



Comune
di Siurgus Donigala
Regione Sardegna



Comune
di Selegas



NUOVO IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE EOLICA "PRANU NIEDDU" NEI COMUNI DI SIURGUS DONIGALA E SELEGAS (SU)

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE - VER.2

Siurgus S.r.l.

via Michelangelo Buonarroti, 39
20155 Milano
C. F. e P. IVA: 11189260968
PEC: siurgus@pec.it

PROPONENTE

OGGETTO

RELAZIONE RESTORATION ECOLOGY



STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI

VIA ROSOLINO PILO N. 11 - 10143 - TORINO
VIA IS MAGLIAS N. 178 - 09122 - CAGLIARI
TEL. +39 011 43 77 242
studiorosso@legalmail.it
info@sria.it
www.sria.it

dott. ing. Roberto SESENNA
Ordine degli Ingegneri Provincia di Torino
Posizione n.8530J
Cod. Fisc. SSN RRT 75B12 C665C

dott. forestale Piero Angelo RUBIU
Ordine dei dott. Agronomi e dott. Forestali provincia di Nuoro
Posizione n.227
Cod.Fisc. RBU PNG 69T22 L953Z

CONSULENZA

Coordinatore e responsabile delle attività: Ing. Giorgio Efisio Demurtas Studio Gioed Via Is Mirrionis 55 09121 Cagliari

Consulenza studi ambientali: SIATER SRL Via Casula 7, 07100 Sassari

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE	
DATA	APRILE/2022	
COD. LAVORO	519/SR	
TIPOL. LAVORO	V	
SETTORE	S	
N. ATTIVITA'	01	
TIPOL. ELAB.	RS	
TIPOL. DOC.	E	
ID ELABORATO	22	
VERSIONE	2	

REDATTO

Dr. For. Piero RUBIU

CONTROLLATO

Dr. For. Piero RUBIU

APPROVATO

Ing. Roberto SESENNA

ELABORATO

V.1.22

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. LA RESTORATION ECOLOGY	4
2.1.1 <i>Gli impatti delle infrastrutture e dei cantieri</i>	<i>4</i>
2.1.2 <i>Il suolo nelle operazioni di ripristino ambientale.....</i>	<i>5</i>
2.1.3 <i>Qualità del suolo.....</i>	<i>6</i>
2.1.4 <i>Caratteristiche del Suolo Obiettivo</i>	<i>7</i>
2.1.5 <i>Caratterizzazione e gestione del suolo in corso d'opera.....</i>	<i>8</i>
2.1.6 <i>Caratterizzazione e gestione del suolo al termine dell'opera (post- operam).....</i>	<i>13</i>
2.1.7 <i>Valutazione finale e monitoraggio</i>	<i>15</i>
3. INERBIMENTI TECNICI.....	16
3.1 IMPORTANZA DELL'INERBIMENTO NEI RIPRISTINI AMBIENTALI	16
3.1.1 <i>Tipologie di materiale utilizzabili per la semina</i>	<i>20</i>
3.1.2 <i>Valutazione della riuscita dell'inerbimento</i>	<i>21</i>
3.1.2.1 <i>Copertura vegetale della cotica erbosa</i>	<i>21</i>
3.1.2.2 <i>Presenza di specie esotiche</i>	<i>22</i>
3.1.2.3 <i>Biodiversità della vegetazione insediata</i>	<i>23</i>
3.1.2.4 <i>Naturalità della vegetazione</i>	<i>23</i>
4. LA COMPONENTE FORESTALE.....	26
4.1 LA COMPLESSITÀ DELL' INTERVENTO DI RECUPERO.....	26
4.2 DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI DEL PROGETTO DI RECUPERO	28
4.3 FATTORI CHE POSSONO COMPROMETTERE L'ESITO DELL'INTERVENTO.....	29
4.3.1 <i>Insetti defogliatori</i>	<i>30</i>
4.3.2 <i>Specie esotiche invasive.....</i>	<i>30</i>
4.3.3 <i>Stress da trapianto</i>	<i>30</i>
4.3.4 <i>Causa di mortalità delle piantine.....</i>	<i>31</i>
4.3.5 <i>Scelta delle specie da utilizzare</i>	<i>32</i>
5. PIANO DI RESTAURO ECOLOGICA DEL SITO	34
5.1 OCCUPAZIONE DI SUOLO IN FASE DI CANTIERE	37
5.2 CONSUMO DI SUOLO IN FASE DI ESERCIZIO	37

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 Schema semplificato per la ricostituzione del suolo. A sinistra un esempio di profilo di suolo ante-operam(SIPe 2019, modificato). A destra uno schema semplificato di profilo post-operam.....	7
Figura 2 Area di protezione di un albero di grosse dimensioni, le linee nere rappresentano il limite della chioma (Toronto and Region Conservation Authority 2012, modificato)	9
Figura 3 Fasi di lavoro del cantiere, a sinistra opere di sbancamento e creazione dei cumuli, a destra, scavo e asportazione dell’orizzonte più superficiale (colore più scuro) (Bassignana et al. 2011, modificato).....	10
Figura 4 Separazione in cumuli degli orizzonti più superficiali e di quelli più profondi (Bassignana et al. 2011, modificato).	10
Figura 5 Stesura di un telo protettivo alla base del cumulo.....	10
Figura 6 Fenomeni di erosione nei cantieri	11
Figura 7 Sversamento di materiale in prossimità dei cumuli	12
Figura 8 Posa del suolo.....	13
Figura 9 Esempio di evoluzione pedoambientale post-operam.....	15
Figura 10 Stratificazione verticale osservabile all’interno di una cotica erbacea, con evidenziazione della copertura vegetale superiore e della copertura di contatto (Pignatti 1985, modificato).....	17
Figura 11 Misure sperimentali dell’erosione durante la stagione vegetativa in condizioni di copertura vegetale del suolo differenti (fonte dati Florinet, 1994)	17
Figura 12 Esempio di distribuzione verticale complementare degli apparati radicali di specie appartenenti alla famiglia Gramineae (apparato radicale omorizzico) e Leguminosae (apparato radicale a fittone).....	19
Figura 13 Potenziale percorso di recupero di un sito degradato (Hobbs and Mooney 1993, modificato)	27
Figura 14 Curva di sopravvivenza. tipica dei popolamenti arborei, indica un’alta mortalità negli stadi di vita iniziali che tende poi a ridursi in quelli successivi (Odum 1973, modificato).....	31
Figura 16 - Recinzione elettrificata per bovini.....	Errore. Il segnalibro non è definito.

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Occupazione di suolo in fase di cantiere e fase di esercizio	36
--	----

1. INTRODUZIONE

Il presente elaborato è parte integrante del progetto definitivo relativo al parco eolico, denominato "Pranu Nieddu" in Comune di Siurgus Donigala (SU) a sud Ovest rispetto al centro abitato. Le opere connesse interesseranno anche i comuni di Selegas (SU), per quanto riguarda la Sottostazione di collegamento alla rete di Terna Rete Italia Spa, mentre il Cavidotto interesserà anche i comuni di Senorbi e Suelli.

Il progetto prevede l'installazione di 13 aerogeneratori del tipo SIEMENS GAMESA SG 6.6 - 170. Gli aerogeneratori hanno potenza nominale di 6,6 MW, per una potenza complessiva del parco eolico di 85,8 MW. L'altezza delle torri sino al mozzo (HUB) è di 115,0 m, il diametro delle pale è di 170 m per un'altezza complessiva della torre eolica pari a 200 m.

La presente emissione del progetto (VER.2) costituisce un'ottimizzazione generale del primo progetto, presentato in data marzo 2021, in quanto il precedente posizionamento degli aerogeneratori, nonché la maggiore altezza delle torri (220 m) risultava rappresentare criticità importanti sul patrimonio archeologico e paesaggistico, secondo quanto illustrato nel parere del 30.06.2021 prot 34.43.01/lasc. ABAP (GIADA) 20.87.9 del Ministero della Cultura - Soprintendenza archeologia, belle arti e paesaggio, e trasmessa dal Ministero della transizione ecologica -Direzione generale per la crescita sostenibile e la qualità dello sviluppo, Divisione V _ Sistemi di valutazione ambientale

Con la nuova versione (VER.2), oltre alla rivisitazione sostanziale del Lay-out di progetto, che prevede anche la riduzione degli aereo generatori al numero di 13 invece che i 14 inizialmente previsti, si risponde alle richieste riportate nella lettera sopra citata, in modo da chiarire le nuove soluzioni previste per risolvere le criticità presentate.

La costruzione e l'uso di opere d'interesse inevitabilmente causa una serie di impatti sugli ecosistemi interessati direttamente dal passaggio dell'opera o situati in prossimità di questa. Gli ecosistemi direttamente coinvolti dal progetto dell'opera subiscono degli impatti , come la parziale distruzione permanente o la frammentazione. Un'ulteriore tipologia di impatto interessa gli ambienti situati in prossimità delle vie di comunicazione dove, proprio a causa della presenza e dell'utilizzo dell'opera, si creano delle condizioni ecologiche particolari in grado di alterare i delicati rapporti tra le componenti ambientali che caratterizzavano il sito. Infine vi è un impatto, anch'esso diretto, dovuto alle fasi di cantierizzazione a servizio dell'opera. Infatti durante il periodo di realizzazione dell'infrastruttura vengono creati piste, piazzali, scavi, riporti di terra con conseguente compattamento del suolo (Dinetti et al. 2012) o, comunque, alterazione delle sue originarie proprietà fisico-chimiche. L'impatto risulta particolarmente importante quando la realizzazione dell'infrastruttura interessa siti di elevato valore ecologico appartenenti ad esempio alla Rete Natura 2000 (Andrews 1990; Bennett 1991; Atkinson et al. 1992; Forman et al. 1996; Canters 1997).

Per contrastare gli effetti negativi prodotti dalla realizzazione delle infrastrutture di trasporto sugli ambienti naturali o seminaturali adiacenti, vi sono tre approcci fondamentali: la prevenzione (cercare di evitare che avvenga il danno), la mitigazione (minimizzare gli effetti negativi) e la compensazione. Gli interventi di compensazione possono essere "on-site" nel caso in cui si vogliano migliorare le condizioni del luogo affetto dagli impatti negativi o "off-site" se vi è la creazione di nuovi habitat in aree esterne al sito disturbato. Il Codice dell'Ambiente (D.lgs. 152/2006 art. 22, all.VII e ss.mm.ii.) prevede che per ridurre gli effetti negativi di tali opere, durante e/o dopo la realizzazione delle stesse, vengano attuate misure di mitigazione o compensazione compiute ad esempio attraverso la realizzazione di rimboschimenti con specie arboree-arbustive caratteristiche degli ambienti interessati dal passaggio dalle opere.

L'impiego di errate o inappropriate tecniche di progettazione degli impianti, che non tengono conto delle difficili condizioni edafiche in cui spesso si opera, delle condizioni stagionali e microclimatiche differenti rispetto alla situazione ante-operam, è una delle principali cause di scarso successo degli interventi di recupero ambientale. All'interno di questo contesto possono essere inseriti gli interventi di restoration ecology che hanno come obiettivo primario la restituzione di un ecosistema in grado di riacquisire in tempi più o meno rapidi l'integrità ecologica intesa come "la capacità di un ecosistema di sostenere e mantenere una comunità adattativa ed equilibrata di microrganismi aventi una composizione di specie, diversità e funzioni paragonabile a quella degli habitat naturali all'interno di una regione" (De Leo e Levin 1997).

2. LA RESTORATION ECOLOGY

La "restoration ecology", forma inglese universalmente accettata e tradotta in italiano come "ecologia del restauro", è una disciplina scientifica relativamente nuova che tuttavia ha conquistato una posizione importante nel contesto globale dello sviluppo sostenibile. Per anni, prima dello sviluppo di questo concetto, in assenza di una normativa nazionale o internazionale che lo regolamentasse, la costruzione di infrastrutture come reti ferroviarie e stradali veniva realizzata senza porre particolare attenzione agli effetti negativi che essi generavano sull'ambiente circostante. La necessità di introdurre il concetto di "restoration ecology" è diventato sempre più evidente, soprattutto in paesi o regioni in cui i valori ecologici hanno sofferto gravi danni o perdite a causa del forte sviluppo economico.

La SER (Society for Ecological Restoration) definisce la "restoration ecology" come "gli interventi che favoriscono il reinsediamento di un ecosistema che è stato degradato, danneggiato o distrutto". Il significato che il termine assume fa riferimento alle misure concrete che è necessario impiegare per ripristinare le risorse naturali e le funzioni ecologiche alterate da un intervento antropico.

Il recupero naturale di habitat alterati a seguito dell'intervento da parte dell'uomo, avviene secondo dinamiche che possono richiedere tempi molto lunghi, superiori anche a diverse decine di anni, soprattutto se l'impronta dell'intervento ha causato il rimaneggiamento del substrato e l'asportazione del topsoil e di conseguenza la quasi scomparsa della banca seme e la rimozione degli apparati radicali (Parrotta et al. 1997). Per questi motivi gli interventi di "restoration ecology", sono volti ad accelerare intenzionalmente il processo di recupero, focalizzando l'attenzione sulle funzioni dell'ecosistema, con l'obiettivo di ottenere un sistema che sia in grado di proseguire nell'evoluzione senza ulteriori interventi da parte dell'uomo (SER 2004).

2.1.1 Gli impatti delle infrastrutture e dei cantieri

L'entità di questi progetti è tale da implicare molteplici problematiche che interessano le varie matrici ambientali.

Le ripercussioni possono essere dirette e permanenti, dovute cioè alla presenza stessa dell'asse viario; in questo caso gli habitat interessati vengono completamente distrutti o possono subire una frammentazione in più parti. Altri effetti ecologici dell'opera si riflettono sugli ecosistemi adiacenti. Infatti, intorno alle vie di comunicazione si generano differenti condizioni di temperatura, illuminazione, ventilazione ed inquinamento dell'aria, dell'acqua, luminoso ed acustico. Queste condizioni oltre a interessare le comunità vegetali, manifestano i loro effetti anche sulla fauna, favorendo la diffusione di alcune specie (spesso generaliste ed alloctone) e sfavorendone altre. Gli effetti si possono osservare per centinaia e talvolta migliaia di metri di distanza a seconda della tipologia di uso del suolo che caratterizza

gli ambienti adiacenti le infrastrutture. Una superficie boscata ad esempio riesce a limitarne la diffusione in modo più marcato rispetto a quanto sia in grado di fare una superficie agricola (Dinetti et al. 2012). Infine ci sono gli impatti dovuti alla fase di cantiere necessaria alla realizzazione dell'opera, che può comportare la realizzazione di aree adibite a deposito di materiali di varia natura, ad ospitare impianti di betonaggio, all'accoglienza delle manovalanze. A seconda della destinazione, le attività di preparazione del cantiere possono essere alquanto differenti e di conseguenza lo sarà l'entità del disturbo all'ecosistema interessato.

Di norma, le attività di cantiere prevedono l'asportazione preliminare degli strati superficiali del suolo, il riporto di inerti per la stabilizzazione della superficie di cantiere e il compattamento del substrato per il ripetuto passaggio di mezzi pesanti. Una volta terminata la loro funzione, le aree di cantiere sono oggetto di interventi di recupero. La situazione di degrado post-operam è spesso critica e implica una difficile interpretazione dei fattori che limitano i processi di successione naturale su cui intervenire. Di conseguenza, il buon esito del recupero ambientale può non essere scontato e la pianificazione degli interventi esige un'attenta valutazione delle scelte progettuali che non possono essere generalizzate ma essere diversificate a seconda del grado di alterazione riscontrato e delle risorse a disposizione per effettuare gli interventi.

2.1.2 Il suolo nelle operazioni di ripristino ambientale

Negli ultimi decenni lo sviluppo di infrastrutture lineari, è notevolmente aumentato (Rivera et al. 2014), provocando una serie di effetti tra cui la frammentazione degli habitat, il compattamento del suolo, l'erosione e il trasporto di sedimenti (Forman et al. 1998; Coffin 2007). La costruzione di tali opere determina un significativo impatto sul funzionamento e sulle proprietà degli habitat (Rivera et al. 2014), attraverso ad esempio una profonda alterazione del ciclo idrologico locale come risultato della rimozione della vegetazione, dell'asportazione dello strato superficiale del suolo (topsoil), del compattamento del suolo durante le fasi di realizzazione dell'opera, della creazione di superfici impermeabili e di sistemi di drenaggio (Toronto and Region Conservation Authority 2012). In particolare, per quanto riguarda il suolo, la realizzazione e la gestione delle infrastrutture lineari determina l'alterazione di molteplici proprietà chimico-fisiche tra cui: a) diminuzione del contenuto di sostanza organica (Ivey e McBride 1999; Kowaljow e Rostagno 2008), b) aumento della densità apparente, c) riduzione della porosità e della capacità di infiltrazione e ritenzione idrica (Soon et al. 2000; Spoor 2006; Kowaljow e Rostagno 2008), d) aumento della conducibilità elettrica e del pH in superficie (Ivey e McBride 1999; Soon et al. 2000), e) aumento della temperatura (Hayhoe e Tarnocai 1993).

Al fine di ridurre gli impatti di tali interventi sulle proprietà del suolo e sul ciclo idrologico, un approccio efficace è quello di implementare le buone pratiche di gestione del suolo durante le fasi di progettazione, costruzione e gestione delle superfici. Tali pratiche generalmente trattano soprattutto la rigenerazione della vegetazione, a volte però senza tenere in debita considerazione le delicate relazioni suolo-pianta, fondamentali per il corretto sviluppo della copertura vegetale (e quindi per la buona riuscita dell'intervento) (Rivera et al. 2014). La mancata applicazione di buone pratiche di gestione per il mantenimento e/o il ripristino della qualità del suolo durante la costruzione di infrastrutture, può causarne alterazioni nelle caratteristiche fisiche, nella biologia e nel contenuto di sostanza organica, tali da rendere queste superfici difficilmente recuperabili, se non con ingenti investimenti di risorse. Diversamente l'utilizzo di opportune tecniche di gestione per il ripristino di suoli di buona qualità consente di ridurre non solo il deflusso

superficiale e i processi erosivi, ma anche di creare substrati idonei alla crescita vegetale, con un successivo minore dispendio di acqua e risorse. I suoli di qualità rappresentano quindi un vantaggio non solo ambientale ma anche di natura economica in quanto richiedono minori costi di gestione. Alla luce di tali considerazioni risulta evidente come una corretta gestione del suolo rappresenti un elemento chiave nei programmi di ripristino ambientale (Lamb et al. 2015).

2.1.3 Qualità del suolo

Un suolo di qualità (in salute) è in grado di fornire in modo continuativo servizi essenziali per le attività umane e la sopravvivenza degli ecosistemi e di mantenere le sue funzioni specifiche anche in condizioni di perturbazione o in risposta a cambiamenti esterni. Tali aspetti assumono grande rilevanza nel contesto delle infrastrutture lineari, poiché un suolo in salute è in grado di garantire l'infiltrazione e la ritenzione idrica e la regolazione del ciclo degli elementi nutritivi (Toronto and Region Conservation Authority 2012). Un suolo di qualità è in grado di sostenere in modo ottimale la crescita di specie erbacee ed arboree, le quali intercettando le precipitazioni, riducono la quantità d'acqua che arriva al suolo, contribuendo a ridurre il rischio di erosione.

Diversamente un suolo di scarsa qualità, non in salute e degradato, non sarà in grado di funzionare correttamente e quindi non potrà espletare al meglio le sue funzioni. Ad esempio in un suolo compattato la porosità diminuisce, mentre la densità apparente aumenta, causando quindi una riduzione della capacità di infiltrazione e di ritenzione idrica, nonché della capacità di ospitare microorganismi e di supportare la crescita vegetale. Ad esempio è stato dimostrato che un suolo con una densità apparente superiore ad 1.7 g/cm³, non consente alle radici di penetrare al suo interno (Morris e Lowery 1988). Inoltre in un suolo compattato gli scambi gassosi sono ridotti, le temperature nel periodo estivo sono elevate, la ritenzione dei nutrienti e l'attività delle micorrize sono ridotte, rispetto ad un suolo non compattato (Bethenfalvay e Linderman 1992). Il ripristino dei suoli nelle aree degradate e in particolare nell'ambito delle infrastrutture lineari deve essere quindi mirato non solo al recupero della copertura vegetale, ma anche al restauro delle funzioni e dei servizi dell'intero ecosistema (Costantini et al. 2015; Perring et al. 2015, Muñoz-Rojas et al. 2016).

La valutazione della qualità del suolo e della direzione del suo cambiamento nel tempo costituisce l'indicatore primario della gestione sostenibile di un territorio. Si tratta di un fondamentale strumento di programmazione per il ripristino e la conservazione della fertilità, per la difesa dall'impatto di fattori antropici e non, per la programmazione nell'uso del suolo e del territorio secondo forme di gestione compatibili con l'utilizzo attuale e futuro (Gelsomino 2010).

2.1.4 Caratteristiche del Suolo Obiettivo

L'obiettivo primario del ripristino è quello di ottenere un suolo che sia in grado di svilupparsi attraverso i processi della pedogenesi, in maniera tale da ottenere caratteristiche idonee alle funzioni attribuitegli dal progetto. Secondo una visione conservativa si dovrebbe ottenere un suolo quanto più simile alla situazione originaria o comunque che risponda alle esigenze di utilizzo dell'area. Nella ricostruzione del suolo, non potendo riprodurre la complicazione naturale degli strati (orizzonti) è necessario tentare di riprodurre i principali orizzonti attraverso uno schema semplificato a due o anche tre "pseudo - orizzonti", assegnando loro funzioni di nutrizione (orizzonte A), serbatoio idrico (orizzonte B) e drenaggio e ancoraggio (orizzonte C) (figura 1). Il primo strato ha in genere una profondità approssimativa di circa 20-30 cm e corrisponde agli orizzonti più importanti per lo sviluppo degli apparati radicali e generalmente con un'attività biologica più elevata. Per un suolo profondo un metro possiamo considerare, ad esempio, due strati: uno che va dalla superficie fino a 30 cm ed uno da 30 fino a 100 (ISPRA 2010).

Nella maggior parte dei casi, al termine dei lavori i suoli non rispondono ai requisiti di qualità richiesti, pertanto saranno necessari interventi correttivi con materiali organici e minerali, in modo da raggiungere i livelli minimi previsti (es. contenuto di sostanza organica, pH, ecc.).

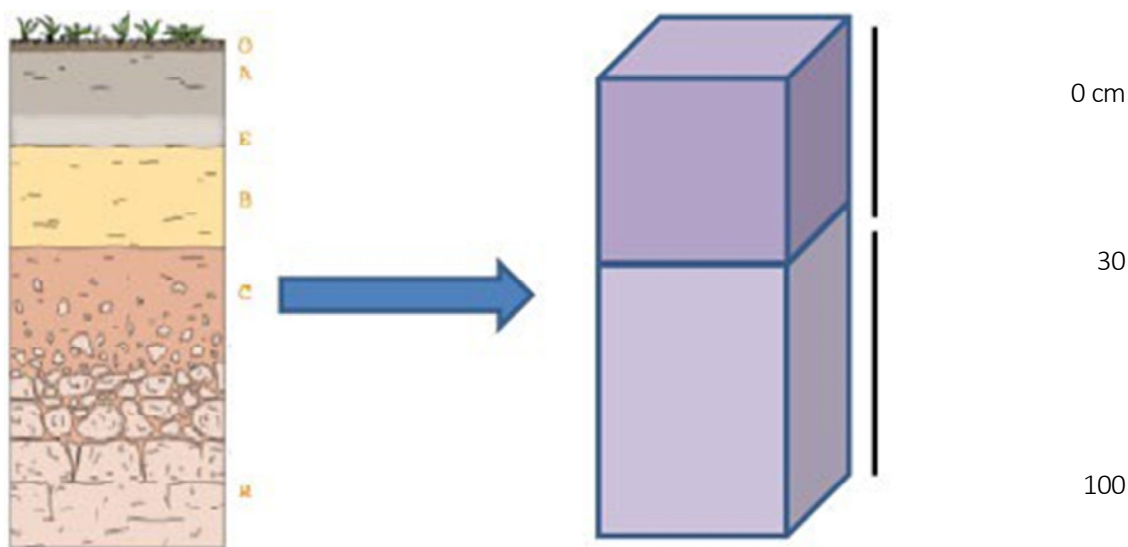


Figura 1 Schema semplificato per la ricostituzione del suolo. A sinistra un esempio di profilo di suolo ante-operam (SIPE 2019, modificato). A destra uno schema semplificato di profilo post-operam.

2.1.5 Caratterizzazione e gestione del suolo in corso d'opera

La realizzazione dell'opera comporta rischi di degradazione potenziale del suolo che possono essere così sintetizzati:

- perdita di orizzonti superficiali di elevata fertilità a seguito di operazioni di scotico effettuate senza un idoneo accantonamento del suolo e/o effettuando una sua conservazione non idonea;
- inquinamento chimico determinato da sversamenti accidentali di sostanze contaminanti sia per infiltrazione negli strati profondi del suolo, sia per scorrimento superficiale a carico delle aree limitrofe, a causa della mancata o insufficiente regimazione delle acque interne ai cantieri;
- perdita di suolo per erosione nelle aree limitrofe ai cantieri (soprattutto presso le aree caratterizzate dai maggiori dislivelli, presso le incisioni fluviali) a causa della mancata o insufficiente regimazione delle acque di cantiere.

Nel corso dei sopralluoghi le aree devono essere esaminate per quanto riguarda la congruità dei lavori eseguiti rispetto alle esigenze di conservazione dei suoli sia all'interno che all'esterno delle aree stesse, in riferimento alla fase di esercizio e al futuro ripristino.

Al fine di raggiungere gli standard qualitativi del suolo obiettivo nella fase post-costruzione, le buone pratiche di gestione possono essere applicate in modo selettivo nelle diverse aree dello stesso cantiere. Ad esempio se un suolo è stato adeguatamente protetto dai disturbi e dal compattamento durante i lavori, potrebbe verosimilmente già raggiungere gli standard qualitativi minimi previsti e non necessitare pertanto di restauro, consentendo quindi un abbassamento dei costi. In sede preliminare è opportuno quindi individuare le aree ove non vi sia la necessità di asportare il suolo, valutando altresì l'eventuale presenza di vegetazione arborea ed arbustiva, la quale dovrà essere adeguatamente protetta durante l'esecuzione dei lavori.

Durante la pianificazione del cantiere sarà quindi opportuno individuare diverse aree all'interno delle quali valutare l'applicazione selettiva delle pratiche di gestione del suolo. Di seguito si riportano le procedure per una corretta gestione del suolo in corso d'opera.

A) Protezione del suolo e delle piante in situ

- Proteggere dal compattamento e dall'erosione il suolo esistente delimitando le aree con barriere geotessili, provvedendo alla posa di materiale protettivo (geotessile) e realizzando opere di regimazione delle acque;
- realizzare aree di protezione per la vegetazione arborea esistente:
 - per il dimensionamento dell'area si consiglia di applicare una distanza di almeno 6 cm dal tronco per ogni cm di diametro del fusto (City of Toronto 2010);
 - se il suolo dell'area di protezione della pianta è compattato eseguire una scarificazione per aumentare la permeabilità;

- nell'area di protezione della pianta deve essere presente uno strato di almeno 5- 10 cm di lettiera (strato costituito da foglie e residui vegetali a diverso grado di decomposizione), in caso di assenza apportare 2-3 cm di compost seguito da uno strato di 5 cm di pacciamatura;
- in casi particolari (es. piante di grandi dimensioni o di particolare pregio o importanza) (figura 2), ove possibile sarebbe opportuno limitare il transito dei macchinari ad 1 metro di distanza dal limite della chioma (figura 2).



Figura 2 Area di protezione di un albero di grosse dimensioni, le linee nere rappresentano il limite della chioma (Toronto and Region Conservation Authority 2012, modificato)

B) **Asportazione e conservazione del topsoil**

- Valutare le condizioni di umidità del suolo per non degradarne la struttura e quindi alterarne, in senso negativo, le caratteristiche idrologiche (infiltrazione, permeabilità) e altre caratteristiche fisiche con la creazione di strati induriti e compatti, inidonei allo sviluppo degli apparati radicali;
- separare gli orizzonti superficiali (orizzonti A generalmente corrispondenti ai primi 20-30 cm), dagli orizzonti minerali sottostanti (orizzonti B e/o C a profondità > di 30 cm);
- eseguire una vagliatura prima del deposito al fine di separare il pietrame più grossolano da utilizzare come fondo del cumulo per favorire lo sgrondo dell'acqua.

Gli orizzonti più superficiali del suolo presentano le condizioni ottimali per l'insediamento delle specie autoctone nel caso di riutilizzo di materiale vegetale locale, ma anche per la germinazione delle specie commerciali. Essi possono contenere, inoltre, una banca seme molto ricca e materiale per la propagazione per via vegetativa, presupposto essenziale ad un inerbimento spontaneo con specie native, solitamente assenti nei miscugli commerciali.



Figura 3 Fasi di lavoro del cantiere, a sinistra opere di sbancamento e creazione dei cumuli, a destra, scavo e asportazione dell'orizzonte più superficiale (colore più scuro) (Bassignana et al. 2011, modificato).

C) **Stoccaggio provvisorio**

- Separare gli orizzonti superficiali da quelli profondi; eventualmente, se presenti, separare anche i materiali vegetali superficiali più o meno decomposti (lettiera) dal topsoil. I materiali vegetali con diametro > di 30 cm vanno anch'essi separati;



Figura 4 Separazione in cumuli degli orizzonti più superficiali e di quelli più profondi (Bassignana et al. 2011, modificato).

- selezionare la superficie sulla quale s'intende realizzare il deposito, in modo che abbia una buona permeabilità e non sia sensibile al costipamento; eventuale posa a terra di uno strato protettivo;



Figura 5 Stesura di un telo protettivo alla base del cumulo

- realizzare cumuli distinti (in funzione del materiale, ovvero lettiera, topsoil, strati minerali, materiale vegetale di grosse dimensioni) di forma trapezoidale di altezza non superiore ai 1,5-2,5 m d'altezza, rispettando l'angolo di deposito naturale del materiale e tenendo conto della granulometria e del rischio di compattamento;
- impedire l'erosione attraverso corrette opere di regimazione delle acque e proteggendo lo strato organico superficiale;



Figura 6 Fenomeni di erosione nei cantieri

- impedire il compattamento del suolo senza ripassare sullo strato depositato;
- preservare la fertilità del suolo seminando specie leguminose con possibilità di effettuare inerbimento in caso di interventi di lunga durata;

NB: se si prevedono interventi di lunga durata (ove non sia possibile o conveniente l'inerbimento) è opportuno proteggere i cumuli con materiale geotessile al fine di limitare le perdite di fertilità, l'erosione e l'invasione di specie indesiderate; lo stoccaggio dovrebbe durare preferibilmente meno di 6 mesi, max 1 anno, considerato che oltre i 6 mesi si verifica una drastica riduzione degli organismi del suolo (AASHTO 2011); per stoccaggi > di 6 mesi e con cumuli di altezza superiore ad 1,5 m si prevede di apportare compost per ripristinare la struttura del suolo e le popolazioni di organismi;

- monitorare ed eliminare eventuali sversamenti.



Figura 7 Sversamento di materiale in prossimità dei cumuli

2.1.6 Caratterizzazione e gestione del suolo al termine dell'opera (post-operam)

Nella fase post-operam il monitoraggio dovrà verificare che il ripristino delle aree temporaneamente occupate sia stato realizzato correttamente. La capacità di utilizzo delle aree e la loro funzionalità dovranno corrispondere alla situazione ante-operam. Sarà altresì necessaria la verifica di un eventuale peggioramento delle proprietà fisiche del suolo (struttura, permeabilità, porosità, consistenza) a seguito di non corrette modalità di ripristino. Di seguito si riportano le procedure per una corretta gestione del suolo al termine dell'opera:

- eliminazione dei residui di lavorazione, del materiale protettivo eventualmente posato (tout venant) sulla superficie degli orizzonti minerali;
- dissodamento del suolo attraverso uno scasso fino a 60 – 80 cm. L' Obiettivo è favorire la creazione di una macroporosità in grado di permettere una buona circolazione dell'aria e dell'acqua per un corretto sviluppo delle radici (Rivella et al. 2006). Si sottolinea l'importanza di effettuare tali operazioni quando il suolo è in "tempera" ovvero quando l'acqua in eccesso dovuta alle precipitazioni è defluita per gravità in profondità (Rivella et al. 2006);
- se il suolo è stato molto compattato è necessario procedere anche ad un decompattamento, con l'aiuto di un ripper montato su trattore di almeno 150 HP di potenza (Rivella et al. 2006);
- posa del suolo opportunamente accantonato: il riporto degli orizzonti superficiali di suolo, asportati durante i lavori di scavo, deve essere eseguito con molta attenzione: è importante ridistribuire gli orizzonti nel giusto ordine per non stravolgere le caratteristiche pedologiche del suolo e compromettere l'insediamento della copertura vegetale. In particolare occorre seguire gli accorgimenti di seguito riportati:



Figura 8 Posa del suolo

- creazione di uno strato drenante di base utilizzando la frazione più grossolana, eventualmente utilizzando lo scheletro;

- distribuzione della frazione minerale più fine o superficiale con eventuale interrimento dei sassi o utilizzo della frantumatrice. Se il riporto del suolo avviene su substrati particolarmente grossolani, al fine di evitare il deposito del terreno vegetale nella macroporosità degli strati sottostanti, è opportuna la posa di uno strato di fibra organica/geotessuto;
- distribuzione del topsoil: eventuale posa di «terreno vegetale alloctono», le cui caratteristiche devono essere opportunamente verificate (assenza di scheletro grossolano, tessitura franca, pH compreso tra 5,5 e 7, sostanza organica >1,5%, $8 < C/N < 15$, assenza di elementi tossici) (Rivella et al. 2006). La quantità di topsoil (accantonato o alloctono) da distribuire sulla superficie è un parametro cruciale per il ripristino della funzionalità del suolo e della vegetazione (Rivera et al. 2014). Il suolo è una risorsa non rinnovabile (e costosa) e come tale deve essere utilizzata in modo oculato. A tal proposito alcuni studi (ad es. Rivera et al. 2014) hanno dimostrato come l'apporto di 30 o 10 cm di suolo produca risultati del tutto simili in termini di ricchezza di specie e composizione floristica, mentre altri studi hanno evidenziato un incremento della copertura vegetale (Holmes 2001) e una diminuzione della ricchezza di specie all'aumentare del quantitativo utilizzato (Bowen et al. 2005). Nel caso di semina di specie erbacee annuali su scarpata, gli studi di Rivera et al. hanno evidenziato come l'apporto di 10 cm di topsoil rappresenti il giusto compromesso tra costi e benefici. Diversamente le specie erbacee perenni e quelle arboree/arbustive sembrerebbero trarre vantaggio dall'impiego di una maggiore quantità di suolo (Rivera et al. 2014). Alla luce di tali considerazioni è evidente che la quantità di topsoil da apportare è funzione di molteplici aspetti tra cui: a) condizioni stazionali, b) qualità del materiale apportato, c) specie utilizzate per il ripristino della copertura vegetale d) corretta applicazione delle buone pratiche, ecc.. È bene sottolineare che una corretta conservazione e gestione del topsoil preesistente consente un notevole risparmio, considerato che il costo al m³ per il terreno vegetale da rivestimento scarpate è di circa 16,00 euro mentre il terreno vegetale con humus ha un costo di circa 35,00 euro ;
- aratura incrociata, fino ad una profondità di almeno 30 cm, per incorporare il «terreno vegetale» (topsoil locale o alloctono) con quello dissodato in loco (generalmente orizzonti minerali B e/o C). In questo modo si evita la creazione di una discontinuità tra il suolo riportato e quello sottostante, generalmente causa di uno sviluppo superficiale degli apparati radicali (Rivella et al. 2006);
- letamazione auspicabile o comunque preferibile all'impiego di concimi minerali, i quali devono essere somministrati negli anni successivi e causano in generale uno sviluppo superficiale degli apparati radicali (Rivella et al. 2006);
- concimazione minerale localizzata nelle eventuali buche d'impianto delle specie arboree (Rivella et al. 2006).

Nelle situazioni più complesse può risultare utile la distribuzione di altri ammendanti quali compost e zeolite. La quantità da distribuire è funzione delle caratteristiche del suolo obiettivo.

In natura il suolo è frutto di una lunga e complessa evoluzione, che vede l'interazione di diversi fattori (clima, substrato, morfologia, vegetazione, uomo e tempo), nel caso di ripristino l'obiettivo è quello di predisporre un suolo in una sua fase iniziale, ma che abbia poi i presupposti per evolvere mantenendo caratteristiche ritenute idonee (ISPRA 2010).

2.1.7 Valutazione finale e monitoraggio

Il suolo è una matrice complessa caratterizzata da una elevata variabilità orizzontale, ovvero tra suoli diversi, e verticale, ovvero tra i diversi orizzonti di uno stesso suolo, a fronte invece di una variabilità temporale nettamente meno marcata rispetto ad altre matrici, quali l'acqua e l'aria.

Tutto ciò rende sicuramente difficile la creazione di una rete di monitoraggio che, per sua stessa definizione, dovrebbe permettere di seguire nel tempo l'evoluzione qualitativa della matrice monitorata.

Per il collaudo ed il monitoraggio il riferimento è quello della tabella del suolo obiettivo. La tecnica da adottarsi consiste nello scavo di minipits con integrazione di una trivella manuale per verificare le condizioni al di sotto della soglia di scavo. Si ricorda che un minipit può essere agevolmente scavato a mano e si tratta quindi di una tecnica non invasiva e poco costosa (ISPRA 2010). La valutazione deve tenere conto di molteplici aspetti, valutabili sia in campo (ad es. l'insediamento della vegetazione, gli indicatori direttamente applicabili) sia attraverso gli indici di qualità che necessitano delle analisi di laboratorio, non applicabile al nostro caso. Tuttavia un aspetto fondamentale di cui è necessario tenere conto è il fattore tempo. Il suolo e le sue proprietà infatti necessitano di tempo per riprendersi dai disturbi e ritornare a condizioni simili a quelle naturali. Il tempo necessario al ripristino è un fattore aleatorio che dipende da numerosi aspetti, tra cui le caratteristiche stagionali e dei suoli di origine, l'entità del disturbo, la corretta applicazione delle buone pratiche di gestione, il clima, ecc.. La valutazione della riuscita degli interventi deve quindi necessariamente tenere conto del fattore tempo. Ad esempio è stato dimostrato (Muñoz-Rojas et al. 2016) che alcune caratteristiche fondamentali del suolo, quali il contenuto di carbonio organico, l'attività e la diversità microbica, ritornano a livelli comparabili ai suoli naturali dopo almeno 4 anni dall'intervento di ripristino. L'insediamento della vegetazione è sicuramente un indicatore della buona riuscita dell'intervento nel breve-medio termine, tuttavia per avere indicazioni sull'effettiva riuscita e quindi sulla capacità del suolo di espletare le sue funzioni in modo continuativo, sarà necessario effettuare un monitoraggio periodico sul lungo termine.



Figura 9 Esempio di evoluzione pedoambientale post-operam

3. INERBIMENTI TECNICI

3.1 IMPORTANZA DELL'INERBIMENTO NEI RIPRISTINI AMBIENTALI

L'inerbimento consiste nella realizzazione di una copertura erbacea seminata con funzione di protezione superficiale del terreno, al fine di evitare l'insorgere di fenomeni di erosione del suolo e di ruscellamento superficiale dell'acqua che potrebbero pregiudicare la riuscita degli interventi di ripristino ambientale.

L'azione antierosiva di una cotica erbacea stabile si esplica sia a livello di apparato epigeo, sia ipogeo. Una copertura erbacea chiusa protegge il terreno dagli effetti dannosi derivanti da forze meccaniche (pioggia battente, grandine, erosione idrica, erosione eolica, ecc.), in seguito all'assorbimento di parte dell'energia cinetica sotto forma di lavoro di deformazione degli organi epigei. Inoltre all'aumentare della superficie fogliare (quantificabile ad es. come Leaf Area Index - LAI, ossia l'area fogliare rapportata all'unità di superficie di suolo, espressa in m² di superficie fogliare per m² di superficie di suolo), viene facilitata la restituzione in atmosfera, sotto forma di vapore, di parte delle precipitazioni intercettate (si parla propriamente di perdita di intercettazione).

A livello ipogeo le piante assolvono una importante funzione meccanica, sia trattenendo le particelle del suolo ed evitando un loro dilavamento, sia favorendo l'infiltrazione dell'acqua lungo vie preferenziali di percolazione e riducendo quindi il ruscellamento superficiale. Inoltre, l'apporto di sostanza organica, tramite organi morti ed essudati radicali, e la stimolazione nei confronti della microflora e microfauna tellurica accelerano i processi di umificazione con miglioramento delle caratteristiche strutturali e delle proprietà di coesione del terreno stesso.

L'azione antierosiva di una cotica erbacea è fortemente condizionata, oltre che dalla percentuale di copertura del suolo, anche dalla struttura verticale dello strato vegetale erbaceo, che anche con altezze limitate (30-90 cm) può presentare un notevole grado di complessità, in relazione alle forme biologiche presenti (specie a portamento eretto, a rosetta, reptanti, ecc.). In particolare è possibile distinguere all'interno della struttura verticale di una cotica erbacea due componenti (NSW Department of Primary Industries 2005) (figura 1):

- copertura vegetale superiore, al di sopra dei 5 cm di altezza dalla superficie del suolo, che svolge un ruolo fondamentale nell'intercettare la pioggia battente e ridurre l'impatto di questa sulla superficie del suolo;
- copertura di contatto, ovvero la copertura del materiale vegetale a contatto con il terreno (al di sotto dei 5 cm di altezza), che oltre a svolgere un ruolo di protezione nei confronti dell'effetto della pioggia battente, permette di ridurre il ruscellamento superficiale e favorisce la deposizione degli eventuali sedimenti trasportati dall'acqua; la copertura di contatto include fusti vegetali prostrati, rosette basali, aree basimetriche delle piante e lettiera, quest'ultima però meno efficace nel controllo del ruscellamento superficiale se non ancorata al suolo.

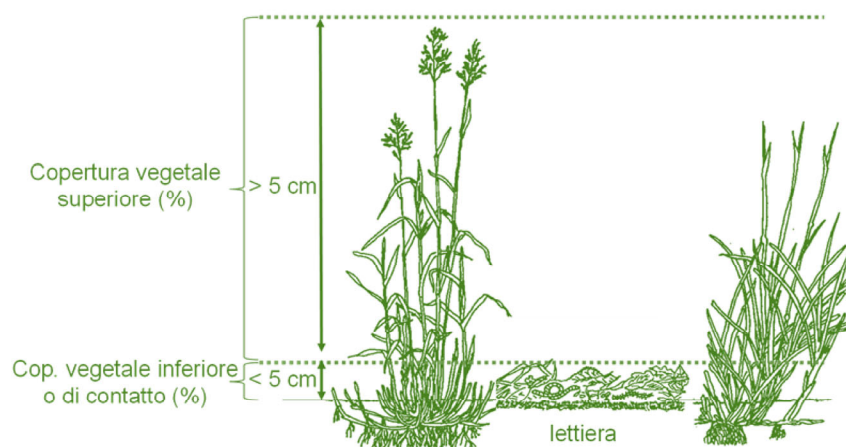


Figura 10 Stratificazione verticale osservabile all'interno di una cotica erbacea, con evidenziazione della copertura vegetale superiore e della copertura di contatto (Pignatti 1985, modificato)

La differenziazione tra copertura vegetale superiore e copertura di contatto è di cruciale importanza in quanto specie erbacee con portamento spiccatamente eretto e prive di foglie basali, quali ad es. l'erba medica (*Medicago sativa*), non sono in grado, anche quando coprono il suolo con elevate percentuali di copertura, di impedire il ruscellamento superficiale e quindi l'erosione del suolo, a causa della ridottissima copertura di contatto.

L'efficacia antierosiva di una copertura erbacea seminata è evidenziabile attraverso semplici misure sperimentali volte a quantificare il sedimento asportato; ad esempio Florineth (1994) ha evidenziato come su suoli nudi in erosione, durante il periodo vegetativo, vengano asportati in media 0,3-1,3 Kg di terreno per m², con punte anche di 5 Kg/m² in seguito ad un forte temporale (60 mm con grandine). Aree inerbite, di età superiore ai 3 anni, dimostrano invece un asporto di terreno assai più limitato (0,025-0,140 Kg/m²), mentre tappeti erbosi di origine naturale, ricchi di lettiera organica, non sono soggetti a una attività erosiva misurabile (figura 11).

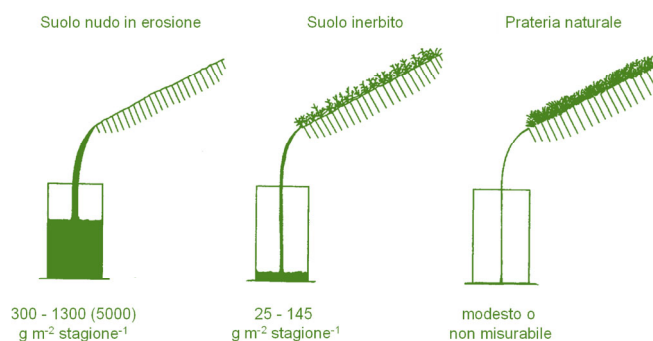


Figura 11 Misure sperimentali dell'erosione durante la stagione vegetativa in condizioni di copertura vegetale del suolo differenti (fonte dati Florineth, 1994)

Se la difesa contro i fenomeni erosivi superficiali rappresenta lo scopo primario degli interventi volti a favorire una elevata copertura vegetale, non vanno dimenticate le numerose e altrettanto importanti funzioni svolte da un manto erboso. Tra queste ricordiamo:

- a) trattenuta degli elementi nutritivi accumulati durante l'evoluzione pedogenetica, nell'ambito del profilo del suolo biologicamente attivo, con riduzione delle perdite per lisciviazione a valori comparabili a soprassuoli forestali;
- b) miglioramento del bilancio idrico e termico; in una giornata calda e soleggiata si calcola che gli strati di aria sovrastanti un prato, per effetto dell'evapotraspirazione fogliare, abbiano una temperatura inferiore di 5°C rispetto ad un terreno nudo e di 15°C rispetto ad una copertura d'asfalto (Noè 1994);
- c) mantenimento di condizioni microclimatiche favorevoli allo sviluppo biologico nel suolo e nello strato aereo prossimo al terreno stesso;
- d) capacità di filtrare e di decomporre, grazie all'ambiente umido e ricco di flora microbica, inquinanti atmosferici di vario genere depositati per gravità o tramite le piogge;
- e) migliore inserimento nel contesto ambientale delle aree rimaneggiate e mitigazione di impatti di tipo paesaggistico;
- f) mantenimento di una elevata biodiversità, sia vegetale, sia animale, e ricostituzione di habitat di interesse naturalistico.

Va evidenziato che la biodiversità della cotica erbacea risultante dalla semina agisce direttamente e indirettamente su tutti gli altri servizi ecosistemici; ad es. la presenza di specie differenziate per distribuzione verticale degli organi epigei e radicali consente di occupare meglio lo spazio aereo e sotterraneo, massimizzando l'effetto protettivo nei confronti di pioggia battente, ruscellamento, erosione e lisciviazione di nutrienti. La semplice consociazione di specie appartenenti alla famiglia delle Gramineae, caratterizzate da apparato radicale omorizzico con numerose radici fini che esplorano gli orizzonti superficiali del suolo, e Leguminosae, caratterizzate da apparato radicale a fittone che si approfonda negli orizzonti sottostanti, permette un efficace utilizzo dello spazio da parte degli apparati radicali di un inerbimento (figura 12). Queste considerazioni supportano l'evidenza scientifica che miscugli caratterizzati da una elevata diversità specifica danno origine a coperture vegetali in grado controllare efficacemente l'erosione superficiale (Lepš et al 2007; Kirmer et al. 2012).

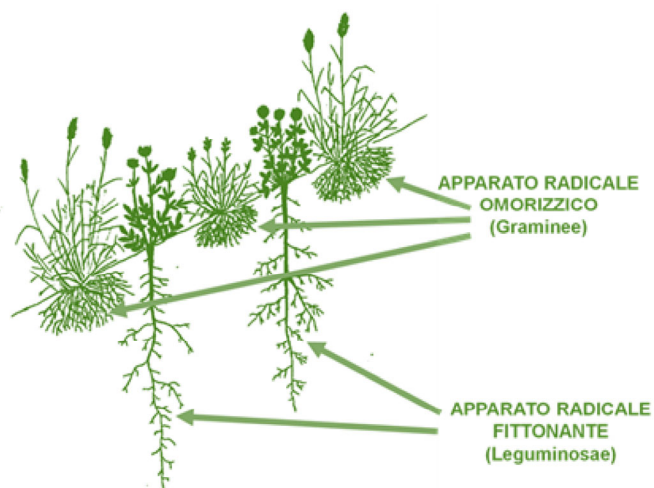


Figura 12 Esempio di distribuzione verticale complementare degli apparati radicali di specie appartenenti alla famiglia Gramineae (apparato radicale omorizzico) e Leguminosae (apparato radicale a fittone)

3.1.1 Tipologie di materiale utilizzabili per la semina

Tenuto conto che tutte le aree interessate dal progetto sono di proprietà privata e su tutta l'area gravitano aziende di allevamento bovino e ovino, alla sottrazione di suolo che interessa fundamentalmente macchia mediterranea bassa e in certi tratti degradata, si provvederà, con attenzione al sostegno dei conduttori agricoli, mediante la realizzazione di miglioramenti pascolo con tecniche di intervento poco invasive tali da non sconvolgere lo scarso suolo agrario presente.

Sono state individuate aree costituite prevalentemente da arbusti per una superficie pari a 166.636 mq, in cui si procederà nel modo seguente:

Mediante trattoria agricola di almeno 100 cv di potenza dotata di trincia forestale portata, verrà sminuzzata la vegetazione arbustiva costituita da arbusti, rispettando la vegetazione arborea presente.

La trincia forestale nell'eseguire l'operazione di trinciatura smuove i primi 5-10 cm di terreno agrario senza sconvolgerlo e mantenendo lo strato fertile in superficie.

Successivamente si procederà alla semina a spaglio mediante trattoria e contestuale concimazione.

La tipologia di seme scelto è il "Pro Montes" versione Sardinia, miscuglio particolarmente rustico e frugale, resistente al calpestamento, adatto a terreni acidi, neutri, alcalini con piovosità superiore ai 700 mm all'anno. La composizione è costituita da: Dactylis Glomerata 60% + Arudinacea 20% + Trifoglio Subterraneo 20% (già presente in situ, autoctona). Questo miscuglio unisce le eccellenti caratteristiche di Dactylis Glomerata, Festuca Arudinacea e Trifogli Subterranei, capaci di generare un prato oligofita molto produttivo e ricco di proteine, elementi che garantiscono un buon prato-pascolo e un ottimo foraggio. La quantità prevista è di circa 20 Kg/ha, per un totale di 260 kg di semente che può essere seminato sia in primavera che in autunno. Contestualmente verrà effettuata una concimazione complessa 08-24-24, Azoto Ammoniacale 8%; Anidride Fosforica 24%; Ossido di Potassio 24%; nelle dosi di 2.0 - 3.0 q. / ha, per un totale di 24-36 q.li di concime.

3.1.2 Valutazione della riuscita dell'inerbimento

La verifica della riuscita di un inerbimento tecnico è una tappa molto importante nella fase di valutazione di un ripristino ambientale. Tale verifica è articolata in più fasi, che nell'ordine prevedono:

- a) Rilievo della vegetazione insediata;
- b) Valutazione dei parametri vegetazionali connessi alla riuscita dell'inerbimento;
in particolare andranno valutati (i) la copertura vegetale della cotica erbosa (totale e delle specie perennanti); (ii) la presenza di specie esotiche; (iii) la biodiversità della vegetazione insediata; (iv) la naturalità della vegetazione.

- a) Rilievo della vegetazione insediata

La vegetazione può essere descritta all'interno di aree di saggio omogenee e rappresentative dell'inerbimento. Indipendentemente dal metodo utilizzato (intercept point quadrat method, transetto lineare, rilievo fitosociologico, ecc.), il rilievo vegetazionale dovrà permettere una quantificazione della copertura vegetale del suolo e una lista esaustiva delle specie vegetali presenti (nel caso di transetti lineari delimitando una porzione rettangolare che includa il transetto), attribuendo a ciascuna specie rilevata la propria percentuale di copertura (stima visiva o come proporzione dei contatti per gli altri metodi di rilievo).

- b) Valutazione dei parametri vegetazionali connessi alla riuscita dell'inerbimento

3.1.2.1 Copertura vegetale della cotica erbosa

Rappresenta l'area di insidenza della cotica erbosa proiettata al terreno. È un parametro importante per la valutazione della protezione antierosiva dell'inerbimento. In particolare varie fonti bibliografiche individuano nel 70% di copertura del suolo la soglia al di sopra della quale sia l'erosione superficiale del suolo e sia i fenomeni di ruscellamento superficiale si riducono sensibilmente (Lang 1979; Linse et al. 2001; NSW Department of Primary Industries 2005).

I fattori che concorrono nel determinare il quantitativo di suolo eroso sono numerosi; tra i più importanti ricordiamo il tipo di copertura vegetale (copertura superiore e di contatto), le caratteristiche del clima, la pendenza del terreno e le caratteristiche del suolo (tessitura e contenuto in sostanza organica) (NSW Department of Primary Industries 2005). Per questo motivo la relazione tra volume di suolo eroso e copertura vegetale risulta variabile di sperimentazione in sperimentazione (figura 8), ma nella maggior parte dei casi la soglia del 70% risulta realisticamente un buon compromesso per i risultati ottenibili rispetto a una copertura del 100%.

La stessa soglia del 70%, oltre che essere applicata alla copertura vegetale totale, può essere cautelativamente applicata anche alla percentuale di specie perennanti. Le specie annuali manifestano infatti fluttuazioni stagionali che determinano una copertura vegetale instabile e meno efficace nella protezione dall'erosione rispetto alle specie erbacee perennanti. Per calcolare la percentuale di specie perennanti in ogni singolo rilievo vegetazionale è sufficiente attribuire la forma biologica di appartenenza a ciascuna specie (facendo riferimento al database riportato in Pignatti et al. 2005) e ricalcolare la copertura delle sole specie perennanti (escluse quindi le terofite annuali) come sommatoria delle coperture delle singole specie.

3.1.2.2 Presenza di specie esotiche

Sebbene in particolari circostanze le specie esotiche possano essere considerate utili nel contesto dei ripristini ambientali (D'Antonio e Meyerson 2002), in generale la loro presenza viene considerata negativamente, in quanto competendo con le specie autoctone possono alterare profondamente le funzioni ecosistemiche e le dinamiche vegetazionali, vanificando gli obiettivi del ripristino (Vitousek et al. 1997; Nsikani et al. 2018). Basandosi sulla check-list delle specie alloctone della flora d'Italia (Galasso et al. 2018) è possibile evidenziare le specie esotiche tra quelle rilevate durante il monitoraggio; questo permette di calcolare (a livello di singolo rilievo) due parametri: (i) il numero totale di specie esotiche, correlato alla potenzialità invasiva in quel rilievo, e (ii) la percentuale di copertura totale delle specie esotiche (come somma delle coperture delle singole specie), che misura il grado di invasione in atto. Pur non potendo definire una soglia numerica di accettabilità per entrambi i parametri, essi permettono di descrivere comparativamente la riuscita del ripristino in differenti aree o possono essere utilizzati per confrontare la riuscita di differenti tecniche di inerbimento (ad es. miscugli poco e molto competitivi). Non sono state riscontrate presenze di specie esotiche.

3.1.2.3 *Biodiversità della vegetazione insediata*

Gli indici di biodiversità più frequentemente utilizzati in biologia (ricchezza specifica, indice di Shannon, equitabilità) possono essere facilmente calcolati per i singoli rilievi vegetazionali, in particolare se il rilievo prevede la compilazione di una lista esaustiva delle specie presenti (per il calcolo della ricchezza specifica, ovvero del numero totale di specie presenti) e la quantificazione delle percentuali di copertura (dalle cui proporzioni saranno calcolati l'indice di Shannon e l'equitabilità; Pignatti 1985). I valori numerici degli indici di biodiversità non vanno interpretati univocamente in modo positivo, perché un elevato numero di specie (= ricchezza specifica) potrebbe corrispondere a un elevato numero di specie indesiderate (ad es. esotiche o ruderali); allo stesso modo è risaputo che l'indice di Shannon presenti in generale valori molto alti nei primi stadi immaturi della dinamica vegetazionale (come si può verificare nei primi anni dopo l'inerbimento) rispetto a cenosi più evolute e stabili, prossime a quelle climaciche (Pignatti 1985). Per tutte queste ragioni, pur essendo gli indici di biodiversità utilizzati nel monitoraggio ambientale, risulta ben più interessante la valutazione della 'naturalità' della vegetazione, come descritto nel paragrafo successivo.

3.1.2.4 *Naturalità della vegetazione*

Il concetto di naturalità della vegetazione si basa sulla lettura di una serie di vegetazione che dopo un evento di disturbo (ad es. movimento terra) vede il susseguirsi di cenosi dinamicamente collegate tra di loro. Nei ripristini ambientali a bassa altitudine la dinamica inizia sempre da cenosi dominate da specie ruderali annuali, che solitamente si instaurano sul terreno nudo a partire dai propaguli che costituiscono la banca seme del terreno, fino ad arrivare, passando attraverso altre cenosi erbacee e arbustive e con tempi più o meno lunghi a seconda delle condizioni ambientali (in alcuni casi anche alcuni decenni di anni), a formazioni forestali caratterizzate da specie arboree e specie erbacee sciafile tipiche di sottobosco (querco-carpineto planiziale).

Gli stadi si susseguono nel tempo secondo un ordine crescente di naturalità delle cenosi: inizialmente sulle aree inerbite si insediano specie ruderali annuali della classe Stellarietea mediae, corrispondenti a specie infestanti dei coltivi (presenti nella banca seme dei topsoil utilizzati per la rivegetazione); tali specie, per quanto autoctone, svolgono un modesto ruolo dal punto di vista protettivo e ambientale, trattandosi di specie sinantropiche banali. Succedono a queste, nell'arco di uno-pochi anni, specie

ruderali perennanti delle classi Artemisietea e Agropyretea, che, per quanto riconducibili a cenosi nitrofile ruderali banali dal punto di vista vegetazionale, svolgono un miglior ruolo dal punto di vista della protezione dall'erosione (trattandosi di specie perennanti). Nei successivi stadi subentrano nel corso del tempo le specie tipiche delle praterie seminaturali (in pianura riconducibili alla classe Molinio-Arrhenathetea, su suoli mediamente fertili e freschi, e alla classe Festuco-Brometea, su suoli poveri e secchi); seguono quindi in ordine progressivo le specie tipiche degli orli vegetali (classe Trifolio-Geranietea sanguinei), ovvero specie erbacee semi-eliofile che preannunciano il successivo insediarsi di specie arbustive tipiche dei mantelli e delle cenosi arbustive (tipicamente appartenenti alla classe Crataego-Prunetea); infine completano la serie dinamica le specie legnose arboree e le specie erbacee sciafile tipiche dei boschi (classi Quercetea pubescentis, Quercetea robori-sessiliflorae, Carpino-Fagetea o Alnetea glutinosae, differenziate a seconda delle caratteristiche stazionali).

E' possibile valutare la naturalità (o in modo complementare la ruderalità) della vegetazione presente in nell'area oggetto di monitoraggio. In particolare la valutazione prevede due fasi sequenziali:

1) individuazione dello stadio obiettivo, ovvero dello stadio della successione che costituisce l'obiettivo del ripristino. Se il fine del ripristino è ottenere una foresta planiziale, la vegetazione obiettivo è quella dello stadio 'boschi'. Al contrario se l'obiettivo è rappresentato da una cenosi erbacea aperta, la vegetazione obiettivo coincide con lo stadio 'praterie seminaturali'; in quest'ultimo caso l'eventuale presenza di specie degli stadi 'arbusteti' e 'boschi' deve essere interpretata come negativa (ad es. specie favorite dall'assenza di gestione). In situazioni particolari lo stadio obiettivo può addirittura coincidere con comunità ruderali, ad es. l'inerbimento di argini di risaia dove vive *Lycena dispar*, lepidottero inserito nelle red-list nazionali e presente in Pianura Padana e Toscana settentrionale (Balletto et al. 2014), in quanto utilizza come piante nutrici specie ruderali del genere *Rumex*, quale *Rumex obtusifolius*, che presentano il proprio optimum fitosociologico nella classe *Artemisietea vulgaris* (Aeschimann et al. 2004);

2) quantificazione delle specie appartenenti a ciascuno stadio. Sulla base dei rilievi realizzati per il monitoraggio, a ciascuna specie rilevata è possibile attribuire il proprio optimum fitosociologico (sulla base delle indicazioni riportate in Aeschimann et al. 2004). L'optimum rappresenta la cenosi in cui la specie si trova più frequentemente, indipendentemente che possa essere considerata specie caratteristica (in quanto esclusiva) o no (non esclusiva) di quella fitocenosi. Ciascun optimum può

successivamente essere ricondotto gerarchicamente a una classe fitosociologica (sulla base dello schema sintassonomico riassuntivo riportato in Aeschimann et al. 2004) e ciascuna classe a uno stadio. L'abbondanza delle specie appartenenti a uno stadio piuttosto che a un altro (e quindi il loro significato negativo o positivo, a seconda dei casi) può essere quantificata con due parametri, con significato complementare: (a) il numero di specie (parametro correlato al potenziale di presenza di un determinato gruppo di specie) e (b) la percentuale di copertura totale (che rispecchia lo stato attuale di crescita di un determinato gruppo di specie). Due differenti esempi applicativi della metodologia qui descritta sono riportati in Lonati et al. (2018) e Vacchiano et al. (2016). La metodologia qui descritta è concettualmente simile al calcolo di indici numerici descritti in bibliografia (ad es. l'indice ecologico di maturità, Giupponi et al. 2015; l'emero-bia, Kovarik 1990; l'indice di naturalità, Machado 2004; ecc.) ma presenta una serie di vantaggi, tra cui principalmente (i) facilità di applicazione, perché basato su dati reperibili su una unica fonte bibliografica (Aeschimann et al. 2004); (ii) possibilità di personalizzare la valutazione dei risultati mediante la scelta dello stadio obiettivo (al contrario, un indice di maturità numerico attribuisce sempre un valore positivo alle specie tipiche di cenosi forestali, indipendentemente dall'obiettivo finale del ripristino). Tale metodologia è stata applicata per la valutazione della naturalità di cenosi in svariati contesti gestionali (verde urbano, Lonati et al. 2018; praterie seminaturali, Orlandi et al. 2016; boschi planiziali, Vacchiano et al. 2016) o per la valutazione dell'effetto di disturbi antropici e naturali (frequenza sfalci, Lonati et al. 2018; pascolamento, Pittarello et al. 2016, Perotti et al. 2018; incendi, Moris et al. 2017).

4. LA COMPONENTE FORESTALE

La vegetazione forestale presente all'interno di un determinato habitat è il risultato di complessi equilibri tra condizioni climatiche, microclimatiche, pedologiche, idriche e faunistiche, a loro volta influenzate dall'azione dell'uomo. A questi equilibri la vegetazione reagisce organizzandosi in comunità che possono risultare differenti anche in spazi molto ristretti. Inoltre, bisogna considerare che la natura è dinamica, in continua evoluzione allo scopo di adattarsi ai cambiamenti; nelle sue varie forme e funzioni, essa è la rappresentazione dei cambiamenti indotti dall'uomo e si riorganizza per formare nuovi ecosistemi.

È importante infine sottolineare che un ecosistema forestale non può essere semplificato a un insieme di alberi e arbusti, ma deve essere considerato come un complesso sistema di processi ecologici, dinamici e interagenti fra loro.

Si verificherà in particolare la scelta delle tecniche più idonee in relazione alle potenzialità e alle criticità del sito al fine di ridurre il rischio di insuccesso dell'impianto e limitare l'impegno economico.

4.1 LA COMPLESSITÀ DELL' INTERVENTO DI RECUPERO

Se un'area degradata a causa di un disturbo venisse abbandonata, sarebbe soggetta spontaneamente ad una serie di processi naturali che porterebbero, sul lungo periodo, al raggiungimento di una condizione di equilibrio con l'ambiente circostante, in cui il popolamento forestale è stabile in assenza di ulteriori disturbi.

Nel caso in cui il disturbo sia di origine antropica, come nel nostro caso, generato dalla cantierizzazione di un'area che abbia comportato il rimaneggiamento del substrato, l'asportazione del topsoil, la scomparsa o l'alterazione della banca semi e la rimozione degli apparati radicali (Parrotta et al. 1997), il processo di rinaturalizzazione richiederebbe delle tempistiche molto lunghe. È stato valutato, ad esempio, che possono trascorrere anche 100 anni prima che si sviluppi una soddisfacente copertura vegetale sui detriti da miniera (Bradshaw 2007).

Spesso in queste aree, dove le condizioni ecologiche possono essere anche molto distanti da quelle necessarie a garantire l'attecchimento e lo sviluppo di specie forestali esigenti, l'evoluzione naturale può condurre ad un soprassuolo finale diverso da quello ipotizzato in progetto.

Inoltre, queste aree sono spesso caratterizzate da condizioni estremamente favorevoli all'ingresso di specie ruderali e generaliste, non di rado alloctone a comportamento invasivo, che possono ulteriormente allungare i tempi necessari per il ripristino naturale della cenosi forestale tipica.

L'obiettivo principale di un intervento di recupero tramite la ricostituzione artificiale di cenosi vegetali, non è altro che l'accelerazione di un processo che altrimenti avrebbe luogo naturalmente (Singh et al. 2002).

Generalmente però, i progetti di recupero di queste aree interessano un orizzonte temporale di circa 3-4 anni. Durante il primo anno si effettuano gli interventi di preparazione del sito e di realizzazione dell'impianto, per poi

dedicare due o tre anni alla manutenzione ordinaria e straordinaria dell'impianto (sfalci, sostituzione delle fallanze, ecc.).

Un periodo di realizzazione e gestione circoscritto a 3-4 anni rappresenta una delle principali criticità dei progetti di recupero in aree fortemente degradate. In questo breve lasso di tempo infatti, solo nelle migliori condizioni di crescita, le piante messe a dimora possono raggiungere uno sviluppo sufficiente da non essere più soggette ai rischi più diffusi, come ad esempio i danni provocati dalla fauna, la competizione con la componente erbacea o i periodi di stress idrico.

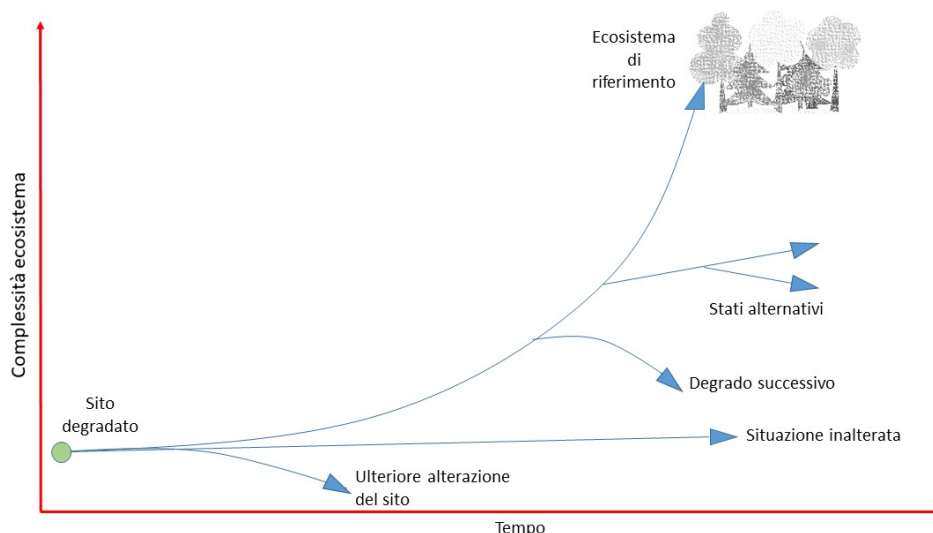


Figura 13 Potenziale percorso di recupero di un sito degradato (Hobbs and Mooney 1993, modificato)

La figura 13 sintetizza il potenziale percorso di recupero di un sito degradato. Il pieno recupero è l'obiettivo da raggiungere dove l'ecosistema di riferimento mostra la maggiore complessità funzionale. Il punto di partenza, rappresentato dal sito degradato, dipende dalle condizioni iniziali e dall'impatto subito. Più la distanza tra i due punti è elevata maggiore sarà la necessità di investire risorse ed energie per ottenere il recupero dell'ecosistema. Inoltre, maggiore è la distanza, maggiore saranno i rischi che la traiettoria progettata cambi direzione e assuma i contorni di una situazione non voluta.

Per aumentare la probabilità di raggiungere l'obiettivo è possibile operare in due modalità:

- (i) porre un obiettivo di recupero meno complesso e quindi più vicino allo stato di partenza, finalizzando gli interventi ad attivare dinamiche naturali e funzionalità che permetteranno di rendere il popolamento resistente, resiliente e, allo stesso tempo, in grado di evolversi naturalmente verso forme più complesse;
- (ii) investire maggiormente sul restauro della componente pedologica in modo da favorire le condizioni di accrescimento delle piante e la ripresa dei processi naturali.

In ogni caso, a garanzia di un adeguato percorso si rende necessario un attento e continuo monitoraggio dell'evoluzione del sito per evitare situazioni di deriva dalla traiettoria originale verso ecosistemi non voluti o condizioni di degrado simili a quelle di partenza.

4.2 DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI DEL PROGETTO DI RECUPERO

In generale l'obiettivo di un rimboschimento all'interno di un progetto di recupero ambientale è quello di favorire la ripresa di vegetazione autoctona, riproponendo artificialmente cenosi in grado di raggiungere una complessità strutturale tipica di quelle naturali e una maggiore diversità biologica. La definizione dell'obiettivo però non può prescindere dall'attenta analisi di alcuni fattori, tra loro interconnessi, che possono influenzare profondamente il risultato:

- intensità del disturbo: è necessario ricostruire in modo approfondito la cronologia degli eventi che hanno portato l'area d'intervento allo stato di degrado post-operam. Questo permetterà di valutare accuratamente il grado di alterazione del sito, di individuare i fattori che limitano i processi naturali e di calibrare adeguatamente le risorse necessarie per intervenire in modo efficace, riducendo al minimo i rischi di insuccesso dell'impianto;
- risorse economiche: se l'intensità del disturbo che ha interessato il sito è stata tale da richiedere un impegno economico non conciliabile con le risorse disponibili, il traguardo del pieno recupero potrebbe non essere raggiunto. In questi casi è meglio porre un obiettivo di restauro parziale ma realistico piuttosto che porsi un traguardo troppo ambizioso e non essere in grado di raggiungerlo. Ad esempio, è più opportuno orientare gli interventi sui fattori che limitano la ripresa delle dinamiche naturali di successione e sul monitoraggio dell'evoluzione del sito nel tempo. In alternativa, si possono concentrare gli interventi sulle aree più favorevoli allo sviluppo del nuovo soprassuolo, dalle quali, anche se con tempi più lunghi, potranno avviarsi processi di rinaturalizzazione verso il resto del sito;
- tempo a disposizione: come già sottolineato, in natura, il ripristino di tutte le funzioni di un habitat degradato richiede delle tempistiche lunghe e non conciliabili con quelle che in genere sono a disposizione di un operatore per effettuare il recupero ambientale. Condizioni pedologiche iniziali non adeguate all'attecchimento e allo sviluppo delle piantine e obiettivi ecologicamente complessi richiedono tempi di gestione e di monitoraggio prolungati;

- caratteristiche ecologiche del sito e uso del suolo circostante: le condizioni ecologiche post-operam del sito da recuperare e le caratteristiche delle aree limitrofe possono risultare determinanti nell'agevolare o nel rallentare i processi di rinaturalizzazione. Ad esempio, le aree di cantiere sovente presentano un suolo fortemente compattato con conseguenti problemi di ristagno idrico e difficoltà di penetrazione da parte degli apparati radicali. Dove invece la presenza eccessiva di scheletro grossolano determina un drenaggio rapido delle acque meteoriche o di quella apportata tramite l'irrigazione di soccorso, si possono verificare situazioni di deficit idrico.

Inoltre, le stesse aree sono spesso caratterizzate dalla quasi completa assenza di ombreggiamento, con effetti negativi sulle giovani piantine nei primi anni di sviluppo dopo la messa a dimora.

Tutte queste condizioni, oltre a rendere le aree poco idonee ad ospitare un bosco, favoriscono lo sviluppo di specie opportuniste, sovente alloctone e invasive, la cui diffusione può essere favorita sia dalla loro presenza nella banca semi inclusa nel materiale terroso riportato durante gli interventi di ripristino pedologico, che dalle condizioni ambientali nelle aree interferite dai lavori, che ne facilitano l'insediamento diretto.

Anche la destinazione d'uso delle aree adiacenti può influenzare l'esito dell'obiettivo. La presenza di superfici boscate con esemplari porta seme di specie autoctone possono rappresentare un ottimo nucleo di espansione e ricolonizzazione naturale su cui concentrare alcune risorse.

4.3 FATTORI CHE POSSONO COMPROMETTERE L'ESITO DELL'INTERVENTO

La fase progettuale di un intervento di recupero tiene conto di quei fattori, piuttosto comuni a tutti gli interventi e facilmente prevedibili, che possono compromettere l'esito del rimboschimento. Questi sono principalmente:

- a) la realizzazione degli interventi al di fuori dei periodi ottimali;
- b) i periodi prolungati di siccità;
- c) l'azione competitiva dello strato erbaceo sulle giovani piantine;
- d) il brucamento degli apici vegetativi o dell'intero fusto causato dall'azione di fauna selvatica come le lepri e dagli animali domestici che sono presenti nel sito come ovini e bovini.

Per ovviare a questi fattori si prenderanno i dovuti accorgimenti che si traducono ordinariamente in:

- a) interventi di irrigazione di soccorso durante i periodi prolungati di siccità;
- b) sfalci ripetuti e/o utilizzo di teli pacciamanti per diminuire la competizione con lo strato erbaceo;
- c) utilizzo di tutori fauna selvatica (shelter) intorno alle piantine, ed apposite recinzioni metalliche e recinzione elettrificata per la protezione dagli animali domestici che gravitano nell'area come ovini e bovini.

Queste azioni sono fondamentali ma a volte possono non bastare. Infatti, le aree interessate dai cantieri al termine del loro utilizzo presentano di solito caratteristiche tali da favorire il verificarsi di disturbi che non è

sempre possibile prevedere. Come ad esempio la presenza di erbivori domestici o selvatici, attacchi da parte di insetti defogliatori e la diffusione di specie vegetali invasive.

4.3.1 Insetti defogliatori

Un ulteriore fattore di disturbo, difficilmente prevedibile ma piuttosto diffuso nei popolamenti sughericoli della Sardegna, è rappresentato dalle infestazioni di lepidotteri defogliatori. Le larve di questi insetti vivono a spese delle foglie che vengono avvolte da una tela sericea ed erose completamente lasciando intatte solo le nervature principali. In caso di gravi attacchi la pianta può essere defogliata interamente. I danni sono soprattutto di tipo fisiologico ma possono ripercuotersi sull'accrescimento delle piante.

4.3.2 Specie esotiche invasive

Come già riportato le critiche condizioni pedologiche e microclimatiche tendono a favorire l'ingresso di specie vegetali opportuniste e generaliste come le classiche esotiche invasive. Ne sono un esempio, tra le entità erbacee il poligono giapponese (*Reynoutria* spp.), la sorghetta (*Sorghum halepense* L.) e la verga d'oro maggiore (*Solidago gigantea* Aiton). Queste specie, solitamente di alta taglia e rapida crescita, sottraggono nutrienti, luce e acqua alle piante e alcune mostrano processi allelopatici. La loro diffusione, che avviene solitamente in maniera prepotente, può determinare un grave danno all'impianto, sino a comprometterne la riuscita, richiedendo interventi di contenimento (sfalci o eradicazione) ravvicinati almeno per i primi anni dalla realizzazione.

4.3.3 Stress da trapianto

Durante le fasi di realizzazione degli impianti, le piantine sono soggette a una serie di spostamenti e manipolazioni che possono generare in loro una condizione di sofferenza. Questa può iniziare già in vivaio a seguito di una non corretta azione di estrazione delle piante a radice nuda dal substrato di allevamento o di quelle in pane di terra dal loro contenitore. Durante il tragitto dal vivaio al sito di messa a dimora, le piante rimangono esposte all'aria e al sole per un tempo che può essere prolungato soprattutto se la provenienza di queste non è locale. Un'ulteriore fase di sofferenza può essere provocata nel caso in cui non ci sia una perfetta sincronizzazione tra l'arrivo delle piantine e la fine delle operazioni di preparazione del sito, situazione che determina un'esposizione più o meno prolungata dell'apparato radicale all'aria. Infine le operazioni di messa a dimora delle piante possono essere causa di lesioni alle radici o alle gemme. Queste situazioni di sofferenza si traducono in una diminuzione dell'efficienza di alcune funzioni vitali della pianta. Infatti, per recuperare le condizioni fitosanitarie precedenti al trapianto le piantine vanno incontro al cosiddetto stress da trapianto. La durata di questa situazione è funzione della capacità della pianta di adattarsi più o meno rapidamente alle nuove condizioni di crescita (Rietveld 1989).

In particolare durante lo stress da trapianto la pianta riduce l'area fogliare e quindi la traspirazione e l'attività fotosintetica. In pratica l'esemplare arresta la crescita e l'emissione di nuove foglie, germogli e fiori, fino a quando non riesce a ritrovare le condizioni adatte per riprendere l'accrescimento.

Il compattamento e la scarsa umidità del suolo, solitamente presenti nei siti degradati, aumentano ulteriormente i tempi necessari alla piantina per uscire dalla condizione di stress da trapianto in quanto rallentano lo sviluppo radicale (Bennie 1991). Lunghi periodi di stress in cui la piantina arresta la crescita, diminuiscono la capacità di sfuggire alla competizione con le specie erbacee, rendendo necessari prolungati interventi di contenimento delle stesse. Un aspetto fondamentale è il monitoraggio continuo dei siti.

4.3.4 Causa di mortalità delle piantine

In riferimento agli interventi di rimboschimento mitigativi e di ripristino delle superfici occupate da cantieri in seguito al loro smantellamento, la mortalità è espressa dal numero di individui di una data popolazione che non sopravvive dopo un certo periodo di tempo dalla messa a dimora. Si distingue una mortalità ecologica ed una mortalità teorica. Mentre la prima è espressione della longevità degli individui della popolazione in condizioni ambientali esposte ai disturbi naturali e antropici, la seconda si verifica in condizioni ideali di assenza di fattori limitanti ed è quindi espressione della longevità massima che un organismo può raggiungere (Piuksi 1994).

La morte è un fenomeno che si verifica in seguito all'azione di diversi fattori fisici o biotici su organismi di ogni età, ma che si concentra soprattutto nei primi anni di vita degli individui per poi ridursi in quelli successivi, come viene ben espresso dalle curve di sopravvivenza nel grafico seguente (figura 14).

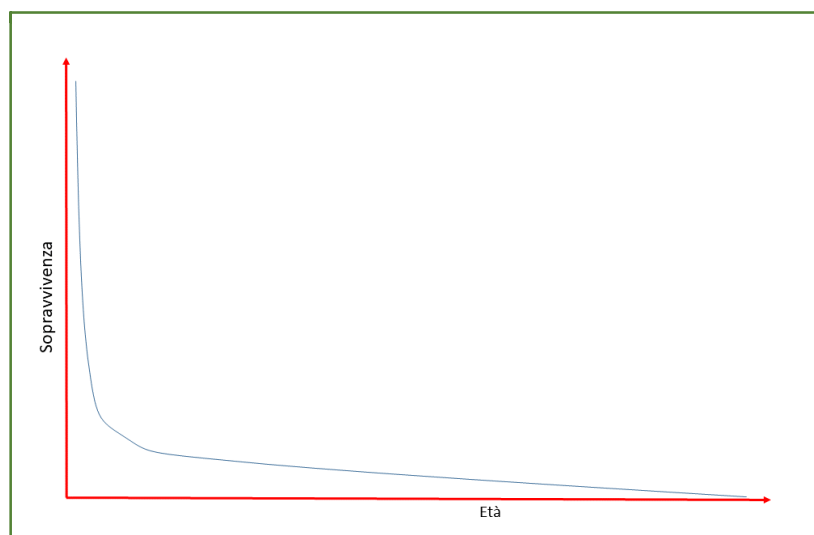


Figura 14 *Curva di sopravvivenza. tipica dei popolamenti arborei, indica un'alta mortalità negli stadi di vita iniziali che tende poi a ridursi in quelli successivi (Odum 1973, modificato)*

I fattori di stress che agiscono sulla sopravvivenza dei singoli individui sono molteplici e possono avere origine biotica o fisico-meccanica. Alcuni esempi di fattori di stress sono rappresentati dalla mancanza di luce, dai cambiamenti dei caratteri fisici e chimici del suolo, dalle condizioni estreme di umidità e di temperatura che si possono verificare in certe annate particolarmente piovose, siccitose o in inverni molto freddi, da disturbi creati da una pullulazione di insetti defogliatori o dall'azione di erbivori domestici (es: pecore) o selvatici (es: lepri) nell'area rimboschita. Inoltre questi fattori determinano un livello di stress più o meno elevato a seconda della specie interessata. Alcune piante infatti presentano caratteristiche di maggior resistenza e/o resilienza ad esempio al ristagno idrico prolungato piuttosto che alla siccità estiva rispetto ad altre più esigenti ecologicamente.

Nei rimboschimenti giovani la competizione con lo strato erbaceo, a livello radicale nei confronti della disponibilità idrica, e a livello epigeo nei confronti della luce, determina sugli individui processi di indebolimento e conseguentemente di predisposizione all'azione di un altro fattore di stress. Alla competizione si possono infatti aggiungere le condizioni fisiche avverse (vento, carico di neve, ristagno idrico ecc.), la predazione e il parassitismo (Franklin et al. 1987). Questi fattori intervengono spesso congiuntamente; in particolare un organismo può essere spesso debilitato da un determinato agente e di conseguenza subire con maggiore facilità l'azione letale di un altro. Un evento accidentale, quale lo scalzamento parziale dell'apparato radicale provocato ad esempio dalle alternanze di gelo e disgelo, dal calpestio o dal morso di un animale, rende più facile un attacco da parte dei funghi che provocano un ulteriore indebolimento meccanico dell'individuo e di conseguenza una maggiore predisposizione alla morte.

Una diversa suscettibilità nei confronti di stress e disturbi da parte degli individui può essere inoltre frutto di differenze specie-specifiche di resistenza o di vigoria legati a caratteri genetici o all'età.

Molto spesso le cause principali di morte sono differenti per individui di età diverse: nelle fasi iniziali di vita le piante soccombono spesso per la concorrenza con altre piante, mentre con il progredire dell'età le cause di mortalità legate ad eventi meteorici o meccanici prendono il sopravvento. Predatori e parassiti agiscono ad ogni età, ma le specie responsabili sono spesso diverse a seconda dell'età degli organismi attaccati (Piusi 1994).

Infine è da sottolineare come l'azione di un fattore di stress o la concomitanza di più fattori, può non determinare l'immediata morte dell'individuo, ma una fase più o meno lunga di riduzione dell'accrescimento ed un indebolimento generale, che lo rende più suscettibile a danni di origine biotica ed abiotica, e a cui segue solo dopo alcuni anni l'effettiva morte di questo.

4.3.5 Scelta delle specie da utilizzare

La valutazione delle specie da utilizzare per la realizzazione dell'impianto è sicuramente una delle scelte progettuali più importanti.

Spesso viene fatta basandosi sul tipo di vegetazione potenziale e sull'inquadramento fitoclimatico della stazione. Questa valutazione consente in teoria di individuare e scegliere quelle specie che con l'evoluzione naturale si sarebbero insediate autonomamente. Bisogna però tener in considerazione del fatto che, come si è visto in precedenza, le condizioni stazionali del substrato di crescita e quelle microclimatiche a seguito della dismissione del cantiere possono aver subito un forte impatto e non essere più idonee a sostenere le prime fasi di attecchimento e sviluppo delle giovani piantine.

L'individuazione delle specie deve quindi essere effettuata tenendo conto delle esigenze edafiche ed ecologiche delle diverse entità e confrontando la loro adattabilità ai parametri ambientali presenti nella stazione di intervento. Le aree di cantiere possono aver ospitato differenti attività, dalle quali sono derivati diversi impatti ecologici sul sito. In aree debolmente degradate o dove è stato possibile ripristinare in maniera adeguata le condizioni pedologiche e microstazionali, è ipotizzabile l'impiego di specie ecologicamente più esigenti e più prossime all'optimum fitoclimatico. Al contrario, in aree fortemente degradate, in cui le condizioni pedologiche e microstazionali sono state drasticamente alterate, e laddove non è possibile, per mancanza di risorse, effettuare un adeguato ripristino e/o una manutenzione sufficientemente prolungata, idonei a garantire lo sviluppo di specie esigenti, diventa più risolutivo proporre l'utilizzo di specie rustiche, in grado di garantire maggiore attecchimento, accrescimenti rapidi e resistenza ai fattori di stress tipici dei siti degradati.

La scelta delle specie basata su questi due criteri (importanza del disturbo e risorse per il recupero pedologico e la manutenzione) rappresenta solo uno step di questa fase.

Infatti la scelta può essere stabilita, ad esempio, anche in funzione degli obiettivi colturali da raggiungere e dal ruolo ecologico che ciascuna specie può svolgere nei confronti dell'intero ecosistema (facilitazione per specie più esigenti, miglioramento del suolo, rapido accrescimento o copertura del suolo).

Le N.A. del PPR, così come richiamato nel Piano Forestale Ambientale Regionale prevedono prescrizioni stringenti relative in particolare alla regolamentazione dei fattori di impatto antropico sugli ecosistemi fragili (dunali, costieri, di cresta, etc.), indicazioni sulle attività forestali indirizzate alla rinaturalizzazione dei sistemi degradati, il divieto di utilizzo di specie esotiche nei rimboschimenti nelle aree naturali e seminaturali, il recupero funzionale degli agroecosistemi.

5. PIANO DI RESTAUZIONE ECOLOGICA DEL SITO

Il consumo/occupazione del suolo, come si può vedere dalla tabella sottostante puntualmente contabilizzato e suddiviso per la fase di cantiere e di esercizio, riguarda prevalentemente nell'ordine:

- occupazione di suolo in fase di cantiere (posizionamento generatori 34.359 mq);
- consumo di suolo in fase di esercizio (generatori 16.250 mq, più stazione elettrica 2.857mq);
- consumo di suolo in fase di cantiere ed esercizio (adeguamenti strade esistenti 28.249 mq);
- consumo di suolo in fase di esercizio (viabilità di accesso ai generatori 144.881,80 mq).
- Superfici scarpate (Fase cantiere ed esercizio) 47.064mq.

	TIPOLOGIA DI INTERVENTO	CONDIZIONE A FINE LAVORI	LUNGHEZZA TRATTI [m]	SUPERFICIE STRADA [mq]
ROTONDA S.S.128	A - NUOVA VIABILITA' DI CANTIERE	RIPRISTINO	87	650
STRADA COMUNALE STERRATA SUELLI	B - ADEGUAMENTO STRADA STERRATA E NUOVA	PARZIALE RIPRISTINO	550	2977
STRADA COMUNALE STERRATA SISINI	C - NUOVA VIABILITA' DI CANTIERE	RIPRISTINO	176	1297
STRADA VICINALE SENORBI'-SISINI	D - ADEGUAMENTO STRADA ASFALTATA	RIPRISTINO	246	1128
STRADA COMUNALE SENORBI'	E - ADEGUAMENTO RACCORDO STRADA ASFALTATA	RIPRISTINO	41	352
S.P.23	F - ADEGUAMENTO RACCORDO STRADA ASFALTATA	RIPRISTINO	111	1538
	G - ADEGUAMENTO TRATTI IN CURVA TORNANTI	RIPRISTINO	86	818
	H - ADEGUAMENTO TRATTO IN CURVA	RIPRISTINO	70	126
STRADA COMUNALE PER SIURGUS	I - ADEGUAMENTO RACCORDO STRADA ASFALTATA	RIPRISTINO	122	1313
	L - ADEGUAMENTO PER INVERSIONE DI MARCIA	RIPRISTINO	65	581
	M - ADEGUAMENTO RACCORDO	RIPRISTINO	127	1115
VIA LAGO MULARGIA	N - NUOVA VIABILITA' DI CANTIERE	RIPRISTINO	660	8013
	O - ADEGUAMENTO RACCORDO IN CURVA	RIPRISTINO	111	734

	P - ADEGUAMENTO RACCORDO IN CURVA	RIPRISTINO	75	581
	Q - ADEGUAMENTO RACCORDO IN CURVA	RIPRISTINO	99	487
AREA TRASBORDO		RIPRISTINO		6539

	VIABILITA' INTERNA AL PARCO [mq] (Fase di cantiere ed esercizio)	LUNGHEZZA TRATTI STRADE [m]	28.249
WGT001	4821,03	349	
WGT002	9798,98	1031	
WGT003	4244,88	295	
WGT004	14072,23	1584	
WGT005	16287,03	1898	
WGT006	13835,48	1574	
WGT007	11351,08	1214	
WGT008	4752,80	355	
WGT009	12254,65	1319	
WGT010	32887,00	4095	
WGT011	5730,35	452	
WGT012	4178,68	317	
WGT014	10667,65	1205	
	144.881,80	15.688	

SUPERFICI SCARPATE (Fase cantiere ed esercizio) [mq]	47.064
--	---------------

AEROGENERATORE	OCCUPAZIONE DEL SUOLO [mq]	
	CANTIERE	ESERCIZIO
WGT001	2546	1250
WGT002	2899	1250
WGT003	2659	1250
WGT004	2988	1250
WGT005	2536	1250
WGT006	2542	1250
WGT007	2727	1250
WGT008	2545	1250

WGT009	2538	1250
WGT010	2800	1250
WGT011	2542	1250
WGT012	2500	1250
WGT014	2537	1250
	34.359	16.250

OPERE DI CONNESSIONE	OCCUPAZIONE DEL SUOLO [mq]	
	CANTIERE	ESERCIZIO
Stazione elettrica SELEGAS	2.857	2.857
Totale	2.857	2.857

OCCUPAZIONE COMPLESSIVA[mq]	
CANTIERE	ESERCIZIO
257.410,80	214.029,80

Tabella 1 - Occupazione di suolo in fase di cantiere e fase di esercizio

Dall'analisi dello studio delle opere in progetto, come evidenziato nella tabella, l'occupazione di suolo dei generatori in fase di cantiere è di 257.410,80 mq, mentre quella occupata in fase di esercizio è di 214.029,80 mq derivante dalla somma del suolo consumato dalla viabilità, dalla sottostazione e dalle piazzole definitive.

Tenendo conto delle peculiarità dell'area, con la presenza di aree seminaturali e antropizzate, si è pensato a interventi che compensassero dal punto di vista ecologico l'ecosistema dell'area senza escludere la vocazione agro-silvo-pastorale dell'area.

La perdita di naturalità (cantiere ed esercizio) riguarda prevalentemente la vegetazione arborea che verrà contabilizzata per il sito di progetto

5.1 OCCUPAZIONE DI SUOLO IN FASE DI CANTIERE

Come avuto modo di accennare precedentemente, l'occupazione di suolo in fase di cantiere, relativamente al posizionamento dei n. 13 generatori, può essere di seguito sintetizzato:

- occupazione di suolo totale in fase di cantiere: 257.410,80mq.

In particolare, l'occupazione di suolo in fase di cantiere per la posa in opera di ciascuno dei generatori è stato stimato in:

- occupazione media di suolo per ciascun generatore in fase di cantiere: 2600 mq.

Ad ogni torre corrisponde la realizzazione di una piazzola per il transito delle macchine operatrici adibite alla posa delle pale dell'aerogeneratore, dei tronchi di torre e della navicella.

Gli interventi e le tecniche di esecuzione proposte sono tra quelle potenzialmente impiegabili e dovranno trovare approfondimento nel progetto di dettaglio.

Nelle aree interessate e per l'intera superficie avverrà lo scotico di 10-15 cm di suolo che verrà depositato temporaneamente nelle aree adiacenti; una volta effettuate le operazioni di montaggio dell'aerogeneratore, verrà redistribuito nelle aree occupate temporaneamente. Il suolo naturale così redistribuito conterrà al suo interno una parte di semi; lo stesso verrà reintegrato con un miscuglio di specie erbacee PRO-MONTES versione SARDINIA, in ragione di 20-30 kg/ha, per un totale di circa 100 kg in totale, con l'aggiunta di 150 kg/ha di concime organo minerale, per un totale di 750g di concime. Le operazioni di semina verranno effettuate nei mesi di settembre-ottobre, oppure nei mesi di febbraio-marzo.

5.2 CONSUMO DI SUOLO IN FASE DI ESERCIZIO

Come avuto modo di accennare precedentemente, l'occupazione di suolo in fase di esercizio può essere suddivisa come a seguire:

- nei tratti di adeguamento della viabilità, in quella di accesso agli aerogeneratori e nell'area delle piazzole si avrà una perdita stimata di piante arboree adulte pari a circa n. 400;
- occupazione di suolo in fase di esercizio (generatori 16.250 mq, più stazione elettrica 2.857 mq);

- occupazione di suolo in fase di cantiere ed esercizio (adeguamento strade esistenti 173.130,8 mq);
- occupazione di suolo in fase di esercizio (viabilità di accesso ai generatori 144.881,80 mq).
- Superfici scarpate (Fase cantiere ed esercizio) 47.064mq.

Gli interventi e le tecniche di esecuzione proposte nei paragrafi seguenti sono tra quelle potenzialmente impiegabili e dovranno trovare approfondimento nel progetto di dettaglio.

Per compensare l'occupazione di suolo in fase di esercizio e migliorare la stabilità dei soprassuoli esistenti si è pensato di intervenire mediante:

- interventi diretti a compensare l'occupazione di suolo per migliorarne la stabilità e produttività;
- interventi diretti a migliorare le condizioni del soprassuolo arboreo per ottimizzarne la produttività e preservarne la conservazione mediante la lotta attiva contro gli incendi;
- interventi volti a preservare gli elementi identitari, che dovranno essere preceduti da studi di dettaglio dell'area interessata

Gli interventi sono stati sintetizzati di seguito:

- ≡ Interventi di miglioramento pascoli (a sostegno del pascolo prescritto), per compensare l'occupazione di suolo (rapporto 1:1);
- ≡ Interventi di imboscamento compensativo per perdita di vegetazione (rapporto 1:10);
- ≡ Interventi di ripristino dei muri a secco (rapporto 1:1);
- ≡ Interventi per la realizzazione di opere infrastrutturali per la lotta attiva contro gli incendi,

Si rimanda all'elaborato V.1.23 Interventi di mitigazione e compensazione per gli approfondimenti necessari.

Bibliografia

- Andrews, A., 1990. Fragmentation of habitat by roads and utility corridors: a review. *Aust. J. Zool.* 26:130–41.
- Atkinson, R.B., Cairns Jr., 1992. Ecological risks of highways (Review), *Advances in Modern Environmental Toxicology*, Vol. 20: 237-262
- Bennett, A.F., 1991. Roads, roadsides and wildlife conservation: a review, *Nature conservation 2: the role of corridors*: 99-117.
- Canter, K., 1997. *Habitat Fragmentation & Infrastructure*. Minist. Transp., Public Works & Water Manage., Delft, Netherlands. 474 pp.
- De Leo, G.A., Levin S., 1997. The Multifaceted Aspects of Ecosystem Integrity, *Conservation Ecology*: Vol. 1, N. 1, 22 pages
- Dinetti, M., 2012. *Progettazione ecologica delle infrastrutture di trasporto*. Felici Editore.
- Forman, R.T.T., Hersperger A.M., 1996. Road ecology and road density in different landscapes, with international planning and mitigation solutions. In *Trends in Addressing Transportation Related Wildlife Mortality: Proceedings of the Transportation Related Wildlife Mortality Semina*: 1–22.
- Parrotta, J.A., Turnbull, J.W., Jonesc, N., 1997. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands, *Forest ecology and management*
- SER, 2004. *Fondamenti di restauro ecologico della SER*, Gruppo di lavoro Scienza e Politica Versione italiana di Roberto Rossi, Novella Ardinghi, Mario Cenni e Marco Ugolini.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 2011. *Environmental Stewardship Practices, Procedures and Policies for Highway Construction and Maintenance*. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Project 25- 25 (04). Chapter 4 Construction Practices for Environmental Stewardship. Section 4.11 Soil Management in Construction. http://environment.transportation.org/environmental_issues/construct_maint_prac/compendium/manual/.
- AA.VV., 2006. Appendice: specifiche delle proprietà e qualità dei suoli. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 912.
- ARPAV, 2007. L'interpretazione delle analisi del terreno. http://www.arpa.veneto.it/arpavinforma/pubblicazioni/linterpretazione-delle-analisi-del-terreno/at_download/file.

- Bassignana, M., Curtaz, A., Curtaz, F., D'Amico M., Filippa, G., Freppaz, F., Icardi, M., 2011. Manuale Tecnico dei Miglioramenti Fondiari in Zona Montana. IAR - Institut Agricole Régional, Rég. La Rochère 1/A, I-11100 Aosta.
- Bastida, F., Zsolnay, A., Hernandez, T., Garcia, C., 2008. Past, present and future of soil quality indices: a biological perspective. *Geoderma* 147: 159 –171.
- Bethenfalvay, G., Linderman, R., 1992. Mycorrhizae in Sustainable Agriculture. ASA Special Publication No. 54. American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Bowen, C. K., Schuman, G. E., Olson, R. A., Ingram, L. J., 2005. Influence of topsoil depth on plant and soil attributes of 24-year old reclaimed mined lands. *Arid Land Research and Management* 19: 267–284.
- Calzolari, C., Ungaro, F., Filippi, N., Guermandi, M., Malucelli, F., Marchi, N., Staffilani, F., Tarocco, P., 2016. A methodological framework to assess the multiple contributions of soils to ecosystem services delivery at regional scale. *Geoderma* 261: 190 – 203. doi:10.1016/j.geoderma.2015.07.013
- Celi, L., Bonifacio, E., 2016. Fertilità del suolo e disponibilità dei nutrienti. In: Grignani, C., *Fertilizzazione Sostenibile. Principi, tecnologie ed esempi operativi*. Edagricole, Bologna, pp. 121-164. ISBN: 978- 88-506 - 5445-1
- City of Toronto. 2010. Tree Protection Policy and Specifications for Construction Near Trees. Parks, Forestry and Recreation. Urban Forestry. Toronto, Ontario. <https://www.toronto.ca/data/parks/pdf/trees/tree-protection-specs.pdf>
- Coffin, A.W., 2007. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography* 15: 396 – 406.
- Colombo, C. & Miano, T.M. (eds), 2015. *Metodi di analisi chimica del suolo*. 3a versione, SISS, Pubblicità e Stampa, Bari, Italy.
- Comitato per il Capitale Naturale, 2018. Secondo rapporto sullo stato del capitale naturale in Italia. <http://www.minambiente.it/pagina/capitale-naturale>.
- Costantini E.A., 2006. La classificazione della capacità d'uso delle terre (Land Capability Classification). In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 53 – 62.
- Costantini, E.A.C., 2007. Linee guida dei metodi di rilevamento e informatizzazione dei dati pedologici. CRA_ABP, Firenze, Italia. <http://abp.entecra.it/soilmaps/en/downloads.html>
- Costantini, E.A.C., Branquinho, C., Nunes, A., Schwilch, G., Stavi, .I, Valdecantos, A., Zucca, C., 2015. Soil indicators to assess the effectiveness of restoration strategies in dryland ecosystems. *Solid Earth Discussions* 7: 3645 – 3687.
- Fila Mauro, E. 2017. Pianificazione e paesaggio Agroforestale, le aree di elevato interesse agronomico e la capacità d'uso dei suoli. Grugliasco, 12 maggio 2017.
- Forman, R.T.T., Alexander, L.E., 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 29, 207–231.

- Gelsomino, A., 2010. Introduzione alla Giornata SISS, Qualità del Suolo in relazione al suo uso, Reggio Calabria, 1 dicembre 2010.
- Giardini, L., 2004. Agronomia Generale ambientale e aziendale. Patròn Editore, Bologna.
- Harris, J., 2003. Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration. European Journal of Soil Science 54: 801 – 808.
- Hayhoe, H., Tarnocai, C., 1993. Effect of site disturbance on the soil thermal regime near Fort- Simpson, Northwest-Territories, Canada. Arctic and Alpine Research 25: 37 – 44.
- Holmes, P.M., 2001. Shrubland restoration following woody alien invasion and mining: Effects of topsoil depth, seed source, and fertilizer addition. Restoration Ecology 9: 71 – 84.
- IPLA, 2010. Manuale operativo per la valutazione della capacità d'uso su scala aziendale. http://www.regione.piemonte.it/governo/bollettino/abbonati/2010/07/attach/dgr_13271_040_08022010_a1.pdf.
- ISPRA, 2010. Il trattamento dei suoli nei ripristini ambientali legati alle infrastrutture. <http://www.isprambiente.gov.it/files/manuale65-2010/65.2-suoli.pdf>.
- Ivey, J.L., McBride, R.A., 1999. Delineating the zone of topsoil disturbance around buried utilities on agricultural land. Land Degradation & Development 10: 531– 544.
- Klingebiel, A.A., Montgomery, P.H., 1961. Land capability classification. USDA Agricultural Handbook 210, US Government Printing Office, Washington, DC.
- Kowaljow, E., Rostagno, C.M., 2008. Gas-pipeline installation effects on superficial soil properties and vegetation cover in Northeastern Chubut. Ciencia del Suelo 26: 51 – 62.
- Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma 123: 1 – 22.
- Lal R., 2013. Soils and ecosystem services. In: Ecosystem services and carbon sequestration in the biosphere, Lal, R., Lorenz, K., Hüttl, R.F., Schneider, B.U., von Braun, J., (ed). Springer: The Netherlands, pp. 11 – 38.
- Lamb, D., Erskine P.D, Fletcher, A., 2015. Widening gap between expectations and practice in Australian minesite rehabilitation. Ecological Management & Restoration 16: 186 –195
- Marinari, S., Dell'Abate, M., Brunetti, G., Dazzi, C., 2010. Differences of stabilized organic carbon fractions and microbiological activity along Mediterranean Vertisols and Alfisols profiles. Geoderma 156: 379 – 388.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-Being. Washington, DC: Island Press.
- MATTM, 2018. Manuale di autovalutazione del suolo. http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/life/LifeCarbOnFarm_Manuale_autovalutazione_suolo.pdf.
- Morris, L., Lowery, R., 1998. Influence of Site Preparations on Soil Conditions Affecting Stand Establishment and Tree Growth. Southern Journal of Applied Forestry 12 (3): 170 –178.

- Muñoz-Rojas, M., Erickson, T.E., Dixon, K.W., Merritt, D.J., 2016. Soil quality indicators to assess functionality of restored soils in degraded semiarid ecosystems. *Restoration Ecology* 24: S43–S52. DOI:10.1111/rec.12368.
- Parisi, V., Menta, C., Gardi, C., Jacomini, C., and Mozzanica, E., 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy, *Agriculture Ecosystem & Environment* 105: 323 – 333.
- Perring, M.P., Standish, R.J., Price, J.N., Craig, M.D., Erickson, T.E., Ruthrof, K.X., Whiteley, A.S., Valentine, L.E., Hobbs, R.J., 2015. Advances in restoration ecology: rising to the challenges of the coming decades. *Ecosphere* 6. DOI: 10.1890/ES1815-00121.00121
- Regione Liguria, Dipartimento Agricoltura, Protezione Civile e Turismo settore servizi alle imprese agricole Settore Servizi alle Imprese Agricole. http://www.agriligurianet.it/en/impresa/assistenza-tecnica-e-centri-servizio/laboratorio-analisi-terreni-e-produzioni-vegetali/interpretazione-agronomica/item/download/1495_3cd8d092dc35cb574cbc9ce7b36d1817.html.
- Rivella, E., De Antonis, L., Molinari, VM., 2006. Le tecniche e i materiali di base. In: Socco C., Rivella, E., Maffiotti, A., (a cura di), *Edilizia per l'ambiente: spazi della mobilità urbana, giardini parchi e verde urbano*, Utet, Torino, 2006, pp. 187-201.
- Rivera, D., Mejías, V., Jaúregui, B.M., Costa Tenorio, M., López Archilla, A.I., Peco, B., 2014.
- Spreading topsoil encourages ecological restoration on embankments: soil fertility, microbial activity and vegetation cover. *PLoS One* 9, e101413. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101413>
- Sequi, P., Benedetti, A., Dell'Abate, M.T. (Eds.), 2006. *ATLAS, Atlante di Indicatori della Qualità del Suolo*. CRA-Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante, Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Roma, Italy.
- SIPe, 2019. Pillole di suolo 1. <http://www.pedologiasipe.it/wp-content/uploads/2016/05/Pillole-di-suolo-1.pdf>.
- Shrestha, R.K., Lal, R., 2006. Ecosystem carbon budgeting and soil carbon sequestration in reclaimed mine soil. *Environment International* 32: 781 – 796.
- Soon, Y.K., Arshad, M.A., Rice, W.A., Mills, P., 2000. Recovery of chemical and physical properties of boreal plain soils impacted by pipeline burial. *Canadian Journal of Soil Science* 80: 489 – 497.