

**PROGETTO DEFINITIVO  
PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO "CE DELICETO"  
CON POTENZA DI 60.0 MW RICADENTE NEL COMUNE DI  
ASCOLI SATTIANO(FG) IN LOCALITA' SANTA CROCE ED OPERE  
DI CONNESSIONE NEL COMUNE DI DELICETO(FG)**



Via Degli Arredatori, 8  
70026 Modugno (BA) - Italy  
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net  
tel. (+39) 0805046361

Azienda con Sistema di Gestione Certificato  
UNI EN ISO 9001:2015  
UNI EN ISO 14001:2015  
UNI ISO 45001:2018

**Tecnico**

ing. Danilo Pomponio

**Collaborazioni**

ing. Milena Miglionico  
ing. Antonio Crisafulli  
ing. Tommaso Mancini  
ing. Giovanna Scuderi  
ing. Dionisio Staffieri  
ing. Giuseppe Federico Zingarelli  
ing. Miriam Matarrese

**Responsabile Commessa**

ing. Danilo Pomponio



| ELABORATO  |  | TITOLO  | COMMESSA            | TIPOLOGIA     |           |  |
|------------|--|---|---------------------|---------------|-----------|--|
| <b>V35</b> |  | <b>Relazione stima delle emissioni</b>  | <b>20122</b>        | <b>D</b>      |           |  |
| REVISIONE  |  |   | CODICE ELABORATO    |               |           |  |
| <b>00</b>  |  |   | <b>DC20122D-V35</b> |               |           |  |
| REVISIONE  |  | Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio Tecnico BFP S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. All technical information contained in this document is the exclusive property of Studio Tecnico BFP S.r.l. and may neither be used nor disclosed without its prior written consent. (art. 2575 c.c.) | SOSTITUISCE         | SOSTITUITO DA |           |  |
| <b>00</b>  |  |   | -                   | -             |           |  |
| REV        |  |   | DATA                | MODIFICA      |           |  |
| 00         |  |   | 01/08/22            | Emissione     |           |  |
| 01         |  |   | Elaborato           | Controllato   | Approvato |  |
| 02         |  |   | Matarrese           | Miglionico    | Pomponio  |  |
| 03         |  |   |                     |               |           |  |
| 04         |  |   |                     |               |           |  |
| 05         |  |   |                     |               |           |  |
| 06         |  |   |                     |               |           |  |



# INDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. PREMESSA .....  | 2  |
| 2. INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO PROGETTUALE.....                                      | 2  |
| 3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PROGETTUALE .....                                       | 3  |
| 4. COMPENSAZIONE EMISSIONI IN ATMOSFERA.....   | 4  |
| 4.1.FASE DI ESERCIZIO – EMISSIONI DI CO2 EVITATE DALL'IMPIANTO EOLICO DI PROGETTO..... | 6  |
| 5. ANALISI DELLA FASE DI VITA DELL'IMPIANTO.....                                       | 10 |



## 1. PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto definitivo per la realizzazione di un parco eolico proposto dalla società **BLUE STONE renewable VIII s.r.l.**

La proposta progettuale è finalizzata alla realizzazione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica, costituito da n. 10 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 6,0 MW per una potenza complessiva di 60,00 MW, da realizzarsi nel territorio comunale di Ascoli Satriano in Provincia di Foggia, in cui ricadono gli aerogeneratori e parte dell'elettrodotto. La restante parte dell'elettrodotto attraversa il territorio comunale di Candela e di Deliceto, in quest'ultimo comune ricadono anche le opere di connessione alla RTN.

## 2. INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO PROGETTUALE

Il parco eolico, denominato "CE DELICETO" si estende nel territorio comunale di Ascoli Satriano, in provincia di Foggia, ed è costituito da 10 aerogeneratori del tipo Siemens Gamesa SG 6.0 –170, ciascuno della potenza di 6.0 MW per una potenza complessiva di 60.0 MW.

Per quanto riguarda il collegamento alla RTN, le opere di connessione ricadono nei comuni di Ascoli Satriano, Candela e di Deliceto, dove sarà ubicata la sottostazione utente di trasformazione AT/MT, in prossimità della Stazione Terna Deliceto.

L'area interessata dal parco eolico di progetto si sviluppa in località "Santa Croce" nell'area a sud-est dell'abitato di Ascoli Satriano e a nord-est dal centro abitato di Candela, rispettivamente a circa 1.5 e 6.5 km.

I terreni sui quali si installerà il parco eolico, interessa una superficie di circa 270 ettari, anche se la quantità di suolo effettivamente occupato è significativamente inferiore e limitato alle aree di piazzole dove verranno installati gli aerogeneratori, come visibile sugli elaborati planimetrici allegati al progetto.

Nella seguente immagine, si riporta uno stralcio aerofotogrammetrico dell'area del parco eolico oggetto del presente studio.



**Figura 1 - Inquadramento dell'opera su ortofoto (scala 1:80.000)**

Di seguito, si riporta la tabella riepilogativa in cui sono indicate per ciascun aerogeneratore le relative coordinate (WGS84 – UTM zone 33N) e le particelle catastali, con riferimento al catasto dei terreni del Comune di Ascoli Satriano.

| WTG | COORDINATE GEOGRAFICHE<br>WGS84 |                  | COORDINATE<br>PLANIMETRICHE UTM33<br>WGS 84 |         | DATI CATASTALI  |           |          |
|-----|---------------------------------|------------------|---|---------|-----------------|-----------|----------|
|     | LATITUDINE                      | LONGITUDINE      | NORD (Y)                                    | EST (X) | Comune          | foglio n. | part. n. |
| A1  | 41° 12' 4.2536"                 | 15° 35' 47.4500" | 4561262                                     | 550015  | Ascoli Satriano | 66        | 300      |
| A2  | 41° 11' 41.7316"                | 15° 36' 9.3554"  | 4560571                                     | 550530  | Ascoli Satriano | 66        | 39       |
| A3  | 41° 11' 27.2874"                | 15° 36' 30.4299" | 4560129                                     | 551024  | Ascoli Satriano | 75        | 160      |
| A4  | 41° 11' 40.0530"                | 15° 35' 17.6934" | 4560511                                     | 549327  | Ascoli Satriano | 66        | 80       |
| A5  | 41° 11' 22.8254"                | 15° 35' 6.5495"  | 4559978                                     | 549071  | Ascoli Satriano | 74        | 122      |
| A6  | 41° 11' 13.7680"                | 15° 35' 27.5459" | 4559702                                     | 549562  | Ascoli Satriano | 74        | 18       |
| A7  | 41° 10' 59.7588"                | 15° 35' 14.8861" | 4559268                                     | 549270  | Ascoli Satriano | 74        | 77       |
| A8  | 41° 10' 46.3692"                | 15° 34' 42.1888" | 4558850                                     | 548511  | Ascoli Satriano | 79        | 58       |
| A9  | 41° 10' 47.4535"                | 15° 34' 19.8789" | 4558880                                     | 547991  | Ascoli Satriano | 79        | 46       |
| A10 | 41° 10' 48.1787"                | 15° 33' 57.8232" | 4558899                                     | 547477  | Ascoli Satriano | 79        | 43       |

### 3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PROGETTUALE

L'intervento progettuale prevede le seguenti opere:

- 10 aerogeneratori, della potenza di 6 MW, ubicati a quote comprese tra circa 330 e 480 m;
- 10 impianti elettrici di trasformazione, posti all'interno di ogni aerogeneratore per trasformare l'energia prodotta fino a 30kV (MT);
- Rete di cavidotti MT, eserciti a 30 kV, per il collegamento degli aerogeneratori con la sottostazione di trasformazione AT/MT. Detti cavidotti saranno installati all'interno di opportuni scavi principalmente lungo la viabilità ordinaria esistente e sulle strade di nuova realizzazione a servizio del parco eolico.
- 1 Sottostazione elettrica di trasformazione MT/AT (30/150 kV), nel comune di Deliceto, a cui è collegato il cavidotto MT proveniente dal parco eolico composto da 4 linee provenienti ciascuna da un sottocampo del parco eolico. Nella sezione di trasformazione sarà ubicato un fabbricato contenente tutti i quadri MT, BT e il sistema computerizzato di gestione da locale e da remoto della rete elettrica e degli aerogeneratori, il trasformatore MT/AT e lo stallo AT.
- Rete telematica di monitoraggio in fibra ottica per il controllo della rete elettrica e dell'impianto eolico mediante trasmissione dati via modem o satellitare.
- Potenza complessiva di 60,00 MW.

L'intervento progettuale prevede l'apertura di brevi tratti di nuove piste stradali che si attesteranno alla viabilità principale esistente che solo in due brevi tratti verrà adeguata.

#### **4. COMPENSAZIONE EMISSIONI IN ATMOSFERA**

Nello Studio di Impatto Ambientale sono state analizzate le emissioni in atmosfera e gli impatti sulla risorsa aria durante la fase di cantiere per la costruzione dell'impianto, in fase di esercizio e in fase di dismissione del parco eolico.

##### **FASE DI CANTIERE – COSTRUZIONE IMPIANTO**

Gli impatti sull'aria potrebbero manifestarsi solamente durante la fase di cantiere e comunque sempre in maniera estremamente ridotta e limitatamente nel tempo, considerato che l'intervento prevede opere di movimento terra per la realizzazione delle fondazioni dei nuovi aerogeneratori, per l'adeguamento di brevi tratti di viabilità e per scavi ristretti per la posa dei cavidotti.

L'impatto sull'area, in fase di cantiere, si riscontra laddove le operazioni dei mezzi provocano localizzate emissioni diffuse, specie durante le fasi di movimento terra (escavazione e riempimento). Tali emissioni diffuse possano efficacemente controllarsi attraverso idonee e costanti operazioni gestionali nel cantiere di lavoro, ad esempio opportunamente inumidendo le

piste, ovvero inumidendo i cumuli di materiale presente in cantiere e che provoca spolveramento, ovvero anche riducendo la velocità dei mezzi in movimento o manovra.

Giova infine osservare che l'impatto sulla risorsa aria in fase di cantiere rappresenta comunque un impatto contenuto e limitato nel tempo.

Le emissioni di polveri in fase di cantiere sono dovute al:

- Movimenti terra per fondazioni, piazzole e viabilità di servizio;
- Spostamento dei mezzi all'interno del cantiere su piste non pavimentate;
- Trasporto dei materiali all'interno e/o all'esterno dell'area di cantiere.

Misure di mitigazioni delle emissioni diffuse:

- Bagnatura dei fronti di scavo e dei cumuli di terreno che provocano lo spolveramento;
- Bagnatura della viabilità di servizio;
- Ridurre la velocità dei mezzi in movimento o manovra;
- Lavaggio ruote dei mezzi all'uscita dall'area di cantiere.

#### FASE DI ESERCIZIO

Mentre il prolungamento della vita utile del parco eolico risulta esclusivamente vantaggioso per l'aria, in quanto la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, quale è l'eolico appunto, determina una riduzione dell'inquinamento atmosferico e delle conseguenze ad esso attribuibili, quali l'effetto serra, grazie alla riduzione della emissione nell'atmosfera di gas e di polveri derivanti dalla combustione di prodotti fossili, tradizionalmente impiegati per la produzione di energia elettrica.

Per correttezza si può precisare che in un sito dove, dopo la realizzazione del progetto, aumenterà il grado di utilizzazione, le principali sorgenti di inquinamento sarebbero rappresentate dallo sporadico traffico veicolare per le operazioni di manutenzione. Essendo le stesse limitate, non contribuiranno ad incrementare l'inquinamento dell'aria nella zona, tenuto presente che attualmente l'area, ante-operam, è già antropizzata dall'attività agricola presente.

In fase di esercizio, la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile di tipo eolico esclude l'utilizzo di qualsiasi combustibile, azzerando le emissioni in atmosfera di gas serra e di altri inquinanti. Si può dire, quindi, che il prolungamento della vita utile dell'impianto risulta esclusivamente vantaggioso per l'aria, in quanto il parco eolico determina una riduzione dell'inquinamento atmosferico, grazie alla riduzione delle emissioni di gas e polveri derivanti dalla combustione di prodotti fossili, tradizionalmente impiegati per la produzione di energia elettrica.

Principale aspetto positivo legato alla realizzazione dell'impianto è la produzione di energia elettrica senza emissione di inquinanti: una normale centrale termoelettrica alimentata da

combustibili fossili, per ogni kWh di energia prodotta, produce l'emissione in atmosfera di gas serra (anidride carbonica) e gas inquinanti nella misura di:

- 518,34 g/kWh di CO<sub>2</sub> (anidride carbonica);
- 0,75 g/kWh di SO<sub>2</sub> (anidride solforosa);
- 0,82 g/kWh di NO<sub>x</sub> (ossidi di azoto).

Questo significa che ogni anno di vita utile del parco eolico di progetto, per il quale si stima una produzione annua di 180 GWh, una centrale tradizionale produrrebbe circa:

- circa 93.000 tonnellate di CO<sub>2</sub> (anidride carbonica);
- circa 135 tonnellate di SO<sub>2</sub> (anidride solforosa);
- circa 147 tonnellate di NO<sub>x</sub> (ossidi di azoto).

#### FASE DI CANTIERE – COSTRUZIONE IMPIANTO

L'impatto è analogo a quello prodotto in fase di cantiere per la costruzione dell'impianto. L'impatto sulla risorsa aria in fase di cantiere rappresenta comunque un impatto contenuto e limitato nel tempo e non contribuirà ad incrementare l'inquinamento dell'aria nella zona.

#### **4.1. FASE DI ESERCIZIO – EMISSIONI DI CO<sub>2</sub> EVITATE DALL'IMPIANTO EOLICO DI PROGETTO**

In tale paragrafo, sono state calcolate le emissioni di CO<sub>2</sub> evitate dalla produzione di energia rinnovabile da fonte eolica per sostituzione di impianti tradizionali alimentati da fonti fossili.

Nello studio di impatto ambientale, come anche riportato al paragrafo precedente, il fattore di sostituzione di emissione di gas serra di un impianto alimentato da fonti rinnovabili, rispetto alla media degli impianti tradizionali alimentati da fonti fossili, è pari a 518,34 gCO<sub>2</sub>/kWh, da cui si può dedurre che, tenendo conto della producibilità netta del parco pari a 180 GWh/anno, l'impianto eolico proposto consentirebbe di evitare l'emissione di circa 93 ktCO<sub>2</sub>/anno, corrispondente a circa 1860 ktCO<sub>2</sub>/anno per 20 anni di esercizio.

Di seguito, si riportano i risultati della stima della producibilità dell'impianto dello studio anemologico. Si stima che l'impianto eolico di progetto potrà produrre 180 GWh all'anno, per un totale di 2996,77 ore equivalenti.

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| <b>Capacità del parco (MW)</b>     | 60        |
| <b>Numero di turbine</b>           | 10        |
| <b>Produzione lorda [MWh/anno]</b> | 221.109,8 |
| <b>Perdite per scia (%)</b>        | 4,97      |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Perdite elettriche (%)</b>                         | 3,99      |
| <b>Perdite per rendimento dell'aerogeneratore (%)</b> | 1,1979    |
| <b>Perdite per indisponibilità (%)</b>                | 3,72      |
| <b>Perdite per degradazione (%)</b>                   | 1,1       |
| <b>Produzione netta [MWh/anno]</b>                    | 179.806,5 |
| <b>Fattore di impianto netto(%)</b>                   | 34,19     |
| <b>Ore equivalenti [h/anno]</b>                       | 2996,77   |

**Tabella 1 – Stima della produzione energetica del parco CE DELICETO con 10 turbine G170 6 MW a 115 m.**

*CALCOLO EMISSIONI EVITATE DALL'IMPIANTO EOLICO*

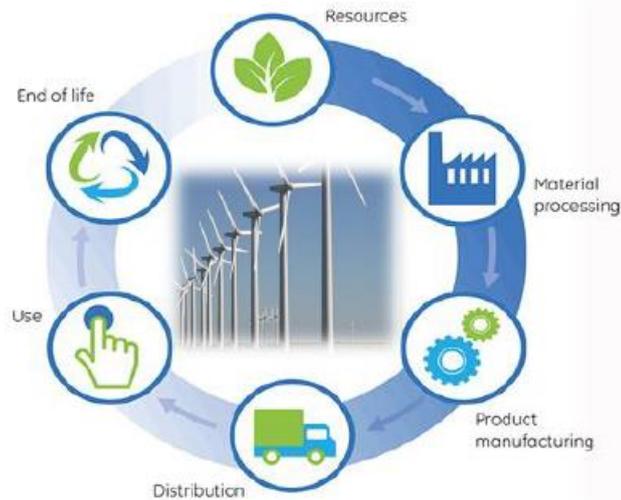
|                                    |              |                              |
|------------------------------------|--------------|------------------------------|
| fattore di emissione               | 518,34       | gCO <sub>2</sub> /kWh        |
| producibilità annua                | 180          | GWh/anno                     |
| producibilità annua                | 180000,00    | MWh/anno                     |
| producibilità annua                | 180000000    | kWh/anno                     |
| emissioni evitate all'anno         | 93000,00     | tonCO <sub>2</sub> /anno     |
| <b>emissioni evitate all'anno</b>  | <b>93,00</b> | <b>ktCO<sub>2</sub>/anno</b> |
| anni di esercizio                  | 20           | anni                         |
| <b>emissioni evitate nel ciclo</b> | <b>1860</b>  | <b>ktCO<sub>2</sub></b>      |

L'ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DALL'IMPIANTO EOLICO DI PROGETTO IN 20 ANNI DI ESERCIZIO CONSENTE DI EVITARE L'EMISSIONE IN ATMOSFERA DI CIRCA 1860 ktCO<sub>2</sub> OTTENUTE CON IL MIX DI COMBUSTIBILI FOSSILI

Per la contabilizzazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> dovute alle fasi di produzione dei materiali per la costruzione degli aerogeneratori e alla messa in opera dell'impianto, si fa riferimento alla metodologia LCA (Life Cycle Assessment) per la valutazione degli impatti ambientali connessi con l'impianto eolico in progetto durante l'intero ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime necessarie per la produzione dei materiali e dell'energia per la produzione dei componenti degli aerogeneratori, fino al loro smaltimento o riciclo finale.

Il riferimento normativo internazionale per l'esecuzione di valutazioni di LCA è rappresentato dalle norme ISO della serie 14010:

- UNI ISO 14040:2006 Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento;
- UNI ISO 14044:2018 Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida.



**Figura 3: Life Cycle Assessment**

È stato condotto dal Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP) uno studio<sup>1</sup> di valutazione del ciclo di vita (LCA) sulla produzione di elettricità dalle turbine eoliche in Germania, che mirava a valutare e aggiornare il lavoro LCA esistente sulla generazione di elettricità dalle turbine eoliche, tenendo conto degli attuali sviluppi tecnologici. Sono stati considerati tre tipi di turbina: offshore, onshore (vento forte) e onshore (vento debole), considerando i componenti della turbina eolica (fondazione, torre, generatore e altri componenti della trasmissione, del mozzo e delle pale del rotore), nonché i componenti del parco eolico (cavidotti tra le turbine eoliche e al punto di connessione alla rete, nonché sottostazioni offshore e/o onshore) proporzionalmente.

La produzione della turbina eolica ha di gran lunga il maggiore impatto ambientale in assoluto, includendo la fabbricazione della fondazione, della torre, della navicella, del mozzo, delle pale del rotore e del trasporto e il processo di fabbricazione dei componenti delle turbine eoliche. Da tale analisi emerge che il maggior impatto ambientale è legato alla costruzione degli aerogeneratori, causato dalla produzione di grandi quantità di materiali utilizzati, come cemento e metalli (acciaio, ghisa, acciaio inossidabile, alluminio e rame), mentre la produzione di cabine, la manutenzione (compresa la fornitura di pezzi di ricambio), il trasporto e la logistica giocano meno ruolo significativo, così come l'installazione e lo smontaggio.

<sup>1</sup> "Aggiornamento e valutazione di Valutazioni del ciclo di vita dell'energia eolica e Impianti fotovoltaici in esame sviluppi tecnologici attuali" – Climate Change 35/2021 - Jasmin Hengstler, Manfred Russ, Alexander Stoffregen, Aline Hendrich, Simone Weidner Sphera Solutions GmbH, Leinfelden-Echterdingen Dr. Michael Held, Ann-Kathrin Briem - Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart

| Riscaldamento globale potenziale | Risultato dello scenario di base<br>[g CO <sub>2</sub> equivalenti/kWh] | Intervalli di risultato [g CO <sub>2</sub><br>equivalenti/kWh] |
|----------------------------------|---|--|
| Turbina Offshore                 | 7.3   | 5.4-11.8   |
| Turbina onshore (forte vento)    | 7.9   | 6.1-11.2   |
| Turbina onshore (debole vento)   | 10.6  | 5.2-15.6   |

Per avere un confronto, si è preso in considerazione un ulteriore studio condotto nel 2015 da R. Camilla Thomson, Gareth P. Harrison, University of Edinburgh, intitolato *"Life cycle costs and carbon emissions of wind power"* pubblicato su ClimateXChange, il quale effettua una stima del carbonio emesso durante l'intero ciclo di vita del parco eolico, durante i processi di produzione, costruzione, manutenzione e dismissione, dal quale si evincono stime medie di emissioni di carbonio di 15 e 12 gCO<sub>2</sub>eq/kWh rispettivamente per l'eolico onshore e offshore, confermando le più alte percentuali delle emissioni totali di carbonio del ciclo di vita di un parco eolico (90%) nelle fasi di fabbricazione e installazione, mentre trasporto e installazione contribuiscono solo al 6% circa, così come esercizio, manutenzione e dismissione.

In particolare per l'impianto eolico in progetto, prendendo in considerazione i suddetti dati, si può ipotizzare, a vantaggio di sicurezza utilizzando il valore più alto, un fattore di emissione unitario pari a 15,6 gCO<sub>2</sub>/kWh per l'intero ciclo di vita (LCA), cioè dalla produzione dei componenti degli aerogeneratori, al trasporto degli stessi, all'installazione e alla manutenzione in fase di esercizio, fino alla fase di fine vita dell'impianto.

*CALCOLO EMISSIONI PRODOTTE DALL'IMPIANTO (LCA)*

|                                    |              |                              |
|------------------------------------|--------------|------------------------------|
| fattore di emissione unitario      | 15,6         | gCO <sub>2</sub> /kWh        |
| producibilità annua                | 180,00       | GWh/anno                     |
| producibilità annua                | 180000       | MWh/anno                     |
| producibilità annua                | 18000000     | kWh/anno                     |
| emissione prodotte                 | 2808         | tonCO <sub>2</sub> /anno     |
| <b>emissione prodotte</b>          | <b>2,81</b>  | <b>ktCO<sub>2</sub>/anno</b> |
| anni di esercizio                  | 20           | anni                         |
| <b>emissione totale in 20 anni</b> | <b>56,16</b> | <b>ktCO<sub>2</sub></b>      |

Di seguito, si riporta l'impatto in termini di emissioni di CO<sub>2</sub> dell'impianto eolico di progetto nell'intero Life Cycle Assessment.

A questo punto, è possibile determinare le emissioni effettivamente evitate dall'esercizio del parco eolico al netto dell'intero LCA dell'impianto stesso, rispetto ad una uguale produzione da fonte fossile.

*CALCOLO EMISSIONI EFFETTIVAMENTE EVITATE DALL'IMPIANTO EOLICO*

|   |          |   |
|---|----------|---|
| <b>EMISSIONI EVITATE DALL'IMPIANTO<br/>AL LORDO DEL LCA</b> | <b>➡</b> | <b>- 93,00 ktCO<sub>2</sub>/anno<br/>- 1860,00 ktCO<sub>2</sub> per 20 anni</b> |
| <b>EMISSIONI PRODOTTE DALL'IMPIANTO<br/>NELL'INTERO LCA</b> | <b>➡</b> | <b>+ 2,81 ktCO<sub>2</sub>/anno<br/>+ 56,16 ktCO<sub>2</sub> per 20 anni</b>    |
| <b>EMISSIONI EVITATE DALL'IMPIANTO<br/>AL NETTO DEL LCA</b> | <b>➡</b> | <b>- 90,19 ktCO<sub>2</sub>/anno<br/>- 1803,84 ktCO<sub>2</sub> per 20 anni</b> |

Quindi, considerando il fattore di sostituzione di emissione di gas serra di un impianto alimentato da fonti rinnovabili, pari a 518,34 gCO<sub>2</sub>/kWh e la producibilità annua di 180 GWh, si calcola il *carbon payback time*, ovvero il tempo necessario a compensare l'impatto ambientale dovuto alla costruzione dell'impianto eolico con l'impatto positivo dovuto alla produzione di energia elettrica pulita ottenuta senza utilizzo di combustibili fossili da mix tradizionale.

In conclusione, le emissioni di CO<sub>2</sub>, necessarie alla produzione dei materiali, al trasporto, alla fase di cantiere, alla fase di O&M e allo smaltimento e/o recupero (methodology LCA), pari a 56,16 ktCO<sub>2</sub> per i 20 anni vengono compensate e recuperate in soli 220 giorni dalla produzione di energia rinnovabile dell'impianto eolico di progetto.

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.

## **5. ANALISI DELLA FASE DI VITA DELL'IMPIANTO**

In ottica di ecodesign e di economia circolare, è stata analizzata anche la fase di "fine vita" dell'impianto, per esempio identificando scenari innovativi di dismissione prevedendo il riuso/riciclo dei componenti e dei materiali impiegati.

L'economia circolare nel sistema energetico consiste in design, processi e soluzioni che permettono di disaccoppiare il consumo di risorse dalla produzione di energia.



**Figura 5: Circular Economy**

-  Input circolari: modello di produzione e utilizzo basato su input rinnovabili o da precedenti cicli di vita (riuso/riciclo);
-  Estensione della vita utile: approccio innovativo alla progettazione e gestione di un prodotto volto a estenderne la vita utile;
-  Prodotto come servizio: modello di business in cui il cliente acquista un servizio per un tempo limitato, mentre l'azienda mantiene la proprietà del prodotto, massimizzando il fattore di utilizzo e la vita utile;
-  Piattaforme di condivisione: sistemi di gestione comune tra più utilizzatori di prodotti, beni o competenze;
-  Nuovi cicli di vita: ogni soluzione finalizzata a preservare il valore di un bene al termine del ciclo di vita grazie al riuso, rigenerazione e/o riciclo.

La vita utile media di un impianto eolico della tipologia in esame è dell'ordine dei 20 anni, conseguentemente gli scenari di analisi di fine vita dovranno essere necessariamente adattati alle evoluzioni tecnico-economiche che interverranno nei prossimi decenni.

L'economia circolare viene applicata con il **principio delle 4R:**

- **REDUCE:** la base del concetto di circolarità è ridurre i consumi di materia prima, progettando prodotti in modo che abbiano una durata a lungo termine, aumentando

l'efficienza nella produzione e uso del prodotto e consumando meno risorse naturali e materie prime;

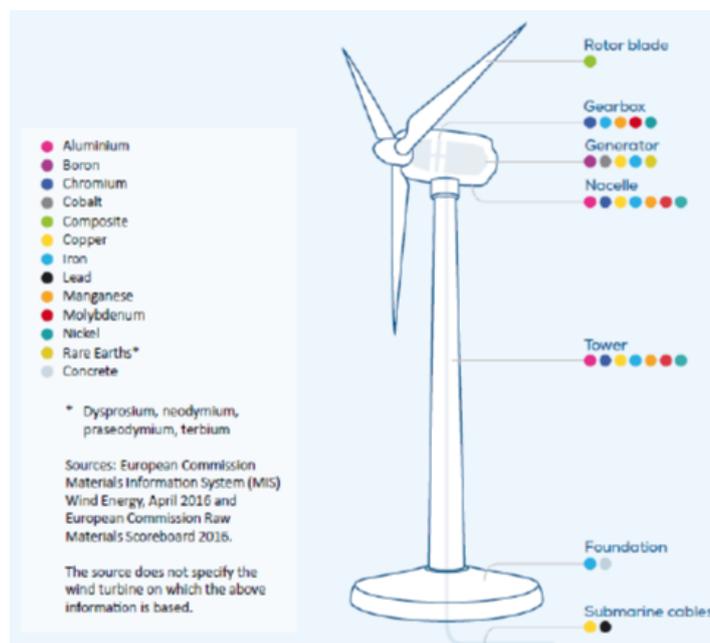
- **REUSE:** il riutilizzo comprende quella fase in cui un prodotto, arrivato alla fine del suo utilizzo, è ancora in buone condizioni e, mediante manutenzione periodica, può ancora svolgere la sua funzione originaria per lo stesso scopo per cui è stato concepito;
- **RECYCLE:** riciclo della materia che può essere utilizzata in nuovi processi produttivi;
- **RECOVER:** dove non arriva il riciclo arriva il recupero. I rifiuti vengono valorizzati sotto il profilo economico e diventa materia seconda o energia.

Per il settore eolico, in linea con il principio delle 4R, si stanno sviluppando nuovi modelli ed approcci sostenibili basati sulla *Prevenzione, Life Extension, Riuso e Riciclo*.



**Figura 6: Gerarchia per una green economy**

Nell'immagine sottostante si riportano i materiali costituenti un aerogeneratore tipo, per i quali è stata analizzata la "fine vita" dei principali materiali costituenti un parco eolico (*End of Life Approach*).



**Figura 7: Materiali costituenti un aerogeneratore**

La maggior parte di una turbina eolica è costituita da materiale metallico e, quindi, risulta riciclabile al 100%. Le pale, invece, essendo costituite dall'80-90% di materiali compositi (come resine epossidiche arricchite con fibre di vetro o carbonio) oltre ad altri materiali minori, non risultano facilmente riciclabili per la mancanza di una filiera consolidata sia nella valorizzazione della specie di rifiuto che nel successivo riutilizzo delle materie.

Tuttavia, nel campo dei materiali compositi stanno emergendo alcune soluzioni innovative rappresentate, ad esempio, da composti polimerici rinforzati con fibre naturali oppure da materiali compositi termoplastici che sono facilmente riciclabili. Nel caso in cui il riutilizzo non è possibile, comunque è possibile reimpiegare parti strutturali specifiche delle pale per una diversa applicazione, ad esempio per parchi giochi o arredo urbano o anche per strutture edilizie (*Accelerating Wind Turbine Blade Circularity, WindEurope, Cefic and EuCIA, May 2020*).

Inoltre, in base a recenti evoluzioni tecnologiche la vita utile dei materiali può essere allungata con l'implementazione di sistemi di monitoraggio (sensori di nuova generazione che forniscono informazioni sullo stato di salute delle turbine e sulla vita residua delle macchine che compongono l'aerogeneratore) che, in fase di esercizio, ne verificano l'efficienza, in modo da intervenire durante la vita utile del parco eolico con manutenzione e riparazioni mirate.

La soluzione di riuso da perseguire principalmente è il riutilizzo dell'aerogeneratore nel suo complesso, opportunamente ricondizionato al fine di allungare la vita utile e l'efficienza.

Nella tabella sottostante, si riportano le ipotesi sull'utilizzo a "fine vita" dei principali materiali costituenti un parco eolico (Environmental Product Declaration according to ISO 14025).

| Sub-system                      | End of life hypothesis                                       |
|---------------------------------|--|
| Foundation materials            | Above ground surface is removed and the rest is left in situ |
| Tower                           | Fully recyclable.  |
| Blades                          | 95 % Landfilled<br>5 % Repaired                              |
| Blade bearings                  | Fully recyclable   |
| Hub                             | Fully recyclable   |
| Rotor cover                     | Landfilled   |
| Nacelle cover                   | Landfilled   |
| Beam system / Nacelle structure | Fully recyclable   |
| Main shaft                      | Fully recyclable   |
| High speed shaft                | Fully reusable / repairable                                  |
| Gearbox                         | Fully reusable / repairable                                  |
| Generator                       | 90 % Recycled<br>10 % Landfilled                             |
| Transformer                     | 85 % Recycled<br>15 % Landfilled                             |
| Pitch system                    | Fully reusable / repairable                                  |
| Hydraulic group                 | Fully reusable / repairable                                  |
| Yaw system                      | Fully recyclable   |
| Crane system                    | Fully repairable   |
| Electrical cabinets / converter | 90 % Recycled<br>10 % Landfilled                             |
| Wind farm wiring and WTG cables | 95 % Recycled<br>5 % Landfilled                              |

Si può evidenziare, quindi, come il parco eolico di progetto sia perfettamente in linea con i principi dell'economia circolare.