



REGIONE
TOSCANA



COMUNE DI
ORBETELLO



PROVINCIA DI
GROSSETO

PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Orbetello" di potenza in immissione massima pari a 61,2 MW e relative opere connesse da realizzarsi nel comune di Orbetello (Gr)

Titolo elaborato

Progetto di dismissione dell'impianto

Codice elaborato

F0544AR18A

Scala

-

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Progettazione



F4 ingegneria srl

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico
(ing. Giovanni Di Santo)



Gruppo di lavoro

Dott. For. Luigi ZUCCARO
Ing. Giuseppe MANZI
Ing. Alessandro Carmine DE PAOLA
Ing. Monica COIRO
Ing. Federica COLANGELO
Ing. Gerardo Giuseppe SCAVONE
Ing. jr. Flavio Gerardo TRIANI
Arch. Gaia TELESCA
Ing. Manuela NARDOZZA



Società certificata secondo le norme UNI-EN ISO 9001:2015 e UNI-EN ISO 14001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).

Consulenze specialistiche

Committente

Apollo Wind s.r.l.

Via della Stazione,7
39100 – Bolzano (Bz)

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Aprile 2023	Prima emissione	ADP	GMA	GDS

Sommario

1	Premessa	3
1.1	Definizione delle opere di dismissione	3
1.2	Strategie coerenti con i principi dell'economia circolare	3
1.3	Descrizione e quantificazione delle opere di dismissione	6
1.4	Dettagli riguardanti lo smaltimento dei componenti	19
1.5	Descrizione e quantificazione delle opere di dismissione	26
2	Cronoprogramma delle fasi attuative di dismissione	29

1 Premessa

Il presente documento costituisce il progetto di dismissione di una centrale per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, nello specifico l'intervento proposto consiste nella realizzazione di un nuovo parco eolico, denominato "Orbetello", localizzato nel territorio comunale di Orbetello, in provincia di Grosseto. L'impianto sarà composto da n. 9 aerogeneratori della potenza nominale di 6.6 MW ciascuno, con la potenza complessiva in immissione di 59.4 MW, in accordo con quanto previsto nella STMG Terna ID 202200206. Le relative opere di connessione saranno ubicate nel Comune di Orbetello (Gr).

Gli aerogeneratori che potranno essere installati sono delle seguenti tipologie: Siemens Gamesa SG170-HH115 m o altro modello simile.

Nella presente relazione sono previsti gli interventi per la dismissione, alla fine del ciclo di vita utile, del parco eolico.

Non è prevista altresì la "naturalizzazione" della viabilità a servizio dell'impianto in quanto in gran parte è costituita da strade già esistenti e per la parte residua da nuove strade che potranno costituire una rete di tracciati a servizio dell'attività agricola che si svolge in questa parte del territorio. È in ogni caso sempre possibile un ripristino completo anche della viabilità ex novo al termine della vita utile dell'impianto.

1.1 Definizione delle opere di dismissione

Il progetto descrive gli interventi di smontaggio degli aerogeneratori e degli altri elementi dell'impianto (cavi elettrici di collegamento e altre opere elettriche, opere civili) e delle successive attività di gestione dei materiali secondo quanto indicato dal D. Lgs. 49/2014, con le seguenti definizioni: riutilizzo, recupero, riciclo o, in ultima istanza, smaltimento.

Strategie coerenti con i principi dell'economia circolare.

1.2 Strategie coerenti con i principi dell'economia circolare

Nell'ambito della gestione delle attività di dismissione, obiettivo prioritario sarà l'adozione di tutte le strategie necessarie a favorire il recupero e riciclo dei materiali rispetto al loro smaltimento in coerenza con i principi dell'**economia circolare**, così da minimizzare la produzione di rifiuti e gli impatti associati al consumo di materie prime. Le turbine eoliche forniscono risorse preziose che possono essere reintrodotte nell'ambito dell'economia circolare. In termini di sostenibilità la gerarchia degli approcci da utilizzare è:

- **Prevenzione**, da mettere in pratica utilizzando componenti meno massive e che dunque restituiranno meno materiale da riciclare a fine vita utile; inoltre si ricerca la realizzazione di materiali con prestazioni fisico-meccaniche più elevate.
- **Reuse**, consistente nel mettere in atto, dopo opportune valutazioni tecnico-economiche, una serie di azioni necessarie affinché venga garantito l'esercizio di un componente, sottoposto a continua ed attenta manutenzione, in modo tale da poter raggiungere anche 25-30 anni di vita utile. Il monitoraggio delle varie componenti ad esempio potrà essere svolto con l'ausilio di droni, oppure si potrà ricorrere all'installazione di sensori atti a rilevare lo stato di usura dei cuscinetti o delle componenti

- rotanti, nonché la presenza di ghiaccio in presenza di condizioni meteo particolarmente sfavorevoli
- **Repurpose**, in prima istanza si mira al riutilizzo dell'aerogeneratore nella sua totalità, dopo opportune procedure di ricondizionamento, tuttavia quando uno o più componenti non sono più in grado adempiere alle proprie funzioni nel contesto operativo di appartenenza è necessario individuare soluzioni alternative. Le pale essendo realizzate con materiali compositi, risultano particolarmente adatte a questo scopo per merito della loro durabilità, resistenza al danneggiamento e all'aggressione ambientale, oltre che per la facilità di riparazione. Trovano applicazioni nella realizzazione di impalcati pedonali oppure pensiline per noleggio biciclette elettriche, tuttavia si potrebbero anche creare, sfruttando le varie componenti degli aerogeneratori, percorsi ludico-didattici per bambini composti da tunnel e scivoli.
 - **Ricycling**, può essere sviluppato sottoforma di:
 - *Riciclo meccanico*, attuato mediante macinazione delle componenti e successiva conversione e utilizzo nelle costruzioni edili/civili, nella formazione di sottofondi stradali con elevate resistenze all'usura e nella produzione di pannelli per isolamento termico ed acustico. In tal caso la componente riciclata può raggiungere fino al 40% della composizione finale del nuovo prodotto.
 - *Co-processing per la formazione di cemento*, sfruttato principalmente per il recupero delle resine e delle fibre di vetro.
 - *Solvolisi*, tramite l'utilizzo di solventi si ha il totale recupero di fibre e resine pulite.
 - *Pirolisi*, restituisce le fibre sfruttando la decomposizione termica in ambiente inerte, tuttavia il prodotto finale risulta generalmente degradato, dunque è un processo che necessita di ulteriori sviluppi.
 - **Recovery**, consente la trasformazione del rifiuto in combustibile o in energia termica.
 - **Disposal**, ricorrendo ai metodi classici per lo smaltimento dei rifiuti.

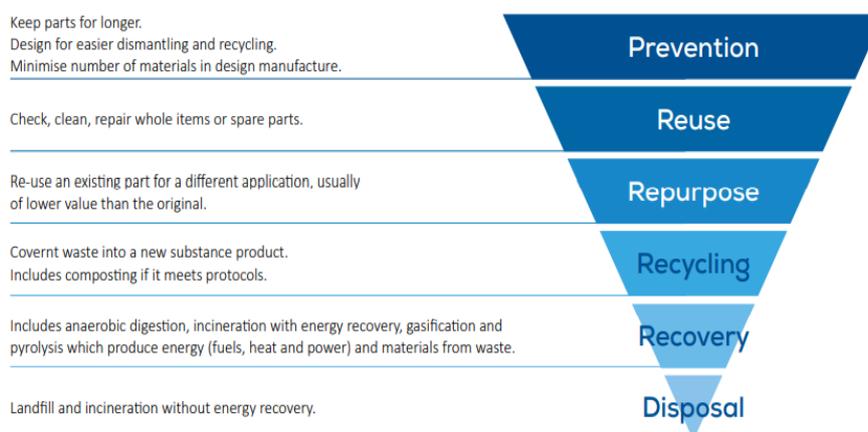


Figura 1: Waste treatment hierarchy; fonte: ETPIWind-how wind is going circular

- **Biodiversity commitment**; obiettivo di avere un impatto netto positivo sulla biodiversità entro il 2040 e promuovere la trasformazione verso un modello energetico in armonia con la natura e gli esseri umani, applicando la gerarchia di mitigazione.

Oltre ad investimenti in installazioni **green field**, diverse aziende stanno adottando un ambizioso piano di rinnovamento del parco di generazione eolica attraverso interventi di **repowering** degli impianti esistenti, sostituendo gli aerogeneratori ormai obsoleti con altri più performanti e in numero drasticamente inferiore; in questo modo è infatti possibile incrementare notevolmente la potenza eolica installata senza occupare nuovi spazi, sfruttando l'enorme progresso tecnologico compiuto in due decenni nel settore eolico.

1.3 Descrizione e quantificazione delle opere di dismissione

Aerogeneratore in tutte le sue componenti

Ogni aerogeneratore è costituito da un numero elevato di componenti sia strutturali, sia elettrici, sia di controllo. La tipologia, la forma e i materiali dei differenti componenti è comunque diversa, essendo fondamentalmente materiali di carattere riciclabile per la maggior parte e con un valore aggiunto considerevole, come l'acciaio e i differenti metalli, che lo rendono interessante dal punto di vista del recupero o del riciclo.

Il peso degli aerogeneratori varia in funzione del modello, da 100 a 400 tonnellate, senza tener conto della base degli stessi.

Come noto, la maggior parte delle componenti degli impianti eolici presentano caratteristiche già compatibili con un approccio tecnico-economico di tipo circolare; tuttavia, alcuni componenti, in particolare le pale degli aerogeneratori eolici, hanno invece caratteristiche dimensionali e costruttive che implicano, allo stato attuale, una gestione di tipo lineare del loro ciclo di vita.



Figura 4: Sustainability Vision towards 2040

In seguito allo sviluppo nella ricerca nel settore eolico, attualmente gli aerogeneratori sono costituiti da materiali innovativi, anche se allo stato attuale non sono state ancora trovate tecniche di riutilizzo di tutti i componenti, come ad esempio la fibra di vetro delle pale.

Nello specifico, la società Vestas ha confermato

In attesa che lo sviluppo tecnologico permetta di offrire maggiori opportunità di riuso, recupero o riciclo, i materiali non riciclabili dovranno essere trattati come rifiuti, conformemente con la normativa applicabile vigente.

Tra le diverse possibilità di reimpiego, è sempre più in uso la tecnica del **decommissioning** degli aerogeneratori, effettuato adottando tecniche analoghe a quelle impiegate per l'installazione e il **commissioning**. Gli aerogeneratori in buone condizioni vengono rivenduti sul mercato dell'usato previa verifica ed eventuale ricondizionamento, i singoli componenti della turbina, in base alle loro condizioni, possono essere ricondizionati, dopo un accurato processo di controllo di qualità, conservati e impiegati come componenti di ricambio per le stesse tipologie di turbine che sono ancora in esercizio. Nel caso in cui le proprietà meccaniche e strutturali residue dei componenti dell'aerogeneratore non permettano il ricondizionamento, si procede con il riciclo e lo smaltimento. Ogni parte di una turbina eolica può così diventare una risorsa che, dopo aver prodotto quell'inestimabile ricchezza chiamata energia rinnovabile, ricomincia a **generare valore in una nuova vita**.

Qui di seguito verranno descritti i principali componenti e materiali dell'aerogeneratore, così come il codice assegnato dalla Lista Europea dei Rifiuti ai materiali in seguito alla dismissione. Inoltre, verrà descritta la pericolosità ed il codice delle operazioni di eliminazione e valorizzazione per ciascuno dei materiali.

Le pale

Ogni aerogeneratore dispone di tre pale di dimensioni prestabilite e caratteristiche strutturali particolari, adatte alla potenza dell'aerogeneratore installato.

Le pale sono realizzate in fibra di vetro, come componente principale, a cui si aggiungono altri componenti della famiglia delle resine. Oltre alla fibra di vetro, in determinati modelli di pale, si utilizza la fibra di carbonio per alleggerire il peso delle stesse.

Le pale si compongono di due parti: una interna (l'anima della pala) e una esterna che rappresenta la parte visibile della pala. Entrambe sono realizzate principalmente in fibra di vetro e carbonio.

Le pale sono gli elementi esteriori che più soffrono il deterioramento dovuto agli effetti negativi delle scariche elettriche e anche lo sforzo strutturale dovuto alla continua tensione alle quali sono sottoposte. A volte si rende necessaria la sostituzione di qualche pala durante la vita utile. Vengono quindi inviate a discarica autorizzata di rifiuti inerti, data la non pericolosità degli stessi.

Si pianificano varie alternative per l'eliminazione o il riciclaggio delle pale fabbricate in fibra di vetro e carbonio che riducano l'impatto generato dalla loro eliminazione a discarica.

Queste alternative sono:

- a. **Valorizzazione** come combustibile e materia prima di processo nella produzione industriale di Cemento Clinker. Questo processo richiede un trattamento fisico a monte che permetta la sua introduzione in forma controllata nei forni di produzione del Clinker;
- b. **Riciclaggio** del materiale per la fabbricazione di altri componenti attraverso il processo di separazione dei differenti componenti (processo di *pirolisi*). Attraverso questo processo si ottiene di nuovo la fibra di vetro da una parte e la resina dall'altra sebbene la fibra di vetro recuperata in questa forma non conservi la totalità delle proprietà iniziali. Infatti, per questa ragione in funzione delle caratteristiche dei materiali recuperati, si determinano le vie di recupero degli stessi. Le fibre di carbonio possono trovare applicazione nella nautica, nel mondo dello sport e persino nel mondo degli isolanti per l'edilizia
- c. **Riutilizzo** delle pale nell'ambito dell'arredo urbano; a seconda delle dimensioni e delle caratteristiche possono essere riutilizzate per ponti urbani, case, parco giochi etc..

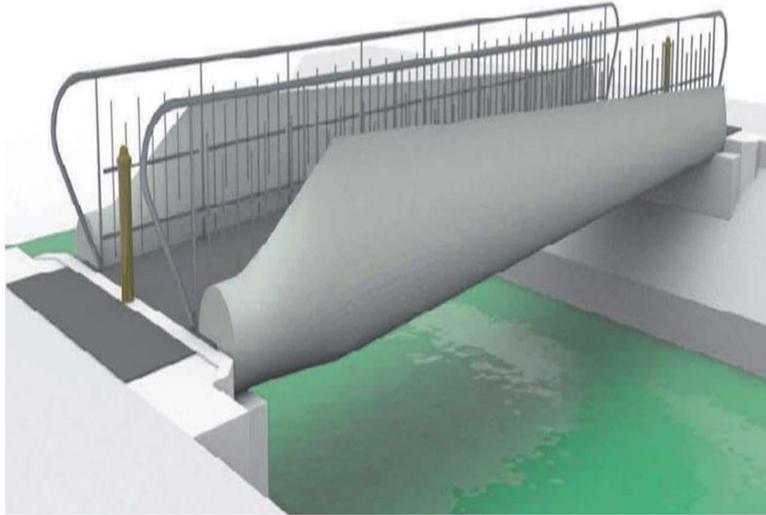


Figura 5: "Analisi e progettazione di un ponte pedonale con pale eoliche e calcestruzzo FRP dismessi", presentato da Raj Suhail al FRPRCS14, Belfast, Regno Unito, 4-7 giugno 2019.



Figura 6: "Pale di turbine eoliche dismesse, riutilizzate in un ponte a traffico lento", di Stijn Speksnijder



Figura 7: "Pale di turbine eoliche dismesse, riutilizzate in un parco giochi , Kinderparadijs Meidoorn

La navicella

La navicella o gondola costituisce il nucleo centrale dell'aerogeneratore. In essa si opera la trasformazione in energia elettrica a partire dal movimento delle pale per la forza del vento. È la parte più complessa dell'aerogeneratore, dato l'elevato numero di componenti, unità e diversi sistemi installati.

I principali componenti della navicella sono:

1. mozzo;
2. generatore;
3. asse;
4. moltiplicatore;
5. trasformatore;
6. gruppo idraulico;
7. telaio anteriore e posteriore;
8. quadro elettrico e di controllo;
9. cassa;
10. minuteria;
11. oli e grassi (idraulici e meccanici).

La maggior parte dei componenti della navicella sono fabbricati in diversi tipi di acciaio e leghe. Poi ci sono i componenti e il materiale elettrico, composto per circuiti, placche di controllo, materiali metallici e non metallici di diversa purezza ma in minore proporzione rispetto al totale.

Il numero dei componenti della navicella è elevato, pertanto si analizzeranno soltanto i componenti di maggiore importanza e dimensione.

Il mozzo

Il mozzo unisce le pale solidali all'asse lento. È accoppiato all'asse di bassa velocità dell'aerogeneratore attraverso il quale viene trasmesso il movimento di rotazione generato dalla forza del vento alle pale.

Il materiale utilizzato per la fabbricazione del mozzo è generalmente acciaio lavorato meccanicamente mentre il tappo con il cono di chiusura sono realizzati in lamiera di acciaio rivettato.

Il riutilizzo come componenti di seconda mano è particolarmente ristretto per il mozzo, data la necessità di resistenza strutturale che si esige per questo componente. Questi componenti alla fine vengono riciclati come rottame di acciaio.



Figura 8: mozzo

L'asse di bassa velocità

L'asse di bassa velocità dell'aerogeneratore collega il mozzo del rotore al moltiplicatore. All'interno dell'asse scorrono condotti del sistema idraulico o elettrico.

Tale asse è fabbricato totalmente in acciaio, pertanto alla fine della vita utile sarà riciclato come rottame.

A causa delle sue dimensioni e della sua forma specifica differente per ogni modello di aerogeneratore e, poiché è un componente sottoposto a continua usura, non è possibile il suo riutilizzo in applicazioni parallele.



Figura 9: asse di bassa velocità

Il moltiplicatore

Il moltiplicatore è costruito in acciaio ed il suo formato dipende dal modello della macchina. Il moltiplicatore comprende altri componenti del sistema idraulico come valvole, condotti di olio e filtri. Inoltre, per il suo funzionamento richiede una determinata quantità di olio lubrificante, che viene periodicamente sostituita durante lo sfruttamento del parco.

Una volta smantellato il moltiplicatore, se si trova in buono stato, si potrà riutilizzare come ricambio per gli altri aerogeneratori. Nel caso in cui dovesse rimanere inutilizzato, si procederà allo smantellamento dei blocchi più piccoli che verranno riciclati come rottami.

Prima dello smantellamento, si preleverà in maniera completamente controllata la totalità dell'olio idraulico e lubrificante all'interno del moltiplicatore, così come i condotti e i filtri idraulici.

Sia gli oli che i filtri dell'olio si ricicleranno tramite un gestore autorizzato mediante processi di valorizzazione energetica.



Figura 10: moltiplicatore

L'asse di alta velocità

L'asse di alta velocità gira approssimativamente a 1500 rpm e ciò consente il funzionamento del generatore elettrico. È dotato di un freno a disco di emergenza. È fabbricato in acciaio, ma si trova protetto da una cassa metallica. La totalità dei componenti è fabbricata in acciaio che alla fine verranno riciclati come rottame.

L'asse lento, il moltiplicatore e l'asse di alta velocità formano il sistema di trasmissione. Come già si è detto questi componenti hanno tutti un alto grado di usura dovuto al loro movimento rotatorio continuo. Per questa ragione, quando questi componenti vengono smantellati sono destinati a diventare rottame.

Nel caso in cui qualche pezzo di questi componenti si trovi in buono stato si potrà pensare al loro riutilizzo in componenti simili.



Figura 11: asse di alta velocità

Il generatore

Il generatore è l'elemento della turbina che ha il compito di convertire l'energia meccanica in energia elettrica. L'elettricità prodotta nel generatore scende lungo i cavi fino alla base della torre per essere trasformata (elevamento di tensione e abbassamento di corrente) e inviata alla rete.

I generatori elettrici si compongono principalmente di una carcassa e di un supporto interno di acciaio. All'interno di questa struttura si trova uno o più avvolgimenti di cavo di rame.

Tanto l'acciaio quanto il rame sono destinati al riciclaggio come rottame. Bisogna prestare particolare attenzione al recupero del rame, a causa del suo elevato valore sul mercato.



Figura 12: generatore

Motori e riduttori

Il meccanismo di posizionamento della turbina a favore di vento si realizza tramite movimento circolare. Si ottiene con dei motori e riduttori fissati alla gondola che fanno presa sull'ingranaggio della corona di orientamento della torre.

Il segnale di posizionamento corretto viene ricevuto dal sistema di controllo della turbina, grazie all'anemometro installati su ogni turbina.

Sia i motori elettrici imbardata, sia i riduttori sono fabbricati in acciaio e ferro. Nel caso dei motori, grazie alla loro grande resistenza e durata, si possono utilizzare come ricambi in altre macchine simili.

D'altro canto, grazie alla loro compatibilità in altre applicazioni al di fuori del settore eolico, questi motori potranno essere commercializzati sul mercato dell'usato.

Nel caso in cui tali componenti si trovino in forte stato di deterioramento verranno riciclati come rottame.



Figura 13: motori di giro e riduttori

Gruppo o sistema idraulico

È composto da un gruppo di pressione, valvole di controllo e un sistema di condotti idraulici che distribuiscono il liquido idraulico (olio idraulico) tra il rotore e la navicella.

o Gruppo di pressione

Ha il compito di somministrare fluido idraulico ad una determinata pressione per consentire l'azionamento del sistema di captazione, orientamento e trasmissione. Lo stesso dispone di un deposito di azoto. Il sistema è fabbricato totalmente in acciaio e viene riciclato come rottame.

Nel caso in cui si trovi in buono stato potrà essere riutilizzato come ricambio.



Figura 14: gruppo di pressione

○ *Condotti idraulici*

Canalizzano il fluido idraulico fino al punto di utilizzo nei componenti che si trovano sottoposti a movimenti continui di rotazione come rotore, assi, moltiplicatori, motori di rotazione e posizionamento dell'aerogeneratore.

Fondamentalmente questi condotti sono fabbricati in polimeri sintetici e caucciù, alcuni sono rinforzati internamente con una maglia di filo d'acciaio. Dal momento che nel materiale e nella struttura sono molto simili agli pneumatici delle automobili, verranno valorizzati da un gestore autorizzato come combustibile energetico o come materia prima per la fabbricazione di arredo urbano.

○ *Valvole di controllo*

Adattano la pressione e la portata del fluido idraulico che circola attraverso i differenti sistemi installati nella navicella.

Nella maggior parte dei casi sono fabbricati in acciaio ed altre leghe. Vengono inviate al riciclaggio come rottame.

Trasformatore

Inizialmente si installava al di fuori dell'aerogeneratore, nelle vicinanze dello stesso. Attualmente, tuttavia, con l'aumento della potenza delle macchine, si installa all'interno della navicella.

I trasformatori sono costituiti da un'installazione di placche e avvolgimenti di piattini di rame.

I materiali costituenti l'armatura e la carcassa esteriore verranno rottamati, così come il rame generato che si recupererà per la sua rifusione.



Figura 15: trasformatore

Telaio anteriore e posteriore

Il telaio anteriore si compone di un pezzo e il telaio posteriore di due pezzi. Tutti questi pezzi si assemblano tra di loro per formare la base sulla quale si posiziona la totalità dei componenti meccanici, elettrici ed idraulici che formano la navicella.

Allo stesso modo, al telaio anteriore si assembla la corona di rotazione e gli ancoraggi di supporto alla torre di sostegno dell'aerogeneratore.

I telai sono fabbricati in lastre di acciaio saldato e la loro struttura è progettata specificatamente per il supporto della navicella; pertanto, una volta arrivati alla fine della vita utile dell'aerogeneratore vengono riciclati come rottame.



Figura 16: telaio anteriore e posteriore

Carcassa

Tutta la navicella si trova ricoperta dalla carcassa esteriore. Questa carcassa si compone generalmente di uno o due pezzi (inferiore e superiore).

Così come le pale, la carcassa è costituita da fibra di vetro, come componente principale, al quale si aggiungono le resine; pertanto, si ottiene un materiale con una sufficiente resistenza strutturale ed isolamento contro la corrosione prodotta dagli agenti meteorologici.

Visto che le necessità di resistenza strutturale sono molto minori per la carcassa rispetto a quelle richieste per le pale, il materiale della carcassa è più povero di fibra di vetro.

Come per le pale, per l'eliminazione di questi componenti prima di provvedere alla dismissione completa di un parco eolico si pianificano due alternative che riducano l'impatto generato dall'eliminazione di queste strutture in una discarica di inerti.

Le principali alternative sono:

1. *Valorizzazione* come combustibile e materia prima di processo nella produzione industriale di Cemento Clinker. Questo processo richiede un trattamento fisico a monte che permetta la sua introduzione in forma controllata nei forni di produzione del Clinker;
2. *Riciclaggio* del materiale per la fabbricazione di altri componenti attraverso il processo di separazione dei differenti componenti (processo di *pirolisi*). Attraverso questo processo si ottiene di nuovo la fibra di vetro da una parte e la resina dall'altra, sebbene la fibra di vetro recuperata in questa forma non conservi la totalità delle proprietà iniziali. Infatti, per questa ragione, in funzione delle caratteristiche dei materiali recuperati, si determinano le vie di recupero degli stessi.

Componenti elettrici e di controllo

In tutto l'aerogeneratore e, in particolare all'interno della navicella, si installa un elevato numero di cavi e dispositivi di controllo. Da un lato si trovano i cavi che evacuano l'energia generata all'esterno e dall'altro i cavi appartenenti al sistema di controllo dell'aerogeneratore.

Questi cavi connettono i differenti meccanismi all'unità di controllo dell'aerogeneratore, nella quale si gestiscono tutte le informazioni dei molteplici sensori installati.

La maggior parte dei cavi installati sono fabbricati in rame, sebbene si trovino anche cavi in alluminio. L'isolamento esterno nella maggior parte dei casi è in PVC, polietilene (PE) o altri polimeri.

Quasi tutti i cavi sono recuperabili per il riutilizzo dei metalli, che risultano essere molto richiesti visto che il rame e l'alluminio hanno un elevato valore di mercato.

Il processo per il recupero dei cablaggi è basato sulla triturazione iniziale del cavo e sulla separazione del conduttore metallico e dell'isolante plastico.

La parte isolante di PVC e PE è sfruttabile in diverse applicazioni come materia prima per la fabbricazione di strumenti e applicazione per il giardinaggio, ecc.

Inoltre, si dovrà tenere conto di tutti quei componenti del sistema di controllo che sono fabbricati con piombo in una matrice di vetro o ceramica.

Allo stesso modo le lampade di scarica e gli schermi degli strumenti si dovranno gestire in maniera controllata visto il contenuto di metalli pesanti come piombo e mercurio.

Minuteria

Come la maggior parte dei componenti della navicella, gli elementi di assemblaggio, supporto, armatura di supporto della carcassa esterna, elementi di protezione dei componenti mobili sono fabbricati in acciaio, alluminio ed altre leghe.

Nel caso della dismissione del parco eolico il volume di questi piccoli pezzi sarà considerevole per cui si dovrà stabilire una metodologia o procedimento per lo stoccaggio e la gestione degli stessi.

L'uso finale di questi componenti dovrà essere il riutilizzo come rottame per la sua rifusione successivamente allo stoccaggio degli stessi in funzione del materiale.

Oli ed altri liquidi refrigeranti (idraulici e meccanici)

Gli oli meccanici vengono utilizzati principalmente per la lubrificazione degli elementi in rotazione, installati all'interno e all'esterno della navicella, come il rotore, l'asse principale ed il moltiplicatore.

L'olio del sistema idraulico si estende per quasi la totalità della navicella, attraverso condotti per l'azionamento dei vari sistemi installati.

Vista la composizione degli stessi, questi oli sono considerati pericolosi e la loro eliminazione è sottoposta a controllo: devono essere rimossi in forma controllata prima dell'inizio dei lavori di smontaggio dei componenti o dello smantellamento dell'aerogeneratore.

Gli oli esausti, una volta recuperati adeguatamente, hanno la possibilità di essere reimpiegati come combustibile in impianti di generazione dell'energia.

I liquidi di refrigerazione devono essere, allo stesso modo, rimossi in forma controllata specialmente quando contengano cromo esavalente.

A causa della loro grande tossicità queste soluzioni saranno trattate in impianti speciali per l'eliminazione dei componenti pericolosi.

Torri

La torre di sostegno, nel caso in esame, è ibrida, ossia costituita da sezioni in cemento armato e tubolari in acciaio.

Per quanto riguarda le componenti in cemento armato si potrà prevedere il deposito in discarica dei rifiuti inerti o può essere riciclato come agglomerato per usi nelle costruzioni civili.

Le componenti in acciaio, invece, sono ricoperte al loro esterno e al loro interno da strati di pittura per proteggerli dalla corrosione. All'interno delle torri si installano una serie di piattaforme, scale e linee di vita per l'accesso degli operatori all'interno della navicella. Tali componenti sono fabbricati in acciaio o ferro galvanizzato visto che all'interno sono protetti dalla corrosione.



Figura 17: interno di una torre

Nel caso in cui questi componenti vengano smantellati, il loro riutilizzo nell'ambito nel settore eolico si presenta poco fattibile, a causa delle esigenze di resistenza strutturale che richiede l'installazione degli aerogeneratori. Allo stesso modo, i nuovi aerogeneratori installati richiedono strutture più grandi e resistenti, per cui non è fattibile lo sfruttamento di strutture obsolete.



Figura 18: torri

L'opzione più attuabile relativamente alla gestione finale delle sezioni che costituiscono le torri è il riciclaggio come rottame.

Base di calcestruzzo

Tutti i modelli degli aerogeneratori si sostengono su una base monoblocco costruita con calcestruzzo armato e concio di fondazione o gabbia tirafondi in acciaio.

La struttura è divisa in due blocchi di forma differenziata. La struttura varia le sue dimensioni in funzione del modello di aerogeneratore installato.

La fondazione è costituita da un plinto di diametro pari a 25.50 m ed altezza variabile da 2.90 m (esterno gonna aerogeneratore) a 0.70 m (esterno plinto).

Lo smantellamento della base dell'aerogeneratore coincide esclusivamente con lo smantellamento completo del parco. Per questi casi, come norma generale, si stabilisce il ritiro parziale della parte superiore della base, che rimane in vista (30 o 40 cm dalla base).

In tal caso si realizzerà il taglio della struttura metallica sporgente. Poi si procederà all'estrazione con martello idraulico della parte superiore della fondazione costruita in calcestruzzo.

Come risultato si ottiene materiale di calcestruzzo mescolato a ferro appartenente all'armatura della stessa.

Per il taglio dei ferri dell'armatura si avrà bisogno di macchinari adatti a tale scopo.

Si ottiene, pertanto, una parte metallica composta dal concio di fondazione e dai resti della demolizione di parte del plinto. Questa parte metallica è destinata al riciclo come rottame.

La base in calcestruzzo si può eliminare tramite il deposito in discarica dei rifiuti inerti o può essere riciclata come agglomerato per usi nelle costruzioni civili.



Figura 19: fondazione

Linee elettriche ed apparati elettrici e meccanici

I cavi elettrici, sia quelli utilizzati all'interno dell'impianto eolico, sia quelli utilizzati all'esterno dell'impianto per permettere il collegamento con la stazione RTN, sono posati tutti sotto il manto stradale esistente o di nuova realizzazione.

L'operazione di dismissione prevede le seguenti operazioni:

- scavo a sezione ristretta lungo la trincea dove sono stati posati i cavi,
- rimozione in sequenza di nastro segnalatore, tubo corrugato, tegolino protettivo, conduttori;
- rimozione dello strato di sabbia cementato e asfalto ove presente.

Dopo aver rimosso in sequenza i materiali, saranno ripristinati i manti stradali utilizzando il più possibile i materiali di risulta dello scavo stesso.

Naturalmente, dove il manto stradale sarà di tipo sterrato sarà ripristinato allo stato originale mediante un'operazione di costipatura del terreno, mentre dove il manto stradale è in materiale asfaltato sarà ripristinato l'asfalto asportato.

I materiali da smaltire sono relativi ai componenti prima descritti, ovvero escludendo i conduttori che hanno un loro valore commerciale, restano da eliminare il nastro segnalatore, il tubo corrugato, la coppella protettiva, gli eventuali pozzetti di ispezione ed i materiali edili di risulta dello scavo e precisamente la sabbia cementata e l'asfalto, se presenti.

1.4 Dettagli riguardanti lo smaltimento dei componenti

Descrizione delle opere di dismissione

Le azioni che verranno intraprese sono le seguenti:

- *Rimozione degli aerogeneratori.* Questa operazione verrà eseguita da ditte specializzate, preposte anche al recupero dei materiali. Infatti, un indubbio vantaggio degli impianti eolici è rappresentato dalla natura delle opere principali che li compongono, essendo in prevalenza costituite da elementi in materiale metallico facilmente riciclabile o riutilizzabile. Le torri degli aerogeneratori, comprese le parti

elettriche, saranno smontate e ridotte in pezzi per consentirne il trasporto e lo smaltimento presso specifiche aziende di riciclaggio.

- *Demolizione di porzioni di platee di fondazioni degli aerogeneratori* emergenti rispetto alla quota del piano campagna, con trasporto a discarica del materiale in calcestruzzo di risulta.
- *Sistemazione piazzole a servizio degli aerogeneratori*: per le piazzole sono previsti i seguenti interventi:
 - *rimozione* di parte del terreno di riporto per le piazzole in rilevato. Il materiale di risulta sarà utilizzato per riprofilature e ripristini fondiari;
 - *disfacimento* della pavimentazione, costituita da uno strato di fondazione con misto granulare naturale di 30 cm e dal soprastante strato di misto artificiale di cm 20, per le piazzole in sterro. Trasporto a discarica del materiale;
 - *rinverdimento* con formazione di un tappeto erboso con preparazione meccanica del terreno erboso, concimazione di fondo, semina manuale o meccanica di specie vegetali autoctone.

Quantificazione delle opere di dismissione

La destinazione finale dei componenti derivanti dallo smantellamento di ogni aerogeneratore dipenderà dalle caratteristiche descritte nei paragrafi precedenti e dal loro stato di conservazione finale. La valutazione finale terrà conto di questi due fattori:

- i tempi di riutilizzo dei materiali che costituiscono questi componenti;
- valutazione dei componenti nel mercato attuale; sarà pertanto il bilancio economico ottenuto alla fine della gestione che determinerà la destinazione finale di ognuno dei componenti dell'aerogeneratore.

Le possibilità di gestione dei componenti sono le seguenti:

- *riutilizzo* dei componenti in buono stato e garanzia di funzionamento in macchine simili o con componenti simili;
- *riutilizzo* di macchine e componenti e di macchine intere ed in buono stato per la vendita ai Paesi di maggiore esigenza tecnologica e minore possibilità economica e successiva installazione per continuare il processo produttivo;
- *riciclaggio* dei componenti che grazie al loro materiale e alla loro valutazione economica rendono possibile la loro trasformazione per altri usi;
- *valorizzazione* dei componenti che per le loro dimensioni, forma o struttura rende impossibile una gestione vantaggiosa degli stessi per cui si effettuano operazioni di adeguamento del componente per facilitarne la gestione;
- *eliminazione*; si tratta dell'ultima delle operazioni di gestione ed è indicata per quei componenti per i quali non si dispone di una via di approvvigionamento o che, per la loro natura pericolosa, devono essere eliminati in maniera controllata.

Riciclaggio di materiali ferrosi in forni di Arco Elettrico

Il rottame di materiali ferrosi viene ritrasformato in prodotto attraverso un'unica operazione in forni ad arco elettrico. Come risultato la scoria formata può essere reintrodotta nel processo o eliminata in forma controllata.

Questa operazione è caratterizzata da un recupero di metalli dato che il rifiuto (rottame) è trasformato quasi completamente in prodotto.

Il risultato del processo (acciaio) ha caratteristiche simili a quelle del prodotto iniziale e ciò è una delle condizioni necessarie per considerare questo processo come riciclaggio.

È una semplice catena di produzione di acciaio (in origine minerale, ferro, acciaio liquido e prodotto finale), il rottame è introdotto nel ciclo di produzione nel livello di pre-prodotti evitando l'elevato consumo energetico che porta dalla materia prima minerale al ferro bruto.

Il riciclaggio del rottame di acciaio ha attualmente un elevato valore di mercato ed il suo valore si è duplicato negli ultimi due anni.

Ai valori ottenuti dalla vendita dell'acciaio è necessario sottrarre i costi del trasporto e della trasformazione. In questo caso si presterà particolare importanza ai trasporti a causa del loro elevato costo.

Compositi nella produzione di cemento

Le plastiche rinforzate con fibre minerali (compositi) possono essere introdotte nel processo di produzione del cemento Clinker. La ragione dell'introduzione dei compositi in questo processo è dovuta alla loro composizione. Da una parte, quando il materiale utilizzato come rinforzo è la fibra di vetro, questa parte inorganica formata fondamentalmente da composti di silicio sostituisce le materie prime naturali di silicio, alluminio e calcio.

I restanti elementi che costituiscono il composito sono costituiti esclusivamente da composti organici, che contribuiscono come combustibili, agendo da fonte di energia necessaria per parte del processo di produzione del Clinker.

La parte organica dei compositi varia dal 10% al 70%. L'utilizzo dei compositi come fonte di energia o come materia prima minerale dipenderà da aspetti puramente quantitativi e da parametri fisici e chimici che controllano il processo.

Dal punto di vista ambientale e del recupero dei rifiuti, la via di valorizzazione attraverso il processo del Clinker sembra essere la forma più positiva.

In tal senso, al completamento della gestione attraverso la via del Clinker, si produrranno unicamente emissioni in atmosfera provenienti dalla combustione dei componenti organici.

Il resto del materiale non sottoposto a combustione si incorpora nel materiale del Clinker. D'altronde l'invio a discarica richiede la costruzione di infrastrutture di grandi dimensioni e con elevati impatti sul suolo dove si impianta.

Riciclaggio dei materiali e dei componenti elettrici

Il materiale e i componenti elettrici, anche se in minore proporzione, rivestono una grande importanza nel bilancio economico finale della gestione dell'intero aerogeneratore.

Da un lato, la maggior quantità si trova nel cavidotto di potenza e di connessione dei diversi apparati, realizzato in rame e alluminio.

La via di gestione per questi componenti è il riciclaggio attraverso i processi di rifusione dei metalli, dopo aver separato il materiale plastico che forma l'isolante.

Il processo di riciclaggio di questi componenti ha un alto rendimento e il prodotto finale ottenuto è di alta qualità ed è utilizzabile in un largo spettro di applicazioni.

Dall'altro lato, all'interno dei componenti elettrici si trovano i pannelli di controllo, gli schermi, la circuiteria e uno svariato numero di componenti specifici. Il riciclo di questi componenti si realizza sia a partire dal componente completo, sia a partire dal triturato.

Il valore di questo materiale si trova in metalli come il rame, lo stagno, il piombo, l'oro, il platino, che si trovano in diverse proporzioni e che apportano un alto valore aggiunto alla gestione.

Il processo per il riciclaggio di questi componenti elettrici consiste nella rifusione del materiale utilizzando il materiale plastico come combustibile per raggiungere una maggiore temperatura e come agente riduttore, così come da composto organico viene distrutto nella combustione.

A causa della differente composizione dei metalli, il materiale fuso viene sottoposto ad una serie di diversi processi nei quali si separeranno tutti i metalli; ogni metallo ottenuto viene sottoposto ad un processo di raffinazione attraverso il quale si raggiungono elevati gradi di purezza, fino al 98%.

Mercati emergenti degli aerogeneratori usati

La tecnologia si è evoluta a tal punto negli ultimi anni che, allo stato attuale, gli aerogeneratori hanno una potenza 30 volte superiore ai loro "antenati" di 2 decenni addietro e i proprietari dei parchi stanno operando il ripotenziamento con macchine di ultima generazione per modernizzare le loro installazioni. Tuttavia, la stragrande maggioranza delle "vecchie" macchine continua a funzionare perfettamente, il che sta dando vita ad un mercato eolico di seconda mano vedendo nei paesi con economie emergenti il suo principale cliente. Parliamo dell'Est europeo e anche del Sud Est asiatico.

Il prezzo ridotto di questi componenti li rende estremamente appetibili nei paesi che si affacciano a queste tecnologie.

Le macchine vengono vendute con tutte le garanzie, infatti vengono fornite dettagliate indicazioni sui dati tecnici e fotografie che mostrano il loro stato di conservazione.

Questo mercato, d'altronde, ha l'incertezza relativa al rischio che hanno le macchine di aver avarie ed altri problemi nella loro nuova ubicazione, soprattutto se le nuove condizioni di installazione sono diverse dalle precedenti.

Questa opzione, nonostante sia poco sviluppata attualmente, offrirebbe una grande convenienza per quegli aerogeneratori che, essendo in buono stato, potrebbero essere riutilizzati.

Smantellamento degli aerogeneratori

Una volta conclusa la vita utile del parco si procede a ritirare tutti i componenti dell'aerogeneratore partendo dalle pale fino ad arrivare alle torri.

La tecnica di smantellamento dei componenti è simile alle operazioni di montaggio, ma con una sequenza inversa.

Nel caso in cui venga richiesta la rigenerazione completa dello spazio dove era installato il parco si procederà al ritiro della parte superficiale della base dell'aerogeneratore.

Lo smantellamento di un aerogeneratore consiste nel ritiro dei componenti vecchi dall'area di installazione del parco. Come per il montaggio, il ritiro dei componenti più voluminosi si realizza attraverso trasporti speciali.

Procedimento di smantellamento

Si elencano gli strumenti necessari per smontare totalmente un aerogeneratore:

- 1 gru principale tralicciata modello da 350 e 450 tonnellate;
- 2 gru idrauliche di carico da 90 tonnellate;
- camion con braccio da 12 tonnellate con piattaforma.

L'operazione di smantellamento di tutti i componenti dell'aerogeneratore, tranne la base, necessita in genere di 8 operai più un supervisore.

Procedimento di smontaggio

Nella fase di smontaggio, così come avviene nella fase di montaggio di tutti i componenti dell'aerogeneratore, si procede con gru e operai.

Precedentemente e durante la realizzazione dei lavori si prenderanno tutte quelle misure preventive per la realizzazione del lavoro nella massima sicurezza per gli operai.

Inoltre, si prenderanno tutte quelle misure preventive relativamente ai liquidi potenzialmente contaminati.

Qui di seguito un elenco passo dopo passo delle operazioni di smantellamento:

3. ritiro dei cavi di rete e di connessione, quadri e armadi;
4. ritiro dei liquidi, oli idraulici e condotti di trasmissione degli stessi;
5. smontaggio dell'asse di Pitch;
6. smontaggio del rotore dalla navicella per poi essere posta in terra;
7. una volta a terra, si realizza lo smontaggio delle bielle del rotore;
8. smontaggio delle pale dal rotore;
9. smontaggio della navicella dalla torre, carico e trasporto;
10. smontaggio delle sezioni che compongono la torre, dei pezzi di snodo dalla base, carico e trasporto.

Nel caso in cui sia richiesto il restauro dell'area di installazione degli aerogeneratori sarà necessario, a seconda dei casi, demolire in parte o totalmente le fondazioni. La demolizione della struttura di calcestruzzo e ferro si realizza con macchinari pesanti, come martelli e cesoie idrauliche.

Il primo passo è l'abbattimento del nucleo di calcestruzzo e ferro utilizzando martelli idraulici, così da ottenere la frammentazione del materiale.



Figura 20: trivellazione

Il passo seguente sarà il taglio, mediante cesoie idrauliche, delle armature, in modo tale che si possano separare ed essere facilmente maneggiabili. Una volta realizzato questo processo ci sono due opzioni per il ritiro e la gestione dei residui provenienti dalla demolizione.

11. *caricamento* diretto sul camion dei rifiuti generati per poterli trasportare ad un gestore autorizzato.
12. *valorizzazione* del rifiuto in sito attraverso impianti mobili di riciclaggio dei rifiuti di calcestruzzo e ferro forgiato.



Figura 21: demolizione

Ritiro del materiale smantellato

Sia nelle operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria, sia durante lo sfruttamento del parco, sia allo smantellamento finale dello stesso, alla fine della sua vita utile, una volta che si sia sostituito o smantellato integralmente il parco o parte dei componenti dell'aerogeneratore, si procederà al ripristino in maniera controllata dell'area di installazione del parco.

Questa attività si realizzerà con mezzi uguali a quelli utilizzati per il montaggio iniziale. Il trasporto dei componenti ritirati deve coordinarsi il più possibile con il trasporto dei nuovi componenti per la sostituzione dei vecchi, per i RETROFITS compiuti durante la vita dell'aerogeneratore.

Quando l'obiettivo è lo smantellamento totale del parco e l'eliminazione di tutti gli aerogeneratori, è necessario prestare particolare attenzione alla gestione dei trasporti. Considerato l'elevato costo dei trasporti speciali è necessario applicare misure aggiuntive che permettano di minimizzare al massimo il costo di questa operazione.

La minimizzazione dell'impiego dei trasporti speciali si realizza intervenendo sui componenti da trasformare, nel limite del possibile si ridurrà il volume e la dimensione dei componenti, in accordo con le proprie caratteristiche materiali e strutturali e, per ultimo, in funzione della destinazione finale decisa (eliminazione, ripristino o riciclo).

Selezione e separazione dei componenti ritirati

Il ritiro di uno o più componenti generati sia in operazioni di manutenzione sia di smantellamento degli aerogeneratori, il cui destino sia l'eliminazione (come rifiuti) del ciclo produttivo eolico, si realizzerà in funzione delle caratteristiche materiali e in accordo a quanto stabilito dalla normativa vigente.

Come in tutto il sistema di gestione dei rifiuti, l'identificazione, la selezione e la separazione di ognuno dei componenti o rifiuti generati saranno operazioni necessarie per una gestione efficace. Queste

operazioni si realizzeranno durante la manutenzione, nello sfruttamento ed in particolar modo durante lo smantellamento finale dell'aerogeneratore.

In base ai dati che descrivono le caratteristiche per ognuno dei componenti o gruppo di componenti, si realizzerà una classifica dei componenti stessi. I componenti si classificheranno in base alla tipologia del materiale nel quale sono fabbricati.

1.5 Descrizione e quantificazione delle opere di dismissione

Nell'ambito territoriale afferente alle opere di progetto è stata condotta un'indagine mirata ad individuare i possibili siti di discarica autorizzata utilizzabili per la dismissione del parco eolico.

Tutto ciò che non verrà inviato a discarica verrà consegnato a gestori autorizzati che provvederanno al conferimento degli stessi presso impianti di recupero dei rifiuti specificati precedentemente.

La maggior parte dell'area del parco è già attualmente destinata ad attività legate all'agricoltura e non subirà modifiche nella sua destinazione d'uso sia per ciò che concerne la fase di esercizio dell'impianto eolico che la fase di dismissione.

Inoltre, come già detto, **gran parte dei materiali di risulta provenienti dalle operazioni di dismissione sono riutilizzabili e questo comporta la possibilità di ridurre i costi del ripristino allo stato originario.**

A seguire si riporta una stima dei costi di dismissione dell'impianto, in considerazione del fatto che non è possibile realizzare un calcolo dettagliato del costo relativo allo smaltimento di tutti i componenti, dipendendo lo stesso dallo stato in cui si troveranno le apparecchiature ed i cavi alla fine della vita utile del parco eolico.

Gli interventi previsti per il ripristino dello stato dei luoghi sono coerenti con i principi della Restoration Ecology (Rossi V. et al., 2002; Clewell A. et al., 2005; Pollanti M., 2010; Howell E.A. et al., 2013; IRP, 2019; Meloni F. et al., 2019; Gann G.D. et al., 2019).

Gli obiettivi principali di questa forma riabilitativa sono i seguenti:

- *riabilitare*, mediante attenti criteri ambientali, le zone soggette ai lavori che hanno subito una modifica rispetto alle condizioni pregresse;
- *consentire* una migliore integrazione paesaggistica dell'area interessata dalle modifiche.

Per il compimento degli obiettivi sopra citati il programma dovrà contemplare i seguenti punti:

- si dovrà porre particolare cura nella scelta delle tecniche di semina e di piantumazione, con riferimento alle condizioni edafiche ed ecologiche del suolo che si intende ripristinare;
- si dovrà procedere alla selezione di personale tecnico specializzato per l'intera fase di manutenzione necessaria durante il periodo dei lavori di riabilitazione.

Le azioni necessarie per l'attuazione di tali obiettivi sono le seguenti.

- *Trattamento dei suoli*: le soluzioni da adottare riguardano la stesura del terreno vegetale e la preparazione del suolo secondo le tecniche classiche. Il carico e la distribuzione della terra si realizza generalmente con una pala meccanica e con camion da basso carico, che la scaricheranno nelle zone d'uso. Si procede poi con lavorazioni

più o meno superficiali a seconda delle caratteristiche del suolo al fine di sgretolare eventuali ammassi di suolo e prepararlo alle fasi successive.

- *Opere di semina di specie erbacee*: una volta terminati i lavori di trattamento del suolo si procede alla semina di specie erbacee con elevate capacità radicanti in maniera tale da poter fissare il suolo. In questa fase è possibile adottare, per la semina delle specie erbacee, la tecnica dell'idrosemina. In tal caso, si consiglia di adottare un manto di sostanza organica triturrata (torba e paglia), spruzzata insieme ad un legante bituminoso ed ai semi; tale sistema consente un'immediata protezione dei terreni ancor prima della crescita delle specie seminate ed un rapido accrescimento delle stesse. Questa fase risulta di particolare importanza ai fini di:
 - a. mantenere una adeguata continuità della copertura vegetale circostante;
 - b. proteggere le superfici rese particolarmente più sensibili dai lavori di cantiere e dall'erosione;
 - c. consentire una continuità dei processi pedogenetici, in maniera tale che si venga a ricostituire un orizzonte organico superficiale che permetta successivamente la ricolonizzazione naturale senza l'intervento dell'uomo.

La scelta delle specie da adottare per la semina dovrà comunque essere indirizzata verso le essenze autoctone e già presenti nell'area di studio.

Per la scelta delle tecniche sono stati seguiti i seguenti tre criteri:

1. obiettivo primario degli interventi;
2. ecologia delle specie presenti;
3. ecologia delle specie da inserire e provenienza (biogeografia) delle stesse.

L'ecologia delle specie da inserire dovrà essere molto simile a quella delle specie già presenti. Non saranno dunque ammissibili scelte di specie con le seguenti caratteristiche:

- specie invasive con forti capacità di espansione in aree degradate;
- specie alloctone con forte capacità di modifica dei gradienti ecologici;
- specie autoctone, ma non proprie dell'ambiente indagato.

Inoltre, poiché si lavorerà su aree prodotte artificialmente e/o su aree fortemente modificate dall'uomo, sprovviste spesso di uno strato umifero superficiale e dunque povero di sostanze nutritive, è chiaro che in tali condizioni estreme sia consigliabile utilizzare solo associazioni pioniere, compatibili dal punto di vista ecologico. Tali associazioni dovranno rispondere inoltre alle seguenti caratteristiche:

- ampio spettro ecologico;
- facoltà di colonizzare terreni grezzi di origine antropogenica e capacità edificatrici;
- resistenza alla sollecitazione meccanica;
- azione consolidante del terreno.

Seguendo la sistematica introdotta da Schiechl (1973) che prevede quattro differenti tecniche costruttive (interventi di rivestimento, stabilizzanti, combinati, complementari), sono stati scelti interventi di rivestimento in grado di proteggere rapidamente il terreno dall'erosione superficiale mediante la loro azione di copertura esercitata sull'intera superficie.

- *Interventi di rivestimento*: l'utilizzo di interventi di rivestimento permetterà un'azione coprente e protettiva del terreno. In questo caso, l'impiego di un gran numero di piante,

di semi, o di parti vegetali per unità di superficie, permette la protezione della superficie del terreno dall'effetto dannoso delle forze meccaniche. Inoltre, tali interventi, permetteranno un miglioramento del bilancio dell'umidità e del calore favorendo dunque lo sviluppo delle specie vegetali. Tali interventi sono inoltre mirati ad una rapida protezione delle superfici spoglie. Per l'esecuzione di tali interventi è possibile la metodica dell'idrosemina. Infatti, nei terreni particolarmente poveri di sostanze nutritive e facilmente erodibili dalle acque meteoriche, l'idrosemina, adottata in periodi umidi (autunno), si rivela un'ottima metodica per la protezione di tali aree.

- *Manutenzione*: le operazioni di manutenzione e conservazione dovranno perseguire prevalentemente l'obiettivo di funzionalità ed estetica. In particolare, si dovrà mantenere una copertura vegetale continua così da prevenire ogni forma di erosione e si dovrà limitare il rischio di incendi e la loro propagazione. Infine, sarà necessario evitare un'antropizzazione delle forme di vegetazione per errata gestione nelle semine, per questo motivo è importante ribadire il concetto della semina casuale visto precedentemente.

2 Cronoprogramma delle fasi attuative di dismissione

ATTIVITA' LAVORATIVE	OPERAZIONI DI DISMISSIONE												
	1'mese	2'mese	3'mese	4'mese	5'mese	6'mese							
SMONTAGGIO DELLE TORRI	■	■	■	■									
DEMOLIZIONE DELLE FONDAZIONI DELLE TORRI					■	■	■	■					
TRASPORTO A DISCARICA DEL MATERIALE DI RISULTA DELLE FONDAZIONI									■	■			
RIMOZIONE DELLE APPARECCHIATURE ELETTROMECCANICHE										■			
SFILAGGIO CAVI	■	■	■	■									
RIPRISTINI VEGETAZIONALI											■	■	■

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
	RIPORTO							
	LAVORI A CORPO							
	Rimozione aerogeneratori (Cat 1)							
1 / 1 N.P.1 03/11/2009	Lavori di smobilizzo degli aerogeneratori compreso: -manodopera specializzata; -nolo di autocarri e gru; -trasporto del materiale di risulta in idonei impianti per il riciclo delle materie prime. 9 Aerogeneratori					9,00		
	SOMMANO cadauno					9,00	57'100,33	513'902,97
	Demolizione strutture in cls (Cat 2)							
2 / 2 N.P.2 14/12/2022	Demolizione parziale di strutture di fabbricati in conglomerato cementizio armato eseguita in qualsiasi condizione, altezza e profondità, compresa l'adozione degli accorgimenti att ... le di risulta ad impianto autorizzato e degli oneri relativi. Valutato per il volume effettivo di struttura da demolire. Colletti + parte sommitale plinti aerogeneratori (volume unitario=30 mc) Metro sommitale plinto di fondazione Cabina di raccolta	9,00 9,00	10,50	24,300	30,000 150,000 3,000	270,00 1'350,00 765,45		
	SOMMANO mc					2'385,45	270,00	644'071,50
3 / 3 TOS23_17.N 06.004.001 17/04/2023	Box prefabbricati di cantiere composti da: struttura di base sollevata da terra e avente struttura portante in profilati metallici, copertura e tamponatura con pannelli sandwich au ... tato di wc alla turca, un lavabo, un piatto doccia, boiler elettrico ed accessori, dim. m. 2,40x2,70x2,40 - nolo mensile Aerogeneratori Cabina di raccolta				9,000 1,000	1,000 1,000	9,00 1,00	
	SOMMANO cad					10,00	470,96	4'709,60
4 / 4 TOS23_09.V 06.020.002 17/04/2023	Fornitura e posa in opera di rete metallica di altezza m 2.00 sorretta da montanti in ferro a "T" di altezza m 2,4, esclusi dal prezzo, posti ad interasse fino a m 2,50 e compreso ... ripristino dei fili tenditori e la tensione degli stessi, quant'altro occorre per dare il lavoro finito a regola d'arte. Cabina di raccolta Area scavo plinti	1,00 9,00	92,00 94,00		2,400 2,400	220,80 2'030,40		
	SOMMANO m ²					2'251,20	27,93	62'876,02
5 / 5 TOS23_01.A 05.001.001 18/04/2023	Riempimento di scavi o buche eseguito con mezzi meccanici con materiale proveniente da scavi. Riempimento plinti di fondazione	9,00			150,000	1'350,00		
	SOMMANO m ³					1'350,00	3,66	4'941,00
	Rimozione cavidotto (Cat 3)							
6 / 6 TOS23_05.A 03.004.002 18/04/2023	Taglio di pavimentazione bituminosa spinto fino alla profondità di cm 20. con sega diamantata Tratto: "Cavidotto esterno" Tratto: "5-4" Tratto: "T05-5" Tratto: "6-5" Tratto: "T06-6"				1205,000 463,000 6,000 1735,000 4,000	1'205,00 463,00 6,00 1'735,00 4,00		
	A RIPORTARE					3'413,00		1'230'501,09

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
	R I P O R T O					3'413,00		1'230'501,09
	Tratto: "7-6"				148,000	148,00		
	Tratto: "8-7"				563,000	563,00		
	SOMMANO m					4'124,00	3,95	16'289,80
7 / 7 TOS23_01.A 04.008.001 18/04/2023	Scavo a sezione ristretta obbligata continua (larghezza fino a m 1,50) eseguito con mezzi meccanici, compreso accatastamento nell'ambito del cantiere, in terreni sciolti. fino alla profondità di m 1,50							
	Tratto: "Cavidotto esterno"	2443,00	1,000	1,100	2'687,30			
	Tratto: "T01-1"	160,00	0,500	1,100	88,00			
	Tratto: "2-1"	2100,00	1,000	1,100	2'310,00			
	Tratto: "T02-2"	596,00	0,500	1,100	327,80			
	Tratto: "3-2"	557,00	1,000	1,100	612,70			
	Tratto: "T03-3"	307,00	0,500	1,100	168,85			
	Tratto: "4-3"	490,00	1,000	1,100	539,00			
	Tratto: "T04-4"	624,00	0,500	1,100	343,20			
	Tratto: "5-4"	728,00	1,000	1,100	800,80			
	Tratto: "T05-5"	544,00	0,500	1,100	299,20			
	Tratto: "6-5"	1735,00	0,500	1,100	954,25			
	Tratto: "T06-6"	922,00	0,500	1,100	507,10			
	Tratto: "7-6"	148,00	0,500	1,100	81,40			
	Tratto: "T09-7"	327,00	0,500	1,100	179,85			
	Tratto: "8-7"	867,00	0,500	1,100	476,85			
	Tratto: "T07-8"	574,00	0,500	1,100	315,70			
	Tratto: "T08-8"	1749,00	0,500	1,100	961,95			
	SOMMANO m³					11'653,95	7,65	89'152,72
8 / 8 TOS23_04.B 12.001.002 18/04/2023	Fondazione stradale compresa rullatura e compattazione per raggiungere il grado del 95% della prova AASHO modificata, esclusa dal prezzo. con materiale arido di cava stabilizzato n ... giunta di 120 Kg/mc di cemento R 32,5 spessore 15-25 cm, compresa emulsione bituminosa a protezione del misto cementato.							
	Tratto: "Cavidotto esterno"	1205,00	1,000	0,300	361,50			
	Tratto: "5-4"	463,00	1,000	0,300	138,90			
	Tratto: "T05-5"	6,00	0,500	0,300	0,90			
	Tratto: "6-5"	1735,00	0,500	0,300	260,25			
	Tratto: "T06-6"	4,00	0,500	0,300	0,60			
	Tratto: "7-6"	148,00	0,500	0,300	22,20			
	Tratto: "8-7"	563,00	0,500	0,300	84,45			
	SOMMANO m³					868,80	86,66	75'290,21
9 / 9 TOS23_01.A 05.001.001 18/04/2023	Riempimento di scavi o buche eseguito con mezzi meccanici con materiale proveniente da scavi.							
	Tratto: "Cavidotto esterno su terreno"	705,00	1,000	1,100	775,50			
	Tratto: "Cavidotto esterno su strada asfaltata"	1205,00	1,000	0,800	964,00			
	Tratto: "Cavidotto esterno su strada mistata"	533,00	1,000	0,800	426,40			
	Tratto: "T01-1"	160,00	0,500	1,100	88,00			
	Tratto: "2-1"	2100,00	1,000	0,800	1'680,00			
	Tratto: "T02-2 su terreno"	590,00	0,500	1,100	324,50			
	Tratto: "T02-2 su strada mistata"	6,00	0,500	0,800	2,40			
	Tratto: "3-2"	557,00	1,000	0,800	445,60			
	Tratto: "T03-3 su terreno"	304,00	0,500	1,100	167,20			
	Tratto: "T03-3 su strada mistata"	3,00	0,500	0,800	1,20			
	Tratto: "4-3"	490,00	1,000	0,800	392,00			
	Tratto: "T04-4"	624,00	0,500	1,100	343,20			
	Tratto: "5-4"	728,00	1,000	0,800	582,40			
	Tratto: "5-4 su strada mistata"	265,00	1,000	0,800	212,00			
	Tratto: "5-4 su strada asfaltata"	463,00	1,000	0,800	370,40			
	Tratto: "T05-5 su terreno"	538,00	0,500	1,100	295,90			
	Tratto: "T05-5 su strada asfaltata"	6,00	0,500	0,800	2,40			
	Tratto: "6-5"	1735,00	0,500	0,800	694,00			
	Tratto: "T06-6 su terreno"	918,00	0,500	1,100	504,90			
	Tratto: "T06-6 su strada asfaltata"	4,00	0,500	0,800	1,60			
	Tratto: "7-6"	148,00	0,500	0,800	59,20			
	Tratto: "T09-7"	327,00	0,500	1,100	179,85			
	A R I P O R T A R E					8'512,65		1'411'233,82

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
	RIPORTO					8'512,65		1'411'233,82
	Tratto: "8-7 su strada mistata"		304,00	0,500	0,800	121,60		
	Tratto: "8-7 su strada asfaltata"		563,00	0,500	0,800	225,20		
	Tratto: "T07-8 su terreno"		567,00	0,500	1,100	311,85		
	Tratto: "T07-8 su strada mistata"		7,00	0,500	0,800	2,80		
	Tratto: "T08-8 su terreno"		415,00	0,500	1,100	228,25		
	Tratto: "T08-8 su strada mistata"		1334,00	0,500	0,800	533,60		
	SOMMANO m³					9'935,95	3,66	36'365,58
10 / 10 TOS23_04.B 12.001.001 18/04/2023	Fondazione stradale compresa rullatura e compattazione per raggiungere il grado del 95% della prova AASHO modificata, esclusa dal prezzo. con materiale arido di cava stabilizzato naturale con curva granulometrica secondo UNI EN 13285, spessore non inferiore a 30 cm							
	Ripristino misto nel tratto: "Cavidotto esterno"		533,00	1,000	0,300	159,90		
	Ripristino misto nel tratto: "2-1"		2100,00	1,000	0,300	630,00		
	Ripristino misto nel tratto: "T02-2"		6,00	0,500	0,300	0,90		
	Ripristino misto nel tratto: "3-2"		557,00	1,000	0,300	167,10		
	Ripristino misto nel tratto: "T03-3"		3,00	0,500	0,300	0,45		
	Ripristino misto nel tratto: "4-3"		490,00	1,000	0,300	147,00		
	Ripristino misto nel tratto: "5-4"		265,00	1,000	0,300	79,50		
	Ripristino misto nel tratto: "8-7"		304,00	0,500	0,300	45,60		
	Ripristino misto nel tratto: "T07-8"		7,00	0,500	0,300	1,05		
	Ripristino misto nel tratto: "T08-8"		1334,00	0,500	0,300	200,10		
	SOMMANO m³					1'431,60	49,33	70'620,83
11 / 11 N.P.3 15/02/2020	Rimozione nastro segnalatore, tubo corrugato, tegolino protettivo Lunghezza totale cavi		37366,00			37'366,00		
	SOMMANO m					37'366,00	1,51	56'422,66
12 / 12 N.P.4 17/02/2010	Sfilaggio cavi elettrici e trasporto presso ditta specializzata per il suo smaltimento e riuso. Sono compresi tutti gli oneri necessari per lo smontaggio ed il trasporto presso ditta autorizzata. Vedi voce n° 11 [m 37 366.00]					37'366,00		
	SOMMANO m					37'366,00	3,00	112'098,00
	Rimozione apparecchiature elettromeccaniche della sottostazione (Cat 4)							
13 / 13 N.P.5 08/11/2018	Rimozione apparecchiature cabina di raccolta e smaltimento delle stesse Cabina di raccolta				1,000	1,00		
	SOMMANO a corpo					1,00	28'808,13	28'808,13
	Ripristino vegetazionale (Cat 5)							
14 / 14 N.P.6 07/11/2018	Trasporto e conferimento ad impianto di recupero di misto granulare naturale. 9 Piazzole definitive	9,00	55,00	20,000	0,400	3'960,00		
	SOMMANO mc					3'960,00	50,08	198'316,80
15 / 15 N.P.7 19/02/2020	Stesa e modellazione di terra di coltivo: compresa la fornitura di terreno vegetale con ottima dotazione di sostanza organica, con struttura di medio impasto esente da ciotoli, pietrame, e scervo da radici o altri materiali estranei: operazione meccanica per quantità superiori a mq. 100. 9 Piazzole definitive	9,00	55,00	20,000	0,500	4'950,00		
	A RIPORTARE					4'950,00		1'913'865,82

