

REGIONE SARDEGNA
PROVINCE DI ORISTANO E NUORO
Suni(OR) - Sindia (NU) - Macomer (NU)

LOCALITA' "S'ena e Cheos ", "Tiruddone", "Ferralzos"

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE - 7 AEROGENERATORI

Sezione SIA:
STUDIO IMPATTO AMBIENTALE

Titolo elaborato:
ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO

N. Elaborato: **SIA13.CA.01**

Scala: -

Proponente

ORTA ENERGY 9 Srl

*Largo Guido Donegani, 2
CAP 20121 Milano (MI)
P.Iva 11898400962*

Amministratore
Francesco DOLZANI

Progettazione



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



Progettista
Dott. Ing. Nicola Forte



Rev.	Data	Elaborazione	Approvazione	Emissione	DESCRIZIONE
00	LUGLIO 2023	MMG sigla	PR sigla	NF sigla	Emissione progetto definitivo
Nome File sorgente		ES.SUN01.SIA13.CA.01.R00.doc	Nome file stampa	ES.SUN01.SIA13.CA.01.R00.pdf	Formato di stampa A4

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice	ES.SUN01.SIA13.CA.01
		Data creazione	02/08/2023
		Data ultima modifica	02/08/2023
		Revisione	00
		Pagina	1 di 30

INDICE

1.	PREMESSA.....	2
2.	ANALISI DEL CICLO DI VITA (LCA) DELL'IMPIANTO	4
2.1.	Informazione per i dati del progetto	4
2.2.	Fasi del ciclo di vita dell'impianto.....	7
2.3.	Assunzioni dell'analisi condotta	9
2.4.	Valutazione delle emissioni dell'impianto eolico	14
2.5.	FASE FINE VITA UTILE IMPIANTO.....	16
2.6.	Dismissione dei sistemi e sostenibilità dell'intervento	16
2.7.	Materiali e componenti derivanti dalle operazioni di dismissione	20
2.8.	Gestione dei materiali derivanti dalle operazioni di dismissione	21
2.8.1.	Aerogeneratori	21
2.8.2.	Modulo di trasformazione	27
2.8.3.	Opere di fondazione	27
2.8.4.	Massicciata da strade e piazzole.....	27
2.8.5.	Cabina di raccolta	27
2.8.6.	Collegamenti MT.....	28
2.8.7.	Batterie agli ioni di litio	28
2.9.	Considerazioni sulla sostenibilità dell'intervento.....	29

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA13.CA.01 02/08/2023 02/08/2023 00 2 di 30
---	---	---	---

1. PREMESSA

Il progetto descritto nella presente relazione riguarda la realizzazione di un impianto eolico costituito da 7 aerogeneratori della potenza di 6 MW ciascuno, per una potenza di 42 MW, integrato con un sistema di accumulo con batterie agli ioni da 20 MW, per una potenza complessiva in immissione di 62 MW da installare nel comune di Suni (OR) e Sindia (NU) alle località "S'ena e Cheos", "Tiruddone" e "Ferralzos", con opere di connessione alla rete di trasmissione nazionale ricadenti nel comune Macomer (NU) alla località "Mura de Putzu". Proponente dell'iniziativa è la società Orta Energy 9 srl.

Il sito di installazione degli aerogeneratori è ubicato tra i centri abitati di Suni e Sindia, dai quali gli aerogeneratori più prossimi distano rispettivamente 4,5 km e 2,5 km.

Gli aerogeneratori sono collegati tra loro mediante un cavidotto in media tensione interrato denominato "cavidotto interno" che sarà posato quasi totalmente al di sotto di viabilità esistente e che giunge fino alla cabina di raccolta, prevista nel comune di Sindia alla località "Piena Porcalzos" nei pressi della strada comunale Miali Spina.

Dalla cabina di raccolta parte il tracciato del cavidotto interrato in media tensione "esterno", che corre su strada esistente e che, dopo circa 19 km, raggiunge la stazione elettrica di trasformazione 30/150 kV di progetto (in breve SE di utenza).

La SE di utenza, infine, è collegata in antenna a 150 kV sulla sezione a 150 kV della futura Stazione Elettrica (SE) di trasformazione 380/150 kV della RTN da inserire in entra-esce alla linea a 380 kV "Ittiri - Selargius".

All'interno della stazione di utenza è prevista l'installazione di un sistema di accumulo di energia denominato BESS - Battery Energy Storage System, basato su tecnologia elettrochimica a ioni di litio, comprendente gli elementi di accumulo, il sistema di conversione DC/AC e il sistema di elevazione con trasformatore e quadro di interfaccia. Il sistema di accumulo è dimensionato per 20 MW con soluzione containerizzata, composto sostanzialmente da:

- 16 Container metallici Batterie HC ISO con relativi sistemi di comando e controllo;
- 8 Container metallici PCS HC ISO per le unità inverter completi di quadri servizi ausiliari e relativi pannelli di controllo e trasformazione BT/MT.

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.

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

 TENPROJECT	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA13.CA.01 02/08/2023 02/08/2023 00 3 di 30
---	---	---	---

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, le aree 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, nel dettaglio, descrive l'impatto ambientale generato dall'impianto, in termini di emissioni in aria dei principali gas inquinanti o causa di effetto serra, per le fasi di produzione dei materiali, realizzazione ed esercizio dell'impianto, nonché durante le fasi di manutenzione e dismissione dello stesso.

In altri termini si effettua una valutazione del ciclo vita dell'impianto, tecnicamente nota come "Life Cycle Assessment" (LCA). L'obiettivo di questo strumento a supporto delle decisioni è identificare e quantificare gli impatti generati da un prodotto o da un servizio lungo il suo ciclo di vita (produzione, uso, smaltimento) secondo l'approccio "dalla culla alla tomba" o, in ottica di economia circolare, "dalla culla, alla culla".

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice	ES.SUN01.SIA13.CA.01
		Data creazione	02/08/2023
		Data ultima modifica	02/08/2023
		Revisione	00
		Pagina	4 di 30

2. ANALISI DEL CICLO DI VITA (LCA) DELL'IMPIANTO

2.1. Informazione per i dati del progetto

Di seguito vengono presentati i dati delle emissioni dovute alle fasi di produzione dei materiali (calcestruzzo, metalli, batterie, ...) ed alla messa in opera dell'impianto, valutate in ottica ciclo di vita, considerando anche le fasi di manutenzione e dismissione dell'impianto 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 dai produttori dei vari componenti dell'impianto procedendo, in mancanza di dati specifici, ad analisi comparative con elementi impiantistici assimilabili a quelli oggetto di progettazione.

In particolare:

- Per gli aerogeneratori, si è fatto riferimento al report *"Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V150-4.2 MW Wind Plant"* redatto da Vestas. In esso 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. Considerando che il sito in cui è ubicato l'impianto eolico di cui è stato valutato LCA ha condizioni anemologiche molto simili a quelle dell'impianto oggetto della presente progettazione e che il modello di aerogeneratore previsto, salvo la diversa potenza, ha caratteristiche geometriche e costruttive pressoché molto simili, si è ritenuto ragionevole utilizzare i dati da essi forniti come una buona base di partenza per poter valutare le emissioni.
- Per il sistema BESS, si è fatto riferimento al Rapporto RSE *"LCA e LCC di batterie stazionarie a ioni-litio nello scenario italiano"* che è integrante della documentazione delle attività di Ricerca di Sistema previste dal "Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021" nell'ambito del progetto 1.2 "Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti" / WP2 "Aspetti ambientali" e costituisce Deliverable della Linea di Attività 2.02 "LCA e LCC: definizione metodologia per l'analisi LCA – LCC su batterie".

Nel dettaglio, nel 1993 la SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) ha messo a punto delle linee guida (Code of Practice) ed ha definito la LCA come *"quel procedimento oggettivo di valutazione dei carichi energetici e ambientali relativi ad un processo o ad un'attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale"* (SETAC, 1993).

Il processo di standardizzazione prosegue nel 1997 con la pubblicazione delle norme ISO 14040, appartenenti alla più generale serie ISO 14000 sulla gestione ambientale, recepita in Italia dall'Ente Nazionale di Unificazione UNI.

La procedura di LCA si compone di quattro fasi (in base alla norma ISO 14040), di seguito schematizzate:

Life Cycle Assessment Framework

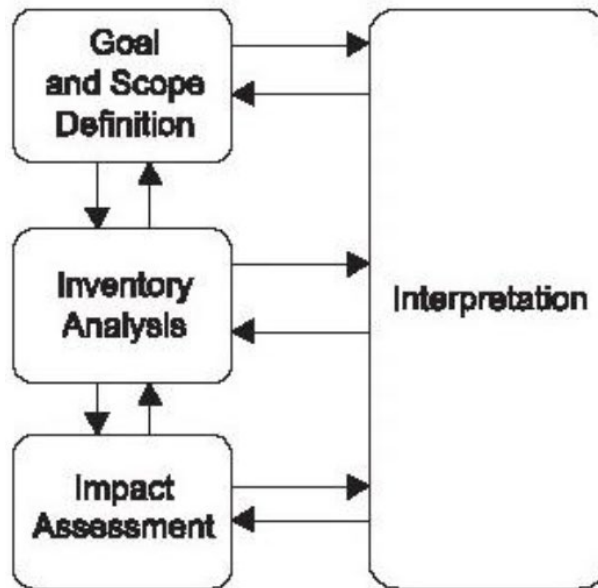


Figura 1: Fasi e applicazioni della LCA (ISO 14040, 2006)

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice	ES.SUN01.SIA13.CA.01
		Data creazione	02/08/2023
		Data ultima modifica	02/08/2023
		Revisione	00
		Pagina	6 di 30

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

Tempo di vita [anni]	20
Potenza nominale turbina [MW]	6
Numero aerogeneratori	7
Potenza nominale impianto [MW]	42
Capacità sistema di accumulo BESS con batterie a litio	20 MWh
Altezza mozzo torre [m]	125
Diametro [m]	162
Velocità media del vento [m/s]	6,1
Classe del vento	IIA
Lunghezza cavidotto connessione rete [km]	29,11
Producibilità netta stimata [GWh/y]	95 GWh/y

Tabella 1 – Caratteristiche impianto di progetto

Nella LCA viene definito “sistema” un qualsiasi insieme di dispositivi e/o operazioni, delimitato da appropriati confini fisici, che realizzano una o più precise funzioni; esso ha una serie di rapporti di scambio, caratterizzati da input e output, con il sistema ambiente. In tale ottica, i principali sistemi oggetto di analisi sono gli aerogeneratori costituenti il parco eolico, con le relative opere connesse, ed il sistema di accumulo.

Ad ogni fase sono legati input (energia e materie prime) e output (prodotti, effluenti liquidi, gassosi e altre emissioni). Ai fini dell'analisi è necessario definire un'unità funzionale (ad esempio una certa quantità di prodotto) che serva da riferimento per tutti i flussi in entrata e in uscita rispetto al sistema e per i potenziali effetti ambientali.

L'unità funzionale di riferimento per eseguire LCA è 1 kWh di energia elettrica consegnata alla rete elettrica nazionale e prodotta dall'impianto eolico di progetto, avente potenza complessiva pari a 42 MW e un sistema di accumulo di potenza pari a 20 MW. Il tempo di vita utile dell'impianto è stato assunto pari a 20 anni.

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice	ES.SUN01.SIA13.CA.01
		Data creazione	02/08/2023
		Data ultima modifica	02/08/2023
		Revisione	00
		Pagina	7 di 30

2.2. Fasi del ciclo di vita dell'impianto

Secondo la definizione di sistema, precedentemente data, per ciascuno di essi il ciclo di vita di un prodotto viene disaggregato nelle fasi, che saranno di seguito brevemente descritte (figura 1):

- 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, i componenti della stazione di trasformazione e del sistema di accumulo elettrochimico. In tale studio è incluso il trasporto delle materie prime (ad esempio acciaio, rame, resina epossidica, batterie, ecc.) ai siti di produzione specifici.

Allestimento impianto eolico ed opere connesse

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, collegamento alla RTN l'installazione un sistema BESS di accumulo di energia con batterie al litio 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.

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA13.CA.01 02/08/2023 02/08/2023 00 8 di 30
---	---	---	---

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.

Il BESS sarà operato prevalentemente in remoto, presso una sala controllo centrale. Saranno previste azioni locali solamente nei periodi di manutenzione ordinaria e straordinaria di impianto. Tutte le informazioni, i messaggi, gli allarmi saranno forniti alla sala controllo remota, oltre che disponibili localmente.

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 mostrato, la turbina VESTAS162 ha un tasso di riciclaggio elevato, il che contribuisce a limitare gli impatti dovuti all'impianto.

Per ciò che attiene al sistema BESS, la componente più sensibile è costituita dalle batterie agli ioni di litio. A partire dai dataset presenti in Ecoinvent relativi a trattamento pirometallurgico (Used Ni-metal hydride battery {GLO} treatment of used Ni-metal hydride battery, pyrometallurgical treatment) e idrometallurgico (Used Li-ion battery {GLO} treatment of used Li-ion battery, hydrometallurgical treatment) di batterie esauste, considerando le informazioni contenute in Mohr et al, 2020, facendo riferimento ai dati primari forniti dal produttore FAAM, si sono realizzati i dataset per il trattamento pirometallurgico e idrometallurgico delle celle contenute nelle diverse tipologie di batterie (LFP, NMC 532 e NMC 622). Si è ipotizzato che le batterie siano sottoposte per il 50% a trattamento pirometallurgico e per il 50% a trattamento idrometallurgico.

Applicato alla batteria LFP il processo pirometallurgico consente di recuperare dalle celle alluminio e rame. Il processo idrometallurgico permette il recupero di alluminio, rame e sali di litio. Nel caso in esame, allineandosi a quanto riportato in Mohr et al, 2020, si è considerato un tasso di recupero di metalli e sali pari al 93,6%.

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice	ES.SUN01.SIA13.CA.01
		Data creazione	02/08/2023
		Data ultima modifica	02/08/2023
		Revisione	00
		Pagina	9 di 30

2.3. Assunzioni dell'analisi condotta

Per la valutazione del ciclo di vita dell'impianto e delle opere connesse, è stata sulla 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 6,1 m/s. Il dato di producibilità stimato tiene conto delle perdite elettriche legate ai cavi di trasmissione all'interno dell'aerogeneratore, al cavidotto, alla stazione di trasformazione e agli effetti di scia dovuti alle caratteristiche di ventosità del sito e alla posizione reciproca degli aerogeneratori. Le perdite tecniche sono stimate pari al 8,5%. La produzione attesa al netto delle perdite tecniche è pari a circa 95 GWh/y. I dati di producibilità ottenuti sono riportati nelle tabelle a seguire:

Tabella 2 – Dettagli tecnici dell'aerogeneratore di progetto e dei valori di produzione attesi dall'intero impianto con dettaglio delle singole turbine

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 (8,5%) [MWh]	Ore equivalenti FLEOH [MWh/MW]
T01	1468260	4462098	427	VESTAS V162	6.000	125,0	6,18	16.463	9,75	14.857	13.594	2266
T02	1466772	4461546	400	VESTAS V162	6.000	125,0	6,00	15.857	9,96	14.277	13.064	2177
T03	1465955	4462208	380	VESTAS V162	6.000	125,0	6,06	16.146	6,35	15.121	13.835	2306
T04	1466186	4460759	400	VESTAS V162	6.000	125,0	6,05	16.077	6,92	14.964	13.692	2282
T05	1466311	4462587	389	VESTAS V162	6.000	125,0	6,11	16.320	9,18	14.822	13.563	2260
T06	1467217	4462333	417	VESTAS V162	6.000	125,0	6,21	16.730	10,07	15.044	13.766	2294
T07	1466765	4463535	360	VESTAS V162	6.000	125,0	6,03	16.068	7,72	14.827	13.567	2261
Media			396				6,09		8,58			2264
Totale					42.000			113.660		103.913	95.080	

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice	ES.SUN01.SIA13.CA.01
		Data creazione	02/08/2023
		Data ultima modifica	02/08/2023
		Revisione	00
		Pagina	10 di 30

Tabella 3 – Probabilità di superamento caratteristiche – percentili della produzione su base annua e decennale

Base Period		P50	P75	P90
1 YEAR	[MWh]	95.080	87.200	80.108
	FLEOH [MWh/MW]	2.264	2.076	1.907
10 YEARS	[MWh]	95.080	89.418	84.323
	FLEOH [MWh/MW]	2.264	2.129	2.008

Tabella 4 – Stima di producibilità impianto considerando una vita utile dell'impianto pari a 20 anni

Modello turbina	Velocità del vento [m/s]	Lunghezza totale cavidotto [km]	Producibilità annua impianto [GWh/y]	Producibilità vita utile impianto [GWh]
V162-6 MW	6,1	29,11	95	1900

- 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%. Come mostra il grafico di seguito riportato, 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 V150 dichiarata da Vestas è circa dell'88,1%.

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice	ES.SUN01.SIA13.CA.01
		Data creazione	02/08/2023
		Data ultima modifica	02/08/2023
		Revisione	00
		Pagina	11 di 30

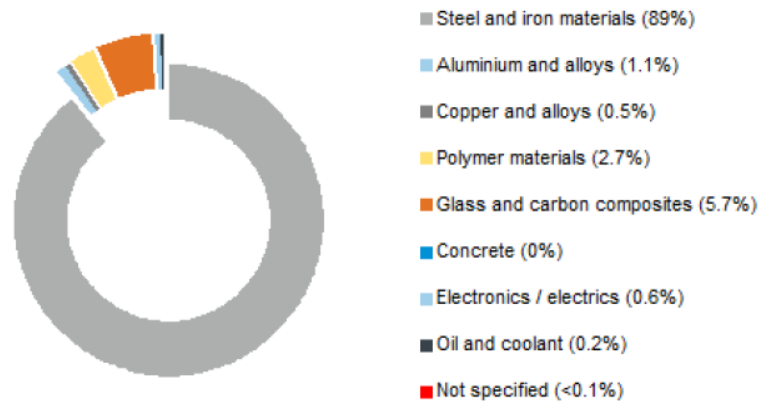


Figura 3 - % in massa composizione turbina V150

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

	Materiale Principale	kg per turbina	tonnellate impianto eolico
Navicella	Lega di alluminio	64938	454,56
Singola pala	Fibra di carbonio e fibra di vetro	51000	357,00
Mozzo	Ghisa e fibra di vetro rinforzata	34196	239,37
Drive train	Acciaio	61050	427,35
Torre	Acciaio	435000	3045,00

Tabella 5 – 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 dei plinti di fondazione e quindi considerate nell'LCA sono: 5474 m³ di calcestruzzo e 807043,58 kg 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:

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice	ES.SUN01.SIA13.CA.01
		Data creazione	02/08/2023
		Data ultima modifica	02/08/2023
		Revisione	00
		Pagina	12 di 30

	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 6 – Kilometraggi ipotizzati

- Per la quantificazione del trasporto del calcestruzzo, trattandosi di un materiale facilmente reperibile, è stato assunto un valore pari a 50 km.
- Per la fase di produzione e assemblaggio delle celle delle batterie si può far riferimento ai seguenti valori espressi per 1kg e 1kWh di capacità di cella.

Categoria d'impatto	U.M.	LFP		NMC 532		NMC 622	
		1 kg	1 kWh	1 kg	1 kWh	1 kg	1 kWh
Climate change	kg CO ₂ eq	8,19E+00	6,19E+01	1,49E+01	7,84E+01	1,53E+01	8,04E+01
Acidification	mol H ⁺ eq	7,35E-02	5,56E-01	3,25E-01	1,71E+00	3,69E-01	1,94E+00
Terrestrial eutrophication	mol N eq	8,62E-02	6,52E-01	1,95E-01	1,03E+00	2,07E-01	1,09E+00
Freshwater eutrophication	kg P eq	6,03E-03	4,56E-02	4,21E-03	2,22E-02	4,54E-03	2,39E-02
Marine eutrophication	kg N eq	8,42E-03	6,37E-02	1,90E-02	1,00E-01	1,99E-02	1,05E-01
Mineral, fossil & ren resource depletion	kg Sb eq	3,76E-03	2,84E-02	5,22E-03	2,75E-02	5,31E-03	2,80E-02
CED							
Non renewable, fossil	MJ	1,07E+02	8,10E+02	3,21E+02	1,69E+03	3,49E+02	1,84E+03
Non-renewable, nuclear		9,20E+00	6,96E+01	1,70E+01	8,97E+01	1,73E+01	9,10E+01
Non-renewable, biomass		1,24E-01	9,40E-01	1,95E-01	1,03E+00	1,95E-01	1,03E+00
Renewable, biomass		4,78E+00	3,61E+01	7,94E+00	4,18E+01	8,03E+00	4,23E+01
Renewable, wind, solar, geoth		4,59E+00	3,47E+01	7,48E+00	3,94E+01	7,49E+00	3,94E+01
Renewable, water		9,12E+00	6,90E+01	1,69E+01	8,87E+01	1,76E+01	9,28E+01
Total		1,35E+02	1,02E+03	3,71E+02	1,95E+03	4,00E+02	2,11E+03

- I risultati della valutazione di impatto associati alla produzione delle batterie, considerando o meno anche gli impatti del fine vita (End of Life – EoL) sono riportati nella tabella a seguire. Tutte le batterie mostrano una generalizzata riduzione degli impatti, se si considera anche il riciclo dei materiali durante il fine vita e i benefici connessi al recupero di materiale.

Categoria d'impatto	U.M.	LFP		NMC 532		NMC 622	
		No EoL	EoL	No EoL	EoL	No EoL	EoL
Climate change	kg CO ₂ eq	1,14E+02	1,03E+02	1,15E+02	9,56E+01	1,17E+02	9,56E+01
Acidification	mol H+ eq	9,79E-01	7,27E-01	2,01E+00	6,93E-01	2,24E+00	7,01E-01
Terrestrial eutrophication	mol N eq	1,25E+00	1,03E+00	1,45E+00	9,03E-01	1,51E+00	9,05E-01
Freshwater eutrophication	kg P eq	6,20E-02	5,16E-02	3,36E-02	1,67E-02	3,53E-02	1,67E-02
Marine eutrophication	kg N eq	1,23E-01	9,91E-02	1,41E-01	9,66E-02	1,46E-01	9,68E-02
Mineral, fossil & ren resource depletion	kg Sb eq	8,18E-02	7,16E-02	6,46E-02	4,81E-02	6,51E-02	4,81E-02
CED							
Non renewable, fossil	MJ	1,41E+03	1,30E+03	2,11E+03	1,30E+03	2,25E+03	1,30E+03
Non-renewable, nuclear		1,58E+02	1,49E+02	1,51E+02	1,33E+02	1,52E+02	1,32E+02
Non-renewable, biomass		1,02E+00	1,07E+00	1,08E+00	1,11E+00	1,08E+00	1,11E+00
Renewable, biomass		5,65E+01	5,31E+01	5,60E+01	5,08E+01	5,65E+01	5,07E+01
Renewable, wind, solar, geother		3,90E+01	4,08E+01	4,23E+01	4,29E+01	4,24E+01	4,28E+01
Renewable, water		1,48E+02	1,28E+02	1,43E+02	1,12E+02	1,47E+02	1,12E+02
Total		1,81E+03	1,67E+03	2,50E+03	1,64E+03	2,65E+03	1,64E+03

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice	ES.SUN01.SIA13.CA.01
		Data creazione	02/08/2023
		Data ultima modifica	02/08/2023
		Revisione	00
		Pagina	14 di 30

2.4. Valutazione delle emissioni dell'impianto eolico

Di seguito vengono esposti i risultati del calcolo delle emissioni dei principali gas inquinanti e gas ad effetto serra ottenuti dall'analisi del ciclo di vita dell'impianto. Per ogni gas è espressa la quantità in tonnellate emessa in ciascuna delle fasi considerate. 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.

	<i>Turbine</i>	<i>Foundations</i>	<i>Site parts Plan</i>	<i>Set up</i>	<i>Operation</i>	<i>End of life</i>	<i>Total</i>
CO₂ [t]	1,27E+04	3,56E+03	6,21E+02	1,26E+02	7,59E+02	-8,49E+03	1,38E+04
CO [t]	9,44E+01	1,99E+01	1,62E+00	7,56E-01	5,14E+00	-1,13E+02	8,66E+00
NO_x [t]	4,42E+01	6,11E+00	1,07E+00	1,30E+00	1,07E+00	-9,87E+00	4,40E+01
SO₂ [t]	3,58E+01	5,14E+00	1,98E+00	1,57E-01	8,23E-01	-1,50E+01	2,88E+01

Tabella 7 – Emissioni in tonnellate prodotte nelle varie fasi del ciclo di vita dell'impianto

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

	<i>Emissioni Impianto eolico (LCA)</i>
CO₂ [mg/kWh]	1,38E+04
CO [mg/kWh]	8,66E+00
NO_x [mg/kWh]	4,40E+01
SO₂ [mg/kWh]	2,88E+01

Tabella 8 – Emissioni in mg/kWh

Per il sistema BESS, cautelativamente, si considera il caso più penalizzante (No EoL) secondo il quale, ad esempio, le emissioni di CO₂ sono pari a 1,14E⁺² per ogni kWh. Considerando che nel caso in esame la capacità di accumulo del sistema BESS è pari a 20 MWh, le emissioni complessive di CO₂ risultano pari a 1960,80 t.

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice	ES.SUN01.SIA13.CA.01
		Data creazione	02/08/2023
		Data ultima modifica	02/08/2023
		Revisione	00
		Pagina	15 di 30

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.

Infatti, considerando l'anidride carbonica, le emissioni evitate dei gas aventi maggior impatto ambientale, nei 20 anni di vita utile dell'impianto, come indicato nel quadro ambientale del SIA depositato agli atti (ES.SUN01.SIA03.R00), sono:

- 1334923 t circa di anidride carbonica.

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:

	<i>Emissioni impianto eolico (LCA) + Sistema BESS</i>	<i>Emissioni evitate</i>
<i>CO₂ [t]</i>	15762	1334923

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 consideratisi eviterebbero:

- 2,67 volte la quantità di CO₂ emessa durante la vita utile dell'impianto.

Quanto detto per la CO₂ che rappresenta uno dei principali gas serra, vale anche per le altre emissioni.

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA13.CA.01 02/08/2023 02/08/2023 00 16 di 30
---	---	---	--

2.5. FASE FINE VITA UTILE IMPIANTO

2.6. Dismissione dei sistemi 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

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA13.CA.01 02/08/2023 02/08/2023 00 17 di 30
---	---	---	--

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 dismissione della cabina di raccolta;
- la rimozione dei cavi 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.

Non è prevista la dismissione della sottostazione di trasformazione, in quanto resterà come opera a servizio di altri produttori.

Inoltre, non verranno rimossi i tratti di cavidotto 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.

La rimozione delle turbine avverrà secondo precise modalità: attraverso un'autogrù, 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.

 TENPROJECT	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA13.CA.01 02/08/2023 02/08/2023 00 18 di 30
---	---	---	--

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 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.

Come facilmente intuibile, a differenza di quanto visto per gli aerogeneratori, alla fine della loro vita utile le batterie costituenti il sistema di accumulo non possono essere rivendute sul mercato secondario né possono avere una funzionalità "di riciclo" diversa rispetto a quella di origine.

Il processo di riciclaggio e smaltimento dei materiali costituenti il sistema di accumulo verrà attuato in conformità alle leggi nazionali, europee ed internazionali vigenti (tra le quali European Directive on batteries and accumulators 2006/66/EC), assicurandone il rispetto anche nel caso di modifiche e/o integrazioni di quest'ultime dal momento in cui l'impianto verrà messo in esercizio. Dunque, il sistema di accumulo sarà disassemblato e trasportato verso un centro autorizzato di raccolta e riciclaggio.

Lo smaltimento degli accumulatori elettrochimici è obbligatorio e di responsabilità del produttore (o del system integrator).

Per le batterie agli ioni di litio sono state sviluppate procedure di riciclaggio dei materiali strategici di cui sono costituite, come le terre rare, i metalli e lo stesso litio che non sono però ancora applicate diffusamente data la scarsa convenienza economica connessa al recupero.

Alcune delle batterie al litio in commercio contengono, infatti, cobalto; essendo questo materiale una terra rara è importante poterlo recuperare per far fronte a eventuali difficoltà di approvvigionamento. Risulta, anche per questo tipo di batterie, ovviamente, obbligatorio il conferimento al produttore o al COBAT per la gestione del processo.

Il principale tipo di processi per il riciclaggio delle batterie al litio industriali è il processo idrometallurgico, il quale ha lo scopo principale di recuperare il litio.

Dopo la scarica completa delle batterie, queste vengono raffreddate a temperature criogeniche per ridurre la reattività delle sostanze, smontate e inviate alle vasche con le sostanze liscivianti. Il parametro fondamentale dell'intero processo è il pH assieme alla quantità di sodio. Alla fine del processo si riesce ad ottenere idrossido di litio, che può essere riutilizzato direttamente o sotto forma di carbonato di litio.

 TENPROJECT	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA13.CA.01 02/08/2023 02/08/2023 00 19 di 30
---	---	---	--

Non sempre è conveniente riciclare le batterie di piccola taglia perché il contenuto in litio è inferiore al 2% in peso, e questo non è spesso economicamente sostenibile rispetto all'approvvigionamento di nuove materie prime. Per le batterie stazionarie di taglie elevate invece questo processo di riciclo comincia ad essere competitivo data a grande quantità di litio, in termini assoluti, ricavabile dalle singole batterie.

In tale ottica il processo più utilizzato nella pratica è un mix tra quello idrometallurgico, per l'estrazione del litio e quello pirometallurgico (il quale nasce per trattare le batterie NiMH e quelle Li-Ion da dispositivi elettronici e veicoli ibridi.), indispensabile per l'estrazione del cobalto.

 TENPROJECT	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA13.CA.01 02/08/2023 02/08/2023 00 20 di 30
---	---	---	--

2.7. Materiali e componenti derivanti dalle operazioni di dismissione

A seguito delle operazioni di dismissione si produrranno fundamentalmente 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.

Successivamente alla dismissione delle batterie del sistema BESS, riprendendo quanto detto prima, il processo di smaltimento permette, principalmente, l'estrazione del litio.

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice	ES.SUN01.SIA13.CA.01
		Data creazione	02/08/2023
		Data ultima modifica	02/08/2023
		Revisione	00
		Pagina	21 di 30

2.8. 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

2.8.1. 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

 TENPROJECT	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA13.CA.01 02/08/2023 02/08/2023 00 22 di 30
---	---	---	--

(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 V150 dichiarata da Vestas è circa dell'88,1%.

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)

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. Tuttavia, considerando il numero di aerogeneratori che si prevede di dismettere nei prossimi anni, tale alternativa difficilmente sarà una soluzione alla gestione delle pale una volta giunti al fine vita.



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 (ES.SUN01.PD.08.R00) 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;

 TENPROJECT	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA13.CA.01 02/08/2023 02/08/2023 00 24 di 30
---	---	---	--

- 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 ed 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.

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice	ES.SUN01.SIA13.CA.01
		Data creazione	02/08/2023
		Data ultima modifica	02/08/2023
		Revisione	00
		Pagina	25 di 30

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.

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA13.CA.01 02/08/2023 02/08/2023 00 26 di 30
---	---	---	--

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 conci 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

 TENPROJECT	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA13.CA.01 02/08/2023 02/08/2023 00 27 di 30
---	---	---	--

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.

2.8.2. 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.

2.8.3. 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.

2.8.4. Massicciata da strade e piazzole

La massicciata stradale derivante dalla dismissione delle strade e piazzole di servizio verrà impiegata per il ricarica 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.

2.8.5. Cabina di raccolta

Per quanto riguarda la cabina di raccolta, è prevedibile che l'edificio possa essere riconvertito ad altra destinazione d'uso, compatibilmente con le norme urbanistiche che saranno vigenti per l'area. In tal caso le apparecchiature e i quadri installati all'interno della cabina che verranno smaltiti presso appositi centri di recupero secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice	ES.SUN01.SIA13.CA.01
		Data creazione	02/08/2023
		Data ultima modifica	02/08/2023
		Revisione	00
		Pagina	28 di 30

Se il manufatto risulterà ancora in buono stato potrà essere reimpiegato per lo stesso utilizzo, mantenendo anche parte delle apparecchiature e dei quadri ove ancora funzionanti.

2.8.6. Collegamenti MT

Dalla dismissione dei tratti di cavidotto MT 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 smaltiti presso discarica sempre che le loro condizioni non ne consentono 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.

2.8.7. Batterie agli ioni di litio

Per ciò che attiene i materiali derivanti dalle operazioni di dismissione delle batterie del sistema BESS, da letteratura sono noti i range di percentuale di riciclo degli stessi, per veicoli completamente elettrici. È noto altresì che le percentuali di riciclo delle batterie stazionarie sono più elevate, essendo queste di dimensioni maggiori e sottoposte a normative più severe sia in fase di funzionamento che di fine vita. Si stima dunque un valore medio di riciclo per le varie componenti riportato di seguito:

Material	Percent Recoverd
cobalt	80
nickel	80
iron	75
copper	90
carbon	85
lithium	85
manganese	75
separator	87
aluminum	85
steel	95
electrolyte	80
wire board	90
plastics	77

Figura 6: Percentuali di riciclo medie europee

La percentuale di materiale rimanente viene considerata come smaltita in maniera tradizionale, ovvero in base al tipo di materiale può andare in contro a stoccaggio in discarica, incenerimento, termovalorizzazione o dispersione in ambiente.

In definitiva, si può ritenere che il prodotto esausto affluisca alla raccolta differenziata pressoché al 100%.

	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice	ES.SUN01.SIA13.CA.01
		Data creazione	02/08/2023
		Data ultima modifica	02/08/2023
		Revisione	00
		Pagina	29 di 30

2.9. 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 MT posati lungo viabilità esistente. In tal modo, 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. Presumibilmente, i materiali in acciaio e le apparecchiature che costituiscono gli aerogeneratori e la cabina di raccolta, saranno portati nel polo industriale di Taranto dove saranno rivenduti.

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.

Considerando l'analisi del ciclo vita delle batterie del sistema BESS si può, in conclusione, affermare che la fase di assemblaggio, comprensiva di estrazione materie prime, prima lavorazione il loco, trasporto in Europa, lavorazione finale, trasporto in Italia e montaggio della batteria impatta per circa il 40% del totale; il restante 60% circa è dato da tutti i processi che prevedono il disassemblaggio, la lavorazione dei componenti giunti a fine vita e il loro smaltimento (sia esso in discarica o inceneritore, comprendendo anche possibili sversamenti non voluti ed emissioni in ambiente dati dalle lavorazioni).

 TENPROJECT	ANALISI DEL CICLO VITA DELL'IMPIANTO	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	ES.SUN01.SIA13.CA.01 02/08/2023 02/08/2023 00 30 di 30
---	---	---	--

Considerare il processo di riuso delle materie prima dopo il loro primo trattamento per il disassemblaggio invece di smaltirle in maniera tradizionale consente di abbassare drasticamente gli impatti ambientali.