Capitolo 3

Le opere di cantiere

3. Le opere di cantiere.

3.1 - Introduzione.

La fase di cantiere comprende la quasi totalità delle opere necessarie alla realizzazione di un parco eolico e per questo costituisce la fase più delicata di tutto il processo. Difatti nel cantiere sono concentrate l'insieme delle azioni che effettivamente determinano la trasformazione del luogo che ospita l'impianto, sia durante i lavori, sia nel periodo successivo.
Le opere di cantiere sono strettamente legate alla taglia e alle dimensioni degli aerogeneratori impiegati, oltre ovviamente all'estensione dell'intero parco eolico. In ogni caso è indispensabile considerare che ogni azienda impegnata nella realizzazione di impianti eolici necessita di specifiche condizioni cantieristiche al momento della collocazione degli elementi delle turbine nella loro sede definitiva.

3.2 - Descrizione delle principali opere di cantiere.

Viabilità. Nella fase di cantiere ci si occupa anche del trasporto degli aerogeneratori e, di conseguenza, della realizzazione o dell'adeguamento di tutta la viabilità, sia interna che di accesso al sito.

Fig.3.1 – Trasporto navicella, mozzo e altri accessori

Se per alcuni componenti, quali la navicella o altri accessori di minore entità (Fig. 3.1), possono essere utilizzati mezzi pesanti comuni, il trasporto delle pale e dei conci delle torri

avviene di norma con mezzi di trasporto eccezionale, spesso con pianale posteriore allungabile (Fig. 3.2). A seconda della taglia prevista, tali veicoli possono raggiungere davvero dimensioni notevoli, anche oltre i cinquanta metri, e per questo i percorsi devono rispettare determinati requisiti dimensionali.

Fig.3.2 – Trasporto conci della torre

Questi sono generalmente stabiliti dai produttori o dalle aziende di trasporto e si occupano di indicare misure di sicurezza sia per l'ingombro dei mezzi in sezione, sia per le condizioni delle strade in curva e in incroci.
I produttori di turbine eoliche forniscono anche indicazioni sulle pendenze e sulle caratteristiche costruttive delle sedi stradali che devono essere realizzate, attraverso specifiche stratificazioni, considerando le sollecitazioni alle quali sono sottoposte.

Piazzole di montaggio. Le piazzole di stoccaggio e montaggio sono poste in prossimità degli aerogeneratori e, generalmente realizzate in piano, devono contenere sia un'area per consentire lo scarico dei vari elementi dai mezzi di trasporto, sia un'area per il posizionamento della gru. (Fig.3.3)

Anche le piazzole per il montaggio delle turbine eoliche devono attenersi a specifici requisiti dimensionali fornite dalle aziende del settore eolico, sia per quanto riguarda lo stoccaggio e il montaggio degli elementi delle turbine stesse, sia per le manovre necessarie al montaggio e al funzionamento delle gru.
Così come per la viabilità, la taglia e le dimensioni degli aerogeneratori incidono ampiamente sull'estensione totale di questi spazi.

Fig.3.3 – Piazzole e gru per il montaggio degli aerogeneratori

Fondazioni. La torre di sostegno delle turbine eoliche è fissata al terreno attraverso una fondazione che di regola viene realizzata in calcestruzzo armato, le cui dimensioni variano a seconda della taglia della turbina e del terreno presente. Le aziende costruttrici utilizzano spesso modelli prestabiliti ma la progettazione delle opere di fondazione viene di norma affidata ad aziende locali specializzate che si occupano del dimensionamento della struttura e della verifica della idoneità dei suoli.

Fig.3.4 – Fondazioni degli aerogeneratori

La grande gabbia metallica viene realizzata attorno all'elemento base della torre, detto concio di fondazione, che ha lo scopo appunto di legare gli elementi della torre con il basamento. Nella maggior parte dei casi la struttura di sostegno degli aerogeneratori è costituita da un grosso plinto a base quadrata, detto “suola”, spesso a forma di parallelepipedo oppure con rastremazione verso l'alto e da un elemento che avvolge il concio di fondazione, il “colletto”. Alcune aziende, di recente, propongono invece un modello a base circolare che permette una distribuzione dei carichi omogenea, indipendentemente dalla direzione dei venti. (Fig. 3.4)

Montaggio degli aerogeneratori. Le torri tubolari delle moderne turbine eoliche sono costituite da più elementi, generalmente da un minimo di due, per i modelli di taglia media, fino a cinque per le torri che raggiungono i cento metri di altezza. Questi elementi, detti conci, vengono dapprima sistemati nelle piazzole di stoccaggio, per poi essere sollevati da una o più gru e montati uno per volta. Le operazioni di montaggio proseguono con l'alloggiamento della navicella ed infine del rotore, precedentemente assemblato. (Fig. 3.5)

Fig.3.5 – Sollevamento e montaggio del rotore

Linee elettriche e cavidotti. Il cantiere si conclude con la realizzazione di tutte le opere relative all'installazione delle linee elettriche ed al loro collegamento con la rete di trasmissione. (Fig.3.6)

Fig.3.6 – Lavori di scavo per l'alloggio dei cavi

Generalmente i generatori eolici producono una corrente alternata a 690 V che viene elevata a circa 20-30 kV, tramite un trasformatore interno alla struttura della torre. Quando questo apparato è posto esteriormente all'aerogeneratore va inserito in apposite strutture dette appunto cabine di trasformazione, e la loro messa in opera è da contemplare nelle fasi di cantieramento.

Le linee elettriche che si diramano dai trasformatori sono collegate, attraverso cavidotti interrati, ad una sottostazione, realizzata in adiacenza alla rete elettrica nazionale.

3.3 - Problematiche del cantiere e impatto sull'ambiente.

Nella realizzazione di un impianto eolico la maggior parte degli impatti sull'ambiente si verificano durante la fase di cantiere. I disagi possono manifestarsi sia nel corso dei lavori stessi, sia a posteriori a causa delle opere di cantiere a carattere permanente e della maggiore presenza dell'uomo sull'area.
Essenzialmente gli impatti maggiori sono quelli arrecati all'ambiente naturale, ma spesso sono i disagi all'ambiente antropico a destare maggiori attenzioni e polemiche.

3.3.1 - Impatto sull'ambiente naturale.

Nel caso della realizzazione di una centrale eolica, gli impatti sulla vegetazione sono legati soprattutto alle diverse opere di cantiere; la realizzazione o l'adeguamento della viabilità di servizio e d'accesso alla centrale, le opere di fondazione degli aerogeneratori, le piazzole per lo stoccaggio ed il montaggio, le linee elettriche. Il possibile impatto sulla flora e sulle comunità vegetazionali è connesso con il rischio di distruzione della popolazione di specie rare o localizzate relativamente alle quali gli sbancamenti e le opere di cantierizzazione in generale, possono determinare un significativo calo demografico compromettendone la sopravvivenza.

Fig.3.7 – Impianto eolico abruzzese

Le strade delle windfarm moderne, a seconda delle macchine impiegate, devono avere diversi requisiti specifici e spesso, in territori che presentano morfologie irregolari e discrete acclività, la necessità di rispettare tali requisiti impone la realizzazione di grandi opere di scavo e di sbancamento. Ciò che in realtà è avvenuto in alcune installazioni abruzzesi. (Fig.3.7)
Le aree occupate dagli impianti nella nostra regione sono generalmente situate in luoghi dove le pendenze sono spesso eccessive. Inoltre, visto che i terreni sono costituiti per lo più da boschi e da praterie adibite a pascolo, la viabilità è scarsa e raramente tende a solcare i crinali.
Negli impianti abruzzesi, tuttavia, i percorsi degli impianti eolici presenti sono stati realizzati seguendo tecniche e criteri piuttosto differenti fra loro. Le installazioni più datate, dovendo accogliere aerogeneratori di modeste dimensioni, non presentano strade particolarmente vistose e impattanti. Addirittura alcuni dei percorsi dei siti di Palena e Collarmele sono stati quasi riconquistati dalla vegetazione.
Al contrario, i nuovi impianti, sono stati caratterizzati dalla realizzazione di grandi opere accessorie. (Fig.3.8)

Fig. 3.8 – Confronto viabilità impianti abruzzesi

Le dimensioni delle macchine di nuova generazione impongono l'impiego di determinati interventi e anche le tecniche operative utilizzate possono avere un ruolo non trascurabile, ma

sono senza dubbio le condizioni locali a determinare l'entità delle opere di cantiere e la loro effettiva fattibilità, in special modo quando si occupano luoghi morfologicamente accidentati.
Nel caso in cui il sito eolico disponga a priori di una viabilità interna e di accesso, gli interventi sono limitati all'adeguamento delle stesse, tali da consentire il transito dei grandi mezzi e dei mezzi di supporto come le gru per lo scarico ed il sollevamento dei materiali, anch'esse di dimensioni rilevanti. (Fig.3.9)

Fig. 3.9 – Operazioni di sollevamento di un concio di torre

Quando invece si opera in aree prive di viabilità o quando quella esistente presenta diverse difficoltà, è necessario ricorrere alla realizzazione di nuovi percorsi. In luoghi particolarmente sensibili tutto ciò può determinare grandi cambiamenti e può scaturire serie ripercussioni sulla stabilità degli habitat presenti. L'eccessiva modificazione dei suoli e della vegetazione può determinare la creazione di processi irreversibili, talvolta innescando gravi fenomeni erosivi. È ovvio che la scelta dei percorsi da effettuare deve essere oggetto di accurate valutazioni, ed è tanto più ovvio che si devono utilizzare aree pianeggianti e con almeno la viabilità principale presente.

Inoltre va stabilito se le opere relative ai percorsi, sia interni che di accesso al sito, devono assumere carattere di temporaneità o se è necessaria la loro conservazione durante tutta la fase di esercizio dell'impianto. In ogni caso, al termine dei lavori, cioè quando non è più richiesta la presenza dei mezzi di trasporto di grandi dimensioni, le superfici sottratte al manto erboso devono essere ricondotte al loro stato originario, attraverso le tecniche suggerite dall'ingegneria naturalistica.

L'impiego di queste applicazioni è auspicabile anche per il ripristino delle aree utilizzate per lo stoccaggio ed il montaggio degli aerogeneratori. (Fig.3.10)

Queste aree richiedono superfici molto estese e livellate e, così come per le strade, spesso occorrono diverse opere di scavo e di accumulo del materiale di rilevato. Quando queste aree sono realizzate in luoghi con forti pendenze, le dimensioni effettive sono decisamente maggiori. Inoltre le macchine operatrici, per poter lavorare in queste condizioni, sono costrette ad occupare spazi esterni all'area predisposta, con ulteriori trasformazioni del suolo.

Fig.3.10 – Piazzola di montaggio

Anche l'operazione di interramento dei cavi elettrici e di trasmissione dati richiede particolare cura ed attenzione nella fase di cantiere. Lo scavo necessario, seppur di modeste dimensioni, comporta comunque una sottrazione del manto erboso. Inoltre le macchine operatrici possono causare ulteriori disagi al terreno. Per questo, per ridurre al minimo gli impatti, oltre a

ripristinare lo stato originario una volta completati i lavori, è preferibile collocare le linee elettriche interrate in adiacenza ai percorsi principali.

I luoghi che generalmente presentano una vocazione al vento, in Abruzzo così come su tutti gli Appennini, sono situati nelle zone montane e di conseguenza in zone particolarmente sensibili dal punto di vista naturalistico. Durante la fase cantieristica, la realizzazione di un parco eolico in questi luoghi può comportare seri disagi anche nei confronti del mondo animale. La sottrazione di suolo e gli sbancamenti necessari alla realizzazione delle opere accessorie, in assenza di particolari attenzioni, possono comportare un notevole stravolgimento degli equilibri ambientali e degli habitat naturali. La modifica di un habitat naturale può avere serie conseguenze sull'alimentazione, sulla nidificazione e sulla riproduzione degli individui coinvolti fino al conseguente allontanamento o addirittura alla totale scomparsa dall'area occupata.

In più la maggior parte della fauna e dell'avifauna selvatica è particolarmente minacciata dalla massiccia e costante presenza dell'uomo e delle macchine operatrici durante l'intera fase di costruzione dell'impianto. (Fig.3.11)

	AMBIENTE NATURALE				
	suolo e vegetazione		*fauna e avifauna*		
tipologia impatto	**riduzione delle specie floristiche e delle comunità vegetazionali**	**erosione dei suoli**	**disturbo da rumore e pressione antropica**	**perdita di habitat**	**barriera agli spostamenti**
categorie coinvolte	_ecosistemi di prateria	_zone con forte acclività	_avifauna _chirotteri _mammiferi _altri taxa	_avifauna _chirotteri _mammiferi _altri taxa	_grandi mammiferi
causa	_opere di scavo e sbancamento _atraversamento di aree pascolive da parte di macchine operatrici	_opere di scavo e sbancamento	_presenza di tecnici ed operai _presenza di macchine operatrici e mezzi di trasporto	_opere di scavo e sbancamento	_presenza di tecnici ed operai _presenza di macchine operatrici e mezzi di trasporto
effetti	_rischio di distruzione della popolazione di specie floristiche e comunità vegetazionali rare _alterazioni delle unità ecosistemiche	_gravi processi erosivi _processi erosivi anche sulle pendici sottostanti _danni all'ecosistema montano	_abbandono temporaneo o definitivo dell'area _probabili effetti sulla riproduzione	_sottrazione di suoli _riduzione dei territori di caccia _riduzione delle aree di riproduzione e nidificazione	_possibilità di ostruzione di corridoi ecologici importanti
possibili mitigazioni	_utilizzo della viabilità esistente _ricostituzione della cotica erbosa attraverso opere di ingegneria naturalistica _individuazione di percorsi obbligati durante i lavori e controlli sulle maestranze	_utilizzo della viabilità esistente _ricostituzione della cotica erbosa attraverso opere di ingegneria naturalistica _utilizzo di aree con modesta acclività (inferiore al 15%)	_riduzione di tempi ed opere di cantiere _organizzazione del cantiere in funzione della presenza temporanea delle specie sensibili	_riduzione di tempi ed opere di cantiere _organizzazione del cantiere in funzione della presenza temporanea delle specie sensibili _ricostituzione della cotica erbosa attraverso opere di ingegneria naturalistica	_riduzione di tempi ed opere di cantiere _organizzazione del cantiere in funzione della presenza temporanea delle specie sensibili

Fig.3.11 – Matrice impatto sull'ambiente naturale

3.3.2 - Impatto sull'ambiente antropico.

Gli impatti sull'uomo sono senza dubbio quelli che destano maggiori clamori e spesso a manifestare disagi non sono solo le popolazioni residenti nei luoghi che ospitano gli impianti.

Essenzialmente si tratta di un fenomeno di tipo sociale piuttosto comune, guidato da una forma di scetticismo nei confronti delle installazioni eoliche nel loro insieme, comprensibilmente motivato dal carattere invasivo di questa tecnologia.
Va considerato che i disagi sulle popolazioni locali sono particolarmente manifesti proprio durante le operazioni di cantiere a causa dei lavori di scavo e sbancamento delle macchine operatrici e della cospicua presenza di grandi gru e mezzi di trasporto. (Fig.3.12)

Fig.3.12 – Concio di torre su mezzo eccezionale allungabile

Oltre al disturbo dovuto all'eccessivo rumore, il disagio per i residenti è costituito dalla visuale irrimediabilmente alterata del proprio paesaggio. Per questo una collocazione degli impianti in aree distanti dai centri abitati e da luoghi di grande frequentazione può essere in grado di garantire una maggiore accettazione pubblica.
È evidente che anche in questo caso gli impatti sono mitigabili attraverso una corretta programmazione e conduzione delle opere cantieristiche. Molti dei disagi causati in questa delicata fase possono essere attutiti attraverso un maggiore coinvolgimento delle popolazioni locali al momento della promozione e della redazione del progetto del parco eolico. Un ulteriore possibilità di mitigazione è costituita infine dall'impiego di render tridimensionali e simulazioni fotografiche, che possono offrire una visuale realistica dei luoghi dell'impianto a lavori terminati ma anche e soprattutto durante le operazioni di cantiere. (Fig.3.13)

AMBIENTE ANTROPICO				
tipologia impatto	**pubblico dissenso**	**interferenza sulle attività umane**	**impatto acustico**	**impatto visivo**
categorie coinvolte	_popolazioni locali _associazioni ambientaliste _turisti	_attività legate all'agricoltura e alla pastorizia _attività ricettive _comunità locali _turisti	_attività ricettive _comunità locali _turisti	_attività ricettive _comunità locali _turisti
causa	_impianti posti in prossimità di centri abitati, aree protette e luoghi di interesse _carenza di regolamentazioni _carenza di campagne informative _lunghi tempi di cantieramento	_viabilità e opere di scavo e sbancamento	_impianti posti in prossimità di centri abitati, aree protette e luoghi di interesse _trasporto degli aerogeneratori _viabilità e opere di scavo e sbancamento	_impianto con grande quantità di aerogeneratori _viabilità e opere di scavo e sbancamento _presenza di macchine operatrici e mezzi di trasporto
effetti	_"NIMBY" sindrome _proteste di cittadini e ambientalisti _ostilità alla tecnologia eolica	_riduzione dei terreni utilizzati in agricoltura e per i pascoli _riduzione della fruizione da parte delle comunità locali e dei turisti	_eccessivo livello di pressione sonora e conseguente disturbo alle comunità locali e ai turisti	_"NIMBY" sindrome _ostilità alla tecnologia eolica
possibili mitigazioni	_distanze da centri abitati, aree protette e luoghi di interesse sufficientemente ampie _riduzione di tempi ed opere di cantiere _coinvolgimento delle comunità locali e delle associazioni al progetto	_distanze da attività turistico-ricettive sufficientemente ampie _riduzione di tempi ed opere di cantiere	_distanze da centri abitati, aree protette e luoghi di interesse sufficientemente ampie _riduzione di tempi ed opere di cantiere	_riduzione di tempi ed opere di cantiere _limitazione del numero di aerogeneratori _riduzione di tempi ed opere di cantiere _ricostituzione della cotica erbosa attraverso opere di ingegneria naturalistica

Fig.3.13 – Matrice impatto sull'ambiente antropico

3.4 - Indicazioni e modalità di esecuzione delle opere di cantiere dei parchi eolici abruzzesi.

Emerge con chiarezza che le operazioni di cantiere delle installazioni eoliche sul territorio abruzzese non possono essere affrontate con casualità o seguendo criteri tipici delle opere civili tradizionali.

È indispensabile considerare che l'entità dei fenomeni impattanti è strettamente legata sia alle modalità di esecuzione dei lavori, sia all'organizzazione della totalità delle opere di cantieramento.

3.4.1 - Organizzazione del cantiere.

Ne consegue che tutte gli interventi di questa delicata fase dovranno essere progettati e programmati perseguendo l'obiettivo di minimizzare gli spazi utilizzati ed i tempi necessari alla costruzione dell'impianto.

Organizzazione spaziale del cantiere. La distribuzione planimetrica delle aree necessarie all'esecuzione delle opere cantieristiche dovrà seguire la seguente schematizzazione. (Fig.3.14)

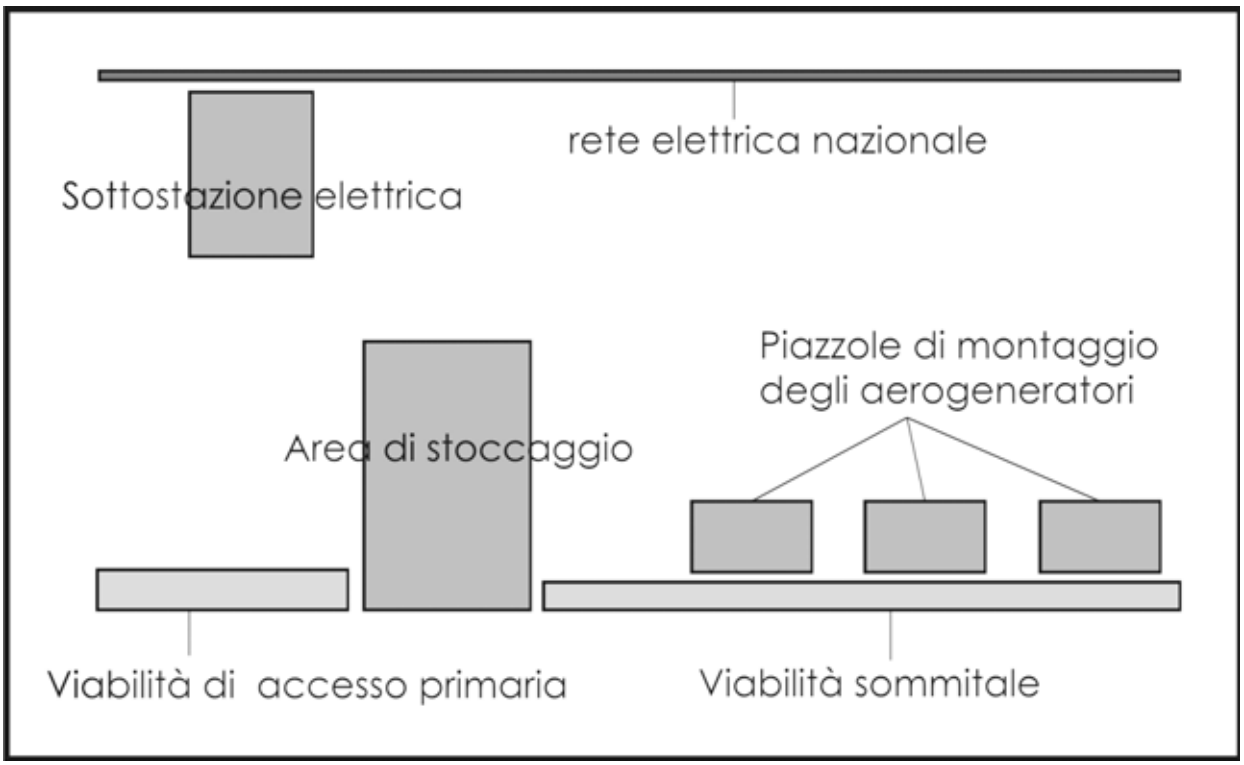


Fig.3.14 – Organizzazione spaziale del cantiere

Organizzazione temporale del cantiere. Le operazioni di cantiere dovranno essere minuziosamente programmate e collocate con precisione nel tempo.

A tale scopo sarà quindi necessario redigere un apposito calendario di cantiere che tenga conto, oltre alla disposizione cronologica degli interventi, degli eventuali periodi di interruzione. È infatti possibile che, per motivi di tutela ambientale o per problemi meteo-climatici, il cantiere venga temporaneamente sospeso. Periodi di interruzione possono essere previsti anche al fine di ridurre gli impatti sulle attività umane, ad esempio nei pressi di centri storici o turistici, nei periodi di maggiore affluenza.

Ad eccezione delle interruzioni programmate, dovranno essere evitati i cosiddetti tempi "morti", ovvero periodi ingiustificati di sosta, e conseguentemente eccessivi prolungamenti dei tempi di esecuzione previsti.
Inoltre è necessario che il calendario di cantiere sia stilato anche in considerazione delle operazioni di ripristino della cotica erbosa e dei relativi tempi di esecuzione.
Le varie fasi di cantiere dovranno quindi prevedere:

I FASE: trasporto e stoccaggio degli elementi degli aerogeneratori
II FASE: realizzazione della viabilità sommitale, delle piazzole di montaggio, delle opere di fondazione e dei cavidotti.
II FASE: montaggio degli aerogeneratori
IV FASE: realizzazione delle opere di ripristino ambientale

3.4.2 - Indicazioni tecniche.

Le indicazioni che seguono rappresentano delle regole che disciplinano la realizzazione dei parchi eolici abruzzesi, suddivise per ogni tipologia d'intervento.

La viabilità di accesso. La viabilità di accesso è costituita dall'insieme dei tracciati stradali necessari al trasporto degli aerogeneratori dalle fabbriche di produzione al sito eolico, esattamente fino all'area destinata allo stoccaggio. La viabilità di accesso primaria dovrà essere obbligatoriamente già presente, e sarà compito esclusivo delle aziende costruttrici verificarne le caratteristiche dimensionali e l'idoneità al transito dei mezzi previsti.

L'area di stoccaggio. L'aerea di stoccaggio è predisposta per il deposito temporaneo degli elementi delle turbine e segna fisicamente l'ingresso al parco eolico.
Le aree di stoccaggio dovranno essere presenti in numero pari a quello degli accessi principali e le loro dimensioni dovranno essere proporzionali alla quantità di apparecchiature da installare.
A differenza della viabilità primaria, queste aree possono essere realizzate dal nuovo, anche attraverso opere di scavo e sbancamento, ma a condizione che il terreno presenti una pendenza media non superiore ai 14°. Inoltre dovranno essere realizzate obbligatoriamente tutte le opere di ripristino della cotica erbosa e di consolidamento di eventuali scarpate.

La viabilità sommitale. Per viabilità sommitale ci si riferisce alla serie di percorsi interni del parco, che collegano l'area di stoccaggio con le piazzole di montaggio degli aerogeneratori. Questa viabilità secondaria potrà essere individuata sia su nuovi tracciati che su preesistenze.

Non esistono prescrizioni o limitazioni riguardo alla pendenza dei percorsi, purché sia sufficiente a consentire il regolare transito dei mezzi eccezionali.
Così come per le aree di stoccaggio, dovranno essere condotte tutte le operazioni di ingegneria naturalistica, sia per il ripristino della vegetazione, sia per la riqualificazione delle scarpate e dei terrapieni.

Le piazzole di montaggio e le fondazioni degli aerogeneratori. In queste aree vengono realizzati i plinti di fondazione delle turbine eoliche e sistemate le gru e le attrezzature necessarie al sollevamento dei vari elementi. Per quanto riguarda le prescrizioni tecniche si dovrà far riferimento a quelle esposte relativamente all'area di stoccaggio.
Le opere di fondazione delle torri eoliche dovranno essere completamente interrate e ricoperte da vegetazione.

Le sottostazioni elettriche e i cavidotti. Nelle sottostazioni elettriche viene convogliata l'energia prodotta dalle turbine eoliche ed elevata alla tensione della rete nazionale. Queste strutture devono essere quindi realizzate in adiacenza alle linee di trasmissione elettrica nazionali. Per quanto riguarda le prescrizioni tecniche si fa riferimento a quelle previste per le aree di stoccaggio, sia per i requisiti morfologici dei terreni, sia per le operazioni di ripristino.
Tutti i cavidotti devono essere interrati e posti, salvo impedimenti, in adiacenza ai tracciati stradali. Anche in questo caso la cotica erbosa rimossa va ricondotta allo stato originario.

3.5 - Operazioni di ripristino ambientale.

Come si è già detto, le opere di ripristino della cotica erbosa possono attenuare notevolmente gli impatti sull'ambiente naturale, annullandoli quasi del tutto nelle condizioni maggiormente favorevoli. In più le opere di ripristino possono essere estese a tutti gli interventi che consentono una maggiore conservazione degli ecosistemi montani ed una maggiore integrazione con l'ambiente naturale.
Per questo tutte le aree sulle quali sono state effettuate opere che comportano una modifica dei suoli, delle scarpate, dei corsi d'acqua, e delle attività biologiche ad essi connesse, dovranno essere ricondotti allo stato originario, attraverso le tecniche, le metodologie ed i materiali utilizzati dall'Ingegneria naturalistica. A differenza dell'ingegneria civile tradizionale, questa disciplina utilizza piante e materiali naturali, per la difesa e il ripristino dei suoli.
Nel caso della realizzazione di una fattoria eolica, in particolar modo se situata in ambienti sensibili dal punto di vista naturalistico, tali interventi giocano un ruolo di assoluta importanza. Difatti le operazioni di ripristino possono consentire, attraverso una efficace minimizzazione degli impatti, la conservazione degli habitat naturali presenti. Le opere di ingegneria

naturalistica sono impiegate anche per evitare o limitare i fenomeni erosivi innescati dalla sottrazione e dalla modifica dei suoli. Inoltre la ricostituzione della coltre erbosa può consentire notevoli benefici anche per quanto riguarda le problematiche legate all'impatto visivo.

3.5.1 - L'Ingegneria Naturalistica.

Deontologia e metodologia dell'ingegneria naturalistica.

Le opere di ripristino degli impianti eolici, si riferiscono essenzialmente al rinverdimento e al consolidamento delle superfici sottratte per la realizzazione dei percorsi e delle aree necessarie alla realizzazione dell'impianto. Queste opere devono essere parte integrante e funzionale del progetto di cantiere e vanno progettate contestualmente ad esso, con un grado di approfondimento proporzionale alle varie fasi e non possono essere rimandate a fine progetto o addirittura a fine lavori come generici "interventi a verde".
Le tecniche d'intervento utilizzate dall'ingegneria naturalistica sono molteplici e diversificate in funzione delle caratteristiche geomorfologiche locali. Per questo tutte le opere di ripristino e riqualificazione ambientale previste devono perseguire la scelta di impiego di tecniche, metodologie e materiali che maggiormente si adattano al caso specifico e che consentono un rapido ed efficace ripristino delle condizioni originarie.

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

(Naturalità crescente ↑)

Legenda:
XXX = impiego esclusivo;
XX = possibilità di impiego preferenziale;
X = impiego indifferente in funzione delle scelte progettuali;
- = incompatibilità assoluta.
[1] Utilizzo solo per la soluzione di problemi geotecnici ed idraulici per la protezione diretta di edifici o infrastrutture esistenti.
(*) Nelle categorie materiali biodegradabili, naturali o artificiali si fa riferimento a quelli strutturali e non ai componenti

Fonte: AIPIN, 2002.

Fig. 3.15 – Schema "naturalità crescente"

Inoltre devono essere realizzate in funzione della “naturalità” del luogo sede del parco eolico. La tipologia di piante e materiali impiegati a tale scopo può essere adottata seguendo lo schema suggerito dall'AIPIN (Associazione Italiana Per l'Ingegneria Naturalistica), dove ad ambienti maggiormente sensibili corrisponde l'uso di semine autoctone e materiali naturali e biodegradabili. Il concetto generale è quello di impiegare il più possibile tecnologie e materiali naturali, ricorrendo a soluzioni artificiali solo nei casi di necessità strutturale e/o funzionale. Deve comunque essere adottata la tecnologia meno complessa e a minor livello di energia (complessità, tecnicismo, artificialità, rigidità, costo) a pari risultato funzionale e biologico.
(Fig.3.15)

Le tipologie d’intervento nell’ingegneria naturalistica.

Gli interventi di ingegneria naturalistica si suddividono in **opere di copertura, opere di stabilizzazione e opere di sostegno**.

Le opere di copertura consistono nella semina di specie erbacee per proteggere il suolo dall’erosione superficiale, dalle acque di dilavamento e dall’azione dei vari agenti meteorologici, ripristinando la copertura vegetale. Sono interventi spesso integrati da interventi stabilizzanti.
Le principali opere di copertura sono: le semine a spaglio, le idrosemine, le semine a spessore, le semine su reti o stuoie, le semine con coltre protettiva (paglia,fieno ecc.). (Figg. 3.16 e 3.17)
Le opere di stabilizzazione del suolo sono operazioni di consolidamento effettuate tramite l’azione legante degli apparati radicali e la sottrazione dell’acqua mediante traspirazione. Sono costruzioni lineari che seguono l’andamento delle isoipse e che si ripetono secondo un determinato interasse, diverso a seconda della tecnica impiegata (gradonata, fascinata, viminata, etc).Le opere di stabilizzazione più utilizzate sono: la gradonata, la fascinata, la cordonata e la palizzata, tutte eventualmente con l’impiego di talee e piantine. (Fig.3.18)

Fig.3.16 – Semine normale, con biostuoia in cocco e paglia, con biotessile in juta

Fig.3.17 – Semina a spaglio e idrosemina

Fig.3.18 – Cordonate e gradonate

Fig.3.19 – Gabbionate rinverdite e Grate vive

Le opere di sostegno di ingegneria naturalistica sono effettuate per dare sostegno al versante, soprattutto in corrispondenza della corona, nei tratti a forte pendenza e al piede del versante stesso; vengono impiegati materiali da costruzione vivi combinati con quelli inerti; l'inserimento dei materiali vivi è fondamentale per il raggiungimento dell'efficacia di queste opere, in quanto la funzione di sostegno può essere svolta dalla vegetazione, qualora le strutture di sostegno decadano per deperimento.
Le opere di sostegno sono numerose ed elaborate. Tra le più frequenti: palificate con pareti rinverdite, grate vive a parete rinverdite, gabbionate rinverdite, terre rinforzate, etc. (Fig.3.19)

Per ognuna di queste categorie è previsto l'impiego di diversi materiali e tecniche, scelti in funzione di diversi parametri, quali le caratteristiche morfologiche del pendio, le caratteristiche geologiche e geomeccaniche dei litotipi, l'andamento della superficie freatica, le condizioni climatiche, pedologiche e vegetazionali del luogo sede dell'intervento. In più vanno considerate anche la disponibilità e l'accessibilità dei mezzi di lavoro, oltre ovviamente alle capacità tecniche e operative del personale addetto.
Detto ciò va evidenziato che generalmente, nonostante le innumerevoli variabili elencate, gli interventi di ingegneria naturalistica dipendono maggiormente dall'acclività del versante.

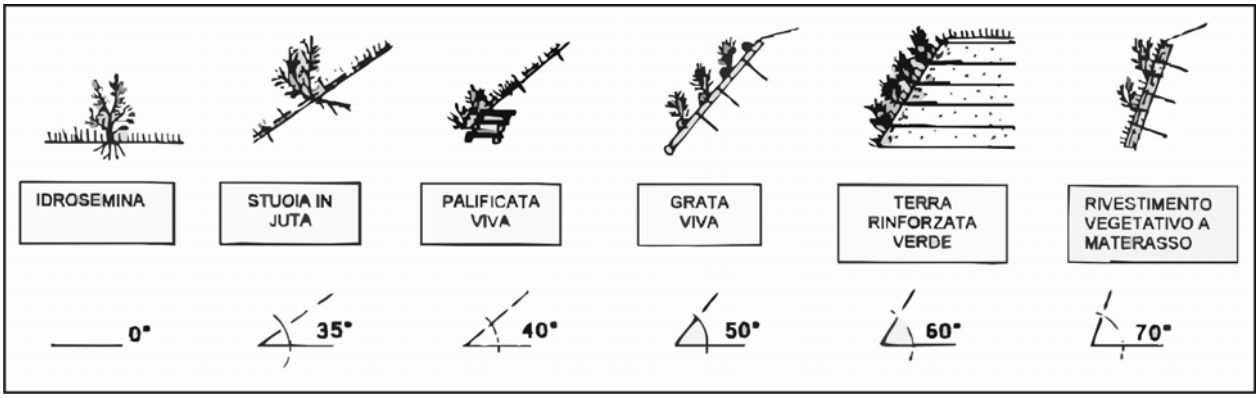


Fig. 3.20 – Opere di ingegneria naturalistica distinte per pendenza

Ed è proprio in funzione della pendenza che le tre modalità principali d'intervento (copertura, stabilizzazione e sostegno) vengono classificate, in un ordine quasi sequenziale. (Fig.3.20)
Difatti anche dallo schema seguente si evince con chiarezza come per inclinazioni di scarpata contenute sono previste esclusivamente opere di copertura, mentre con l'aumento dell'acclività è necessario ricorrere a soluzioni sempre più complesse ed onerose, con l'ausilio di reti o stuoie, fino a massicci interventi di stabilizzazione e sostegno, quali gabbionate, terre armate, etc. Al contrario per inclinazioni al di sotto dei 15° la tabella suggerisce addirittura un "non intervento". (Fig.3.21)

Inclinazione scarpata		Tipo di intervento
10°<x<15°		Non intervento
15°<x<25°/27°		Semine - manuali - potenziate - a spessore Idrosemine - potenziate - a spessore Semine a paglia e bitume (le semine possono essere di specie erbacee/arbustive/arboree o di 2 o 3 classi)
25°<x<35°/37°		Biostuoie (stuoie, reti, griglie) Stuoie in materiale sintetico (stuoie, reti, griglie)
35°<x<45°		Fascinata vive Gradonata viva con talee e latifoglie radicate Cordonate vive Ribalta viva Palificata viva di sostegno a parte semplice o doppia Materasso rinverdito con piantagione di piantine radicate o talee Geocelle a nido d'ape in materiale biodegradabile e sintetico
45°<x<55°		Geocelle a nido d'ape in materiale biodegradabile e sintetico Materasso rinverdito Grata viva
55°<x<65°		Gabbionata rinverdita - Terra rinforzata - Balze in geotessuto - Terre rinforzate con paramento in geogriglia o geotessuto e rete metallica - Terre rinforzate con gabbioni - Terra armata Rivestimento vegetativo (anche con talee e piantine)
65° <x<80°	Solo con impianto di irrigazione }	Rivestimento vegetativo (anche con talee e piantine) Terra rinforzata (anche con talee e piantine) Terra armata (anche con talee e piantine)

Fig.3.21 – Opere di ingegneria naturalistica distinte per pendenza

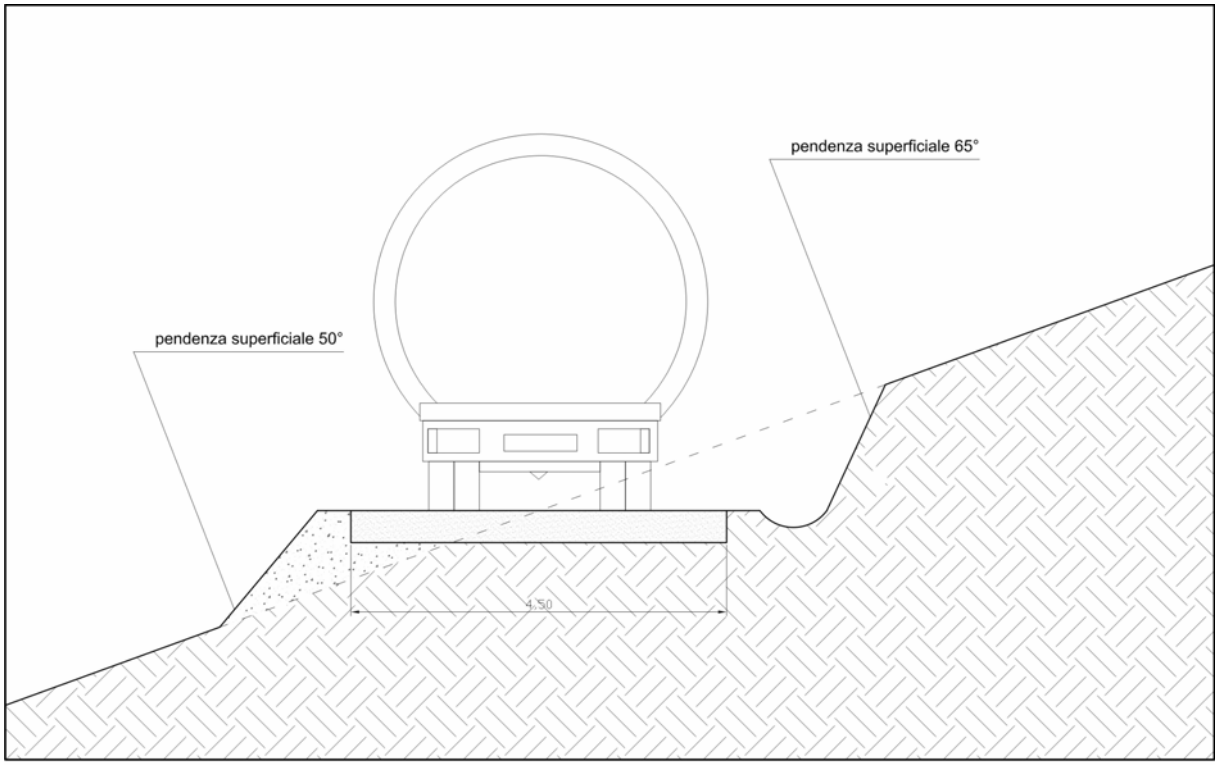
3.5.2 - Interventi di ingegneria naturalistica negli impianti eolici.

Interventi su scarpate in rilevato e in trincea.

Si è già osservato che il ripristino della cotica erbosa è particolarmente condizionato dalle caratteristiche del substrato delle superfici da rinerbire, ma soprattutto dalla pendenza e, in condizione di versanti acclivi questa operazione può rivelarsi molto problematica. Le scarpate,

generate dalle opere di sbancamento per la realizzazione di strade e piazzole delle installazioni eoliche, sia in rilevato, cioè derivanti da terrapieni artificiali, sia in trincea o in scavo, rappresentano questa particolare condizione.
Generalmente, nella prassi normale, non sono previsti interventi a verde su tali scarpate, e questo comporta problemi di reinserimento paesaggistico e talvolta anche funzionali di erosione da ruscellamento nelle litologie meno compatte.
Una delle migliori strategie d'intervento per le scarpate, è quella di ridurre il più possibile la pendenza del versante, in modo da poter intervenire con riporti di terreno vegetale, semine ed eventualmente messa a dimora di arbusti. Questa pratica, nelle scarpate in roccia, comporta ovviamente una maggiore quantità di opere di scavo e sbancamento, dovendo abbattere la pendenza almeno fino ai 35°-40° sull'orizzontale. Tuttavia può consentire un efficace ripristino del manto vegetale senza necessariamente ricorrere ad operazioni più complesse ed onerose. Infatti nel caso vi sia la necessità di adottare pendenze maggiori (40°- 45°), per evitare fenomeni di ruscellamento, vanno previste tecniche di rivestimento o stabilizzanti (stuoie, reti, viminate vive etc.) che consentono la permanenza in sito della terra vegetale da riportare, garantendo quindi la crescita della vegetazione. Gli interventi di rivestimento vegetativo nel caso di scarpate in roccia ricondotte a pendenze maggiori (45° - 60°) sono molto onerosi e possibili unicamente attraverso soluzioni tecnicamente più articolate.
È importante sottolineare nuovamente i principi deontologici dell'ingegneria naturalistica, secondo i quali vale la "legge del minimo" e cioè che l'ingegneria naturalistica deve essere impiegata solo dove e quando sia realmente necessaria, adottando le tecniche a minore complessità che non richiedano, quindi, ingenti costi a parità d'efficacia.
Sarà dunque necessario analizzare tutte le possibilità d'intervento ed optare per quella ecologicamente ed economicamente più vantaggiosa.

Ad esempio, nella realizzazione di un tracciato stradale largo 4,5 metri, su un versante mediamente ripido (circa 25°), l'abbattimento della pendenza della scarpata in scavo, dai circa 65°, tipici per questo tipo d'intervento, fino a 35°, comporta uno sbancamento maggiorato del 70%. (Fig.3.22)
Questa operazione, apparentemente più invasiva, offre la possibilità di disporre uno strato di terreno vegetale su una superficie con pendenza limitata, tale da garantire una maggiore possibilità di rinverdimento. Con una inclinazione di circa 35° è possibile intervenire con opere di limitata entità, con semine su biostuoie o con biotessili. Nel caso in cui non fosse possibile effettuare una riduzione della pendenza, o l'arretramento della scarpata, sarà necessario ricorrere a tecniche di rinverdimento associate ad opere di sostegno piuttosto impegnative come ad esempio le terre armate o rinforzate. Questi interventi, se ben realizzati, possono garantire la rivegetazione e la stabilità della scarpata ma implica un dispendio energetico ed economico decisamente maggiore.



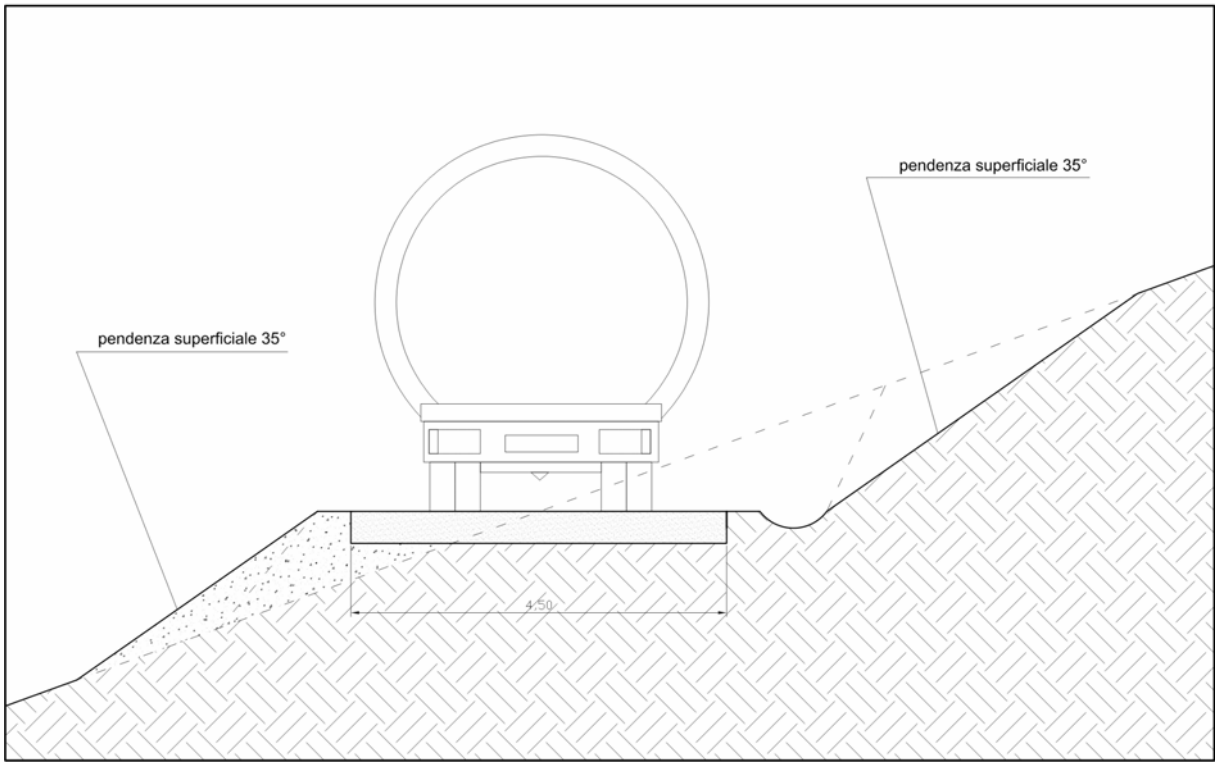


Fig.3.22 – Interventi su strade

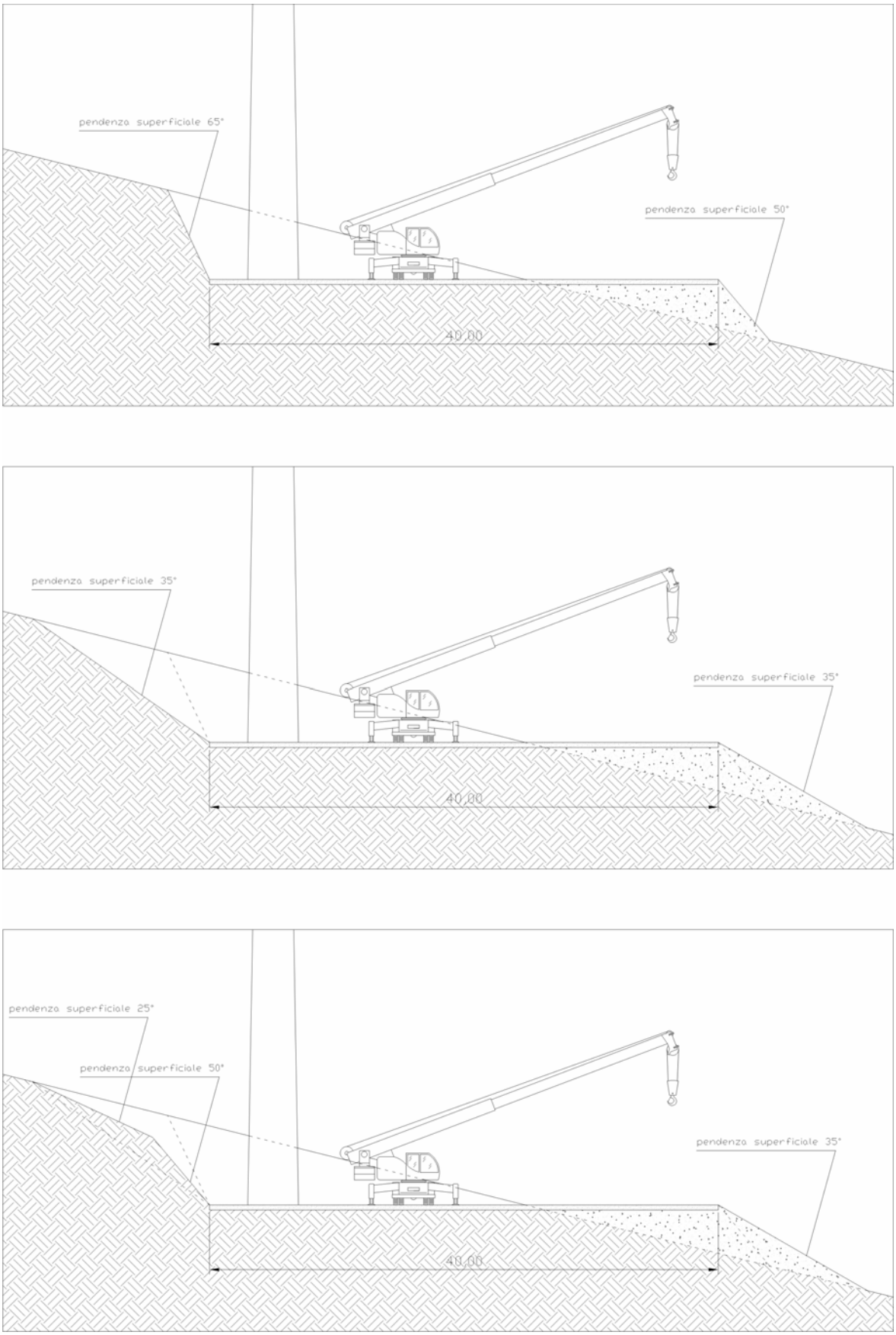


Fig.3.23 – Interventi sulle piazzole di montaggio

La stessa operazione illustrata per le strade può essere applicata nella realizzazione delle piazzole per lo stoccaggio e il montaggio degli aerogeneratori. (Fig.3.23)
Nell'esempio è rappresentata una piazzola di montaggio ricavata in un versante della pendenza di 14°, la massima consentita per queste aree. In questo caso, viste le maggiori dimensioni dell'area, l'abbattimento della pendenza fino a 35° comporta un intervento di scavo davvero notevole. I circa seicento metri cubi di sbancamento in più non sono pochi, ma sarebbero comunque accettabili rispetto alla mole dell'intero lavoro e ai benefici apportati nelle operazioni di ripristino. Tuttavia è possibile optare per un intervento intermedio, suddividendo la scarpata in due tratti con diversa pendenza. Nella porzione a valle, inclinata di circa 50°, sarà necessaria un'opera di sostegno come la grata viva rinverdita, mentre nel tratto superiore, grazie alla pendenza ridotta ai 25°, sarà quasi certamente possibile procedere con semplici interventi di semina o idrosemina.

Opere di copertura vegetale tramite "zollatura".

Quando si effettuano interventi di scavo limitati a tempi brevi di esecuzione, è possibile eseguire il ripristino della cotica erbosa direttamente tramite zolle di terreno, opportunamente prelevate.
Questa operazione nella pratica comune viene eseguita per la rivegetazione di aree denudate come cave, miniere o siti industriali. Le zolle erbose o "ecocelle" vengono prelevate dal selvatico e successivamente trapiantate in più punti privi di vegetazione, con lo scopo di innescare il processo di colonizzazione dell'intera superficie. Le zolle devono avere una superficie minima di circa 0,5-1 m^2 e uno spessore sufficiente a comprendere lo strato vegetativo erboso e il terreno compenetrato dalle radici. Le ecocelle vengono prelevate con mezzi meccanici idonei e trapiantati, a mosaico o a strisce, lasciando degli spazi tra le zolle per la posa di terreno vegetale seminato, per permettere la coesione dell'intera stratificazione.
(Fig.3.24)
L'operazione di "zollatura" può essere impiegata anche per la rivegetazione di alcune aree sottratte al manto erboso durante le opere di cantiere degli impianti eolici. È però importante evidenziare che questa pratica risulta essere particolarmente delicata e non sempre è possibile utilizzarla. In effetti le zolle vanno prelevate e conservate con molta cura per un periodo relativamente breve. Inoltre le superfici da rivestire non devono comunque avere pendenze elevate e non deve essere presente alcun movimento del corpo terroso.
Tuttavia l'utilizzo di zolle può essere impiegato per opere di piccola entità, ad esempio nella ricostruzione del manto erboso nei tratti prativi rimossi per l'interramento dei cavi elettrici e di trasporto dati.

Resta comunque evidente che tale tecnica debba essere presa in considerazione unicamente laddove le condizioni ambientali e operative lo consentono.

Fig.3.24 – Prelievo e messa a dimora di "ecocelle"

Opere di rinverdimento dei percorsi carrabili.

Le opere di ingegneria naturalistica possono essere adottate anche per il ripristino delle superfici carrabili dei percorsi.
La viabilità interna dei parchi eolici costituisce la maggior parte della superficie sottratta al manto erboso originario e, per questo, può essere fonte di grandi squilibri per l'ecosistema locale. I percorsi costituiscono vere e proprie "ferite" ai sistemi prativi e il loro "non ripristino" può comportare serie ripercussioni, sia sulla stabilità degli habitat presenti, sia sugli equilibri idrogeologici dei versanti.
Generalmente le opere di viabilità sono realizzate in totale assenza di misure di salvaguardia e raramente sono previsti interventi di ripristino, in ogni caso non riconducibili alle superfici destinate al transito dei grandi mezzi di trasporto eccezionale.
C'è da dire che le installazioni eoliche sono a tutti gli effetti impianti industriali e pertanto necessitano continuamente di interventi di manutenzione più o meno importanti. È evidente che la viabilità deve consentire, per tutta la durata dell'impianto, oltre il passaggio dei mezzi degli addetti alla manutenzione ordinaria, il transito dei grandi veicoli eccezionali in caso di necessità, si pensi ad esempio alla sostituzione di una pala danneggiata o ad interventi che richiedono comunque l'impiego di gru di notevoli dimensioni. Sarebbe quindi impensabile un ripristino totale di tali spazi attraverso interventi che richiedono lo smantellamento del fondo stradale. Le sedi viarie degli impianti eolici sono sottoposte a sollecitazioni davvero notevoli e

per questo devono essere realizzate con molta cura. Ripetuti smantellamenti e ricostruzioni di tali superfici richiederebbero interventi economicamente ed ecologicamente ingiustificabili.
Esiste tuttavia la possibilità di intervenire con soluzioni “intermedie”.
Ad esempio si può prevedere la ricostituzione della cotica erbosa al di sopra delle sedi stradali, con l’inserimento di pavimentazioni “verdi” che rivestono parzialmente tali superfici. (Fig.3.25)

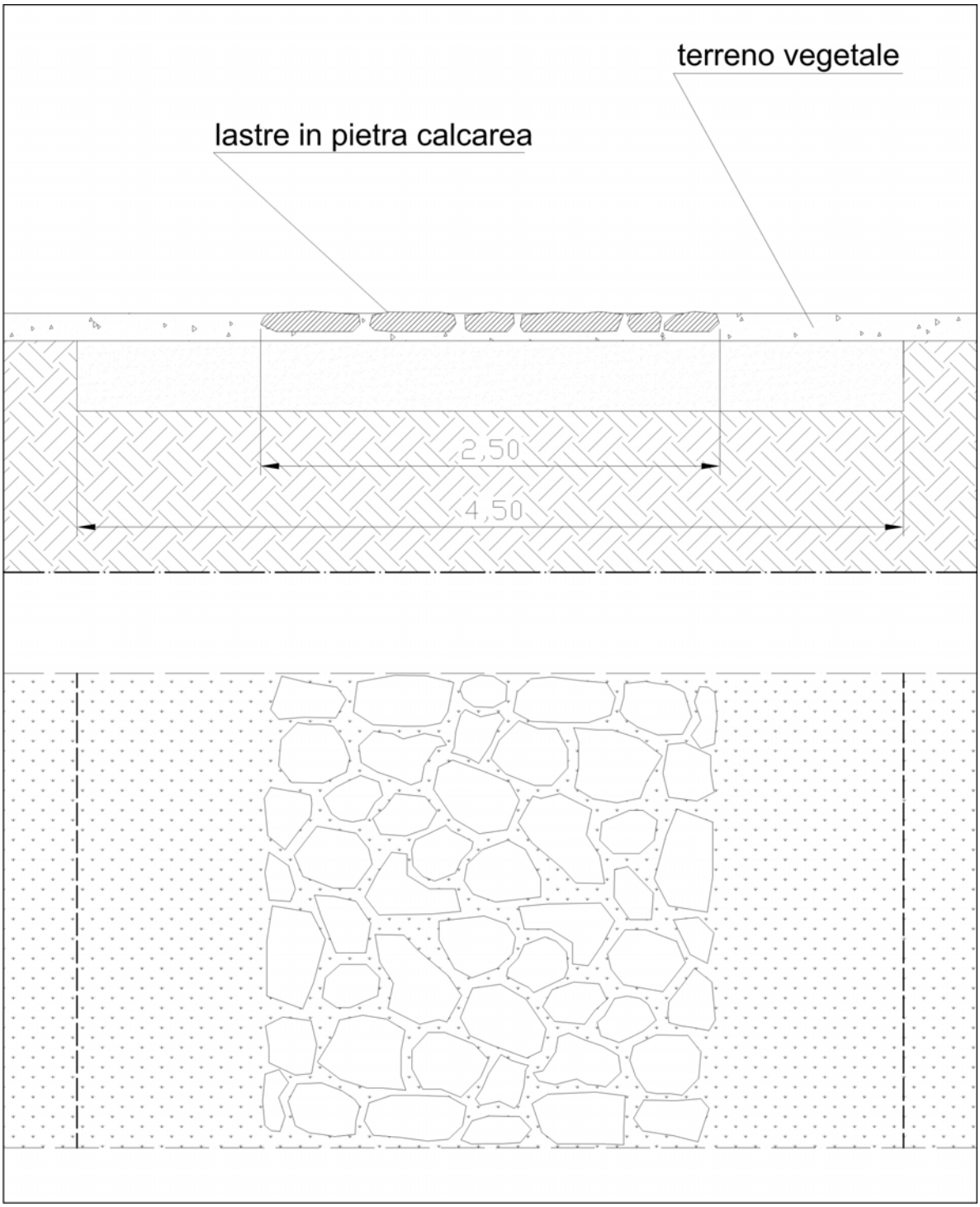


Fig.3.25 – “Pavimentazione verde”

Questi interventi possono consentire contemporaneamente la rinaturalizzazione, seppur temporanea, delle opere viarie, ed il transito ai mezzi di trasporto impiegati per la manutenzione ordinaria. Nell'eventualità di interventi che richiedono la presenza di mezzi eccezionali sarà sufficiente effettuare lo scotico delle porzioni laterali dei percorsi e, successivamente, il rinerbimento di queste superfici che dovranno essere nuovamente ripristinate al termine dei lavori.

Una tale scelta operativa è in grado di offrire notevoli benefici ambientali, sia per ciò che riguarda l'azione erosiva delle acque correnti superficiali, sia per le problematiche legate all'integrazione paesaggistica.

Per la realizzazione delle pavimentazioni verdi è possibile impiegare varie tipologie di materiali, meglio se di origine naturale e se prelevati sul posto o in località prossime a quella dell'installazione. In ogni caso è necessario far riferimento alle indicazioni dell'AIPIN, in merito al principio della "naturalità crescente".

Ad esempio si possono utilizzare lastre in pietra di sagoma irregolare, così come laterizi o altri manufatti artificiali, con caratteristiche e spessore tali da garantire nel tempo la propria funzionalità meccanica.

Per le operazioni di ripristino del manto erboso valgono le indicazioni espresse in merito alle "opere di copertura" impiegate dall'ingegneria naturalistica. È quindi possibile intervenire con svariate tecniche e con l'impiego di semine che dipendono essenzialmente dalle caratteristiche ambientali e morfologiche delle superfici da rinerbire. Se le condizioni locali ed i tempi di esecuzione delle opere lo consentono è possibile utilizzare anche la tecnica della zollatura.

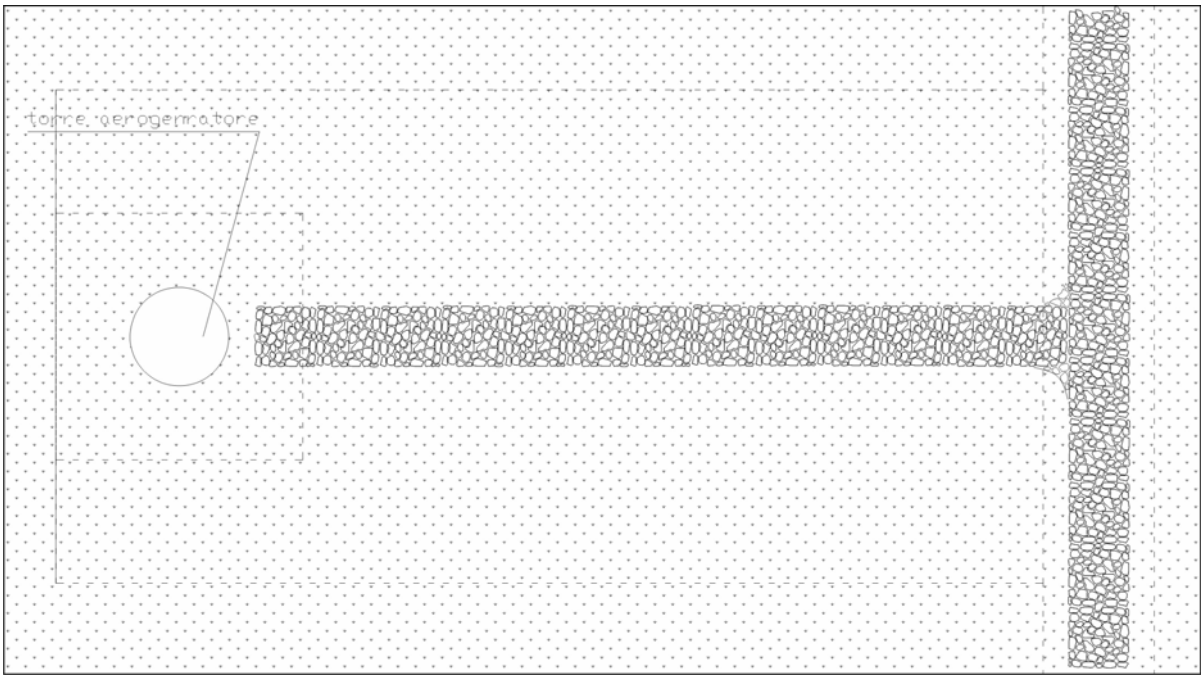


Fig.3.26 – "Pavimentazione verde" nelle piazzole di montaggio

Nel complesso la ricostituzione della vegetazione su queste aree non dovrebbe essere particolarmente problematica, considerando le ridotte pendenze dei percorsi, indispensabili per il transito dei grandi veicoli.

La stessa tipologia d'intervento può essere impiegata per il ripristino delle aree preposte allo stoccaggio e al montaggio degli aerogeneratori. Ovviamente la pavimentazione potrà essere collocata unicamente nel percorso che collega la viabilità alla base della torri, mentre le opere di rinverdimento potranno essere estese a tutta l'area, sempre al di sopra dello strato di pietrisco. (Fig.3.26)