

### 3 GLI STRUMENTI IMPIEGATI IN INGEGNERIA NATURALISTICA

#### 3.1 RINFORZO RADICALE – COME SI MISURA E MODELLI DI STIMA

##### 3.1.1 Impiego di vegetazione autoctona negli interventi di Ingegneria Naturalistica e caratteristiche degli apparati radicali (F. Gentile, G. F. Ricci)

Nelle opere di Ingegneria Naturalistica le piante assumono il ruolo di materiale da costruzione vivo e con il loro progressivo sviluppo, singolarmente o in unione con materiale da costruzione inerte, permettono un consolidamento duraturo delle opere. Scegliere le giuste specie vegetali diventa fondamentale per la corretta progettazione. L'uso di piante non idonee può comportare l'insuccesso dell'intervento a causa della fallanza delle piante utilizzate, rivelatesi non adatte alle condizioni climatiche e/o pedologiche del sito nel quale si interviene.

Comunemente nelle opere di Ingegneria Naturalistica si privilegia l'uso di piante autoctone, per motivi di carattere tecnico ed ecologico. Spesso le piante locali presentano specifici adattamenti alle condizioni fitoclimatiche e geopedologiche del sito d'intervento, cosa che offre maggiori garanzie di sopravvivenza delle piante nelle fasi di attecchimento e successivo sviluppo. La scelta di piante autoctone consente, inoltre, di non stravolgere ma preservare (o ricostituire) la composizione floristica specifica dell'area d'intervento, scongiurando possibili contaminazioni genetiche ed ecologiche, che possono verificarsi con l'utilizzo di specie alloctone invasive (Lazzaro *et al.*, 2018). Per individuare e selezionare le specie autoctone si deve fare riferimento alle serie dinamiche della vegetazione potenziale naturale degli ecosistemi interessati dai lavori di Ingegneria Naturalistica. Lo studio della vegetazione reale permette di conoscere le specie vegetali che popolano il sito d'intervento e i rapporti fitosociologici che sussistono tra di esse. Se capita di operare in aree prive di associazioni vegetali naturali, lo studio della vegetazione "potenziale" permette di individuare le serie dinamiche più attinenti alle condizioni di campo, mediante lo studio di ecosistemi naturali in aree limitrofe, dove ancora persiste una copertura vegetale naturale.

Il numero di specie che emerge dagli studi di vegetazione può risultare spesso molto alto. La complessità e molteplicità delle situazioni con le quali occorre confrontarsi rende necessario dettagliare ulteriormente i criteri utilizzati per la scelta delle piante nelle opere di Ingegneria Naturalistica. Tra le specie vegetali autoctone si possono distinguere, infatti, gruppi di piante con caratteristiche biotecniche più utili alla realizzazione degli interventi e al loro funzionamento.

I parametri biotecnici delle piante riassumono una serie di caratteristiche biologiche e tecniche, che occorre conoscere per poter progettare al meglio un intervento di Ingegneria Naturalistica. Tali parametri aiutano a comprendere come la pianta si accresce, si riproduce e in che modo essa contribuisce a limitare i fenomeni di erosione e dissesto.

## I.N. 2.0 Innovazioni in Ingegneria Naturalistica

Le proprietà biologiche sono descrittive delle capacità riproduttive delle piante (riproduzione gamica o vegetativa), del loro adattamento all'ambiente e di ulteriori peculiari caratteristiche (emissione di radici avventizie, resistenza alla sommersione, azotofissazione) utili per progettare specifici interventi. Le proprietà tecniche sono descrittive della capacità delle piante di proteggere e consolidare il suolo e di regolare il bilancio idrologico e lo scorrimento idrico superficiale, grazie agli apparati epigeo ed ipogeo.

Mentre l'apparato epigeo (o aereo) della pianta svolge un ruolo chiave nell'intercettare le precipitazioni, riducendone la forza erosiva, l'apparato ipogeo (o radicale) svolge un ruolo chiave nel consolidare il terreno, specie lungo versanti e sponde dei corsi d'acqua. Nello specifico l'apparato radicale svolge numerose funzioni utili agli obiettivi dell'Ingegneria Naturalistica, tra cui l'ancoraggio degli strati superficiali di terreno agli strati più profondi e l'imbrigliamento del terreno nel fitto intreccio delle radici più piccole, con riduzione dell'erosione e del trasporto solido a valle. Studiando le caratteristiche degli apparati radicali si riesce a comprendere come questi contribuiscano a ridurre i fenomeni di dissesto e in funzione di quali fattori, permettendoci così di selezionare le specie vegetali più adatte a soddisfare gli obiettivi che gli interventi di Ingegneria Naturalistica si prefiggono.

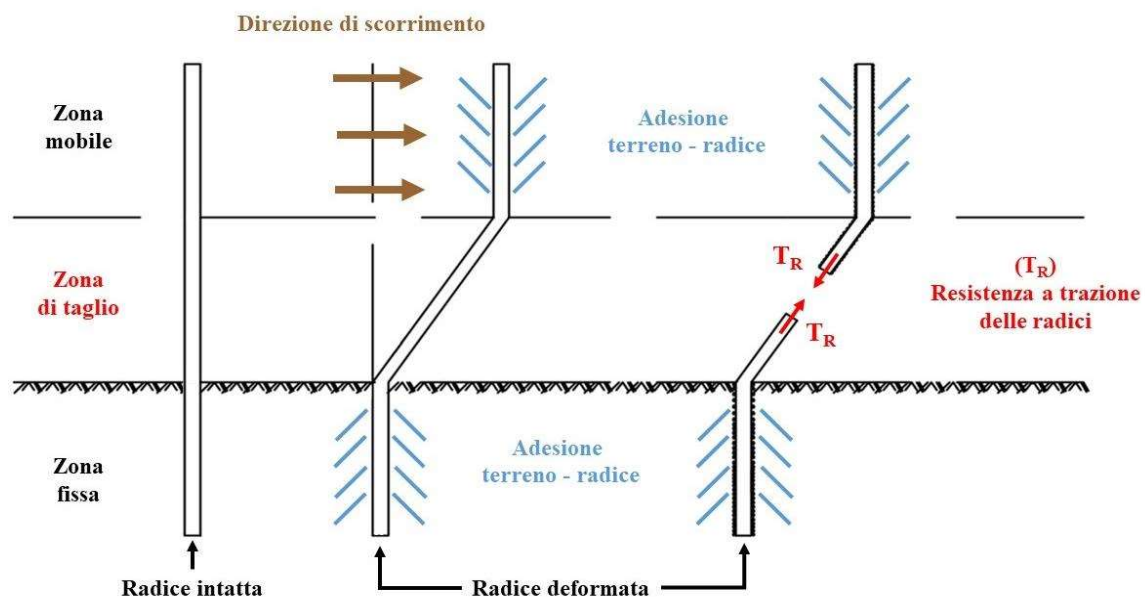


Figura 3.1 Schematizzazione di rinforzo radicale (figura modificata da Gentile et al., 1998)

Il modello descritto da Wu et al. (1979) dimostra come l'interazione meccanica tra radice e terreno contribuisca ad aumentarne la coesione. Il modello fa riferimento a singoli elementi radicali che attraversano una superficie di scorrimento tra due strati di terreno (Figura 3.1). Le radici (considerate perfettamente aderenti al terreno) si oppongono, deformandosi, allo scorrimento dello strato

superficiale su quello profondo. Alla deformazione delle radici corrisponde un aumento delle tensioni interne di trazione ( $T_R$ ), le quali si sviluppano solo nel caso in cui ci sia sufficiente attrito nell'interfaccia tra terreno e superficie della radice e la pressione geostatica sia tale da impedire i fenomeni di sfilamento e strappo.

Quindi, il modello di *Wu et al.* definisce la coesione radicale (1) come l'incremento di resistenza al taglio del terreno dovuto alla resistenza a trazione delle radici e alle forze di attrito e adesione di queste con il terreno:

$$C_R = 1,2 T_R \left( \frac{A_R}{A} \right) \quad (1)$$

dove:

- $T_R$  = resistenza a trazione media delle radici;
- $A_R/A$  = frazione trasversale di terreno occupata dalle radici, definita densità radicale.
- 1,2 o 0,5 ...

L'unica condizione che deve essere rispettata, affinché il modello di *Wu et al.* abbia compimento, è che la radice intercetti la zona di taglio attraversandola. La coesione radicale definita in tale modello fa riferimento al caso in cui tutte le radici che compongono un apparato radicale si rompano contemporaneamente, comportandosi come un corpo unico. Questo porta ad una sovrastima del valore di  $C_R$ , di entità variabile in base alla specie vegetale, come descritto dal *Fiber Bundle Model* (*Pollen & Simon, 2005*).

La resistenza alla trazione media delle radici ( $T_R$ ) rappresenta, quindi, una delle proprietà tecniche che bisogna valutare per individuare le specie vegetali che garantiscono maggiore coesione radicale, utili negli interventi di Ingegneria Naturalistica. Generalmente i valori di resistenza alla trazione delle radici variano tra 10 e 40 MPa, raggiungendo anche 70 MPa (*De Baets et al., 2008*). Numerosi fattori influiscono sulle caratteristiche degli apparati radicali, quali la specie e l'ambiente di crescita, l'età della pianta, le caratteristiche locali del terreno (nutrienti, struttura e tessitura), la profondità della roccia madre e della falda, la presenza di ciottoli di notevole dimensione, la presenza di elementi tossici, le associazioni con altre piante, la presenza di eventuali ostacoli. Questi fattori incidono sul livello generale di sviluppo e conformazione delle singole radici, (quindi di tutto l'apparato radicale) influenzando, ad esempio, il contenuto di lignina e cellulosa (*Genet et al., 2005*) o l'orientamento e dislocazione delle radici nel terreno, con effetti sul valore medio di  $T_R$ .

Numerosi studi hanno inoltre evidenziato come i valori di resistenza a trazione radicale decrescano con l'incremento del diametro delle radici. Le radici più sottili contribuiscono maggiormente a rinforzare il terreno rispetto alle radici più grosse, grazie alla maggiore superficie specifica a parità

## I.N. 2.0 Innovazioni in Ingegneria Naturalistica

di area radicata rispetto alle radici di maggior diametro. La relazione tra resistenza a trazione ( $T_R$ ) e diametro ( $D$ ) delle radici viene usualmente espressa attraverso una legge di potenza (2):

$$T_R = aD^b \quad (2)$$

dove  $a$  e  $b$  sono coefficienti di regressione.

Solo le specie vegetali con apparati radicali sviluppati in profondità possono esercitare un ruolo importante nel consolidare gli strati di suolo più profondi, dove si ha maggiore probabilità di intercettare eventuali superfici di taglio. Per questo, in Ingegneria Naturalistica la selezione delle specie vegetali deve considerare anche la profondità che un apparato radicale può potenzialmente raggiungere.

Tra le specie tipiche delle aree Mediterranee, i valori di profondità radicale tendono ad essere contenuti ai primi orizzonti di suolo. La Tabella 3.1 riporta i valori di profondità radicale di alcune specie abitualmente utilizzate negli interventi di Ingegneria Naturalistica nella regione Mediterranea.

Tabella 3.1 Valori indicativi della profondità dell'apparato radicale di alcune specie impiegabili negli interventi di Ingegneria Naturalistica in ambiente Mediterraneo (Norris et al., 2008).

SPECIE	TIPOLOGIA	PROFONDITA' RADICALE (m)
<i>Lolium multiflorum</i> Lam. <i>ssp. italicum</i>	Erbacea	0.8
<i>Lolium perenne</i> (L.)	Erbacea	1.2
<i>Agropyron repens</i> (L.) Beauv.	Erbacea	0.8
<i>Poa pratensis</i>	Erbacea	0.65
<i>Medicago sativa</i> (L.)	Erbacea	2.5-5
<i>Festuca rubra</i> (L.) <i>ssp. commutata</i> Gaudin	Erbacea	0.5
<i>Genista tinctoria</i> (L.)	Arbustiva	1
<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link	Arbustiva	2
<i>Salix triandria</i> (L.)	Arborea	2-4

Dal punto di vista morfologico generalmente gli apparati radicali possono essere di tipo *fittonante* o *fascicolato* (Figura 3.2). Nel primo caso la radice principale, situata centralmente, si sviluppa sia in lunghezza (fino a raggiungere talvolta notevoli profondità) che in spessore molto di più di quelle laterali, le quali tendono prima ad accrescersi orizzontalmente per poi incurvarsi verso il basso. Nel sistema radicale fascicolato le radici laterali possono uguagliare, nell'accrescimento, la radice principale ed esplorare più uniformemente il terreno, assumendo valori di resistenza alla rottura più o meno uniformi lungo tutta la singola radice.

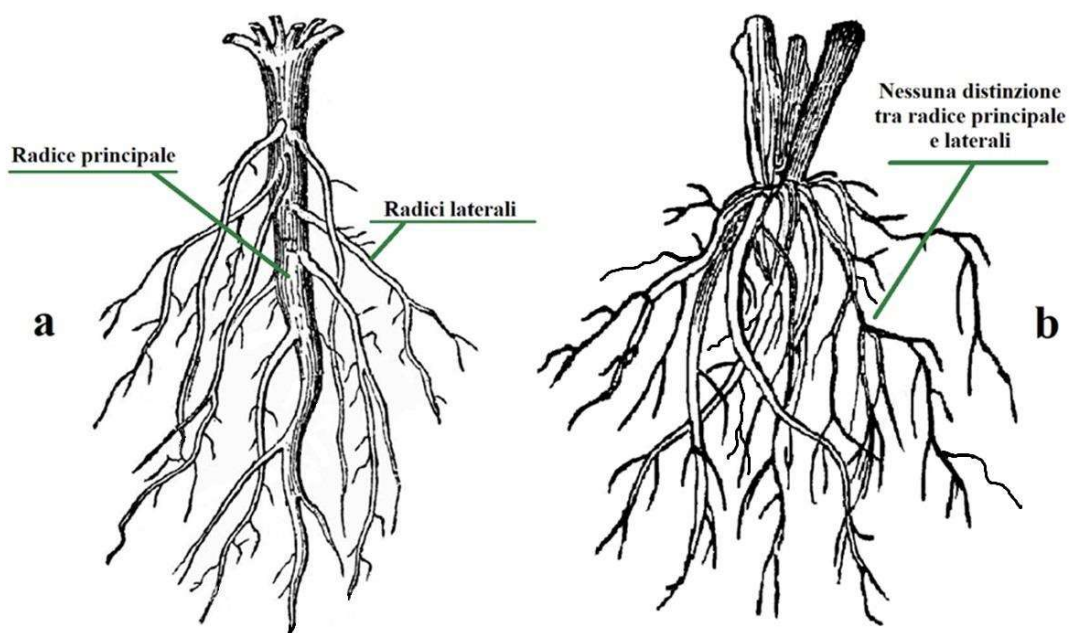


Figura 3.2 Rappresentazione di un apparato radicale a fittone (a) e fascicolato (b) (disegno Parete).

Il contributo meccanico di un apparato radicale fascicolato risulta complessivamente maggiore di quello esercitato da un sistema radicale a fittone. Ciò è dovuto alla presenza di numerose radici affastellate, più o meno sottili, che determina una maggiore coesione del terreno grazie agli alti valori di densità radicale ( $A_R/A$ ) e al più piccolo diametro delle radici che determina maggiore resistenza alla trazione ( $T_R$ ). Dato, però, che apparati radicali fascicolati sono tipicamente associati a monocotiledoni erbacee, spesso questi risultano poco profondi. Piante con apparati radicali a fittone possono presentare (nel caso di alcune specie arbustive ed arboree) fittoni accresciuti a notevole profondità, i quali permettono un robusto ancoraggio della pianta al terreno che favorisce la coesione degli strati più profondi. Pertanto, vantaggiosa può considerarsi la consociazione di piante autoctone con alternanza di specie a radice fittonante e a radici fascicolate.

Un esempio di applicazione di specie autoctone in ambiente Mediterraneo riguarda la sistemazione di aree particolarmente fragili, quali le aree calanchive in Basilicata (Gentile *et al.*, 1996). I calanchi sono solchi profondi, stretti e ripidi, separati da creste sottili a lama di coltello, prodotti da complessi processi erosivi tra i quali particolarmente importanti quelli di tipo gully, innescati dalle acque di ruscellamento nei terreni argillosi ad elevata pendenza.

Gli interventi di sistemazione idraulico-forestale delle aree calanchive, realizzati a partire dagli anni Cinquanta del secolo scorso, furono realizzati con tecniche che oggi potremmo definire di Ingegneria Naturalistica, seppur *ante litteram*, e hanno risposto all'esigenza di ridurre la produzione di sedimento, causa di colate di fango o dell'interrimento di invasi artificiali a valle (Puglisi, 1963). In tali aree si osservò che sui calanchi era sempre presente della vegetazione spontanea la quale, però,

## *I.N. 2.0 Innovazioni in Ingegneria Naturalistica*

veniva regolarmente danneggiata dalle colate di fango che si formavano nelle aree contigue. Pertanto, si proposero interventi, basati sull'impiego di piante autoctone, aventi lo scopo di disinnescare o intercettare la formazione delle colate di fango, mettendo al riparo la vegetazione che così poteva svilupparsi spontaneamente.

In una prima fase (Figura 3.3) si realizzavano solchi a spina di pesce diretti dai compluvi verso le creste; successivamente si invertiva l'andamento della spina dai displuvi (creste) verso le "vallecole", dove nel frattempo la vegetazione si era affermata (*Puglisi & Trisorio-Liuzzi, 1992*).

*Mattia et al. (2005)*, hanno condotto uno studio con riferimento agli apparati radicali di *Lygeum spartum* (L.), specie erbacea, *Atriplex halimus* (L.) e *Pistacia lentiscus* (L.), specie arbustive, ampiamente impiegate negli interventi di sistemazione idraulico-forestale delle aree calanchive (Figura 3.4). Le analisi, effettuate su piante raccolte tramite escavazione in situ, hanno consentito di confermare la relazione (2), come si può osservare in Figura 3.5.

I valori di coesione radicale più elevati sono stati stimati nei primi strati di terreno, dove più alta è risultata la densità degli apparati radicali ( $A_R/A$ ) per tutte e tre le specie oggetto di studio, per poi diminuire abbastanza rapidamente con la profondità nel terreno a causa della presenza di un minor numero di radici. Nel caso dell'apparato radicale fibroso di *Lygeum spartum* (L.), i valori stimati di rinforzo radicale variano da 60 kPa negli strati superiori del terreno fino ad annullarsi alla profondità di 60 cm. Anche per *Pistacia lentiscus* (L.) e *Atriplex halimus* (L.), i valori stimati di rinforzo radicale diminuiscono con la profondità: i valori massimi di rinforzo radicale, rispettivamente per *Pistacia lentiscus* (L.) e *Atriplex halimus* (L.), sono di 20 e 6 kPa rispettivamente nei primi strati di terreno, per diventare pari a 3.5 kPa alla profondità di 70 cm per *Pistacia lentiscus* (L.) ed annullarsi alla profondità di 55 cm per *Atriplex halimus* (L.).

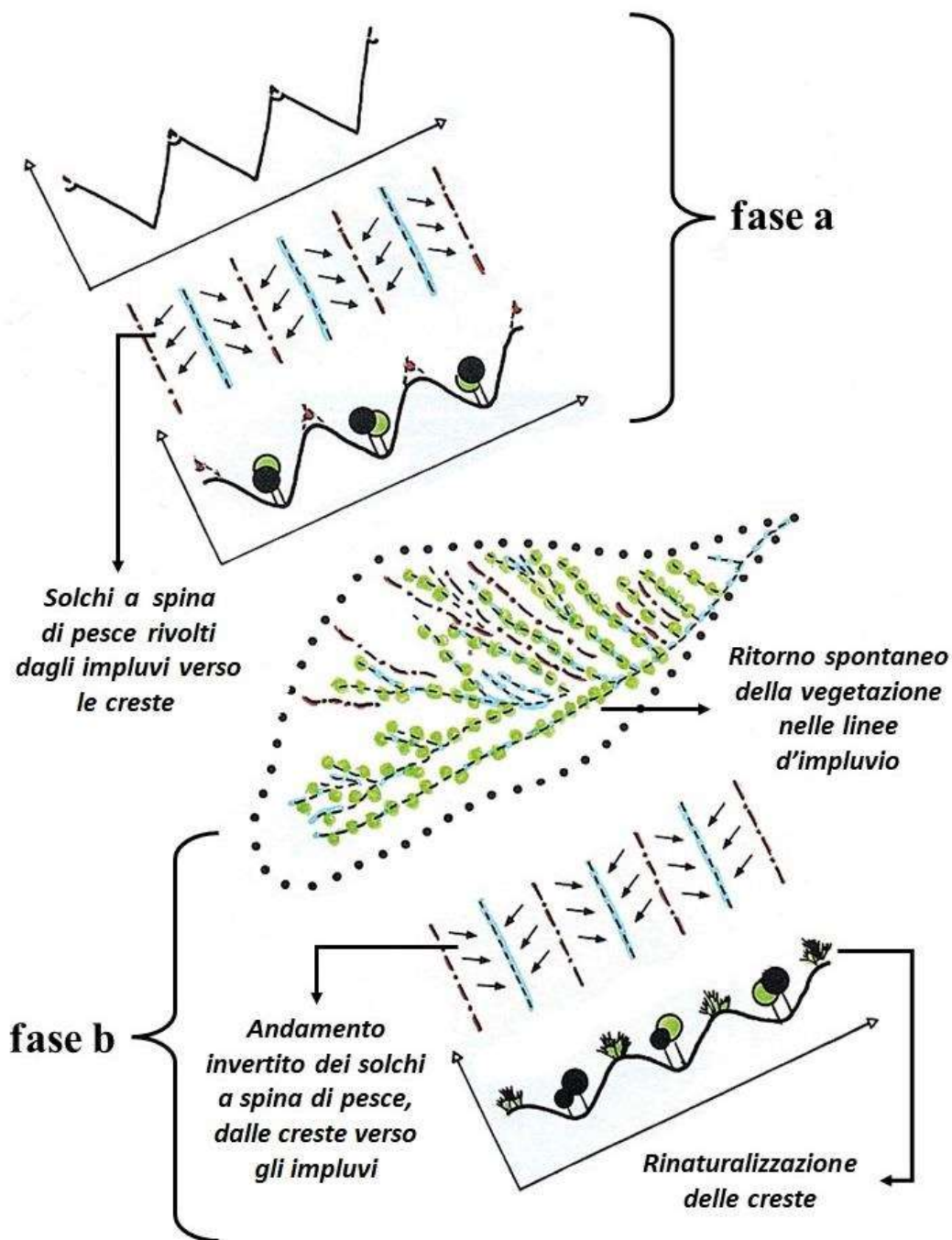


Figura 3.3 Sistemazione dei terreni calanchivi (figura modificata da Puglisi & Trisorio-Liuzzi, 1992)

Nel complesso, i risultati ottenuti da *Mattia et al. (2005)* evidenziano come l'effetto di *Lygeum spartum* (L.), *Atriplex halimus* (L.) e *Pistacia lentiscus* (L.), in termini di rinforzo dei terreni calanchivi, seppur limitato agli strati superiori di terreno, sia comunque comparabile a quello di

alcune specie arboree e arbustive presenti in ambienti con condizioni climatiche più favorevoli (Bischetti et al., 2005; Greenway, 1987).

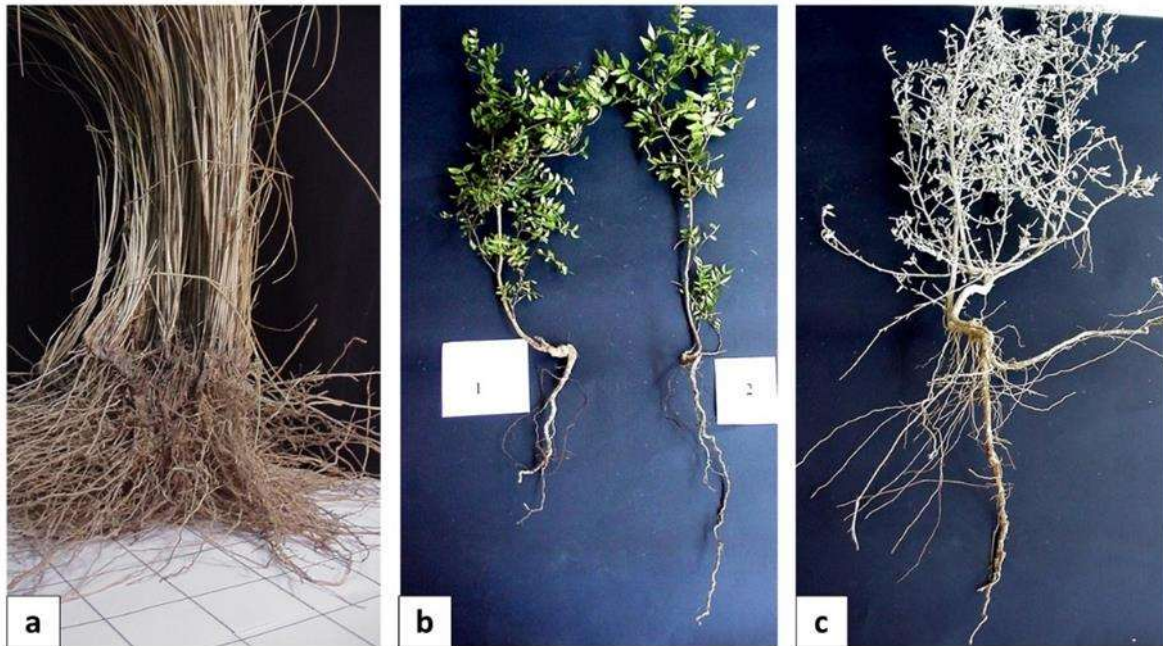


Figura 3.4 Differenze morfologiche tra gli apparati radicali di *Lygeum spartum* (L.) (a), pianta monocotiledone con apparato radicale fibroso denso e liscio, *Pistacia lentiscus* (L.) (b) e *Atriplex halimus* (L.) (c), piante dicotiledoni, con apparato radicale a fitto

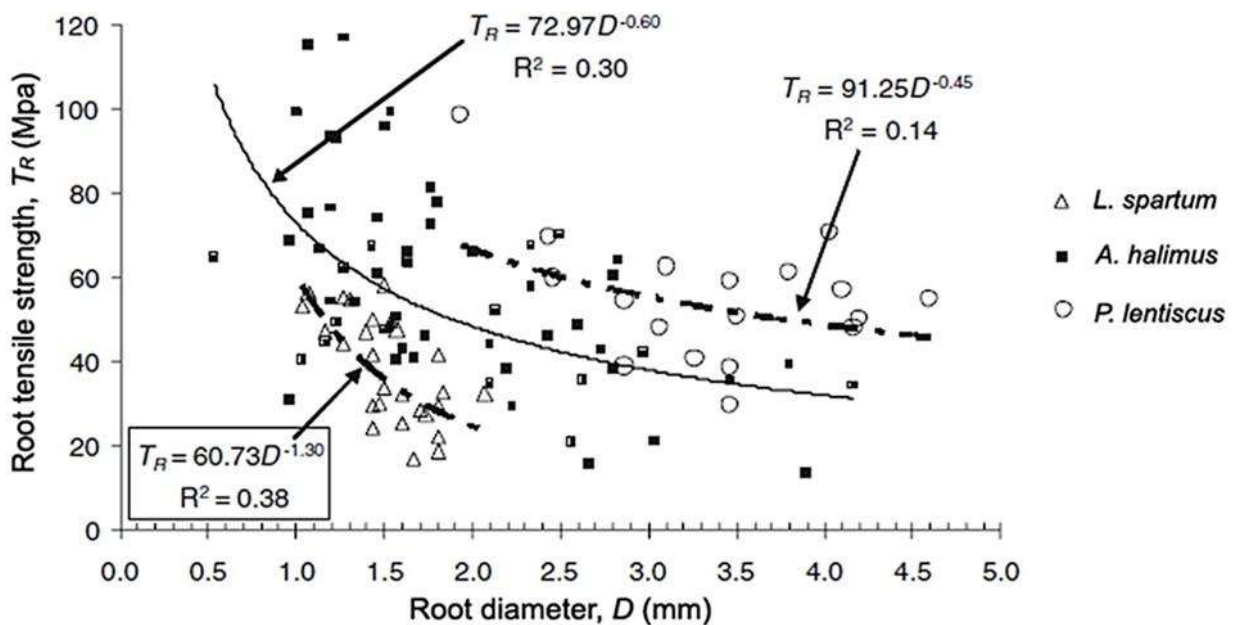


Figura 3.5 Valori di resistenza a trazione in funzione del diametro per *Lygeum spartum* (L.), *Atriplex halimus* (L.) e *Pistacia lentiscus* (L.) (Mattia et al., 2005)

Un altro ambito di applicazione di specie autoctone in ambiente Mediterraneo riguarda le sistemazioni dunali. Ne è esempio l'intervento di Ingegneria Naturalistica realizzato all'interno della Riserva Naturale Stornara (TA) per la protezione di dune minacciate da erosione costiera.

Qui, attraverso uno studio *ante-operam* della vegetazione presente nella zona, sono state individuate 50 specie vegetali autoctone e naturalizzate nell'area, con la presenza di numerose specie erbacee e di elementi alloctoni impiantati in passato. Ad esempio, ai nuclei autoctoni *Pinus halepensis* (L.) si associa la presenza di altre conifere di origine alloctona, quali il *Pinus pinea* (L.) e il *Cupressus sempervirens* (L.), nonché di esemplari di *Eucalyptus camaldulensis* (Dehnh) ed estesi popolamenti di *Acacia saligna* (Labill. H.L. Wendl).

Le specie vegetali da utilizzare nell'intervento di consolidamento dunale (Tabella 3.2), sono quindi state selezionate tra le specie autoctone in possesso di specifiche caratteristiche ecologiche e biologiche in base alla presenza all'interno di consociazioni simili riscontrate in areali limitrofi meno degradati, nonché di caratteristiche tecniche legate in particolare alla conformazione dell'apparato radicale.

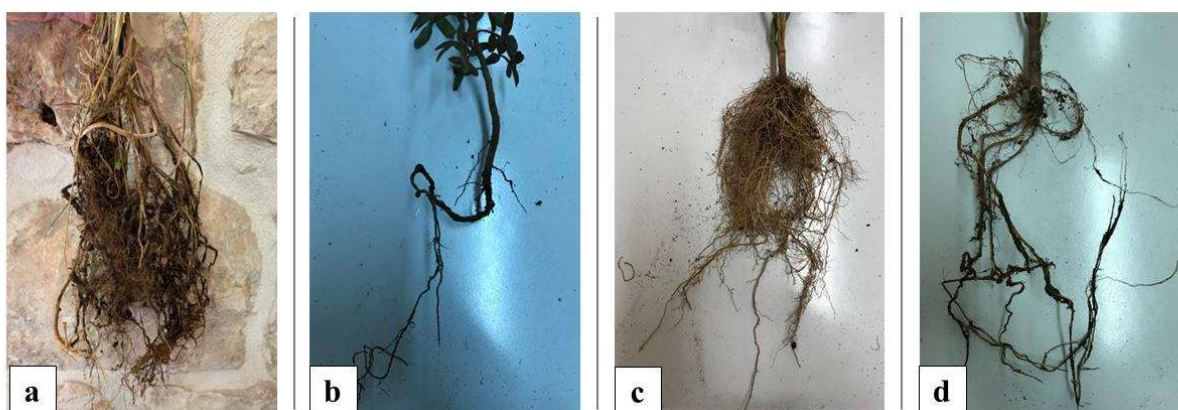
Tabella 3.2 Elenco delle specie vegetali impiegate negli interventi di sistemazione delle dune costiere nella Riserva Stornara

Nome scientifico	Nome comune	Tecnica di propagazione adottata	Rese di propagazione (%)
<b>Specie erbacee</b>			
<i>Agropyron junceum</i> (L.)	Gramigna delle spiagge	Radici con gemme	90
<i>Ammophila arenaria</i> (L.) Link	Ammofila	Radici con gemme	90
<i>Calystegia soldanella</i> (L.)	Vilucchio marittimo	Stoloni	90
<i>Eryngium maritimum</i> (L.)	Calcatreppola marina	Semi	80
<i>Pancratium maritimum</i> (L.)	Giglio di mare	Bulbi	> 90
<i>Sporolobus pungens</i> (Schreb.) Kunth	Gramigna pungente	Radici con gemme	90
<b>Specie arbustive</b>			

<i>Juniperus macrocarpa</i> (L.)	Ginepro coccolone	Semi; coltura in vitro	35; 20
<i>Juniperus phoenicea</i> (L.)	Ginepro fenicio	Semi; talee; coltura in vitro	35; 10; 20
<i>Phillyrea angustifolia</i> (L.)	Ilatro sottile	Semi; talee	50; 40
<i>Pistacia lentiscus</i> (L.)	Lentisco	Semi	50
<i>Tamarix africana</i> Poir	Tamerice africana	Talee	80-90
<i>Tamarix gallica</i> (L.)	Tamerice comune	Talee	80-90

Per la moltiplicazione del materiale vegetale sono state adottate varie tecniche di propagazione sia di tipo gamico che agamico (talee, bulbi, stoloni ecc.), ed è stata utilizzata la coltura in vitro per la propagazione del *Juniperus spp.* Le rese di propagazione più alte (in termini di nuove piante nate dai semi o pianta madre) sono state ottenute per tutte le specie erbacee e per i due esemplari di *Tamarix* propagate per talea (Tabella 3.2).

Durante la fase di crescita delle piante in vivaio, è stato monitorato con continuità l'accrescimento dell'apparato radicale per le varie specie considerate (Figura 3.6). In generale, la lunghezza delle radici ha mostrato valori variabili per le diverse specie considerate. In particolare, i valori misurati per le due specie erbacee, *Ammophila arenaria* (L.) Link (Figura 3.6a) e *Agropyron junceum* (L.) P. Beauv., compresi tra 10,5-16,5 cm. Per quanto riguarda invece le specie arbustive, *Pistacia lentiscus* (L.) (Figura 3.6b) ha mostrato valori compresi tra 10,3-55,2 cm, *Phillyrea angustifolia* (L.) (Figura 3.6c) tra 32,3 e 67,2 cm, *Tamarix gallica* (L.) (Figura 3.6d) e *Tamarix africana* Poir tra 31.3 e 70 cm. Considerando le informazioni botanico-ecologiche e quelle ottenute dallo studio delle modalità di



moltiplicazione e della morfologia e dell'accrescimento dell'apparato radicale, è stato possibile

Figura 3.6 Morfologia degli apparati radicali di alcune delle specie utilizzate nell'intervento di consolidamento dunale nella riserva Statale Stornara: *Ammophila arenaria* (L.) Link (a), *Pistacia lentiscus* (L.) (b), *Phillyrea angustifolia* (L.) (c) e *Tamarix gallica*.

stabilire la miglior consociazione da utilizzare nell'area di intervento tale da ottenere, nel breve periodo, una protezione della superficie della duna.

In Figura 3.7 sono riportate alcune immagini dell'intervento di sistemazione del cordone dunale. Tale intervento ha previsto una operazione di pacciamatura con cippato proveniente dalle operazioni di Figura 3.7b) per il contenimento dell'erosione superficiale e la realizzazione di una barriera basale in viminata viva per la protezione al piede della duna.



Figura 3.7 Operazione di pacciamatura della superficie della duna (a); posa di bioreti (b); esemplari di *Pistacia lentiscus* (L.) messi a dimora su duna (c); sviluppo di *Pancratium maritimum* (L.) ad un anno dal termine dei lavori (d).

La messa a dimora delle piante è stata preceduta da un periodo di adattamento alle condizioni climatiche della zona di intervento. Nel mese di ottobre 2020 tutte le giovani piantine propagate sono state trasferite in un apposito vivaio in prossimità del sito fino alla loro messa a dimora definitiva, eseguita tra i mesi di dicembre e gennaio 2021.

A circa un anno dalla realizzazione degli interventi, la viminata viva è risultata fortemente ancorata agli strati sabbiosi superficiali ed ha contribuito all'innalzamento del profilo dunale, a seguito dell'accumulo di materiale sabbioso incoerente, sia a monte che a valle dell'opera. La stabilità creata dalla viminata ha favorito lo sviluppo e la diffusione delle specie vegetali autoctone utilizzate nell'intervento. Specie erbacee come *Ammophila arenaria* (L.) Link hanno costituito una copertura vegetale quasi completa dell'intero fronte dunale. L'apparato radicale fascicolato, tipico di questa specie, ha contribuito, in tempi relativamente brevi, ad aumentare la coesione superficiale del substrato sabbioso. In aggiunta, la consociazione con specie ad apparato radicale fittonante (*Juniperus*

## *I.N. 2.0 Innovazioni in Ingegneria Naturalistica*

*macrocarpa* (L.), *Tamarix spp.*, *Pistacia lentiscus* (L.) ecc.) si è dimostrata efficace nel consolidare anche strati più profondi.

In relazione all'accrescimento, *Pistacia lentiscus* (L.) (Figura 3.7c), dopo alcune settimane, ha subito un disseccamento diffuso causato dall'aerosol marino e delle basse temperature notturne. Sebbene tale specie sia tipica della macchia mediterranea, risulta più adatta all'ambiente retrodunale in combinazione con altre sclerofille (ISPRA, 2015). Pertanto, al fine di garantire una maggiore sopravvivenza di *Pistacia lentiscus* (L.), prima della sua messa a dimora sarebbe opportuno un periodo di adattamento climatico più lungo nell'area d'intervento. Al contrario, *Ammophila arenaria* (L.) Link e *Pancratium maritimum* (L.) (Figura 3.7d) hanno confermato la loro attitudine di specie vegetali pioniere su suolo dunale. Importanti risultati, in termini di adattamento alle condizioni climatiche e edafiche, si sono ottenuti anche per gli esemplari di *Juniperus macrocarpa* (L.) e *Juniperus phoenicea* (L.).

### ***Considerazioni conclusive***

L'impiego di piante autoctone negli interventi di Ingegneria Naturalistica è raccomandato per ragioni non solo ecologiche ma anche funzionali, legate alla capacità di adattamento delle piante alle condizioni climatiche e geopedologiche dei siti d'intervento. Tale considerazione assume particolare valore in quegli ambienti, come quelli Mediterranei, caratterizzati da condizioni stagionali particolarmente difficili. Le esperienze condotte in contesti tra loro molto differenti, quali gli interventi di sistemazione delle aree calanchive e quelli di consolidamento delle dune costiere, confermano l'utilità di impiegare piante autoctone, ottenendo risultati significativi in termini di efficacia degli interventi. In tali casi un accurato studio botanico dell'area d'intervento è premessa necessario per una corretta scelta delle specie da impiegare, così come un'analisi delle caratteristiche biologiche e tecniche delle piante. A tale riguardo particolare importanza rivestono le caratteristiche degli apparati radicali, in termini di morfologia, profondità, densità e resistenza a trazione. Infine, un ruolo di primo piano riveste la corretta progettazione ed esecuzione degli interventi, che possa garantire le condizioni di stabilità del terreno necessarie affinché la vegetazione d'impianto possa affermarsi e svilupparsi in tempi rapidi.

### ***Ringraziamenti***

Gli autori ringraziano il *Dott. Giuseppe Parete* per il suo prezioso contributo nella stesura del capitolo e nella cura delle immagini.

**Bibliografia Par. 3.1.1**

BISCHETTI G.B., CHIARADIA E.T., SIMONATO T., SPEZIALI B., VITALI B., VULLO P., ZOCCO A., 2005. Root strength and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy). *Plant Soil* 278, 11 – 22.

DE BAETS S., TORRI D., POESEN J., SALVADOR M.P., MEERSMANS, S.J., 2008. Modelling increased soil cohesion due to roots with EUROSEM. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33(13), 1948 – 1963. <https://doi.org/10.1002/esp.1647>

GENET M., STOKES A., SALIN F., MICKOVSKI S.B., FOURCAUD T., DUMAIL J., VAN BEEK R., 2005. The Influence of Cellulose Content on Tensile Strength in Tree Roots. *Plant and Soil* 278, 1 – 9. <https://www.jstor.org/stable/24125296>

GENTILE F., PUGLISI S., TRISORIO-LIUZZI G., 1996. Il controllo dell'erosione gully. *Quaderni di Idronomia Montana*, n. 15, 329 – 354.

GENTILE F., ROMANO G., TRISORIO-LIUZZI G., 1998. L'uso della vegetazione negli interventi di difesa del suolo in ambiente mediterraneo. *Genio Rurale* 2, 42 – 51.

GREENWAY D.R., 1987. Vegetation and slope stability. In *Slope Stability*, Anderson MG, Richards KS (eds). John Wiley & Sons: Chichester; 187 – 230.

ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, 2015. Serie Rapporti, 215/2015. Gli habitat delle coste sabbiose italiane: ecologia e problematiche di conservazione. Acosta A.T.R. & Ercole S. (Eds).

LAZZARO L., MAZZA G., D'ERRICO G., FABIANI A., GIULIANI C., INGHILESI A.F., LAGOMARSINO A., LANDI S., LASTRUCCI L., PASTORELLI R., ROVERSI P.F., TORRINI G., TRICARICO E., FOGGI B., 2018. How ecosystems change following invasion by *Robinia pseudoacacia*: Insights from soil chemical properties and soil microbial, nematode, microarthropod and plant communities. *Science of The Total Environment* 622 – 623, 1509 – 1518. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.017>

MATTIA C., BISCHETTI G.B., GENTILE F., 2005. Biotechnical Characteristics of Root Systems of Typical Mediterranean Species. *Plant and Soil* 278, 23 – 32.

NORRIS J.E., DI IORIO A., STOKES A., NICOLL B.C., ACHIM A., 2008. Species selection for soil reinforcement and protection in Norris et al., *Slope stability and erosion control: Ecotechnological solutions*, Springer, chapter 6, 167-210.

POLLEN N. AND SIMON A., 2005. Estimating the Mechanical Effects of Riparian Vegetation on Stream Bank Stability Using a Fiber Bundle Model. *Water Resources Research* 41(7). <https://doi.org/10.1029/2004WR003801>

PUGLISI S., 1963. Esperienze ed orientamenti di tecnica delle sistemazioni calanchive. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Collana Verde n. 9, Roma.

PUGLISI S., TRISORIO-LIUZZI G., 1992. La correzione dei torrenti da disfacimento di tipo calanchivo. *Quaderni di Idronomia Montana*, n. 11/12, 219-251.

WU T.H., MCKINNELL III W.P., SWANSTON D.N., 1979. Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska. *Canadian Geotechnical Journal* 16(1). <https://doi.org/10.1139/t79-003>

### **3.1.2 Controllo dell'erosione: Idrosemia e Seed Clay Balls (G. Pirrera, L. M. Ferrara)**

#### *3.1.2.1 Introduzione*

Le tradizionali tecniche di controllo dell'erosione si basano sulle semine, evolute con le tecniche di idrosemia, ma con un approccio diverso. Declinando le teorie del botanico e filosofo giapponese, pioniere della cosiddetta agricoltura naturale o del non fare, Masanobu Fukuoka espone al paragrafo 4, possono attuarsi in una maniera più appropriata per la Soil & Water Bioengineering, convertendo la semina a spaglio in una vera e propria messa a dimora.

Questo paragrafo, dopo un inquadramento generale dell'erosione, riporta due casi studio per comparare il potenziamento della tecnica più evoluta (idrosemia per la discarica di Termini Imerese in Sicilia) con quella di approccio più olistico, forse antroposofico delle messe a dimora di Seed Balls a Pomaia, in Toscana.

Per la quantificazione e la previsione dell'erosione, espressa in t/ha, si fa ricorso al sempre valido modello USLE, *Universal Soil Loss Equation* (Wischmeier W.H. e Smith D.D., 1978). Tale modello permette di definire nei termini di un'equazione matematica, i parametri che determinano il comportamento di un suolo rispetto all'erosione:

$$E = R * K * L * S * C * P$$

- E è il valore medio annuale delle perdite di suolo (E), in t/ha
- R, rain, rappresenta l'erosività della pioggia (aggressività climatica);
- K indica l'erodibilità del suolo;
- L e S, tengono conto della topografia del terreno;
- C, sintetizza l'effetto delle colture, delle tecniche di coltivazione o della vegetazione;
- P, si riferisce alle pratiche conservative.