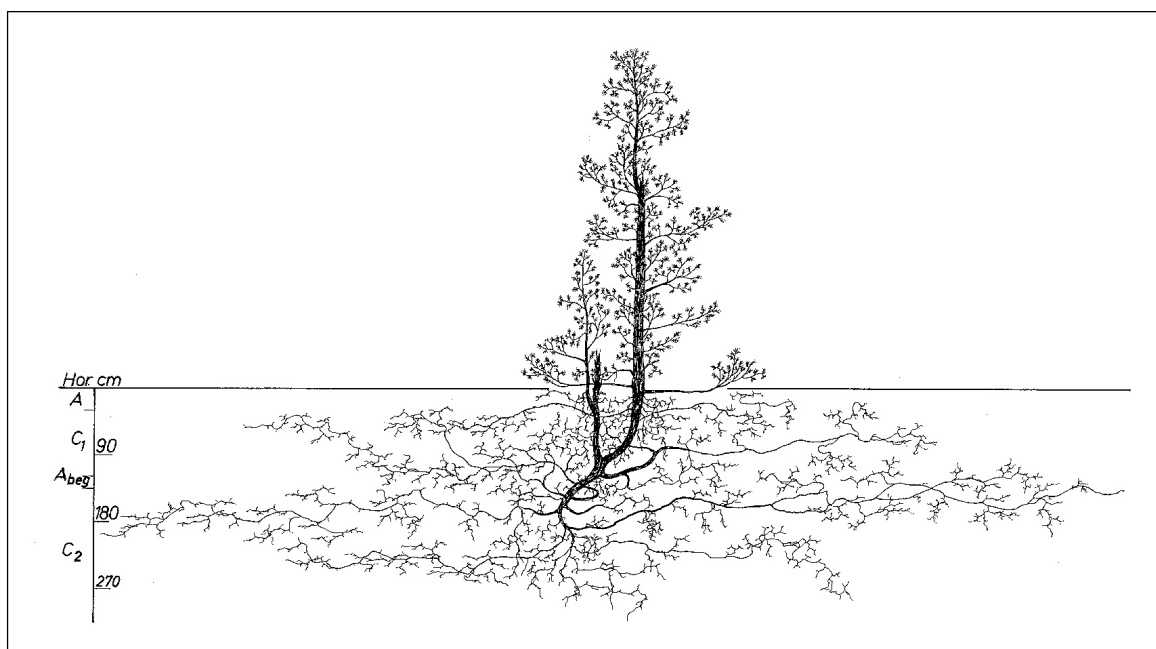
Fonte: Wurzeln, 1997.

**Fig. 8.12** - Apparato radicale di *Juniperus communis* ssp. *Communis*



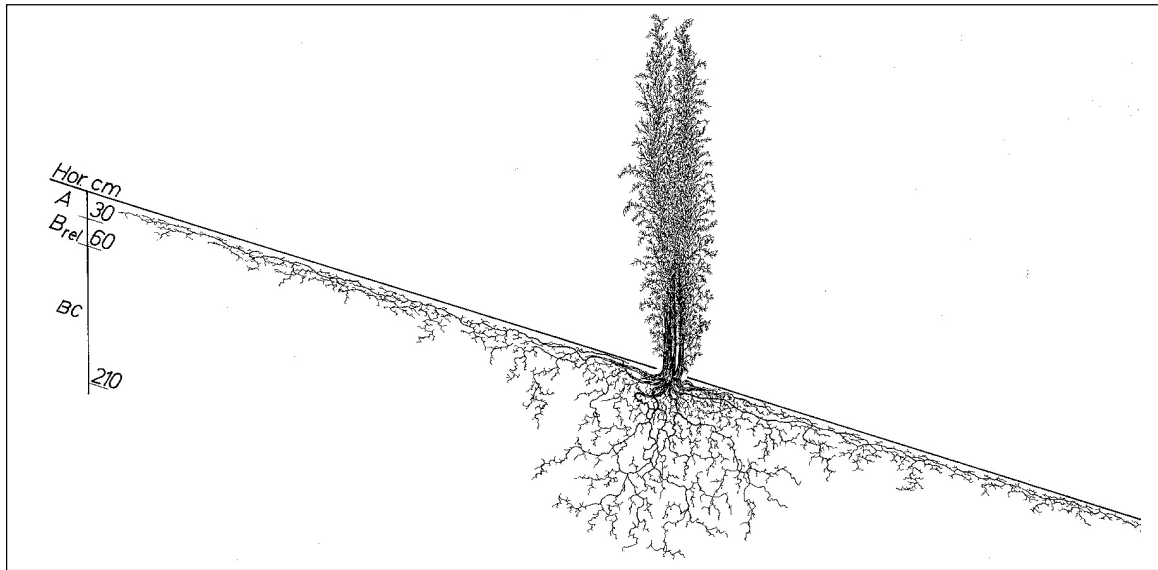
Fonte: Wurzeln, 1997.

**Fig. 8.13** - Apparato radicale di *Juniperus communis* ssp. *Communis*



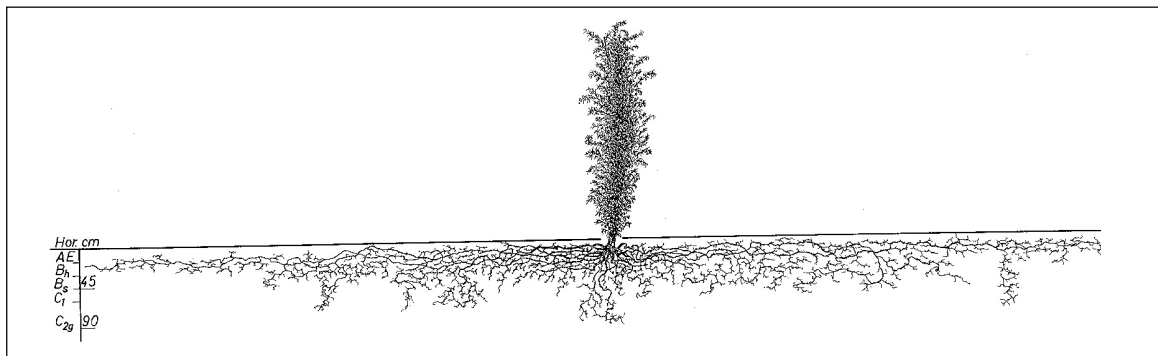
Fonte: Wurzeln, 1997.

**Fig. 8.14** - Apparato radicale di *Juniperus communis* ssp. *Communis*



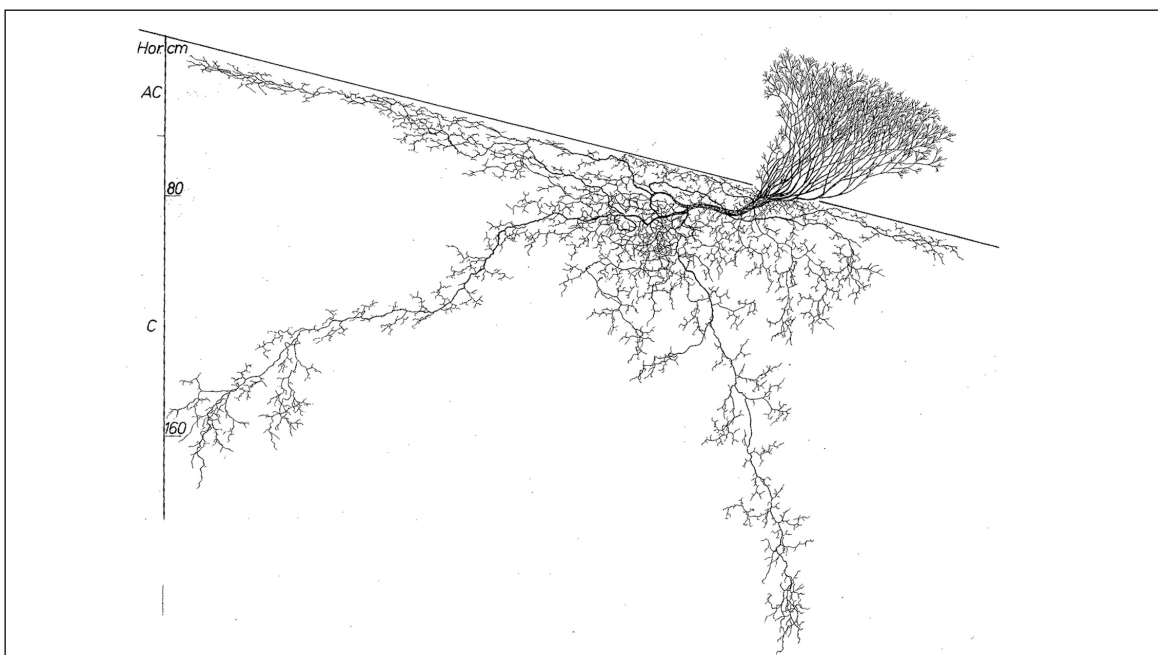
Fonte: Wurzeln, 1997.

**Fig. 8.15** - Apparato radicale di *Juniperus communis* ssp. *Communis*



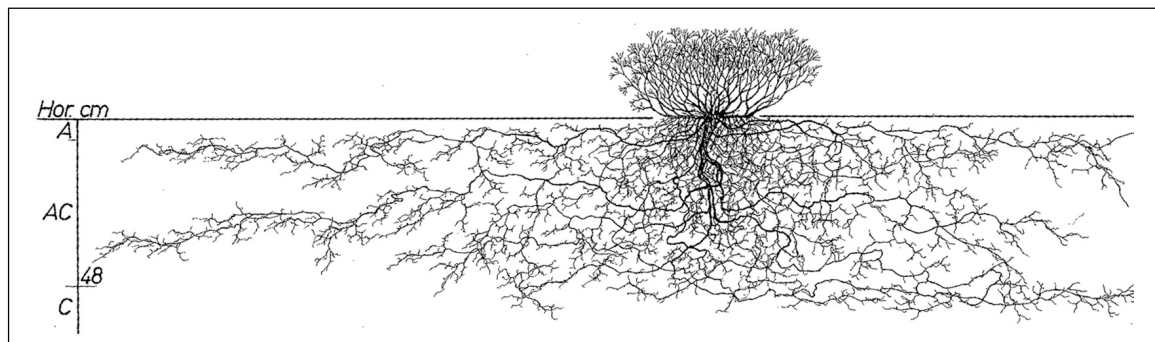
Fonte: Wurzeln, 1997.

**Fig. 8.16** - Apparato radicale di *Genista radiata*



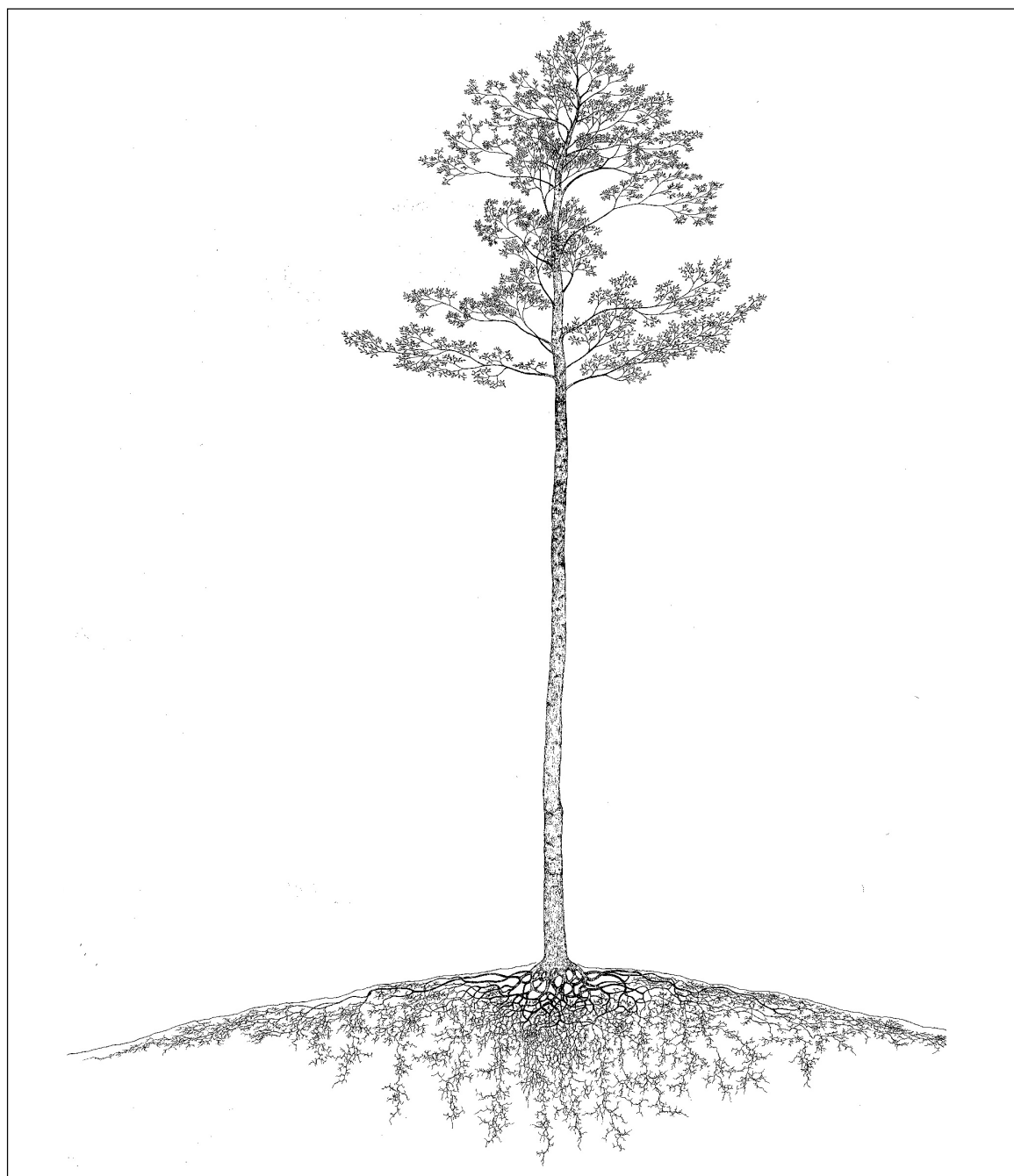
Fonte: Wurzeln, 1997.

**Fig. 8.17** - Apparato radicale di *Genista radiata*



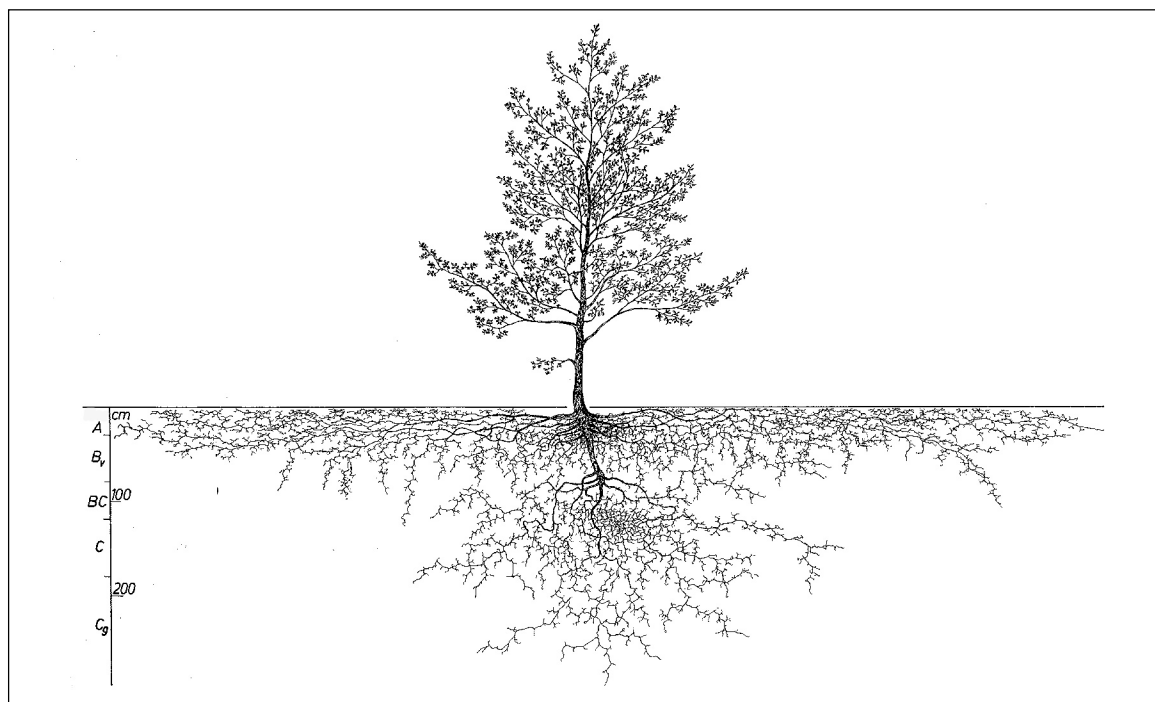
Fonte: Wurzeln, 1997.

**Fig. 8.18** - Apparato radicale di *Fagus sylvatica*



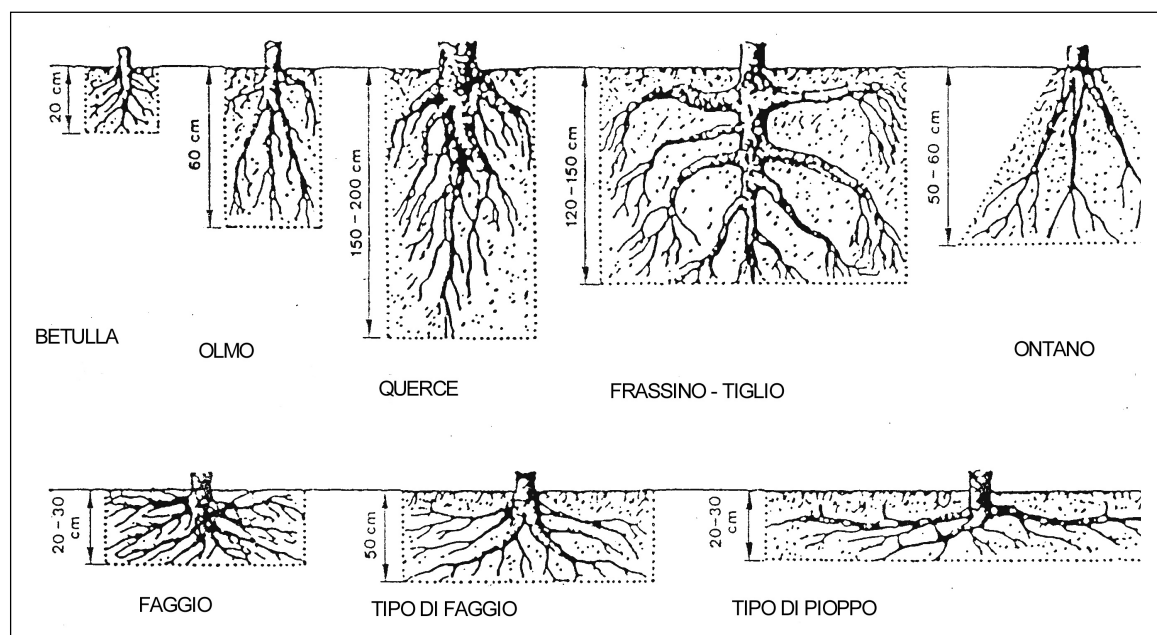
Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

Fig. 8.19 - Apparato radicale di *Quercus robur*



Fonte: Kutschera – Sobotik, 1997.

Fig. 8.20 - Confronto tra i diversi apparati radicali delle diverse specie di alberi



Fonte: Mathey, 1929.

In tutte le zone dove possono attecchire i salici e quindi dove essi possono essere utilizzati come materiali da costruzione, vengono adottati ripetitivamente gli stessi metodi di costruzione sperimentati.

Le specie di salici utilizzate allo scopo dipendono invece sempre dalle condizioni stazionali, poiché le sistemazioni di Ingegneria Naturalistica vengono eseguite prevalentemente nel paesaggio non urbanizzato. La loro differente

forma di sviluppo influenza anche l'applicabilità delle diverse tipologie. Con gli interventi attuati nel paesaggio per scopi minerari, industriali, energetici e nel sistema delle comunicazioni, si creano aree incolte che non sono più da considerare agli effetti di una utilizzazione agronomica e forestale, perché i terreni sono troppo poveri di sostanze nutritive o troppo compatti, oppure presentano un pH estremo o sono inquinati da sostanze tossiche.



Su tali stazioni possono essere piantati dei salici. Essi allignano qui, non solo meglio della maggior parte delle altre latifoglie, che vanno prese in considerazione, ma essi possono servire anche come coltura preparatoria per futuri stadi di successione e di più elevato valore. In particolare il salice caprino ed il salice barbuto hanno dimostrato di essere più resistenti della maggior parte delle altre latifoglie nei confronti dei gas di scarico, contenenti SO<sub>2</sub> e fluoro.

Nel dare pratica esecuzione ai lavori di Ingegneria Naturalistica si possono impiegare convenientemente solo quelle specie che hanno facoltà di propagazione agamica almeno nella misura del 70%.

Le specie di salice che radicano e ricacciano in modo insufficiente sono (Schiechtl, 1992):

- salicone (*Salix caprea*);
- salice di Lagger (*Salix laggeri*);
- salice glauco (*Salix glaucosericea*);
- salice della Slesia (*Salix silesiaca*).

Dalle esperienze dei vari studiosi, sappiamo che la facoltà di propagazione dei salici, dipende dal ritmo vegetativo interno, cioè dalla fase di sviluppo delle piante nel corso dell'anno. Questo ritmo di vegetazione è specifico per la specie ed è rilevante per la data del taglio, non per il momento di messa a dimora. Per piante della stessa specie, tagliate a quote inferiori, il ritmo annuale è in genere più marcato rispetto a quelle situate a quote superiori.

Le curve annuali della propagazione agamica presentano, generalmente, un marcato picco durante il riposo vegetativo e due chiare depressioni fra fioritura e fruttificazione e durante l'alterazione cromatica autunnale delle foglie. Questo ritmo di vegetazione non influisce solo sul risultato della radicazione, ma si riflette anche come effetto incrementale almeno nei primi tre anni di vita. Nell'eseguire opere di Ingegneria Naturalistica si raccomanda, pertanto, di effettuare il taglio nella stagione favorevole ovvero, durante il riposo vegetativo invernale.

Per le opere di Ingegneria Naturalistica è necessario utilizzare rami interi (preferibilmente di fase giovanile, in quanto, in quella età, i polloni di ceppaia radicano meglio di quelli senili) infissi obliquamente nel terreno.

Il successo alla radicazione e all'accrescimento dipendono, quindi da due tipi di fattori:

- *età dei getti* (solo in caso di specie di salici di difficile propagazione);
- *volume della talea*: la talea più lunga e più grossa possiede, a causa di una maggiore riserva di rizocalina immagazzinata nelle cellule del cambio, un'elevata capacità d'accrescimento nei primi tre anni di vita.

La migliore esecuzione del taglio di salici si ottiene con adeguate seghe a motore o a mano, mentre nel caso di arbusti possono essere utilizzate anche cesoie tagliarami. I rami devono essere portati in cantiere ed utilizzati per la costruzione, nella loro lunghezza totale subito dopo il taglio, per evitare che il materiale pos-

**Tab. 8.8** - Resistenza allo strappo delle radici delle piante

Graminacee	5 – 10 MN/m <sup>2</sup>
Altre specie erbacee	3 – 60 MN/m <sup>2</sup>
Salici e pioppi	10 – 70 MN/m <sup>2</sup>

sa essiccarsi. I veicoli adibiti al trasporto non devono essere riscaldati e devono essere chiusi per evitare l'essiccamento causato dal vento. Nel caso non sia possibile impiegare subito la ramaglia viva, occorre eseguire un immagazzinamento adeguato, mantenendo artificialmente il riposo vegetativo ed evitando il disseccamento. Per questo scopo ci sono tre possibilità:

- *immersione nell'acqua fredda*; la temperatura dell'acqua non deve superare i 15 °C; deve essere corrente e ricca di ossigeno;
- *immagazzinamento in celle frigorifere*, in sacchi di PVC con temperatura da 0 °C a 1 °C e 98% di umidità;
- *posa in tagliola nella neve o nella terra*. Il sito deve essere all'ombra e la ramaglia deve essere riparata con fogli in PVC o mediante aspersione di antitrasspiranti.

La provvista del materiale deve essere pianificata a tempo debito, perché per le sistemazioni di Ingegneria Naturalistica sono necessarie grandi quantità di ramaglia viva. Esistono in merito tre possibilità per l'approvvigionamento:

- *popolamenti naturali* (giacimenti vegetali): a questo proposito, considerato che sono necessarie notevoli quantità di materiale vivo, è necessario coordinare altre attività quali la gestione della forestazione e della vegetazione più in generale, sulle aree golenali e marginali. Opportunamente gestite queste forme di vegetazione subspontanea, infatti, possono fornire grandi quantità di materiale vivo senza gravare su popolamenti naturali;
- *vecchie sistemazioni di Ingegneria Naturalistica*;
- *vivai specializzati*.

Come già detto, una caratteristica fondamentale che le diverse specie vegetali – in particolare i salici – devono possedere per essere utilizzati nelle opere di Ingegneria Naturalistica, è la resistenza allo strappo: l'erosione del terreno, l'interrimento, l'inghiainamento, l'abrasione provocata dai movimenti del terreno, i danni causati dalla caduta sassi, devono essere sopportati dai salici (**tab. 8.8**).

I valori riportati nella **tabella 8.8** variano a seconda del contenuto idrico delle radici (quanto più sono asciutte, tanto più sono resistenti alla trazione) e quindi anche secondo la stagione, l'età ed il tipo di umidità del terreno.

Generalmente la maggior parte delle specie di salice sono dotate di un sistema radicale espanso, vale a dire di radici che si estendono orizzontalmente, lunghe e resistenti allo strappo e

che spesso si spingono anche molto in profondità nel terreno.

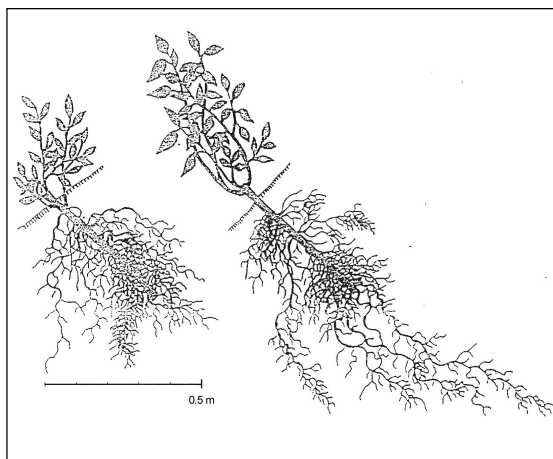
In questo modo viene compenetrata dalle radici e, con ciò stabilizzata, una massa terrosa anche cospicua. Le numerose radici laterali creano nel terreno un'elevata resistenza di attrito interno delle superfici, per cui i salici si annoverano fra i più preziosi leganti del terreno. Questo consolidamento del terreno non avviene solo per mezzo delle radici, ma ad esso concorre anche l'inserimento dei rami vivi se l'intervento avviene in modo tale che i rami risultino immersi nel terreno. La massa radicale per m<sup>3</sup> di terreno deve essere più grande possibile. L'esigenza che il volume radicale debba essere uguale o maggiore del volume delle parti vegetali aeree viene assolta da tutte le specie di salice (fig. 8.21).

Per quanto riguarda la resistenza alla sommersione dei salici, le uniche informazioni si hanno sulla base di osservazioni e, pertanto, si ammette che tutte le specie di salice centro-europee sopportano senza danni una sommersione di più giorni, persino i salici prostrati che durante lo scioglimento della neve sono spesso coperti per giorni interi dall'acqua. La specie più sensibile alla sommersione è il salicone.

Per contro, solo poche specie di salici sopportano una sommersione prolungata e perenne, quale si può verificare come conseguenza della costruzione dei bacini idroelettrici. Sulla base di più osservazioni risulta che il salice bianco (*Salix alba*), il salice fragile (*Salix fragilis*), e il salice odoroso (*Salix pentandra*) sopportano sommersioni prolungate e persino perenni. L'altezza della sommersione non deve superare i 2 m ed essa dipende evidentemente dall'altezza dell'albero al momento dell'inizio della sommersione. Una sommersione graduale viene sopportata più facilmente di un improvviso ristagno per l'intera altezza.

Anche l'inghiainamento provocato dal materiale fluitato o da lave torrentizie, è un evento che si verifica di frequente in molti popolamenti naturali di salice, e la maggior parte dei salici arbustivi e arborei sono in grado di sopportarlo senza sostanziali danneggiamenti. I salici, a differenza di specie vegetali più esigenti, hanno bisogno d'interventi culturali limitati; per loro natura, infatti, essi si insediano senza eccezioni su suoli sterili. L'obiettivo di ogni sistemazione di Ingegneria Naturalistica deve essere anche quello di evitare interventi manutentori impegnativi dopo l'impianto della vegetazione e perciò di porre i presupposti affinché la successione naturale proceda da sola. Per motivi funzionali può essere necessario impedire nella sua ulteriore evoluzione il popolamento di salici creato. I soprassuoli di salice rappresentano nel piano collinare e montano stadi vegetativi di breve durata, che si evolvono spesso in altri tipi di bosco di latifoglie o di conifere. Questo caso si presenta, ad esempio, nei soprassuoli di salici arbustivi formati per il consolidamento spondale. In questi casi i popolamenti di salici devono essere tagliati ad intervalli da 5 a 10 anni, allo scopo di mantenere

Fig. 8.21 - Apparato radicale nelle talee della specie *Salix nigricans* dopo due anni



Fonte: Schiechl, 1975.

la loro vitalità. Nello stesso tempo devono essere allontanate tutte le altre piante legnose che potrebbero aduggiare il popolamento dei salici. Per favorire la crescita occorre evitare eventuali danneggiamenti provocati dalla selvaggina; a tal scopo si possono usare *shelter* di protezione o sostanze repellenti. Solo in casi eccezionali sono necessarie anche misure per favorire la crescita mediante concimazioni o altri metodi di miglioramento del suolo. Un taglio può rendersi necessario quando il popolamento sia stato danneggiato da eventi eccezionali come, ad esempio, dalle piene. I soprassuoli di salici giovani e bassi sono sensibili ad ogni forma di concorrenza, anche a quella delle graminacee e delle erbe non graminoidi, ed essi devono quindi essere aiutati nel loro sviluppo nei primi 2 o 3 anni di vita, eliminando questa concorrenza.

Le singole specie di salice hanno una distribuzione geografica molto diversa. Alcune delle specie a distribuzione molto estesa (euriecie) sono: *Salix alba*, *Salix aurita*, *Salix caprea*, *Salix cinerea*, *Salix daphnoides*, *Salix fragilis*, *Salix purpurea*, *Salix repens* e *Salix viminalis*. Alcune di queste specie sono attualmente più diffuse che in origine, perchè sono state impiegate di frequente anche al di fuori del loro effettivo areale come, ad esempio, il *Salix caprea*, *viminalis*, ecc. Alcune delle specie di salice con areale strettamente delimitato (stenoecie) sono: *Salix herbacea*, *Salix hastata* e *Salix reticulata*, che sono tipiche delle zone di alta montagna. Ogni specie di salice occupa distinti piani altitudinali entro la sua area di distribuzione geografica, pertanto, a titolo d'esempio, si riportano nella figura 8.22, i limiti altitudinali superiori ed inferiori che rappresentano veri e propri limiti d'esistenza, oltre i quali le specie di salice considerata, non può allignare e nelle due figure successive (figg. 8.23-8.24), la distribuzione delle specie di salice che possono essere ritenute idonee all'impiego in un determinato ambito altitudinale.

Per quanto attiene la distribuzione e le specie di salicacee presenti nel territorio provinciale di Terni si faccia riferimento al paragrafo 9.3.

Il numero delle possibili specie utilizzabili non è molto grande e, comunque, già all'interno degli stessi salici vi sono esigenze molto diverse. Per la scelta delle specie, una volta individuate quelle più idonee dal punto di vista biogeografico ed ecologico, i seguenti parametri possono già essere indicativi per un utilizzo efficiente:

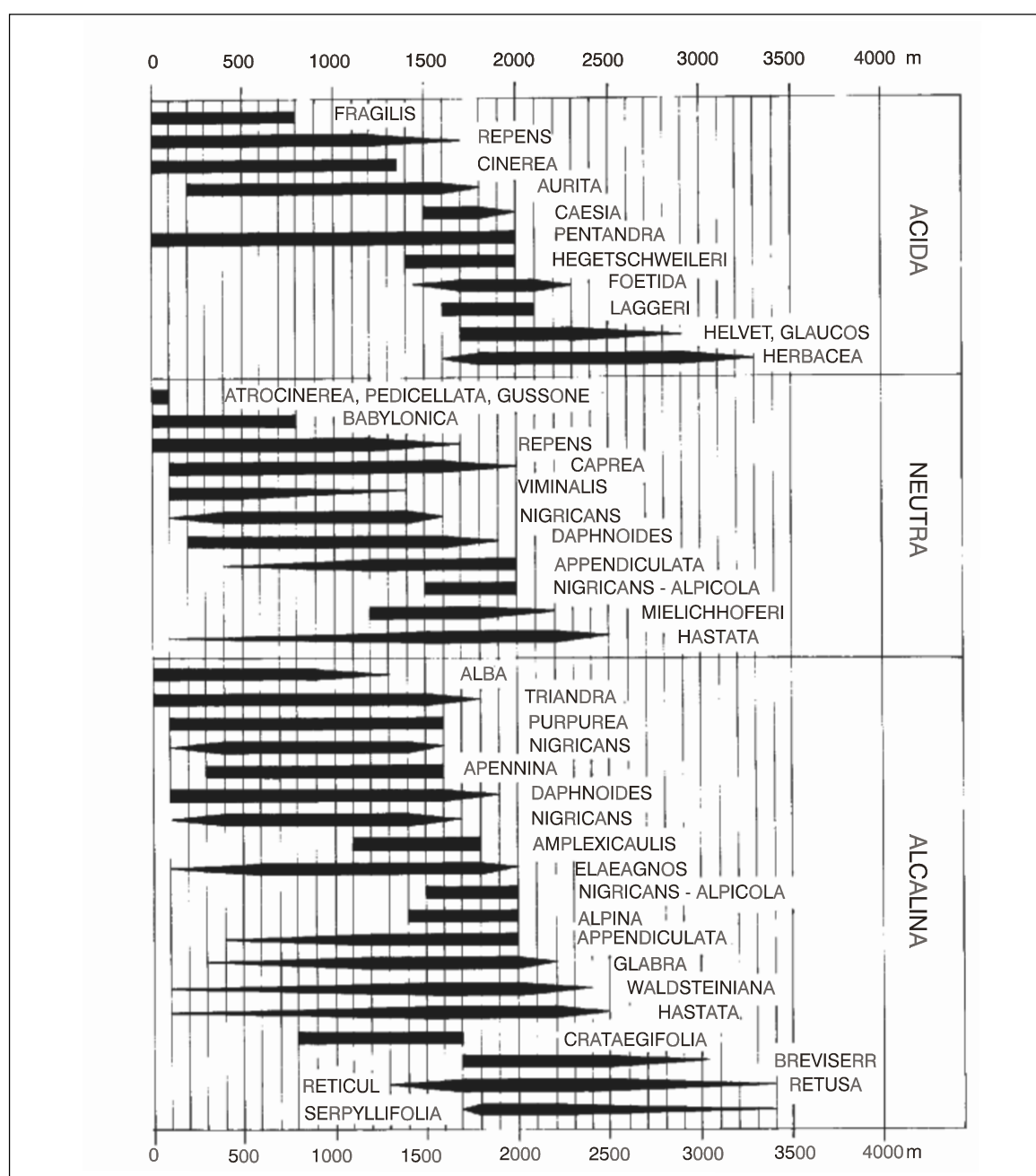
- capacità d'attecchimento, limiti di impiego, altezza delle piante (tab. 8.9);
- esigenza di umidità nel terreno (fig. 8.25);
- acidità del terreno (fig. 8.26);
- sciafilia (fig. 8.27).

### 8.3.2 Limiti per l'esecuzione di lavori con i salici

L'epoca, come detto, più favorevole per procurarsi i rami e le talee con capacità di propagazione agamica è quella dello stadio di riposo vegetativo, cioè l'intervallo fra la caduta delle foglie e la cacciata (in genere, da ottobre ad aprile). Gli arbusti, come pure i giovani alberi, vengono tagliati direttamente sopra il terreno, gli alberi più vecchi, come salici a capitozza. Il taglio viene effettuato meglio con la sega o la forbice; deve puntare ad ottenere una superficie di taglio liscia e relativamente piccola.

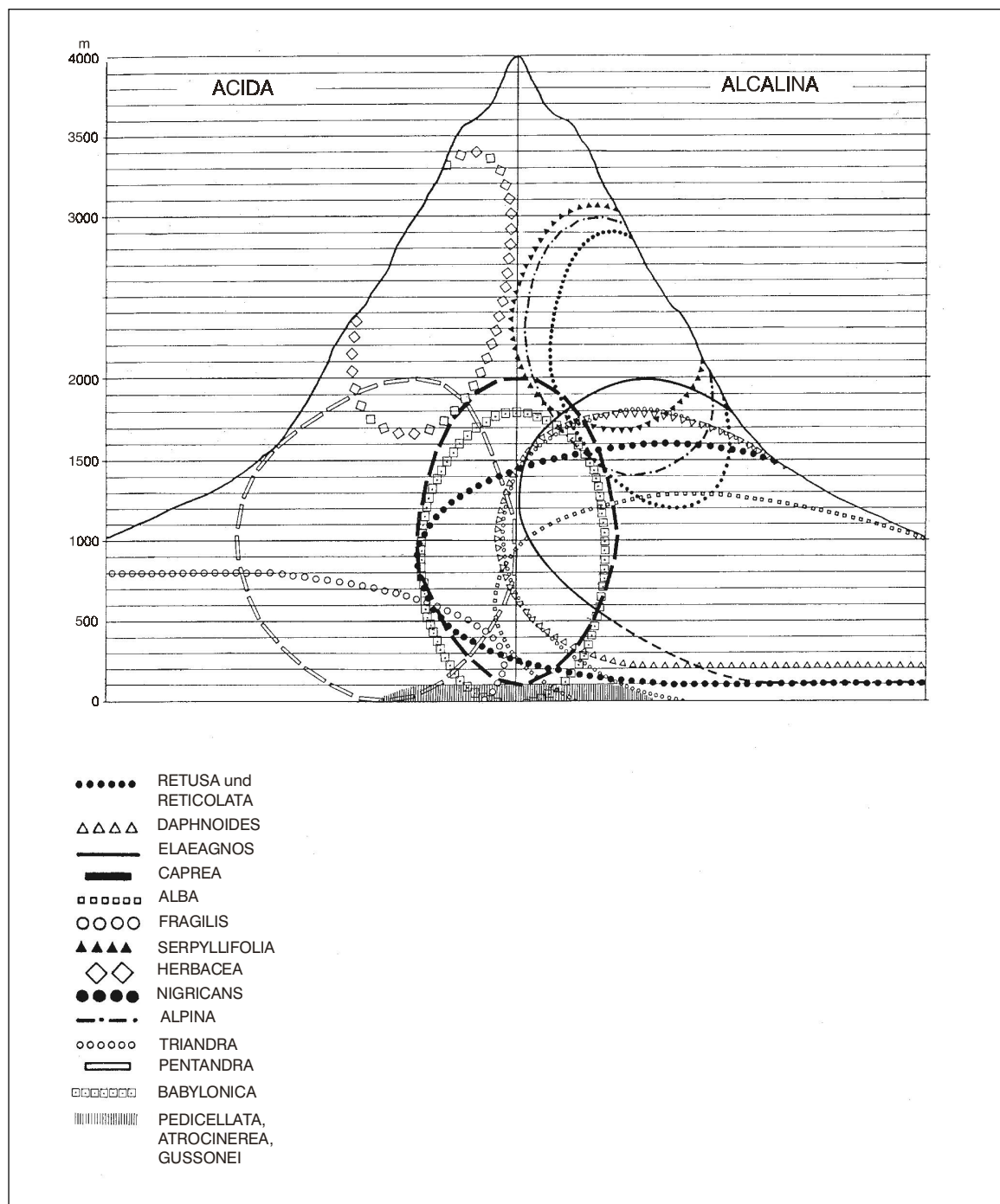
I rami vengono trasportati al cantiere nella loro lunghezza totale, al fine di proteggerli meglio

**Fig. 8.22** - Distribuzione altitudinale delle specie di salice e loro diffusione secondo la reazione del terreno



Fonte: Schiechl, 1992.

Fig. 8.23 - Distribuzione altitudinale dei salici arborei e dei salici prostrati e reazione del terreno



Fonte: Schiechl, 1992.

dall'essiccamento, e solo là, se trovano immediato impiego, vengono sezionati nella giusta misura.

Per principio occorre procedere all'immediata messa a dimora delle parti vegetali, ponendo particolare attenzione affinché i rami e le talee vengano collocati nel terreno per evitarne il disseccamento e nella giusta direzione rispettando il geotropismo della pianta.

Se l'immediata messa a dimora non è possibile, il materiale tagliato durante il riposo vegetativo può essere mantenuto in stato di riposo per lunghi periodi, a condizione che esso

venga protetto dal disseccamento e dal riscaldamento.

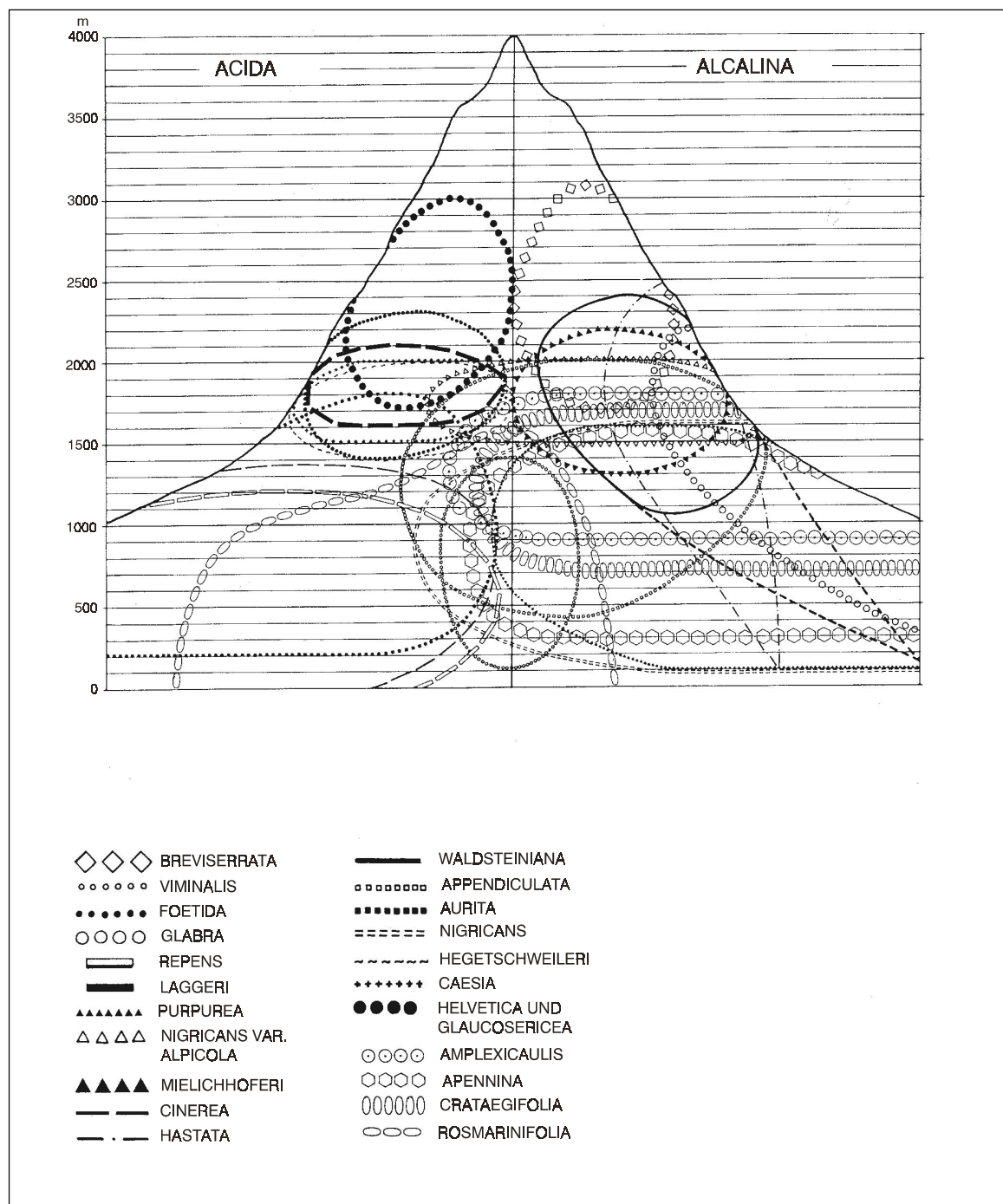
Ciò avviene collocandolo nella neve, immergendolo in acqua corrente ad una temperatura massima di 15 °C, oppure immagazzinandolo in celle frigorifere (0 °C - 1 °C e 98% di umidità) in sacchetti di PVC o in pellicole.

Anche gli antitranspiranti possono impedire il disseccamento.

Nello stadio di ripresa vegetativa i materiali con capacità di propagazione non possono essere immagazzinati.

Nel campo delle sistemazioni idrauliche è pos-

Fig. 8.24 - Distribuzione altitudinale dei salici arborei e dei salici prostrati e reazione del terreno



Fonte: Schiechl, 1992.

sibile ottenere e sistemare le piante legnose, atte a ricacciare ed a riprodursi per via agamica anche durante il periodo vegetativo.

Il presupposto per una corrispondente percentuale d'attecchimento è dato da una rapida messa a dimora, immediatamente dopo il taglio, di preferenza su stazioni ben inumidite fino a quelle costantemente bagnate.

Da un punto di vista fisiologico (Paiero, Semenzato, Urso, 1996) i fattori che influenzano la capacità rizogena delle specie legnose sono molteplici.

Un ruolo fondamentale è esercitato dagli ormo-

ni vegetali e regolatori della crescita. Queste sostanze, che agiscono sui tessuti in accrescimento a concentrazioni fisiologicamente molto basse, sono responsabili della regolazione di numerosi fenomeni, dalla moltiplicazione cellulare, alla distensione, alla differenziazione dei tessuti ai processi di fioritura e senescenza. Tra gli ormoni, i più attivi ad influenzare la differenziazione delle radici avventizie sono le auxine.

Il ruolo stimolatore dell'acido indolacetico (IAA), sintetizzato nei meristemi in accrescimento, sulla formazione delle radici avventizie

Tab. 8.9 - Capacità d'attecchimento, limiti d'impiego e altezza delle piante

Tipologia	Specie	Percentuale di attecchimento (%)	Limite altitudinale (m s.l.m.)	Sviluppo in altezza (m)
Salici	<i>Salix purpurea</i>	100	- 1.600	2 ÷ 6
	<i>Salix daphnoides</i>	90	- 1.800 <sup>(*)</sup>	6 ÷ 10
	<i>Salix viminalis</i>	90	- 600	Fino a 4
	<i>Salix cinerea</i>	75	- 1.300	2 ÷ 6
	<i>Salix nigricans</i>	75	- 1.700	2 ÷ 5
	<i>Salix alba</i>	75	- 1.000	Fino a 24
	<i>Salix elaeagnos</i>	70	- 1.100	Fino a 10
	<i>Salix pentandra</i>	70	- 1.800 <sup>(*)</sup>	Fino a 13
Non salici	<i>Populus nigra</i>	65	- 900	20 ÷ 25
	<i>Ligustrum vulgare</i>	65	- 1.200	Fino a 2
Non adatti all'utilizzo come talee	<i>Alnus incana</i>	25	- 1.200	Fino a 20
	<i>Berberis vulgaris</i>	10	- 1.000	Fino a 2
	<i>Alnus viridis</i>	10	- 1.800 <sup>(*)</sup>	Fino a 3
	<i>Salix caprea</i>	5	- 1.300	Fino a 5

(\*) L'altezza di 1.800 m s.l.m. corrisponde al limite della vegetazione.

Fig. 8.25 - Esigenza di umidità nel terreno

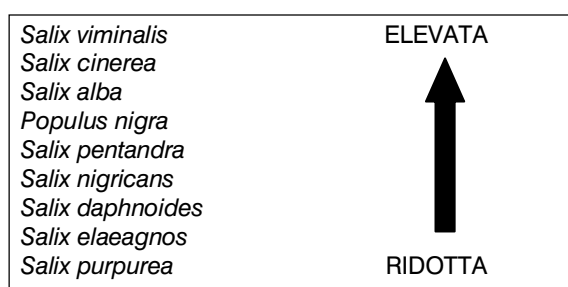


Fig. 8.26 - Acidità del terreno

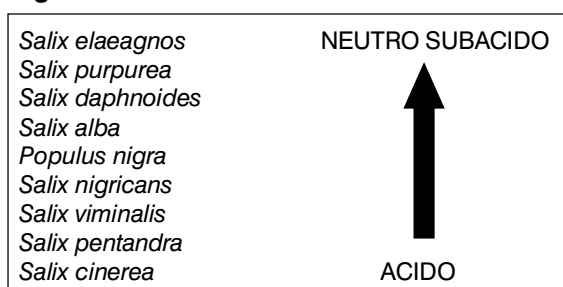
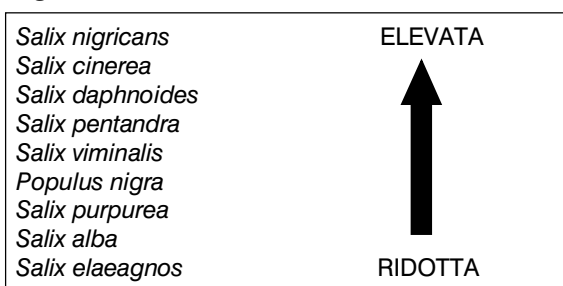


Fig. 8.27 - Sciafilia



è noto da tempo (Thimann e Koepfli, 1935; Went, 1935; Hackett, 1970; Haissig, 1972); auxine di origine sintetica quali l'acido indolbutirrico (IBA) e l'acido naftalenacetico (NAA), hanno un effetto ancora più pronunciato se applicate, a concentrazioni variabili a seconda delle specie, alle talee da radicare (Thimann, 1935).

L'impiego degli ormoni rizogeni nelle tecniche di Ingegneria Naturalistica è legato alla necessità di prolungare il periodo di possibile intervento.

Alcune sperimentazioni condotte sull'ontano nero hanno dimostrato come piccole quantità di ormoni, disciolte nell'acqua ed irrorate sulle talee con mezzi manuali (irroratrice a spalla), permettono di aumentare la percentuale di attecchimento e di portarla fino al 97%-98% dando, quindi, la possibilità di impiegare specie che notoriamente hanno una percentuale di attecchimento bassa e, di poter impiegare tali piante anche in periodi biologici e/o climatici sfavorevoli (Palmeri, 2002).

Tutte le specie legnose con attitudine alla moltiplicazione vegetativa possono essere messe a dimora anche come piante radicate, allevate da seme.

Giovani piante radicate di specie legnose non atte alla moltiplicazione vegetativa vengono impiegate solo nelle gradonate (con latifoglie radicate) o come elemento complementare nelle gradonate (con l'utilizzo di latifoglie radicate e ramaglia viva).

Per questo scopo si prestano preminentemente le specie pioniere dei terreni grezzi che resistono all'inghiainamento e, possono formare radici avventizie resistenti alla trazione. Le conifere non sono adatte allo scopo.

Per gli interventi di Ingegneria Naturalistica

Tab. 8.10 - Limiti temporali per la messa a dimora di materiale vegetale vivo\*

	Mesi											
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Piantagione a radice nuda												
Piantagione in contenitore												
Messa a dimora zolle o rotoli di cotico erboso												
Semine di specie erbacee e/o legnose senza pacciamatura												
Semine di specie erbacee e/o legnose con pacciamatura												
Piantagione di rizomi o zolle di canneto												
Piantagione di culmi di canneto												
Piantagione di talee												

\* In nero il periodo idoneo, in grigio il periodo idoneo soltanto in alcune aree, in bianco il periodo generalmente non idoneo.

Fonte: *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 1. Processi territoriali e criteri metodologici*, Regione Toscana, 2001, modificato.

tendenti al consolidamento, non sempre è possibile impiegare tutte le specie legnose autoctone dell'area floristica corrispondente, a differenza di quanto avviene nel giardinaggio e nella modellazione del paesaggio.

Le specie che nel senso stretto del termine non si prestano, per caratteristiche meccaniche o vegetative, ai metodi di Ingegneria Naturalistica, possono però essere introdotte, in aggiunta, in un momento successivo, quando sono stati raggiunti gli scopi del consolidamento.

È stato più volte affermato che la messa a dimora delle piante dà solitamente i migliori risultati se effettuata durante il periodo di riposo vegetativo. Tale periodo è ovviamente variabile con le condizioni climatiche locali e in alcuni casi anche con la fisiografia.

A titolo d'esempio si riporta quanto classificato per il territorio ternano in cui le condizioni mesoclimatiche sono molto variabili (si veda la

carta fitoclimatica per la provincia di Terni contenuta nella cartografia allegata al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della Provincia di Terni.

La durata del periodo di riposo vegetativo non è quindi identica né per le diverse regioni, né all'interno della stesse, né per tutta la provincia di Terni (Centro Italia), ma può comunque nella maggior parte dei casi considerarsi compresa tra ottobre-novembre e marzo-aprile.

Non tutte le tecniche d'impianto di materiali vivi hanno i medesimi limiti temporali d'impiego; molto dipende, oltre che dalle specie utilizzate, dalle caratteristiche stazionali (altitudine, esposizione, ecc.).

Alcuni accorgimenti, inoltre, possono prolungare il periodo utile come, ad esempio, l'uso di postime in contenitore invece che a radice nuda, oppure la messa in conservazione del materiale proveniente da propagazione

**Tab. 8.11** - Periodo adatto alla raccolta di talee caulinari da specie di *Salix*\*

Inizio fioritura	Sfioritura	Formazione gemme	Ingiallimento foglie	Abscissione foglie

\* In nero il periodo idoneo, in grigio il periodo parzialmente idoneo, in grigio scuro il periodo possibile in stazioni umide.  
Fonte: *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 1. Processi territoriali e criteri metodologici*, Regione Toscana, 2001.

vegetativa (in particolare la raccolta autunnale e la conservazione durante l'inverno prolunghe-  
rebbero il periodo utile all'impianto in prima-  
vera).

Nella **tabella 8.10** vengono fornite alcune indi-  
cazioni circa il periodo migliore di messa a di-  
mora per le diverse tipologie di materiale ve-  
getale per la Provincia di Terni.

I periodi più adatti alla raccolta di materiale  
dotato di capacità di propagazione vegetativa,  
per specie del genere *Salix*, è riportato nella  
**tabella 8.11**.

Per quanto riguarda altre specie arboree o  
arbustive propagabili per talea legnosa  
caulinare, quali *Laburnum sp.pl.*, *Populus  
sp.pl.*, *Tamarix sp.pl.*, *Ligustrum vulgare*, i pe-  
riodi migliori per la raccolta del materiale dalle  
piante madri sono quelli immediatamente pre-  
cedenti alla germogliazione e quelli immedia-  
tamente successivi all'abscissione fogliare, con  
preferenza per questi ultimi; la raccolta è co-  
munque possibile anche durante il periodo di  
riposo vegetativo.

Per quanto riguarda i suffrutici mediterranei  
come, ad esempio, *Lavandula sp.pl.*, *Helichry-  
sum italicum*, *Santolina sp.pl.*, *Salvia  
officinalis*, *Rosmarinus officinalis*, occorre pre-  
levare le talee dalla base dei getti dell'anno a  
fine estate.

*biotecniche delle piante utilizzabili in Ingegneria  
Naturalistica*, Bolzano, 22-23 giugno.

Farina A., 1993  
*L'ecologia dei sistemi ambientali*, CLUEP Editrice, Pa-  
dova.

Florineth F., 1993  
*Consolidamento dei versanti franosi con tecniche d'In-  
gegneria Naturalistica*, in "Verde Ambiente", n. 6.

Gams H., 1939  
*Die Wahl zur künstlichen Berasung und Bebuschung  
von Bachbetten, Schutthängen und Straßenbö-  
schungegen geeigneter Pflanzen des Alpen-gebietes*.

Gams H., 1940  
*Die natürliche Begrünung von Fels und Schutthängen  
in den Hochalpen*, "Forschungsarbeiten aus dem  
Straßenwesen", Berlino.

Gams H., 1941.  
*Die ökologischen und biozönotischen Vorausset-  
zungen der Lebendverbauung*, "Forschungsdienst.  
Organ der deutschen Landwirtschaft".

Greenway D.R., 1987  
*Vegetation and slope stability*, in *Slope stability* a cura  
di M.G. Anderson e K.S. Richards, J. Wiley and Sons,  
New York.

Hackett W.P., 1970  
*The influence of auxine, catechol and methanolic  
tissue extract on root initiation in aseptically cultured  
shoot apices of the juvenile and adult form of Hedera  
helix L. Jour.* in "Amer. Soc. Hort.", 95.

Haissig B.E., 1972  
*Meristematic activity during adventitious root  
primordium development. Influence of endogenous  
auxin and applied gibberellic acid*, in "Plant Physio-  
logy", 49.

Kutschera L., 1960  
*Wurzeletlas - mitteleuropäischer Ackerunkräuter und  
Kulturpflanzen*, DLG - VERLAGS - GMBH, Francoforte.

Kutschera L., Sobotik M., 1997  
*Bewurzelung von Pflanzen in den verschiedenen  
Lebensräumen*, in "Stapfia", 49.

Lachat B., 1991  
*Le cours d'eau. Conservation, entretien et amenge-  
ment*, Consiglio d'Europa, Strasburgo.

## Bibliografia



AA.VV., 1993  
*Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica*, Regione  
Emilia Romagna - Assessorato all'Ambiente, Regione  
Veneto - Assessorato Agricoltura e Foreste, Bologna.

AA.VV., 2000  
*Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica.  
Vol. 1. Processi territoriali e criteri metodologici*, Re-  
gione Toscana - Giunta Regionale, Dipartimento Poli-  
tiche Territoriali e Ambientali, Firenze.

Associazione Italiana Per l'Ingegneria Naturalistica  
(AIPIN) - sezione Bolzano, Alto Adige, 1995a  
*Reperimento del materiale vegetale*, tratto da H.M.  
Schiechtl e C. Pagnoncini della scuola forestale  
intercantonale di Maienfeld (CH).

Associazione Italiana Per l'Ingegneria Naturalistica  
(AIPIN) - sezione Bolzano, Alto Adige, 1995b  
*Corso di specializzazione sulle caratteristiche*



Paiero P., Semenzato P., Urso T., 1996

*Biologia vegetale applicata alla tutela del territorio*, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Università di Padova - Dipartimento Territorio e Sistemi agroforestali, Edizioni Progetto, Padova.

Sauli G., Cornelini P., Preti F., 2002

Manuale di Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico, Regione Lazio - Punto Stampa S.r.l., Roma.

Schiechtl H.M., 1973

*Bioingegneria forestale. Basi, materiali da costruzioni vivi, metodi*, Edizioni Castaldi, Feltre.

Schiechtl H.M., 1992

*I salici nell'uso pratico*, Edizioni Arca, Gardolo (TN).

Schiechtl H.M., Stern R., 1994

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

Piroli 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.

Thimann K.V., Koepfli J.B., 1935.

*Identity of the growth promoting and root forming substances of plants*, in "Nature", 135.

Went F.V., 1935

*Hormones involved in root formation*, in "Proceedings of 6<sup>th</sup> International Botanical Congress", 2.

---