

***Sibilla Wind S.r.l.***

**Parco Eolico "Sibilla" sito nei comuni di:  
Canino e Montalto di Castro (VT) - Manciano (GR)**

**Analisi del ciclo vita dell'impianto**

Novembre 2022



Regione LAZIO comuni di:



Canino (VT)



Montalto di Castro (VT)



Regione TOSCANA comune di:



Manciano (GR)

Committente:

**Sibilla Wind S.r.l.**

**Sibilla Wind S.r.l.**

Via Sardegna, 40  
00187 Roma  
P.IVA/C.F. 16422481008

Titolo del Progetto:

**Parco Eolico "Sibilla" sito nei Comuni di:  
Canino e Montalto di Castro (VT) - Manciano (GR)**

Documento:

**Analisi del ciclo vita dell'impianto**

N° Documento:

**IT-VESSIB-TEN-SIA-TR-15**

Progettista:



**sede legale e operativa**  
San Martino Sannita (BN) Località Chianarile snc Area Industriale  
**sede operativa**  
Lucera (FG) via Alfonso La Cava 114  
P.IVA 01465940623  
Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873



Progettista  
**Dott. Ing. Nicola FORTE**



Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	NOVEMBRE 2022	Richiesta AU	MMG	PM	NF

## Sommario

<b>Analisi ciclo vita dell'impianto</b> .....	<b>4</b>
<b>1. Premessa</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Analisi del ciclo di vita (LCA) dell'impianto</b> .....	<b>5</b>
2.1. Premessa .....	5
2.2. Fasi del ciclo di vita dell'impianto.....	6
2.3. Assunzioni dell'analisi condotta .....	7
2.4. Valutazione delle emissioni .....	9
<b>3. Fase fine vita utile impianto</b> .....	<b>11</b>
3.1. Dismissione dell'impianto eolico e sostenibilità dell'intervento.....	11
3.2. Lavorazioni previste per la dismissione dell'impianto eolico.....	12
3.3. Materiali e componenti derivanti dalle operazioni di dismissione .....	13
3.4. Gestione dei materiali derivanti dalle operazioni di dismissione.....	13
3.4.1. Aerogeneratori .....	13
3.4.2. Modulo di trasformazione .....	18
3.4.3. Opere di fondazione .....	18
3.4.4. Massicciata da strade e piazzole .....	18
3.4.5. Cabina di raccolta .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
3.4.6. Collegamenti AT.....	18
3.5. Considerazioni sulla sostenibilità dell'intervento.....	18

## Analisi ciclo vita dell'impianto

### 1. Premessa

Il progetto descritto nella presente relazione riguarda la realizzazione di un impianto eolico costituito da 9 aerogeneratori della potenza di 7.2 MW ciascuno, per una potenza di 64,8 MW da installare nei comuni di Montalto di Castro (VT) e Canino (VT) in località "Parco San Nicola" e "Villa Abbado", con opere di connessione alla rete di trasmissione nazionale ricadenti nel comune di Manciano (GR) in località "Cerquanella". Proponente dell'iniziativa è la società Sibilla Wind Srl.

L'area d'installazione si colloca a nord est del centro di Montalto di Castro da cui dista circa 5 km in linea d'area, e a sud/est del centro di Canino dal quale dista circa 8,5 km in linea d'aria. Nel dettaglio, gli aerogeneratori denominati T01-T03-T04-T05-T06-T07-T08-T09 ricadono sul territorio di Montalto di Castro interessando i fogli catastali n.33-34-55, mentre l'aerogeneratore denominato T02 ricade sul territorio di Canino interessando il foglio catastale n.85.

Gli aerogeneratori sono collegati tra di loro mediante un cavidotto in media tensione interrato a 30 kV che sarà posato principalmente al di sotto di viabilità esistente di progetto e trasferirà l'energia prodotta dall'impianto alla sottostazione di trasformazione 30/132 kV prevista sul territorio del comune di Montalto di Castro sulla particella n.239 del foglio n.55.

Dalla sottostazione di trasformazione si sviluppa il cavidotto in alta tensione a 132 kV che percorre principalmente il tracciato della viabilità esistente fino a raggiungere la stazione elettrica in condivisione con altri produttori. Quest'ultima sarà collegata in antenna a 132 kV sulla sezione 132 kV della futura Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132 kV da inserire in entra – esce sulla linea RTN esistente 380 kV "Montalto – Suvereto".

Completano il quadro delle opere da realizzare una serie di adeguamenti temporanei alle strade esistenti necessari a consentire il passaggio dei mezzi eccezionali di trasporto delle strutture costituenti gli aerogeneratori e per consentire l'accesso alla SE di Utenza.

In fase di realizzazione dell'impianto sarà necessario predisporre un'area logistica di cantiere con le funzioni di stoccaggio materiali e strutture, ricovero mezzi, disposizione dei baraccamenti necessari alle maestranze (fornitore degli aerogeneratori, costruttore delle opere civili ed elettriche) e alle figure deputate al controllo della realizzazione (Committenza dei lavori, Direzione Lavori, Coordinatore della Sicurezza in fase di esecuzione, Collaudatore).

Al termine dei lavori di costruzione dell'impianto, l'area di cantiere, le opere temporanee di adeguamento della viabilità e quelle funzionali alla realizzazione dell'impianto saranno rimosse ed i luoghi saranno ripristinati come ante operam.

**La presente relazione di Life Cycle Assessment (LCA), nello specifico, affronta il tema della contabilizzazione delle emissioni dovute alle fasi di produzione dei materiali ed alla messa in opera dell'impianto.**

Per il calcolo delle emissioni e per la definizione delle misure di compensazione, si è adottato un approccio secondo il criterio proprio dell'LCA che, attraverso l'analisi del ciclo di vita dell'impianto eolico, consente di valutare le emissioni dovute ai materiali costituenti l'impianto e quelle relative alle varie fasi della vita dell'impianto.

Per quanto attiene le valutazioni in ottica di fine vita dei vari componenti dell'aerogeneratore, verranno date indicazioni relative alla fase di dimissione dell'impianto (in parte già descritte nella relazione di Dimissione allegata al progetto) dando anche delle indicazioni relative al riuso e riciclo delle componenti dell'aerogeneratore e ponendo particolare attenzione su quelle componenti più difficilmente riciclabili/riutilizzabili sulla base delle loro caratteristiche costruttive e dei materiali.

## 2. Analisi del ciclo di vita (LCA) dell'impianto

### 2.1. Premessa

Di seguito vengono presentati i dati delle emissioni dovute alle fasi di produzione dei materiali ed alla messa in opera dell'impianto, valutate in ottica ciclo di vita, considerando anche le fasi di manutenzione e dismissione dell'impianto dello stesso, con particolare riferimento alle emissioni in aria dei principali gas inquinanti o causa di effetto serra. La stima di tali emissioni è stata condotta applicando la metodologia LCA (Life Cycle Assessment) ed utilizzando dati e informazioni resi disponibili dal produttore (VESTAS) degli aerogeneratori.

In particolare, sono stati analizzati i documenti *"Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V150-4.2 MW Wind Plant"* e *"EnVentus\_Brochure\_2021- EnVentus Platform"* redatti da Vestas.

Nel report *"Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V150-4.2 MW Wind Plant"*, viene valutato il potenziale impatto ambientale dovuto alla produzione di elettricità da un impianto eolico on-shore costituito da aerogeneratori Vestas V150-4.2 e avente potenza nominale pari a 100MW.

Nel documento *"EnVentus\_Brochure\_2021- EnVentus Platform"* sono riportate le tabelle con le schede tecniche di diverse tipologie di aerogeneratori Vestas ed il potenziale impatto ambientale (in termini di produzione di CO<sub>2</sub> espressi in g/kWh) derivante dalla produzione di ciascuna tipologia di aerogeneratore descritto.

Considerando che lo scenario in cui è ubicato l'impianto eolico di cui è stata valutata l'analisi LCA nello studio VESTAS *"Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V150-4.2 MW Wind Plant"* ha condizioni anemologiche molto simili a quelle del sito di progetto, e che il modello di aerogeneratore previsto in progetto (V162 da 7.2MW) ha caratteristiche costruttive pressoché simili, si è ritenuto ragionevole utilizzare i dati desumibili dal suddetto studio come base di partenza per poter valutare le emissioni dell'impianto di progetto ad eccezione della CO<sub>2</sub>. Per queste ultime emissioni i dati di partenza per il calcolo sono stati desunti dalle schede del documento *"EnVentus\_Brochure\_2021- EnVentus Platform"* riferiti al modello VESTAS V162.

SUSTAINABILITY	
Carbon Footprint	5.8g CO <sub>2</sub> e/kWh
Return on energy break-even	6 months
Lifetime return on energy	41 times
Recyclability rate	86-87%
Configuration: HH=166m, Vavg=8.5m/s, k=2.48. Depending on site-specific conditions. Metrics are based on a preliminary stream-lined analysis. An externally-verified Lifecycle Assessment will be made publicly available on vestas.com once finalised.	

**Figura 1 SUSTAINABILITY turbina VESTAS modello V162**

L'applicazione della metodologia LCA è stata eseguita in accordo alle norme della serie ISO standards for LCA (ISO 14040: 2006, ISO 14044: 2006).

Di seguito si riportano le principali caratteristiche dell'impianto di progetto oggetto dell'analisi:

Tempo di vita [anni]	20
Potenza nominale turbina [MW]	7,2
Numero aerogeneratori	9
Potenza nominale impianto [MW]	64,8
Altezza mozzo torre [m]	119
Diametro [m]	162
Velocità media del vento al mozzo [m/s]	6
Lunghezza cavidotto MT interno [km]	9,17
Lunghezza cavidotto AT esterno [km]	20,6
Producibilità netta stimata [MWh/y]	131303 MWh/y

**Tabella 1 Caratteristiche impianto di progetto**

L'unità funzionale di riferimento per eseguire l'analisi LCA è 1 kWh di energia elettrica consegnata alla rete elettrica nazionale e prodotta dall'impianto eolico di progetto avente potenza complessiva pari a 64,8 MW. Il tempo di vita utile dell'impianto è stato assunto pari a 20 anni.

## 2.2. Fasi del ciclo di vita dell'impianto

Il ciclo di vita dell'impianto eolico è stato suddiviso in 4 fasi che saranno di seguito brevemente descritte (figura 2):

- Produzione delle componenti necessarie;
- messa in opera dell'impianto;
- mantenimento in attività dell'impianto;
- fine vita.



**Figura 2 Fasi del ciclo di vita di un impianto eolico**

### **Produzione**

Questa fase comprende la produzione di materie prime e la fabbricazione delle componenti che costituiranno l'impianto eolico come le fondazioni, le torri, le navicelle, le pale degli aerogeneratori, i cavi e le componenti della stazione di trasformazione. In tale studio è incluso il trasporto delle materie prime (ad esempio acciaio, rame, resina epossidica, ecc.) ai siti di produzione specifici.

### **Allestimento impianto eolico**

Questa fase prende in considerazione il trasporto dei componenti dell'impianto eolico al sito e la messa in opera dell'impianto stesso. I lavori in sito quali adeguamenti stradali, realizzazione di nuovi tratti di viabilità, realizzazione dei plinti di fondazione, posizionamento degli aerogeneratori, posa del cavidotto interno, installazione / montaggio della stazione di trasformazione e collegamento alla RTN sono inclusi nell'analisi di tale fase.

Il trasporto al sito delle varie componenti per l'installazione dell'impianto eolico include sia il trasporto su camion sia una parte di trasporto su nave marittima con dati specifici per le varie componenti dell'aerogeneratore come sarà di seguito mostrato.

### **Mantenimento in attività dell'impianto**

Tale fase prende in considerazione le principali attività necessarie al mantenimento in funzione dell'impianto quali, ad esempio, il cambio dell'olio, dei filtri e la sostituzione di parti usurate. Il trasporto associato al funzionamento e alla manutenzione, da e verso le turbine, è incluso nella valutazione di tale fase del ciclo di vita dell'impianto.

### **Fine vita**

Alla fine della vita utile dell'impianto, i principali componenti vengono smantellati e il sito viene bonificato allo stato concordato. Questa fase considera anche il trattamento di fine vita dei materiali che derivano dalla dismissione. In fase di redazione del piano di gestione dei rifiuti sono state valutate per ciascun tipo di rifiuto diverse possibili alternative: riciclaggio; incenerimento con recupero energetico, riutilizzo dei componenti e deposito in discarica. In base alla destinazione prevista del rifiuto e, quindi, in base alla possibilità o meno di un recupero energetico o materiale, si avranno potenziali impatti ambientali positivi o negativi. Il modello LCA per lo smaltimento della turbina tiene conto dei tassi di riciclaggio specifici dei diversi componenti, a seconda della purezza del materiale che lo compone e della facilità di smontaggio. Come sarà di seguito, la turbina VESTAS162 ha un tasso di riciclaggio elevato, il che contribuisce a limitare gli impatti dovuti all'impianto.

#### 2.3. Assunzioni dell'analisi condotta

L'analisi LCA condotta ha alla base le seguenti assunzioni:

- La vita utile degli aerogeneratori e quindi dell'intero impianto è assunto pari a 20 anni. Poiché l'industria degli aerogeneratori è relativamente giovane, la stima della vita utile di un impianto è, ad oggi, affetta da incertezza e convenzionalmente stimata appunto intorno ai 20 anni. Tuttavia, Vestas, il principale produttore al mondo di aerogeneratori e produttore anche degli aerogeneratori previsti per il progetto, ha diretta conoscenza di diverse proprie turbine che hanno superato i 20 anni di vita utile inizialmente stimati. Tale considerazione fa sì che i risultati che si otterranno dall'LCA in termini di mg di emissioni per kWh, possano essere considerati estremamente cautelativi, dato che l'energia prodotta durante tutto il ciclo di vita sarà con ogni probabilità maggiore di quella ad oggi stimata.
- L'energia prodotta dall'impianto è stata valutata in base alle condizioni anemologiche del sito. La velocità media del vento è pari a circa 6 m/s il che corrisponde ad un vento di classe bassa. Il dato di producibilità

stimato tiene conto degli effetti di scia dovuti alle caratteristiche di ventosità del sito e alla posizione reciproca degli aerogeneratori. La producibilità netta attesa dell’impianto è di circa 131303 MWh/anno corrispondente a circa 2026 ore equivalenti di funzionamento.

- I dati di producibilità ottenuti sono riportati nella tabella a seguire:

ID WTG	UTM WGS 84 Long. Est [m]	UTM WGS 84 Lat. Nord [m]	Altitudine s.l.m. [m]	Modello aerogeneratore	Potenza [KW]	Altezza mozzo s.l.t. [m]	Vm [m/s]	Produzione lorda [MWh]	Perdite di scia [%]	Produzione al netto delle scie [MWh]	Produzione al netto delle scie e perdite tecniche [MWh]	Ore equivalenti FLEOH [MWh/MW]
T01	721336	4696742	75	VESTAS V162	7.200	119,0	5,95	16.548	5,40	15.654	14.323	1989
T02	722381	4696181	90	VESTAS V162	7.200	119,0	6,07	17.165	3,16	16.623	15.210	2112
T03	720712	4696265	70	VESTAS V162	7.200	119,0	6,01	16.852	9,52	15.247	13.951	1938
T04	721549	4695750	73	VESTAS V162	7.200	119,0	6,03	16.942	10,52	15.160	13.872	1927
T05	721790	4695292	80	VESTAS V162	7.200	119,0	6,06	17.118	9,04	15.571	14.247	1979
T06	720848	4695175	70	VESTAS V162	7.200	119,0	6,06	17.125	8,31	15.702	14.368	1996
T07	721888	4694721	80	VESTAS V162	7.200	119,0	6,10	17.334	4,05	16.632	15.219	2114
T08	721241	4693302	69	VESTAS V162	7.200	119,0	6,13	17.503	5,35	16.566	15.158	2105
T09	721659	4693030	55	VESTAS V162	7.200	119,0	5,99	16.801	2,71	16.345	14.956	2077
MEAN VALUES			73				6,04		6,45			
TOTAL					64.800			153.389		143.501	131.303	2026

**Tabella 2– Tabella riassuntiva della stima di producibilità dell’impianto di progetto. Modello aerogeneratore V162-7.2 MW h<sub>mozzo</sub> 119m.**

- Non avendo a disposizione dati sul grado di contenuto riciclato dei materiali utilizzati è stato assunto che tutti i materiali necessari derivino da materie prime.
- Per quanto riguarda il trattamento di fine vita dell’aerogeneratore si presume che tutti i componenti metallici di grandi dimensioni principalmente monomateriali (ad esempio la sezione della torre, la struttura in ghisa nella navicella, ecc.) siano riciclati al 98%. Per gli altri componenti principali, come generatore, cavi e parti del sistema di imbardata si è assunto un grado di riciclabilità pari al 95%. L’aerogeneratore è costituito al 90% da materiali metallici il che fa sì che buona parte della turbina, una volta conclusa la vita utile dell’impianto, possa essere riciclato (avere una seconda vita). Infatti, la riciclabilità complessiva di un modello di turbina V162 dichiarata da Vestas è circa dell’86/87%.

SUSTAINABILITY	
Carbon Footprint	5.8g CO <sub>2</sub> e/kWh
Return on energy break-even	6 months
Lifetime return on energy	41 times
Recyclability rate	86-87%
<small>Configuration: HH=166m, Vavg=8.5m/s, k=2.48. Depending on site-specific conditions. Metrics are based on a preliminary stream-lined analysis. An externally-verified Lifecycle Assessment will be made publicly available on vestas.com once finalised.</small>	

**Figura 3 SUSTAINABILITY turbina VESTAS modello V162**



Il peso dei principali componenti dell'aerogeneratore è il seguente:

	Materiale Principale	kg per turbina	tonnellate impianto eolico di progetto
Navicella	Lega di alluminio	71000	639
Singola pala	Fibra di carbonio e fibra di vetro	27700	249,3
Mozzo	Ghisa e fibra di vetro rinforzata	59400	534,6
Drive train	Acciaio	92500	832,5
Torre	Acciaio	435000	3915

**Tabella 3 Componenti principali dell'aerogeneratore: materiali e pesi considerati**

- Nell'analisi del ciclo di vita dell'impianto, nella fase di dismissione il riciclaggio delle parti metalliche costituite da alluminio, ferro, acciaio o rame fornisce emissioni negative ovvero emissioni evitate, in accordo col metodo degli impatti evitati.
- Le quantità complessivamente necessarie per la realizzazione di tutte le fondazioni (plinti + pali) e quindi considerate nell'LCA sono: 2.523.821 m3 di calcestruzzo e 4.795 tonnellate di acciaio.
- Per la quantificazione dei trasporti, non avendo ancora firmato i contratti con i futuri fornitori e non avendo quindi contezza del tragitto previsto per i diversi materiali, sono stati utilizzati i valori indicati da Vestas, i quali rappresentano una media delle situazioni più frequenti:

	Truck (km)	Ship (km)
Nacelle	800	0
Hub	800	0
Blades	900	1900
Tower	500	4500
Foundation	50	0
Other site parts	600	0

**Tabella 4 Kilometraggi ipotizzati**

- Per la quantificazione del trasporto del calcestruzzo, trattandosi di un materiale facilmente reperibile, è stato assunto un valore pari a 50km.

#### 2.4. Valutazione delle emissioni

Di seguito vengono mostrati le emissioni dei principali gas inquinanti e gas ad effetto serra ottenuti dall'analisi del ciclo di vita dell'impianto in questione. L'analisi che si riporta di seguito, sebbene limitata come detto ai principali gas inquinanti e ad effetto serra, fornisce risultati le cui deduzioni possono ritenersi valide anche per le altre emissioni che derivano dal ciclo di vita dell'impianto.

	Emissioni Impianto eolico (LCA)
Carbon Dioxide [t]	15569
Carbon monoxide [t]	11,1
Nitrogen Oxides [t]	56,6
Solphure dioxide [t]	37

**Tabella 5 Emissioni in tonnellate prodotte dall'impianto**

Per completezza e per un possibile confronto con altre fonti rinnovabili o non rinnovabili, si riportano di seguito le emissioni espresse in mg/kWh:

	Emissioni Impianto eolico (LCA)
Carbon Dioxide [mg/kWh]	5800
Carbon monoxide [mg/kWh]	4,15
Nitrogen Oxides [mg/kWh]	21,1
Solphure dioxide [mg/kWh]	13,8

**Tabella 6 Emissioni in mg/kWh**

Poiché una turbina eolica non consuma combustibili fossili durante il suo funzionamento, a differenza delle altre fonti di energia convenzionali, appare chiaro che il principale aspetto ambientale di questa tecnologia è legato alla produzione della sua infrastruttura (materie prime necessarie alla realizzazione di tutte le parti in acciaio del WTG e alle successive fasi di lavorazione). I componenti più critici in questa fase sono la torre e le pale.

Per quanto riguarda la costruzione di parchi eolici, gli aspetti ambientali più rilevanti sono i materiali necessari alla realizzazione delle fondazioni (principalmente in cemento e acciaio), seguita dall'adeguamento del terreno necessario per la costruzione del parco eolico.

Le emissioni dovute all'impianto saranno compensate dalle mancate emissioni che si avranno durante la vita utile dell'impianto, grazie all'energia prodotta dallo stesso e non da idrocarburi.

Le emissioni evitate dei gas aventi maggior impatto ambientale, nei 20 anni di vita utile dell'impianto sono:

- 1.355.047 t circa di anidride carbonica;
- 6.565 t circa di anidride solforosa;
- 2.363 t circa di ossidi di azoto.

Un confronto immediato tra le emissioni dovute al ciclo di vita del parco eolico (LCA) e le emissioni evitate per effetto della produzione di energia da fonte rinnovabile, è dato dalla seguente tabella:

	Emissioni impianto eolico (LCA)	Emissioni evitate
Carbon Dioxide [t]	15569	1.355.047
Nitrogen Oxides [t]	56,6	6.565
Solphure dioxide [t]	37	2.363

Le emissioni legate al ciclo di vita dell'impianto eolico, risultano tutte ampiamente compensate da quelle evitate dalla produzione di energia dallo stesso impianto. Anzi, nei 20 anni di vita utile considerati, al netto delle emissioni dovute alla realizzazione dell'impianto, grazie all'esistenza dello stesso, nell'ambiente non saranno emesse:

- 1.355.047 t circa di anidride carbonica;
- 6.565 t di ossidi di azoto;
- 2.363 t di anidride solforosa.

Facendo un raffronto con i valori delle emissioni legate alla vita utile dell'impianto, è possibile dedurre che, grazie all'impianto eolico in questione, nei 20 anni considerati si eviterebbero 120 volte la quantità di CO<sub>2</sub> emessa durante la vita utile dell'impianto, 42 volte la quantità di ossidi di azoto emessi durante la vita utile dell'impianto e 180 volte la quantità di anidride solforosa emessa durante la vita utile dell'impianto.

### 3. Fase fine vita utile impianto

#### 3.1. Dismissione dell'impianto eolico e sostenibilità dell'intervento

La vita utile dell'impianto eolico è convenzionalmente pari a circa 20-25 anni, al termine dei quali, nel caso non ricorrano le condizioni per un revamping, ovvero la possibilità di aggiornamento tecnologico dell'impianto stesso, si provvederà alla sua dismissione e al ripristino dei luoghi all'uso originario. Con l'evolversi della tecnologia e con decenni di esperienza maturata, l'industria eolica già oggi prevede un ciclo vita dell'impianto sino a 40 anni. Ciò significa, quindi, che potenzialmente un impianto eolico sarà smantellato non tanto per il raggiungimento della fine del ciclo vita dell'aerogeneratore, ma per migliorare l'efficienza energetica ed economica del sito stesso. In sostanza, in prima istanza, gli aerogeneratori non saranno destinati allo smantellamento per riciclo, ma al loro ripristino e riutilizzo in altri siti, per il tramite di un ampio mercato secondario, sviluppato sia in Europa che nel resto del mondo, negli ultimi anni.

Già oggi è possibile acquistare sul mercato secondario aerogeneratori di seconda mano, con età di funzionamento compresi tra i 10 ed i 20 anni, ricondizionati e modificati a seconda delle esigenze dei clienti. In tale mercato secondario è inoltre possibile reperire anche singoli componenti, quali trasformatori, gearbox, cablaggi, quadri, ecc. Tale importante orientamento del mercato offre un notevole miglioramento in relazione alle tematiche legate alla sostenibilità, rendendo il ciclo vita due, se non tre volte maggiore rispetto alle previsioni dei primi anni di attività dell'industria eolica.

Ad ogni modo, anche con un ciclo di vita aumentato, l'aerogeneratore sarà prima o poi destinato ad essere completamente smantellato e destinato agli impianti di riciclo.

Innanzitutto, una delle caratteristiche che qualifica la produzione di energia da fonte eolica come sostenibile è proprio la quasi totale reversibilità degli interventi di modifica del territorio e la possibilità di poter limitare al minimo la produzione di rifiuti alla fine utile dell'impianto eolico. A differenza di molti altri impianti convenzionali, ma anche rinnovabili (si pensi ad una diga o ad una centrale geotermica), lo smantellamento di un impianto eolico

risulta più veloce, economico ed efficiente, lasciando le aree interessate dall'impianto completamente prive di ogni traccia dello stesso (ad esclusione delle linee elettriche che sono però tipicamente interrato e destinate al riutilizzo per lo sviluppo di reti locali).

Al fine di rendere l'intervento proposto sostenibile sotto il profilo ambientale, l'impianto eolico di progetto verrà realizzato prevedendo l'impiego di componenti e materiali le cui caratteristiche ne garantiranno il massimo riutilizzo/riciclo al termine della vita utile. Si ricorda che per la costruzione dell'impianto di progetto tutte le componenti e i materiali giungeranno in cantiere nelle quantità strettamente necessarie alla realizzazione del parco eolico evitando quindi residui sulle aree d'impianto che potrebbero appesantire la fase di dismissione. Inoltre, gli interventi di dismissione previsti riguarderanno le opere strettamente necessarie al miglior ripristino dello stato ante operam mantenendo gli interventi che potranno essere funzionali ad altre esigenze. Riducendo gli interventi di dismissione, si ridurranno gli impatti e la produzione di rifiuti correlati alla fase di fine vita utile.

Le operazioni previste per lo smantellamento dell'impianto eolico e per la riqualificazione del sito sono in sintesi:

- lo smontaggio degli aerogeneratori e delle apparecchiature tecnologiche;
- la dismissione della parte più superficiale delle fondazioni;
- la dismissione delle strade di servizio e delle piazzole degli aerogeneratori;
- la rimozione dei cavi AT ed MT previsti lungo la viabilità di servizio o in attraversamento dei campi eolici;
- il riciclo e lo smaltimento dei materiali e il ripristino dello stato dei luoghi attraverso la rimozione delle opere e il rimodellamento del terreno allo stato originario.

Inoltre, non verranno rimossi i tratti di cavidotto AT ed MT posati lungo la viabilità esistente. Quest'ultimi, infatti, essendo interrati su strada non determinano impatti sul paesaggio né occupazioni di suolo. Inoltre, tale scelta eviterebbe la demolizione della sede stradale per la rimozione dei cavi e, di conseguenza, eviterebbe disagi alla circolazione locale durante la fase di dismissione. È del tutto verosimile pensare che i cavi già posati possano in futuro essere utilizzati da altri impianti per la produzione di energia, dallo stesso gestore della rete oppure per favorire l'elettrificazione rurale e di impianti di irrigazione, dismettendo eventualmente i cavi attualmente aerei.

### 3.2. Lavorazioni previste per la dismissione dell'impianto eolico

La rimozione delle turbine avverrà secondo precise modalità: attraverso un'autogru, rimuovendo tutti gli olii utilizzati nei circuiti idraulici degli aerogeneratori, scollegando cablaggi elettrici, smontando e posizionando a terra il rotore e le pale e, qualora non si preveda il reimpiego delle componenti, tagliandole a dimensioni trasportabili con mezzi idonei.

È prevista la demolizione integrale del colletto del plinto e dei plinti fino ad 1 metro di profondità dal ciglio colletto e il riporto di terreno vegetale. Con tale metodologia di demolizione, l'area torna ad essere interamente coltivabile. Il materiale di risulta proveniente dalla demolizione dell'opera di fondazione verrà conferito presso discarica o centro di recupero di inerti.

In alternativa, è possibile prevedere il riutilizzo dello stesso plinto per l'installazione di nuovi aerogeneratori utilizzando i medesimi anchor cage e sistemi di imbullonaggio.

La dismissione di strade e piazzole di servizio avverrà attraverso: la rimozione della massicciata stradale tramite l'ausilio di escavatori; l'eventuale traposto a discarica o a centro di recupero inerti della massicciata rimossa non utilizzata per il ricarica delle strade bianche esistenti all'interno dell'area d'impianto; la dismissione dei rilevati e il riempimento degli scavi ai fini dei ripristini morfologico, lo spandimento di terreno vegetale che sarà opportunamente livellato in modo da ridare un'orografia naturale all'area oggetto d'intervento.

La rimozione dei cavidotti AT ed MT 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, elemento protettivo, conduttori, dello strato di sabbia, misto cementato, massicciata e asfalto ove presente; riempimento degli scavi con

materiale di risulta prevedendo costipatura superficiale con terreno vegetale ove i cavi da rimuovere saranno su terreni agricoli.

### 3.3. Materiali e componenti derivanti dalle operazioni di dismissione

A seguito delle operazioni di dismissione si produrranno fondamentalmente i seguenti materiali/componenti:

- Componenti degli aerogeneratori;
- Inerti e acciaio dalla demolizione della parte superiore dei plinti di fondazione;
- Massicciata stradale;
- Fabbricato cabina di raccolta e componenti impiantistiche;
- Sfridi di cavidotto.

I terreni provenienti dagli scavi, salvo il riscontro di eventuali contaminazioni, verranno utilizzati tutti in sito per i riempimenti degli scavi e i ripristini morfologici delle aree oggetto di dismissione.

Dalla dismissione dell'impianto di produrranno miscugli di minuterie e sfridi la cui entità sarà irrisoria e che verranno conferiti a discarica.

### 3.4. Gestione dei materiali derivanti dalle operazioni di dismissione

ANEV – Associazione Nazionale Energia del Vento – ritiene, sulla base della esperienza finora conseguita dagli operatori, che solo una piccola parte dell'impianto non sia riutilizzabile, come si evince dalla tabella seguente:

Materiali	Percentuale	Scenario
pale d'acciaio	90%	Riutilizzabile
acciaio privo di ruggine	90%	Riutilizzabile
ghisa	90%	Riutilizzabile
rame	95%	Riutilizzabile
plastica-PVC	100%	Discarica
alluminio	90%	riutilizzabile
fibre vetro	100%	Discarica
olio	100%	incenerito
piombo	90%	riutilizzabile
zinco	90%	riutilizzabile

**Figura 4 Rielaborazione dati ANEV - Report 2017**

#### 3.4.1. Aerogeneratori

Per la dismissione dell'aerogeneratore si dovranno scollegare i cavi dalle apparecchiature elettriche e solo dopo si movimenteranno le parti in elevazione (pale, mozzo, navicella, torre).

#### ***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 e fibra di carbonio come componenti principali, a cui si aggiungono altri componenti della famiglia delle resine. 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. Tali materiali garantiscono leggerezza ed elevata resistenza, ma allo stesso tempo rendono difficile il processo di separazione e recupero degli stessi nel fine vita.

In generale, tali componenti vengono, infatti, avviati a discarica autorizzata per rifiuti (data la non pericolosità degli stessi). Le pale, in virtù dei materiali di cui sono costituite, influiscono quindi negativamente sul tasso di riciclabilità complessivo dell'aerogeneratore, il quale si attesta intorno all'88% in massa. Per aumentare tale valore bisogna inevitabilmente agire sulla scelta dei materiali che costituiscono le pale ed i relativi possibili processi di riciclaggio. Proprio per questo, i processi di selezione dei materiali che costituiscono le pale sono in rapida evoluzione e la scelta non è più basata unicamente sulla relativa performance ma anche sulla sostenibilità complessiva del materiale (valutazione del ciclo di vita del materiale). Una delle aziende più attive in tale processo di selezione e ottimizzazione dei materiali delle pale è proprio Vestas, casa produttrice degli aerogeneratori di progetto. Infatti, come indicato nel capitolo precedente, attualmente la riciclabilità complessiva di un modello di turbina V162 dichiarata da Vestas è circa dell'87%.

Inoltre, l'azienda ha dato il via al progetto CETEC (Circular Economy for Thermoset Epoxy Composites) coinvolgendo università e industrie per produrre pale che siano riciclabili al 100% entro tre anni e turbine a rifiuti zero entro il 2040 (rif. rapporto di Wood Mackenzie e progetto CETEC pubblicato il 12 Luglio 2021 su [www.rinnovabili.it](http://www.rinnovabili.it))

Ad oggi, come riportato nel documento *“Verso una gestione sostenibile e circolare per il fine vita delle pale eoliche”*, è possibile comunque valutare per le pale delle alternative alla discarica. Se ne riportano di seguito alcuni esempi:

- Riciclo meccanico: una serie di processi portano ad ottenere un materiale macinato che può essere poi utilizzato per produrre plastica, pannelli per isolamento termico o acustico, per la realizzazione di mobili ecc..;
- recupero energetico: le pale eoliche vengono utilizzate come combustibile dopo aver rimosso tutti i componenti che possono essere riutilizzati;
- coprocessing per la produzione 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;
- Pirolisi e solvolisi: questi processi permettono il riciclaggio del materiale per la fabbricazione di altri componenti attraverso la separazione dei differenti componenti. Infatti, a valle di tali processi, si ottiene di nuovo la fibra di vetro, da una parte, e la resina, dall'altra;
- Letto fluido: processo termico che consente anch'esso di separare le fibre dalla matrice ottenendo però un basso livello di qualità delle prime.

Come riportato nel documento *“Accelerating Wind Turbine Blade Circularity”*, nella gerarchia per una gestione sostenibile delle pale, ancor prima dei processi di riciclaggio e recupero, è possibile pensare anche all'eventuale riutilizzo di parte delle stesse per applicazioni diverse da quella originale, quali: pensiline per biciclette, camminamenti su piccoli corsi d'acqua e altre applicazioni come arredo urbano.



**Figura 5** Esempio di riutilizzo della pala come pensilina per biciclette ad Alborg, Danimarca (fonte: Accelerating wind turbine blade circularity)

Nella relazione di dismissione è già menzionata la possibilità di un riutilizzo delle pale come elementi di arredo urbano. Si evidenzia che ogni valutazione fatta in sede di redazione del progetto di dismissione sarà successivamente oggetto di attualizzazione al momento della dismissione a fronte delle nuove tecniche realizzative verso le quali il produttore si sta portando e a fronte delle future tecniche di riciclo/recupero/riutilizzo dei materiali.

### **Navicella**

La navicella costituisce il nucleo centrale dell'aerogeneratore. È la parte più complessa della macchina, dato l'elevato numero di componenti, unità e sistemi installati.

I principali componenti della navicella sono:

- Mozzo;
- Generatore;
- Asse;
- Moltiplicatore;
- Gruppo idraulico;
- Quadro elettrico e di controllo;
- Minuteria;
- Oli e grassi (idraulici e meccanici).
- Telaio della navicella;
- Carcassa della navicella.

La maggior parte dei componenti della navicella sono fabbricati in diversi tipi di acciaio e leghe. Inoltre, 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 nelle pale. Il materiale utilizzato per la fabbricazione del mozzo è acciaio lavorato meccanicamente e 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.

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

### **Il moltiplicatore**

Il moltiplicatore è costruito in acciaio e completato da un sistema idraulico composto da valvole, condotti di olio e filtri. Il suo funzionamento richiede una determinata quantità di olio lubrificante, che viene periodicamente sostituita durante il funzionamento dell'aerogeneratore.

Una volta smantellato il moltiplicatore, i pezzi metallici verranno riciclati come rottami. Prima dello smantellamento, si ritirerà in maniera 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.

### **L'asse di alta velocità**

L'asse di alta velocità, con la sua rotazione, consente il funzionamento del generatore elettrico. È dotato di un freno a disco di emergenza. È fabbricato in acciaio e si trova protetto da una cassa metallica. I componenti sono in acciaio e pertanto a dismissione avvenuta verranno riciclati come rottami.

### **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 dai cavi fino alla cabina elettrica posta a base della torre per essere qui trasformata 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 un avvolgimento di cavo di rame. Tanto l'acciaio quanto il rame sono destinati al riciclaggio come rottame. Il rame in particolare ha un elevato valore anche nel mercato del recupero.

### **Motori e riduttori**

Il meccanismo di posizionamento della turbina a favore di vento è composto da motori e riduttori fissati alla gondola e che fanno presa sull'ingranaggio della corona di orientamento della torre. Il corretto orientamento viene gestito dal sistema di controllo della turbina che elabora i dati dell'anemometro installato sulla navicella in ogni turbina. Sia i motori elettrici che i riduttori sono fabbricati in acciaio. A fine vita utile dell'impianto, tali componenti verranno riciclati come rottame.

### **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.

Il gruppo di pressione ha il compito di far circolare il fluido idraulico che consente il corretto funzionamento dei sistemi di rotazione delle varie componenti (rotore, assi, moltiplicatori di giri, sistema di posizionamento dell'aerogeneratore), del sistema di trasmissione e del sistema di orientamento del rotore. Il sistema è fabbricato totalmente in acciaio e viene riciclato come rottame.



Il sistema idraulico canalizza il fluido in pressione fino al punto di utilizzo nei componenti che si trovano sottoposti ai movimenti di rotazione. Questi tubi e condotti sono fabbricati solitamente in polimeri sintetici e caucciù, ed alcuni sono rinforzati internamente con una maglia di filo d'acciaio. In generale tali materiali vengono gestiti come rifiuto.

### **Telaio della navicella**

Il telaio si compone di diversi pezzi che si assemblano tra loro per formare la base sulla quale si posiziona la totalità dei componenti meccanici, elettrici ed idraulici che si trovano all'interno della navicella. Al telaio è fissata la corona e gli ancoraggi di supporto alla torre dell'aerogeneratore. Il telaio è fabbricato in acciaio, pertanto, una volta arrivati alla fine della vita utile dell'aerogeneratore vengono riciclati come rottame.

### **Carcassa della navicella**

Tutta la navicella si rifinita di una carcassa esteriore che, come le pale, è costituita da fibre di vetro e resine. 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.

In generale, a fine vita utile la carcassa della navicella viene avviata a discarica autorizzata per rifiuti, data la non pericolosità degli stessi.

Tuttavia, si possono valutare ulteriori diverse alternative per la dismissione:

- 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;
- 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;
- utilizzo come elementi di arredo urbano.

### **Componenti elettrici e di controllo**

In tutto l'aerogeneratore e, in particolare all'interno della navicella, è installato un elevato numero di cavi e dispositivi di controllo. Da un lato si trovano i cavi che trasportano l'energia generata e dall'altro i cavi appartenenti al sistema di controllo e gestione 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, visto anche l'elevato valore economico del rame e in misura minore dell'alluminio. Il processo per il recupero di tale materiale 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 anch'essa completamente riutilizzabile in altri processi produttivi.

Parti del sistema di controllo contengono piombo in una matrice di vetro o ceramica. Tali parti saranno gestite come rifiuto speciale.

### **Minuteria**

Gli elementi necessari all'assemblaggio delle diverse parti che compongono la navicella sono fabbricati in acciaio, alluminio ed altre leghe.

Tutti questi componenti costituiscono rottami che possono essere completamente riutilizzati.

### **Torre**

Le torri di sostegno ed i conchi di fondazione di ancoraggio alla base degli aerogeneratori si fabbricano interamente a partire dalle piastre di acciaio e, sia all'interno sia all'esterno, sono ricoperte da vari strati di pittura. Le loro dimensioni e caratteristiche strutturali variano in funzione della potenza della macchina da installare. In generale le torri installate si compongono di tre trami assemblati tra di loro ed ancorati alla base di cemento. All'interno delle torri si installano vari componenti come scale, cavi elettrici di connessione dell'aerogeneratore, porta della torre e casse di connessione. Tali torri sono fabbricate con piastre di acciaio di spessore variabile, che alla fine

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 operai all'interno della navicella. Tali componenti sono fabbricati in acciaio o ferro galvanizzato visto che all'interno sono protetti dalla corrosione.

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

Tuttavia, potrebbe essere prevedibile anche un loro utilizzo qualora le caratteristiche di resistenza strutturale e le dimensioni possano essere compatibili con i modelli di aerogeneratori che saranno disponibili sul mercato.

#### 3.4.2. Modulo di trasformazione

Una volta smontata la torre resterà solo il blocco costituito dal modulo di trasformazione. La particolarità di questo gruppo è quello di poterlo estrarre e collocare sul mezzo di trasporto interamente e solo in officina eseguire gli altri smontaggi delle altre apparecchiature. Le aziende specializzate separeranno i componenti a base ferrosa e rame e/o di valore commerciale nel mercato del riciclaggio, in modo da ridurre al minimo la percentuale di rifiuto da rottame.

#### 3.4.3. Opere di fondazione

Dalla demolizione della parte superiore delle fondazioni degli aerogeneratori e dalla demolizione della fondazione della cabina di raccolta, si ottiene un miscuglio di calcestruzzo mescolato a ferro appartenente all'armatura del plinto e al concio dell'aerogeneratore. La parte metallica potrà essere destinata al riciclo come rottame. La base in calcestruzzo potrà riciclata come agglomerato per usi nelle costruzioni civili e, solo come alternativa, sarà conferita in discarica dei rifiuti inerti.

#### 3.4.4. Massicciata da strade e piazzole

La massicciata stradale derivante dalla dismissione delle strade e piazzole di servizio verrà impiegata per il ricarico delle strade bianche esistenti all'interno dell'area d'impianto e percorse dai mezzi durante le operazioni di dismissione, migliorandone in tal modo il fondo e la percorribilità. I volumi in esubero verranno conferiti a centro di recupero inerti o, nel caso più remoto, in discarica.

#### 3.4.5. Collegamenti AT ed MT

Dalla dismissione dei tratti di cavidotto AT previsti sulla viabilità di progetto o su terreno si produrranno diversi materiali. I materiali da smaltire sono il nastro segnalatore, il tubo corrugato, l'elemento protettivo ed i materiali edili di risulta dello scavo, come la sabbia. I volumi non usati per il rinterro, quindi, saranno trasportati in appositi centri di smaltimento e per essi sarà valutato l'utilizzo più opportuno. Le componenti a protezione dei conduttori verranno smaltite presso discarica sempre che le loro condizioni non ne consentano il riciclaggio. I conduttori dei cavi hanno un loro valore commerciale (dovuto alla presenza di metalli quali rame e alluminio) e saranno conferiti presso centri di recupero e/o riciclaggio.

### 3.5. Considerazioni sulla sostenibilità dell'intervento

In definitiva, l'impianto eolico di progetto sarà realizzato impiegando componenti, materiali e apparecchiature che al termine della fine utile dell'impianto ne garantiranno la reversibilità e il quasi totale riutilizzo limitando al massimo la produzione di rifiuti. Le previsioni progettuali sono quelle di mantenere in esercizio le opere che potranno essere destinate da altri utilizzi o cedute ad altri produttori, come la sottostazione di trasformazione ed i tratti di cavidotto AT ed MT posati lungo viabilità esistente. In tal modo, molto oltre a limitare ulteriormente la produzione di rifiuti, anche gli impatti correlativi con la fase di fine vita utile dell'impianto e quindi di dismissione saranno ridotti.

**L'intervento proposto risulta, pertanto, altamente sostenibile sotto il profilo degli impatti ambientali e della reversibilità delle aree interessate.**

**In considerazione del fatto che la fine utile dell'impianto è stimabile dopo 20-25 anni dalla sua entrata in esercizio, ad oggi non è possibile prevedere i centri di recupero, riciclaggio e le discariche ove verranno conferiti i diversi materiali provenienti dalla fase di dismissione dell'impianto eolico. Sicuramente si prediligeranno i centri più vicini anche al fine di limitare al minimo i trasporti.**

**È ipotizzabile, inoltre, che le tecnologie relative al riutilizzo/riciclaggio nei prossimi anni migliorino ulteriormente per cui è auspicabile che si possa ridurre ulteriormente la percentuale di componenti/materiali che alla fine utile dell'impianto eolico verranno conferiti come rifiuto presso discariche autorizzate.**

**Per quanto riguarda le pale che, come detto, rappresentano al momento la componente dell'aerogeneratore meno facilmente riciclabile, giunti al fine vita dell'impianto, a fronte delle nuove tecniche di realizzazione delle turbine verso le quali si sta tenendo e dei futuri processi di riciclaggio, sarà valutata con particolare attenzione la destinazione da dare alle stesse considerando, tra le varie opzioni, anche un possibile utilizzo come elemento di arredo urbano.**