



UNICA

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI CAGLIARI

DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA INDUSTRIALE

Ciclo XXXV

**Una metodologia per l'analisi ambientale, economica e sociale di progetti per la
produzione di energia da fonte rinnovabile**

ING-IND/09 e ING-IND/17

Presentata da	Valeria Fois
Supervisore/a	Prof. Daniele Cocco
Co-supervisore/a	Ing. Pier Francesco Orrù

Esame finale anno accademico 2021/2022
Tesi discussa nella sessione d'esame di aprile 2023

Questa Tesi può essere utilizzata, nei limiti stabiliti dalla normativa vigente sul Diritto d'Autore (Legge 22 aprile 1941 n. 633 e succ. modificazioni e articoli da 2575 a 2583 del Codice civile) ed esclusivamente per scopi didattici e di ricerca; è vietato qualsiasi utilizzo per fini commerciali. In ogni caso tutti gli utilizzi devono riportare la corretta citazione delle fonti. La traduzione, l'adattamento totale e parziale, sono riservati per tutti i Paesi. I documenti depositati sono sottoposti alla legislazione italiana in vigore nel rispetto del Diritto di Autore, da qualunque luogo essi siano fruiti.

Sommario

Introduzione.....	8
1 IL CONCETTO DI SOSTENIBILITÀ	10
1.1 Agenda 2030.....	11
1.1.1 Recepimento nazionale dell'agendo 2030.....	13
1.2 Economia Circolare	15
2. INQUADRAMENTO DELLO STATO DELL'ARTE	21
2.1 Metodologie ambientali per sostenibilità.....	21
2.1.1 Metodologia LCA EN14044 e la determinazione degli indicatori ambientali.....	22
2.1.2 Gli indicatori di circolarità.....	24
2.2 Social Impact Assessment.....	25
2.2.1 La metodologia analytic hierarchy process.....	28
2.2.2 Severity index statistical methods	31
2.2.3 Energy justice	31
2.2.4 Network analysis approach	33
2.3 Il vento: una risorsa per la produzione di energia rinnovabile.....	39
2.3.1 Indicatori ambientali nell'eolico	39
2.3.2 Il riuso.....	40
2.3.3 MCDA – analisi SWOT	42
2.3.4 GIS e MCDA	42
2.3.5 Il rumore.....	43
2.3.6 In sintesi	43
3. LE ENERGIE RINNOVABILI IN SARDEGNA.....	46
3.1.1 Produzione di energia elettrica da fonte energetica	48
3.1.2 Andamento storico dei consumi finali di elettricità per settore	50
3.1.3 Scenari di domanda elettrica in Sardegna dal rapporto ambientale Terna	51
3.1.4 Dismissione degli impianti termoelettrici in Sardegna	52
3.1.5 Evoluzione della capacità FER.....	53
3.1.6 Richieste di connessione alla RTN al 2021	55
3.1.7 Analisi delle richieste di VIA per l'installazione di nuovi impianti di FER in Sardegna nel 2022	56
4. COSTRUZIONE DELLA METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITA' AMBIENTALE, ECONOMICA E SOCIALE.....	62
4.1 MEES methodology	62
4.1.1 Obiettivo	63

4.1.2	Scopo	63
4.1.3	Elementi innovativi	63
4.2	Struttura	64
4.2.1	Fase Iniziale	65
4.2.2	Fase di pianificazione	65
4.2.2.1	Analisi degli stakeholder	65
4.2.2.2	Identificazione mediante validazione degli indicatori di sostenibilità KPIs.....	67
4.2.3	Fase di valutazione.....	68
4.2.3.1	Network analysis.....	68
4.2.3.2	Gli indicatori ambientali.....	68
4.2.3.3	Gli indicatori sociali	70
4.2.3.4	Gli indicatori economici	71
4.2.4	Fase di controllo.....	72
5.	IL CASO DI STUDIO	73
5.1	Fase Iniziale	73
5.2	Fase di pianificazione.....	80
5.3	Fase di Valutazione.....	85
5.4	Fase di Controllo.....	112
6.	CONCLUSIONI E FUTURI SVILUPPI	123
7.	RINGRAZIAMENTI.....	124
8.	REFERENCES.....	125
9.	APPENDICE.....	129

Indice delle figure

<i>Figura 1 Sustainable development goals Agenda 2030</i>	12
<i>Figura 2 Mappa dell'economia circolare. In Ellen McArthur Fondazione e McKinsey Center for Business and Environment</i>	17
<i>Figura 3 Misure di economia circolare per l'unione europea</i>	18
<i>Figura 4 Misure per le Imprese UE 2020</i>	18
<i>Figura 5 Patrizia Ghisellini parole chiave presenti in letteratura per Economia circolare aggiornate al 2016</i>	20
<i>Figura 6 Tassonomia degli indici presenti nelle diverse metodologie</i>	22
<i>Figura 7 LCA in UNI 14040:2008</i>	24
<i>Figura 8 Categorie di Stakeholder e subcategorie nella guida UNEP 2020</i>	27
<i>Figura 9 Raccolta dati e analisi in SIA</i>	28
<i>Figura 10 Social indicator</i>	29
<i>Figura 11 Scala pesi Analytic hierarchy method</i>	30
<i>Figura 12 Variabili adottate dalle tre comunità epistemiche</i>	32
<i>Figura 13 TBL in micromanufacturing e definizione degli indicatori</i>	34
<i>Figura 14 Costruzione della rete network nella TBL manufacturing</i>	35
<i>Figura 15 Casual network of HydroAys project</i>	36
<i>Figura 16 Tabella riassuntiva impatti di sostenibilità</i>	38
<i>Figura 17 Valutazione del fine vita delle pale delle turbine eoliche in J.Beauson et al 2022</i>	41
<i>Figura 18 Impatti di sostenibilità per gli impianti di energia eolica in letteratura</i>	44
<i>Figura 19 Piani di sviluppo Terna e Snam nel rispetto dei goal dell'Agenda 2030</i>	46
<i>Figura 20 Dati Terna 2021 sulla produzione di energia elettrica in Sardegna</i>	49
<i>Figura 21 Impianti eolici presenti in Sardegna - fonte GSE luglio 2021</i>	49
<i>Figura 22 Impianti eolici esistenti maggiormente estesi in Sardegna - giugno 2021 - fonte GSE</i>	50
<i>Figura 23 Consumi finali di energia elettrica per settore in Sardegna (2000-2020)</i>	50
<i>Figura 24 Consumi complessivi della regione Sardegna negli anni 2018, 2019 e 2020</i>	51
<i>Figura 25 Consumi complessivi della Regione Sardegna per gli anni previsionali 2030 e 2040</i>	51
<i>Figura 26 Potenza efficiente lorda degli impianti elettrici di generazione in Sardegna</i>	52
<i>Figura 27 Dettaglio evoluzione capacità FER (GW) e capacità totale di accumuli (GWh) al 2030 nello scenario</i>	53
<i>Figura 28 Capacità nominale FER (GW) e capacità energetica accumuli (GWh) al 2030 nello scenario</i>	54
<i>Figura 29 Valori incrementali rispetto all'installato 31.10.2021 Piano di Sviluppo Terna 2022</i>	54
<i>Figura 30 Distribuzione delle richieste di connessione di eolico e solare alla RTN al 31/12/2021 in Valutazione ambientale strategica del piano di sviluppo - Rapporto preliminare ambientale 2023 – Terna</i>	55
<i>Figura 31 Rappresentazione georeferenziata impianti FER in Sardegna 2022</i>	57
<i>Figura 32 Richiesta FER Sardegna di Valutazione Impatto Ambientale 2022 potenza totale installata.</i>	59
<i>Figura 33 Zoom richieste VIA FER Sardegna nord-occidentale 2022</i>	60
<i>Figura 34 Zoom richieste VIA FER Sardegna centro occidentale e zona meridionale mineraria 2022</i>	60
<i>Figura 35 Sardegna Centrale zona agricola - ambito caso di studio - richiesta VIA FER 2022</i>	61
<i>Figura 36 Scopo degli indicatori in letteratura</i>	62
<i>Figura 37 Analisi del ciclo di vita del progetto nella metodologia MEES</i>	64

Figura 38 Le fasi della Metodologia MEES	64
Figura 39 Relazioni tra gli stakeholder	66
Figura 40 Griglia potere interesse	66
Figura 41 Matrice di confronto stakeholder indicatori	67
Figura 42 Impact 2000+ Indicatori e categorie di danno	69
Figura 43 Tabella fattori moltiplicativi di danno per gli indicatori LCI	69
Figura 44 Ripartizione degli indicatori nel CED	70
Figura 45 Esempi di indicatori raggruppati per stakeholder della guida UNEP	71
Figura 46 Individuazione dell'area di impianto	73
Figura 47 Individuazione del sito in esame e degli aerogeneratori su ortofotocarta	74
Figura 48 Inquadramento parco eolico su CTR	74
Figura 49 Curve di potenza della turbina V162-6.2 con densità d'aria standard di 1.225 kg/m ³ e adattate secondo IEC 61400-12	75
Figura 50 Analisi SWOT del contesto	76
Figura 51 Composizione del campione che ha risposto al questionario	77
Figura 52 Domanda 8 questionario analisi del contesto	77
Figura 53 Domanda 10 questionario accettabilità impianti FER	77
Figura 54 Domanda 13 questionario - benefici	78
Figura 55 Domanda 15 questionario - diminuzione del costo dell'energia	78
Figura 56 Domanda 16 questionario - Impatti	79
Figura 57 Domanda 17 Fastidio da impatti ambientali provocati da attività	79
Figura 58 Domanda 20 - Inserimento nuovi parchi eolici nel territorio	80
Figura 59 Individuazione degli stakeholder in base all'interesse	80
Figura 60 Griglia stakeholder potere/interesse	81
Figura 61 Rappresentazione Matrice gerarchica pesi stakeholder-indicatori con dati oggettivi raccolti	82
Figura 62 Radar graph Severity Index Analysis per le tre categorie di indicatori	83
Figura 63 Severity index rappresentazione dei KPIs per la valutazione del progetto	84
Figura 64 Identificazione KPIs	84
Figura 65 Relazioni tra indicatori – tabella di assegnazione	86
Figura 66 Network analysis – Degree- indicatori ambientali, sociali ed economici del caso di studio	87
Figura 67 In degree	87
Figura 68 OUT degree	88
Figura 69 Betweenness centrality	89
Figura 70 Closeness Centrality	89
Figura 71 Ciclo di vita di un aerogeneratore	90
Figura 72 Confini del sistema per l'analisi LCA	90
Figura 73 INVENTARIO LCA 1 TURBINA	94
Figura 74 Risultati dell'analisi LCIA della singola turbina Vestas V162-6.2	95
Figura 75 Weight Indicatori di midpoint per una singola turbina Vestas V162	96
Figura 76 Risultati analisi LCA per l'intero parco eolico rappresentato nelle 4 categorie di danno ..	96
Figura 77 Ciclo di vita di un aerogeneratore e indice di circolarità	98
Figura 78 turbine e ricettori per il suono	
Figura 79 Simulazione emissione sorgenti aerogeneratori	99
Figura 80 Valori rilevati ricettori	100
Figura 81 Campo sonoro generato dall'impianto.	100
Figura 82 Localizzazione dei ricettori rispetto alle turbine	101

Figura 83 Rappresentazione grafica dell'ombreggiamento delle turbine rispetto i ricettori nel "Worst Case".....	102
Figura 84 Tabella percentuale media giornaliera di abbattimento da worst a real case.....	103
Figura 85 Rappresentazione grafica dell'ombreggiamento delle turbine rispetto i ricettori nel "Real Case".....	103
Figura 86 IRENA costi per energie rinnovabili 2021.....	105
Figura 87 IRENA rappresentazione dei costi per i componenti delle turbine eoliche 2008, 2017, 2020, 2021 e 2022.....	106
Figura 88 tabella Calcolo VAN e TIR scenario ipotizzato.....	109
Figura 89 PBT dell'investimento.....	109
Figura 90 Report Wind PRO per la bontà del sito.....	110
Figura 91 Caratterizzazione LCA con produttività di energia.....	111
Figura 92 Weight LCA con produttività di energia.....	111
Figura 93 Dati LCA caratterizzazione produttività di energia.....	111
Figura 94 Discussione indicatori nella fase di controllo.....	113
Figura 95 Inquadramento area di progetto agrivoltaico su ortofoto.....	114
Figura 96 Tracker inseguitore mono assiale - vista laterale delle strutture di sostegno.....	114
Figura 97 Inventario per V,W e R per pannello agrivoltaico.....	115
Figura 98 Risultati analisi di sensitività per la produzione di 1 kWh da fonti diverse – Caratterizzazione.....	116
Figura 99 Analisi di sensitività per categorie di danno UF 1kWh per differenti fonti di energia..	117
Figura 100 Analisi LCA - analisi di sensitività differenti sistemi energetici - pesi.....	118
Figura 101 Analisi di sensitiva al variare del prezzo dell'energia e la percentuale di energia disponibile per la vendita.....	119
Figura 102 Analisi di sensitività misure di finanziamento- percentuale di energia venduta alla rete.....	119
Figura 103 Riepilogo scenari con tasso pari al 2% e costo iniziale costante.....	120
Figura 104 Riepilogo analisi scenari con variazione di tasso al 4% e costo iniziale costante.....	121
Figura 105 Analisi scenari con aumento dei costi di realizzazione del 20%.....	121

Introduzione

Il pacchetto europeo Energia e Clima 2030 firmato nell'ottobre 2014 istituisce un "Unione dell'energia" articolata su cinque "dimensioni dell'energia": decarbonizzazione (incluse le fonti rinnovabili); efficienza energetica; sicurezza energetica; mercato interno dell'energia; ricerca, innovazione e competitività.

In questo quadro l'Italia si è impegnata alla riduzione del 55% di CO₂ ovvero nella produzione del 65% di energia elettrica da fonte rinnovabile e alla chiusura delle centrali elettriche a carbone.

Oggi la capacità di generazione elettrica da fonti rinnovabili (FER) è pari al 34 GW (dati Terna 2023) per arrivare agli obiettivi 2030 tale potenza installata dovrà essere triplicata e attestarsi sui 100 GW. Dovranno essere quindi progettati e installati numerosissimi impianti fotovoltaici ed eolici on shore e off shore le cui richieste di installazione avverranno tra la fine del 2023 e il 2024.

Gli impianti alimentati con fonti rinnovabili diverranno nuove infrastrutture per i territori che li ospitano, in alcuni casi avranno un grande impatto nella modifica dell'uso dei terreni, in quanto ci saranno regioni come per esempio la Sardegna che probabilmente diventeranno degli HUB di energia rinnovabile per l'intera nazione.

Si pone il reale problema di creare una progettazione di impianti per la produzione di energia rinnovabile che sia sostenibile per i territori che li ospitano.

Il lavoro di ricerca presentato in questo lavoro si occupa proprio di analizzare il significato di sostenibilità di un progetto. Infatti il significato di sostenibilità in ambito generale viene modificato con l'Agenda 2030 che introduce oltre agli obiettivi ambientali ed economici anche quelli sociali. Il filone di ricerca è chiamato Triple Bottom Line (TBL ed è collegato ai concetti di economia circolare e di ciclo di vita dell'impianto (LCA). Per poter capire se un progetto è sostenibile per un territorio è necessario individuare gli indicatori per ogni linea di sostenibilità che devono essere rispettati per renderlo tale. Sarebbe necessario pesare gli indicatori definendo se il progetto è sostenibile. Ma gli indicatori vengono da branche disciplinari molto diverse; quelli ambientali con norme codificate come le UNI 14040, quelli economici con il VAN e il TIR tipici della bancabilità degli investimenti e quelli sociali che sono valutati normalmente in modo qualitativo e poco applicati nel campo tecnico progettuale.

La ricerca quindi si pone l'obiettivo di creare una metodologia costituita da 4 fasi che valuti la sostenibilità del progetto FER in tutte e tre le linee ambientale, economica e sociale. La metodologia, nello sviluppo della prima fase, parte dall'analisi della letteratura e dagli indicatori maggiormente utilizzati in progettazioni simili, nella seconda fase appare subito notevolmente influenzata dal contesto in cui il progetto ricade, dagli stakeholder che sono coinvolti nel progetto, nella terza fase applica gli strumenti della Severity Index Analysis per la creazione in un range di Key Performance Sustainable Index e la loro validazione, del LCA e delle specifiche tecniche per la valutazione quantitativa di ogni indicatore individuato, ed infine nella quarta

fase diviene uno strumento d'aiuto nel processo decisionale di approvazione di un nuovo progetto, essendo in grado di trasformare le criticità che possono divenire un ostacolo alla riuscita di una iniziativa in sviluppi inattesi di un progetto. Le alternative necessarie per superare le criticità emerse nei processi di partecipazione all'iniziativa hanno un importante impatto economico e devono essere quindi prevedibili e gestibili.

La metodologia tiene conto di concetti chiave quali la diminuzione delle emissioni di CO₂, l'accettazione dei progetti, la partecipazione del processo decisionale, la scelta degli elementi costitutivi del progetto provenienti da materiale riciclato e riciclabile, la giustizia sociale, la redditività dell'investimento.

Le domande a cui la ricerca si propone di dare risposta sono:

- 1) è possibile valutare qualitativamente e quantitativamente la sostenibilità di un progetto non solo in termini economico-ambientali ma anche in termini sociali?**
- 2) gli attori coinvolti nel processo possono influenzare la resilienza del progetto e la sua accettazione?**

Il lavoro è articolato in 5 capitoli: nel primo capitolo è analizzato il significato di sostenibilità in letteratura, nel secondo capitolo sono evidenziate le metodologie presenti in letteratura e gli indicatori per la valutazione della sostenibilità dei processi, nel terzo capitolo viene esplicitato un focus sullo stato energetico, sugli impianti e la produzione di energia rinnovabile in Sardegna, nel quarto capitolo viene spiegata nel dettaglio la metodologia innovativa proposta (articolata in 4 fasi: iniziale, di pianificazione, di valutazione e di controllo), nel quinto capitolo la metodologia è applicata ad un caso di studio reale (un parco eolico in fase di autorizzazione Ambientale in Sardegna), nel sesto capitolo sono riportate le conclusioni del progetto, con l'evidenziazione degli aspetti innovativi e di quelli ancora poco sviluppati nella metodologia.

1 IL CONCETTO DI SOSTENIBILITÀ

Per molto tempo le persone hanno associato l'idea di sviluppo sostenibile alla "questione ambientale", cioè alla necessità di coniugare lo sviluppo economico con il rispetto del Pianeta e dei suoi limiti. Di fronte a un aumento della domanda di materie prime e allo stesso tempo a una scarsità delle risorse: molte delle materie prime e delle risorse essenziali per l'economia sono limitate, ma la popolazione mondiale continua a crescere e di conseguenza aumenta anche la richiesta di tali risorse finite. Questo bisogno di materie prime crea una dipendenza verso altri paesi: alcuni stati membri dell'UE dipendono da altri paesi per quanto riguarda l'approvvigionamento. I processi di estrazione e utilizzo delle materie prime producono un grande impatto sull'ambiente e aumentano il consumo di energia e le emissioni di anidride carbonica (CO₂). Nel 1972 con la prima conferenza sull'Ambiente umano tenutasi a Stoccolma insieme alla carta mondiale per la natura del 1982 si formula il concetto di sviluppo sostenibile come *rispetto della natura come principio fondamentale di tutela ambientale* e sviluppa una visione progressista di politiche necessarie per realizzare il benessere ambientale.

Nel 1987, la commissione Mondiale sull'ambiente e lo sviluppo istituita dall'Assemblea Generale delle Nazioni Unite producono il "Rapporto Brundtland" che sancisce il concetto di **sviluppo sostenibile** "*sviluppo che garantisce i bisogni delle generazioni attuali senza compromettere la possibilità che le generazioni future riescano a soddisfare i propri.*"

Nel 1992 la Conferenza delle Nazioni Unite su ambiente e sviluppo a Rio de Janeiro sancisce definitivamente la presa d'atto da parte della comunità mondiale della necessità di attivare una complessa azione globale a favore dell'ambiente. Vennero approvate la Dichiarazione su ambiente e sviluppo e l'Agenda 21, un documento di intenti ed obiettivi programmatici dove vengono rappresentate lo stato delle risorse, le dimensioni economiche, il ruolo delle forze sociali e gli strumenti di attuazione. È possibile definirlo come un processo, condiviso da tutti gli attori presenti sul territorio, per definire un piano di azione locale per il 21° secolo.

Ma con l'Agenda 2030, sottoscritta nel settembre 2015 da tutti i Paesi dell'ONU, lo sviluppo sostenibile è divenuto una visione del mondo e dell'attività umana **che abbraccia, in modo integrato**, economia, società e ambiente, riconoscendo alla governance delle imprese e dei processi decisionali pubblici un ruolo centrale per conseguire un benessere equo e sostenibile.

Il mondo delle imprese, almeno quelle innovative e di grandi dimensioni, e della finanza sembrano aver compreso le opportunità che lo sviluppo sostenibile può rappresentare per il loro futuro. Non a caso grandi aziende come la Volkswagen, la Siemens, la Bayer incrementano i loro livelli di organizzazione e il controllo dell'intera catena del valore del ciclo di vita dei loro prodotti per ottimizzare le produzioni. La produzione diviene snella, con una importante attenzione alla salvaguardia ambientale, adattandosi alle

personalizzazioni dei clienti, al continuo modificarsi della richiesta abbassando i costi di produzione resi possibili grazie all'utilizzo di sistemi di *data analytics* e *machine learning* in grado di sviluppare modelli predittivi delle risposte. Comincia ad apparire anche nel mondo tessile il concetto di abito che deve durare nel tempo facendo scomparire il concetto di "abito spazzatura" usa e getta e catene come Zara, H&M ed altri sponsorizzano la provenienza naturale dei materiali e il riciclo degli abiti.

1.1 Agenda 2030

L'agenda 2030 è un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità sottoscritta il 25 settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri delle Nazioni Unite adottata dal vertice delle nazioni Unite il 21 ottobre 2015 per lo sviluppo post 2015. *Lo sradicamento della povertà è la sfida globale e il requisito indispensabile per lo sviluppo sostenibile.*

L'Agenda si compone di 17 obiettivi per lo sviluppo sostenibile e [Sustainable Development Goals, SDGs](#)– inquadriati all'interno di un programma d'azione più vasto costituito da 169 *target* o traguardi, ad essi associati, da raggiungere in ambito ambientale, economico, sociale e istituzionale **entro il 2030**. Essi mirano a realizzare pienamente i diritti umani di tutti e a raggiungere l'uguaglianza di genere e l'emancipazione di tutte le donne e le ragazze. Essi sono interconnessi e indivisibili e bilanciano le tre dimensioni dello sviluppo sostenibile: *la dimensione economica, sociale e ambientale* e mirano a porre fine alla **povertà**, a lottare contro l'**ineguaglianza**, ad affrontare i **cambiamenti climatici**, a costruire società pacifiche che rispettino i **diritti umani**¹.

La sostenibilità assume dunque una veste nuova: è il motore aperto che definisce il modello di business e d'agire dell'impresa con il contributo di stakeholder esterni ed il supporto determinante di un'innovazione sempre più necessaria alla stessa sopravvivenza dell'impresa, volta a migliorare il mondo per trovare nuove opportunità (di business e) di creazione di valore.

Il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità non può quindi limitarsi al solo uso delle energie rinnovabili per una diminuzione dove possibile dell'energia non rinnovabile per la diminuzione dei consumi e l'adozione di sistemi che riducano le emissioni di CO₂. Queste misure largamente adottate in questi anni non sono sufficienti alla tutela delle risorse naturali. Non portano risultati tangibili in ambito generale ma è una filosofia di sviluppo generale che coinvolga tutti gli attori coinvolti in un processo per esempio produttivo limitando i rifiuti e allungando la vita dei prodotti anche dopo il loro fine vita potendo divenire materia prima per un altro processo.

La definizione dei nuovi 17 goals ha un carattere molto più sociale rispetto agli obiettivi precedenti focalizzando l'attenzione su un processo collaborativo che parte dalla formazione, l'educazione ad un modo di vivere diverso che porta condizioni migliori anche per le fasce più povere.



Figura 1 Sustainable development goals Agenda 2030

I 17 "Sustainable Development Goals" dell'Agenda 2030 rappresentati nella figura 1 sono

Goal 1: Sconfiggere la povertà

Goal 2: Sconfiggere la fame

Goal 3: Salute e benessere

Goal 4: Istruzione di qualità

Goal 5: Parità di genere

Goal 6: Acqua pulita e servizi igienico-sanitari

Goal 7: Energia pulita e accessibile

Goal 8: Lavoro dignitoso e crescita economica

Goal 9: Imprese, innovazione e infrastrutture

Goal 10: Ridurre le disuguaglianze

Goal 11: Città e comunità sostenibili

Goal 12: Consumo e produzione responsabili

Goal 13: Lotta contro il cambiamento climatico

Goal 14: Vita sott'acqua

Goal 15: Vita sulla Terra

Goal 16: Pace, giustizia e istituzioni solide

Goal 17: Partnership per gli obiettivi 1 e 2

La sostenibilità non è una questione puramente ambientale. A sette anni dalla sottoscrizione dell'Agenda 2030 vi è sempre più consapevolezza nella società civile, nel mondo delle imprese, nel Governo nazionale, nelle Amministrazioni e nell'opinione pubblica, riguardo la necessità di adottare un approccio integrato e misure concrete per affrontare un importante cambio di paradigma socioeconomico, le numerose e complesse sfide ambientali e istituzionali.

L'attuazione dell'Agenda 2030 richiede, infatti, un forte coinvolgimento di tutte le componenti della società, dalle imprese private al settore pubblico, dalla società civile agli operatori dell'informazione e cultura.

La sostenibilità diventa un concetto trasversale che oltre alla dimensione ambientale si basa sulla dimensione sociale ed economica. Non lasciando intenzioni al caso ma nell'esplicazione dei 169 target specifica nel dettaglio le singole azioni da focalizzare.

Nella dichiarazione degli strumenti di attuazione e di partenariato globale, si focalizza l'attenzione sull'attività imprenditoriale invitando le imprese ad investire in creatività e innovazione per vincere le sfide dello sviluppo sostenibile. *“L'attività imprenditoriale privata, gli investimenti e l'innovazione rappresentano i motori principali della produttività, di una crescita economica inclusiva e della creazione di posti di lavoro. Riconosciamo la varietà del settore privato, che varia dalle micro imprese alle cooperative, e alle multinazionali. Invitiamo tutte le imprese ad impiegare la loro creatività e la loro innovazione, al fine di trovare una soluzione alle sfide dello sviluppo sostenibile. Promuoveremo un settore imprenditoriale dinamico e ben funzionante, salvaguardando contestualmente i diritti dei lavoratori e le norme ambientali e sanitarie, in conformità con le norme e gli accordi internazionali e le altre iniziative in corso applicabili in materia, come i Principi Guida per le Imprese e i Diritti Umani,¹⁷ le norme in materia di diritto del lavoro dell'Organizzazione Internazionale del Lavoro, la Convenzione sui Diritti dell'Infanzia¹⁸ e gli accordi chiave multilaterali sull'ambiente, per le parti dei suddetti accordi”¹*

La spinta è verso una cooperazione scientifica, tecnologica e in materia di innovazione per l'implementazione degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile radunando gli attori coinvolti per aree di competenza.

In questo contesto, anche l'Unione europea è impegnata nel recepimento e definizione dei principi dell'Agenda 2030 di sviluppo sostenibile. Le modalità di declinazione degli obiettivi a livello comunitario sono destinate a rappresentare un'indicazione importante per i Paesi Membri nella definizione finale dei rispettivi obiettivi strategici.

La **Commissione europea**, durante il discorso di apertura della seduta plenaria del Parlamento europeo presieduta da Ursula von der Leyen (luglio 2019), ha presentato un ricco programma d'azione da realizzare per i prossimi cinque anni, in cui emerge chiaramente la volontà dell'Unione di raggiungere gli obiettivi di sviluppo sostenibile, anche in relazione all'accordo di Parigi sui cambiamenti climatici, e prepara il terreno per una strategia globale dell'UE per gli anni 2019-2024.

1.1.1 Recepimento nazionale dell'agendo 2030

A livello nazionale lo strumento di coordinamento dell'attuazione dell'Agenda 2030 è rappresentato dalla **Strategia Nazionale di Sviluppo Sostenibile (SNSvS)**, approvata dal CIPE con Delibera n. 108/2017. Si tratta di un provvedimento che prevede un aggiornamento triennale e *“che definisce il quadro di riferimento*

nazionale per i processi di pianificazione, programmazione e valutazione di tipo ambientale e territoriale per dare attuazione agli obiettivi di sviluppo sostenibile dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite" (https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/sviluppo_sostenibile/strategia_svs_2002.pdf).

La Strategia Nazionale di Sviluppo Sostenibile 2017-2030 si configura come lo strumento principale per la **creazione di un nuovo modello economico circolare**, a basse emissioni di CO₂, resiliente ai cambiamenti climatici e agli altri cambiamenti globali causa di crisi locali, come, ad esempio, la perdita di biodiversità, la modificazione dei cicli biogeochimici fondamentali (carbonio, azoto, fosforo) e i cambiamenti nell'utilizzo del suolo.

Il piano aggiorna la precedente "Strategia d'azione ambientale per lo sviluppo sostenibile in Italia 2002-2010", ma ne amplia il raggio d'azione, integrando gli obiettivi contenuti nella Agenda 2030 delle Nazioni Unite.

E' strutturata in cinque aree di intervento, corrispondenti alle **"5P" dello sviluppo sostenibile** proposte dall'Agenda 2030, ciascuna delle quali contiene Scelte Strategiche e Obiettivi Strategici per l'Italia, correlati agli obiettivi per lo sviluppo sostenibile dell'Agenda 2030 e richiamano alla profonda **interrelazione tra dinamiche economiche, crescita sociale e qualità ambientale**, aspetti conosciuti anche come i tre pilastri dello sviluppo sostenibile:

- **Persone**: contrastare povertà ed esclusione sociale e promuovere salute e benessere per garantire le condizioni per lo sviluppo del capitale umano;
- **Pianeta**: garantire una gestione sostenibile delle risorse naturali, contrastando la perdita di biodiversità e tutelando i beni ambientali e colturali;
- **Prosperità**: affermare modelli sostenibili di produzione e consumo, garantendo occupazione e formazione di qualità;
- **Pace**: promuovere una società non violenta ed inclusiva, senza forme di discriminazione. Contrastare l'illegalità;
- **Partnership**: intervenire nelle varie aree in maniera integrata.

Un passo importante per l'attuazione di Agenda 2030 in Italia è rappresentato dalla **Legge di bilancio 2017** nella quale vengono definite le prime misure di finanziamento legate ai singoli goal Industria 4.0, incentivazione, capitalizzazione, PMI e start up, produttività e sviluppo aziendale, mobilità sostenibile, ricerca e detrazioni fiscali.

I 17 Goals dell'Agenda 2030 sono, inoltre, richiamati anche nel recente **Piano per il Sud 2030 – Sviluppo e coesione per l'Italia**.

1.2 Economia Circolare

L'economia oggi utilizzata è quella lineare fondata sul tipico schema "estrarre, produrre, utilizzare e gettare". Il modello economico tradizionale dipende dalla disponibilità di grandi quantità di materiali e energia facilmente reperibili e a basso prezzo, seppur molto redditizia a lungo termine non funziona perché la richiesta di risorse è continua e la disponibilità non è infinita.

Le azioni messe in atto dalle politiche degli stati permettono solo la correzione di qualche elemento che abbassa l'uso delle risorse non rinnovabili, diminuendo le emissioni di sostanze nocive nell'ambiente. E' importante riprogettare un approccio economico che usi ogni anno meno energie fossili, meno metalli, meno fosforo utilizzando materiali biologici nei cicli produttivi ovvero con la rigenerazione dei materiali esistenti, il loro riuso ed una diminuzione del rifiuto a fine vita.

Ci sono molti modelli economici per la sostenibilità: "the green economy", "the Blue economy", "Doughnut Economy", "Cradle to Cradle", l'economia circolare differisce da queste perché cerca di utilizzare al meglio i materiali che già esistono allungandone la vita utile.

Julian Kirchherr² analizza 114 definizioni di economia circolare che hanno alla base tre obiettivi la qualità ambientale, lo sviluppo economico e l'equità sociale. Non vi è un'unica definizione di economia circolare ma sommando i diversi contributi a partire da Ghisellini (2006), Taylor (2007) si parla di economia circolare quando un sistema economico sostituisce nei suoi modelli di business il concetto di " fine vita " con la riduzione o il riutilizzo, il riciclo e il recupero dei materiali di scarto in processi di produzione o distribuzione ad altri soggetti con l'obiettivo di realizzare uno sviluppo sostenibile a vantaggio delle generazioni attuali e future³.

Alan Murray ancora definisce il concetto di economia circolare come un modello economico in cui pianificazione, risorse, approvvigionamento, produzione e ritrattamento sono progettati e gestiti, sia come processo che come output, per massimizzare il funzionamento dell'ecosistema e il benessere umano.

Anche **Patrizia Ghisellini**⁴ esamina il concetto di economia circolare dando uno stato dell'arte della sua applicazione più che degli studi pubblicati. Essendo le ricerche più innovative spesso frutto di esperienze pratiche o politiche dei governi, le risposte maggiori dell'applicazione del concetto di economia circolare si possono apprendere dalle esperienze⁵.

Innanzitutto, ripercorre il concetto di economia circolare in ambito ambientale, evidenziando che nella maggior parte dei casi l'economia circolare è associata al concetto di riciclo e di industria ecologica. Un'industria che deve riciclare i suoi scarti di lavorazione o deve spendere il meno possibile in termini energetici. Il concetto di economia lineare "take, make and dispose" (Ness,2008) viene superato dal concetto di economia circolare superando i suoi effetti più concreti i rifiuti. Gli studi in questo modo si concentrano sul recupero energetico dai materiali di scarto: chimica verde, biotecnologia etc. L'industria ecologica studia processi meno energivori per la produzione di energie rinnovabili in loco per autoconsumo,

sia per il risparmio di energia durante il processo con cicli di accumulo come per esempio il riuso dell'acqua o il riuso dell'energia termica in uscita dal processo stesso per altre lavorazioni.

I limiti però sono due il primo è che non tutto può essere riciclato: molti prodotti non hanno possibilità di essere riutilizzati. Il secondo è che una eco industria coinvolge solo gli aspetti economici e ambientali non portando vantaggi ad un miglioramento della vita. Non coinvolge il benessere sociale.⁵

Sembra quindi più interessante focalizzare l'attenzione sull'interpretazione di economia circolare come nuovi modelli di sostenibilità ambientale, benessere della popolazione e consumi quasi a zero dell'energia.

Uno dei maggiori stakeholders che ha partecipato alla stesura dei 17 SDG Goals è la **Fondazione Ellen MacArthur** che dal 2010 che lavora per accelerare il passaggio dall'economia lineare all'economia circolare. La fondazione ritiene che l'economia circolare sia una opportunità per la società, per l'economia e l'ambiente ⁶. L'economia circolare è una nuova economia che dà valore ai materiali al fine vita del loro utilizzo dandogli una nuova forma per essere utilizzati in un nuovo processo. È una politica innovativa, con nuovi studi scientifici, nuovi modelli di imprenditoriali, nuove figure imprenditoriali e nuove figure professionali.

I tre principi dell'economia circolare teorizzati dalla fondazione Elle MacArthur ⁷ sono

- 1) Design out waste and pollution: riprogettare gli impatti negativi delle attività economiche che causano danni alla salute umana e ai sistemi naturali come il rilascio dei gas serra e di sostanze pericolose, inquinamento di aria, suolo e acqua ma anche un nuovo progetto per i rifiuti strutturali come gli edifici dismessi e le auto.
- 2) Keep products and materials in use: favorire attività che preservano il valore sottoforma di energia, lavoro e materiali. Significa progettare per la durabilità, il riutilizzo, la rigenerazione e il riciclo. L'economia circolare usa materiali a base biologica e il residuo della lavorazione deve compatibile con i processi naturali.
- 3) Regenerate natural systems: evitare l'uso di risorse non rinnovabili e ottimizzare l'uso di risorse rinnovabili.

L'elemento principe per la diffusione dell'energia circolare è l'educazione; numerose sono le pubblicazioni della fondazione o i programmi di diffusione degli studi e dei risultati prodotti anche insieme ad altre università o gruppi di ricerca. Ma pone l'accento sulla creazione di processi decisionali partecipati in cui governi, città e operatori possano partecipare insieme alla trasformazione dell'economia lineare.

Negli studi della Fondazione Ellen McArthur e McKinsey Center for Business and Environment del 2010 viene definito uno schema dell'economia circolare, descritta attraverso una mappa che mostra due processi collaterali alla produzione di un manufatto. Il design del processo relativo alla materia prima che parte dal controllo e la raccolta agricola, il controllo dei componenti biochimici, la produzione di biogas, il controllo dei processi anaerobici, eliminazione degli elementi biochimici di rifiuto e dopo il ciclo di produzione il comportamento del consumatore che deve ridurre al massimo gli effetti negativi, ma anche il

laddove possibile, nel ciclo economico. Così si possono continuamente riutilizzare all'interno del ciclo produttivo generando ulteriore valore. L'unione europea associa al ciclo di vita il concetto di economia circolare (vedi figura 3). Il ciclo di vita si compone delle materie prime, della progettazione, della produzione del prodotto, la sua distribuzione, la manutenzione o riparazione del prodotto durante il suo uso, la sua dismissione al fine utilizzo con la raccolta dei materiali che lo compongono per differenziare la parte di materiali che possono essere riciclati per il medesimo prodotto o i rifiuti residui. In questo modo si riduce la percentuale di rifiuti alla fine dell'utilizzo del prodotto



Figura 3 Misure di economia circolare per l'unione europea

Misure per le imprese	
Aree d'ambito	Azioni
<i>Azioni di economia circolare</i>	Prevenzione dei rifiuti Ecodesign Riutilizzo dei materiali
<i>Risparmio</i>	600 miliardi
<i>Fatturato risparmiato</i>	8%
<i>Riduzione del gas serra</i>	2% - 4%

Figura 4 Misure per le Imprese UE 2020

La transizione verso un'economia più circolare può portare numerosi vantaggi, tra cui:

Riduzione della pressione sull'ambiente

Più sicurezza circa la disponibilità di materie prime

Aumento della competitività

Impulso all'innovazione e alla crescita economica

Incremento dell'occupazione – si stima che nell'UE grazie all'economia circolare ci saranno

580.000 nuovi posti di lavoro

Viene quindi naturale fare il passaggio enunciato all'inizio del capitolo da sostenibilità solo senso ambientale a sostenibilità in senso economico, ambientale e sociale. **Ghisellini**⁴ definisce questo passaggio come il passaggio dalla "eco efficiency" alla "resource efficiency", nel secondo caso l'uso di minori risorse, di minori energie e meno manodopera porta non solo all'emissione di meno CO₂ ma anche al benessere sociale.

La resource efficiency è un'opportunità per le aziende perché si indirizza verso la produzione di materiali più duraturi, verso il ritiro dei prodotti in disuso e la commercializzazione dei prodotti rigenerati. Per far questo alcuni stati adottano delle politiche che sono quelle di attribuire al produttore anche i costi di smaltimento costringendolo ad introdurre politiche che possano incentivare la minore produzione di rifiuti. Altresì se c'è un produttore di prodotti riciclati dovrà esserci un consumatore di questa tipologia di prodotti e quindi ecco che trova importanza la politica educativa della fondazione Ellen McArthur.

L'innovazione della fondazione Ellen McArthur sta nell'aver introdotto e definito tre principi basilari per l'economia circolare che permettono un coinvolgimento di tutti gli stakeholder coinvolti dal produttore, al trasformatore al consumatore. L'aver teorizzato che il primo elemento è la riprogettazione dell'economia con ricerca come input di soluzioni per evitare che i rifiuti vadano in discarica, ovvero non considerando i materiali a fine ciclo rifiuti o producendone meno.

La distinzione che la fondazione fa tra materiali tecnici e materiali biologici permette di scindere i prodotti in due categorie, ovvero quelli tecnici (plastiche e metalli) che possono essere riutilizzati e in biologici ovvero materiali non tossici che anche se smaltiti possono tornare in natura non costituendo inquinamento. (Ellen McArthur Foundation report 2012). Al primo posto c'è sempre il design, la progettazione di nuovi elementi, nuovi prodotti.

Ovviamente il concetto di consumo sempre più ridotto di energia chiude il ragionamento.

La società prende coscienza che se produce rifiuti deve smaltirli e quindi si organizza in modo globale e non solo a carattere locale o puntuale, come nel caso dei piccoli interventi di riduzione di energia o di CO₂ appartenenti alla singola azienda, per produrne meno.

Ghisellini riporta nella tabella 1 seguente le parole chiave che trova nella sua ricerca sul concetto e applicazione di economia circolare attribuendo ad ognuno il suo utilizzatore.

- Design (progettazione)
- Reduction e reuse
- Recycle
- Reclassification of materials
- Renewable energy

Table 1
Main limits and challenges of transition to Circular Economy.

Principles of CE	Limits or challenges	Reference
Design	Optimal product life scenario. Design for disassembly, reuse, recycling.	Bakker et al., 2014 Wrinkler 2011; Ellen MacArthur Foundation 2012; Bakker et al., 2014
Reduction	Design for durable products. Design for new business model of consumption.	Bakker et al., 2014 Ramani et al., 2010; Bakker et al., 2014
Reuse	Overcome rebound effect of eco-efficiency and eco-sufficiency strategies. Technical maximum reusability of materials. Increase of consumer demand towards reuse of products and materials. Development of take-back mechanisms from the companies. Ensuring repair and secondary use of products after their original use. Taxation based on non-renewable energy rather than labor and renewable energies	Figge et al., 2014 Park and Chertow 2014 Prendeville et al., 2014 Bilitewsky 2012 Bilitewsky 2012 Stahel, 2010, 2013
Recycle	Reinforcement of local markets of recycled materials. Risks of global trade of materials. Plastic waste: unfeasibility due to the mixing of contaminants. Cellulose: feasible until 4–6 times. Rare metals (lack of economies of scale). Food Waste: further transformations before being used requires high costs in research and development. Appropriate LCA modelling for reuse and recycling. Reuse after the first cycle	Sevignè-Itoiz et al., 2014 Bilitewsky 2012; Reh 2013 Reh 2013 UNEP 2013b; Prendeville et al., 2014 Mirabella et al., 2014
Reclassification of materials into: Technical Nutrients	Safe return to the Biosphere or in a cascade of subsequent uses (biorefinery).	Thomas and Birat 2013; Birat 2015 Ellen Macarthur Foundation 2012
Renewable Energy	Increase their share compared to the share of fossil fuels.	Ellen Macarthur Foundation 2012 Preston 2012

Figura 5 Patrizia Ghisellini parole chiave presenti in letteratura per Economia circolare aggiornate al 2016⁵

Focalizzando come sia importante che in questa trasformazione si trovi una applicazione contemporanea a questi elementi che possono diventare degli indicatori, l'industria deve passare dall'utilizzo di cicli chiusi a cicli aperti che coinvolgano una rete e non più singole realtà.

Si può leggere il **concetto di economia⁴ circolare** come uno strumento che aiuta la costruzione del processo di trasformazione dell'economia, della tutela dell'ambiente e della valorizzazione sociale. Non è una metodologia risolutiva ma è uno spunto di riflessione per lo sviluppo di nuovi modelli qualitativi di sviluppo. Una politica per sia basata sulla ricerca di design sostenibile e magari la vendita di servizi e non più di prodotti in modo da poter essere ripresi in ambito progettuale e riadattati alle esigenze del consumatore prima che diventino rifiuti. Si pensi per esempio al leasing o ristrutturazione e rigenerazione dei prodotti

2. INQUADRAMENTO DELLO STATO DELL'ARTE

Lo scopo del lavoro è creare una metodologia che attraverso degli indicatori di sostenibilità possa valutare progetti e processi di tipo industriale.

Il primo passo è capire se la sostenibilità è misurabile con un unico indicatore sintetico o su un insieme di più indicatori solitamente suddivisi in più categorie. Elia V.⁹ introduce quattro categorie di metodologie che tengono conto di: flusso di materiali ed energia, l'uso e il consumo del suolo e altre categorie basate sul ciclo di vita.

2.1 Metodologie ambientali per sostenibilità

Le metodologie che sono principalmente focalizzate sul consumo di energia si basano su un unico indicatore sintetico: Cumulative Energy Demand (CED), Embodied Energy (EE), Energy Analysis (EMA), EXergy analysis (EXA). Il CED è definito come la quantità totale di energia necessaria per produrre un prodotto (o un servizio) stimata lungo il suo intero ciclo di vita, comprende quindi l'energia necessaria dall'estrazione delle materie prime, ai processi di fabbricazione e allo smaltimento finale. L'indice EE è calcolato come somma di tutti i flussi energetici diretti e indiretti necessari per produrre un prodotto o un servizio. L'EMA si concentra sulla stima della quantità totale di energia - diretta e indiretta - necessaria per produrre un prodotto o servizio stimato in unità di un solo tipo di energia, solitamente l'energia solare. EXA si basa sulla stima di un unico indicatore definito come "la quantità massima di lavoro che può essere prodotta da un sistema o da un flusso di materia o di energia quando raggiunge l'equilibrio con un ambiente di riferimento".

I metodi più diffusi basati su indici focalizzati su uso e consumo del suolo: Ecological Footprint (EF), Sustainable Process Index (SPI) e Dissipation area index (DAI). La metodologia EF stima la capacità biologica del pianeta consumata da una specifica attività o popolazione umana. Il metodo SPI misura l'area totale necessaria per incorporare un prodotto/servizio, in modo sostenibile, nella biosfera. Il DAI deriva dalla stima SPI: rappresenta l'area totale necessaria per assorbire i flussi in uscita di uno specifico processo.

Altri metodi di analisi del ciclo di vita sono Carbon footprint (CF) ed Ecosystem Damage Potential (EDP) che appartengono alla categoria degli indicatori unici, invece Life cycle assessment (LCA), Environmental Performance Strategy Map (EPSM) e Sustainable Environmental Performance Indicator (SEPI) appartengono alla categoria con più indicatori (v. Figura 5). Il CF è un noto indicatore di prestazione ambientale che misura l'impatto delle attività umane sul clima globale, espresso come emissioni di gas serra (GHG) generate da un sistema. Solitamente, tutti i contributi GHG (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆) sono valutati ed espressi come anidride carbonica equivalente (CO₂eq), considerando il loro specifico potenziale di riscaldamento globale (GWP). L'EDP valuta gli impatti sull'ecosistema dovuti all'uso e alla trasformazione

del suolo. L'LCA infine è stato standardizzato da linee guida internazionali definite nella famiglia ISO 14040 (International Organization for Standardization 14040, 2008). Il metodo LCA è una delle metodologie di valutazione ambientale più complete, in quanto comprende diverse categorie di impatto relative alla salute umana, alle conseguenze sull'ecosistema e sulle risorse. L'EPSM è una rappresentazione grafica che integra cinque impronte (acqua, carbonio, energia, emissioni e ambiente di lavoro,) con una dimensione di costo trasversale.

LCA ed EPMS stimano direttamente più categorie di impatto, fornendo una valutazione ambientale da prospettive diverse e consentendo una valutazione più accurata degli impatti. Tuttavia, questo aumento di precisione corrisponde a un aumento dei dati e del tempo necessari per eseguire l'analisi.

Parameter \ Type	Single indicator	Multiple indicators
Material flow	<ul style="list-style-type: none"> - Water Footprint - Material Inputs per Unit of Service - Ecological Rucksack 	<ul style="list-style-type: none"> - Material Flow Analysis - Substance Flow Analysis
Energy flow	<ul style="list-style-type: none"> - Cumulative Energy Demand - Embodied Energy - Energy Analysis - Exergy Analysis 	
Land use & consumption	<ul style="list-style-type: none"> - Ecological Footprint - Sustainable Process Index - Dissipation Area Index 	
Other life cycle based	<ul style="list-style-type: none"> - Carbon Footprint - Ecosystem Damage Potential 	<ul style="list-style-type: none"> - Life Cycle Assessment - Environmental Performance Strategy Map - Sustainable Environmental Performance Indicator

Figura 6 Tassonomia degli indici presenti nelle diverse metodologie

Elia conclude che dopo un'analisi dello stato dell'arte sulla valutazione delle strategie CE, che ha confermato la mancanza di metodi standardizzati soprattutto a livello micro, l'LCA sembra essere la metodologia più efficace per valutare le emissioni di inquinanti, grazie ai diversi indicatori per calcolare gli impatti.

2.1.1 Metodologia LCA EN14044 e la determinazione degli indicatori ambientali

La metodologia LCA segue la norma europea ISO 14040:2008. E' una metodologia che identifica le opportunità per migliorare le prestazioni ambientali nelle varie fasi del ciclo di vita, aiuta i processi decisionali nelle scelte dei governi e delle organizzazioni industriali, mette in luce gli indicatori ambientali rilevanti e può misurare la sostenibilità delle scelte tecniche.

L'analisi LCA fornisce indicazioni sugli aspetti ambientali e sui potenziali impatti attraverso lo studio del ciclo di vita del prodotto a partire dalle materie prime che lo compongono, il processo di costruzione del prodotto, il trattamento di fine vita ovvero le fasi di riciclo o di dismissione.

L'analisi LCA si articola in 4 fasi (Figura 6):

- Definizione del Goal e dello scopo. In questa fase sono definiti il contorno del processo da analizzare e il livello di dettaglio che dipendono dal tipo di risultato che si vuole raggiungere.
- Analisi del processo e costruzione dell'inventario – LCI. Vengono definiti gli elementi di input e di output che costituiscono il processo.
- Calcolo degli impatti LCIA. Il processo è valutato secondo gli impatti misurati attraverso indicatori ambientali appartenenti a metodologie standard.
- Interpretazione dell'analisi. Fase finale in cui i risultati delle due fasi precedenti LCI e LCIA sono discussi e tratte le conclusioni che sono rese disponibili per il processo decisionale.

Nell'analisi vengono esplicitati tutti i materiali elementari che costituiscono la fase di input comprensivi dei quantitativi di energia necessari per produrlo. Il prodotto è scomposto nei processi che lo generano ed è analizzato definendo una Unità di processo FU, ovvero la più piccola quantità di prodotto in cui tutti gli elementi di input e output sono definiti. Ogni processo definito elementare viene quantificato.

La definizione dei confini del processo dipende dal grado di conoscenza del processo. Può tenere conto delle materie prime acquisite, delle sequenze di utilizzo delle materie prime nel processo e dei prodotti di output, del trasporto, delle energie utilizzate, dei combustibili, uso e manutenzione dei prodotti, dei processi di dismissione e delle quantità di rifiuti prodotte, della tipologia delle linee di produzione e degli altri fattori collaterali presenti negli stabilimenti come riscaldamento o raffreddamento degli ambienti non direttamente influenti nella realizzazione del prodotto stesso.

L'analisi LCA è indirizzata ai soli impatti ambientali se si utilizzano le metodologie codificate come Impact 2002+, Cumulative Energy, CMD etc.. Gli aspetti economici e sociali in questo caso sono esterni al suo scopo.

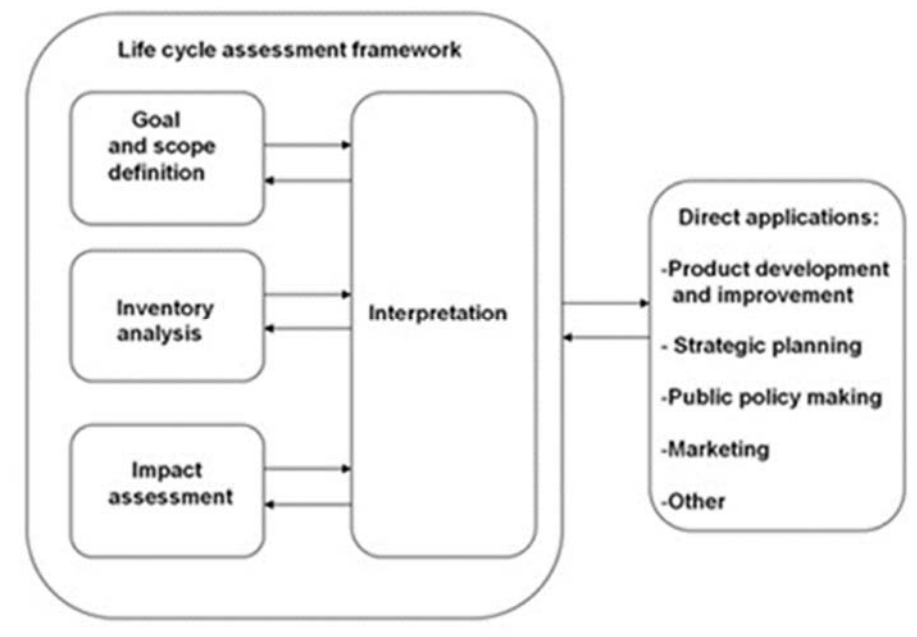


Figura 7 LCA in UNI 14040:2008

2.1.2 Gli indicatori di circolarità

L'uso dello strumento della valutazione del ciclo di vita (LCA) è un metodo standardizzato e sistematico per valutare l'impatto ambientale di prodotto o processi all'interno di un confine di sistema predefinito. Però **Duflou**¹¹ e altri ritengono che in un contesto di CE la sua applicazione non sia semplice ma sia necessario fare ulteriori sviluppi prima di poterlo usare in questo ambito. LCA, infatti coglie le conseguenze dell'uso delle risorse naturali misurando il carico ambientale lungo il ciclo di vita del prodotto, ma non l'uso efficace delle risorse stesse. Suggerisce di usare come indicatore di sostenibilità dell'economia circolare il **Product Circularity Indicator (PCI)**, sviluppato da **KU Leuven** come indicatore di performance (Key Performance Indicator -KPI). Bracqué¹² ha definito la circolarità come "capacità di conservare sia la quantità che la qualità del materiale" e ha proposto un nuovo indicatore di circolarità per misurare le prestazioni di filiere di prodotti più complesse e circolari che tiene conto delle materie prime che costituiscono il prodotto, la quantità di materiale recuperabile a fine vita e riutilizzabile per il medesimo processo o per altri processi diversi, la quantità di rifiuti prodotti.

L'indicatore di circolarità rappresenta la frazione di materiale che scorre in modo circolare. Di conseguenza, i valori di circolarità vanno da 0 a 1, dove un numero più alto indica un punteggio di circolarità migliore.

Questa frazione viene calcolata:

- tenendo conto del flusso lineare che passa attraverso i confini del sistema,
- confrontandolo con la quantità di materiale che teoricamente scorrerebbe attraverso il sistema in caso di un sistema lineare al 100% (Mlineare)

- tenendo conto dell'utilità del prodotto durante la fase di utilizzo (X). L'utilità del prodotto (X) è definita come il rapporto tra le unità funzionali "disponibili o utilizzate" rispetto alle unità funzionali "previste" in base ai requisiti medi di progettazione del prodotto.

In sintesi, l'indicatore di circolarità (PCI) è calcolato utilizzando le seguenti equazioni:

$$PCI = 1 - \frac{LFI}{x} \quad (1)$$

dove

$$LFI = \frac{V+W+\frac{1}{2}|R|}{M_{linear}} \quad (2)$$

L'indice di flusso lineare (LFI) è la frazione di materiale che scorre nel sistema in modo lineare. Mentre il materiale vergine in ingresso (V) e il materiale di scarto in uscita (W) sono ovviamente lineari, lo scambio di materiale riciclato (R) con altri sistemi di prodotto non può essere considerato del tutto circolare né completamente lineare. I valori del PCI variano al variare delle percentuali di materiale riciclato usato oppure con la riduzione degli scarti di produzione o con il recupero dei materiali a fine vita. I fattori non influenzano nello stesso modo l'indicatore.

2.2 Social Impact Assessment

Attualmente, non esiste una metodologia comunemente accettata per valutazione dell'impatto sociale affermano **Khan**¹³ nello studio delle infrastrutture elettriche del Bangladesh e **Terrapon-Pfaff**¹⁴ negli studi sugli approcci partecipati per impianti a concentrazione solare. Nel 2013 UNEP/SETAC (The United Nations Environment Program/Society of Environmental Toxicology and Chemistry) ha pubblicato una nota sugli indicatori **S-LCA** (social lifecycle assessment), che sono considerati da **Benoit**¹⁵ un quadro importante di riferimento per l'approccio S-LCA.

La **metodologia S-LCA** indaga gli aspetti sociali positivi e negativi nel ciclo di vita di un prodotto. Una dei primi ad indagarla è stata Benoit C.. Benoit¹⁶ ritiene che l'uso dell'S-LCA può promuovere il miglioramento delle condizioni sociali nel ciclo di vita dei prodotti ma può essere utilizzato anche per identificare, apprendere, comunicare e presentare gli impatti sociali, al fine di supportare l'attuazione delle strategie di miglioramento. L'S-LCA mira a misurare l'impatto che il prodotto presenta sulle persone che interagiscono con esso durante il suo ciclo di vita.

Come l'LCA ambientale, l'S-LCA deve seguire le quattro fasi di uno studio LCA (ISO 14044, 2008): la definizione degli obiettivi e del campo di studio, la definizione dell'inventario del ciclo di vita, la valutazione dell'impatto e l'interpretazione. La differenza tra l'approccio ambientale e quello sociale è il modo di misurare gli impatti. Il fattore di caratterizzazione degli impatti sociali è definito su una base più qualitativa e gli indicatori di impatto dovrebbero essere stabiliti sulla base degli stakeholder: comunità locale, società, consumatori e attori della catena del valore (Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente, 2009).

Macombe¹⁷ sostiene che per misurare la performance sociale è necessario considerare gli indicatori relativi a ciascun stakeholder. Ridefinisce le fasi dell'analisi S-LCA in:

- nella prima fase dello studio s-LCA sempre la definizione dello scopo e dei confini del sistema
- nella seconda fase di inventario, prima della raccolta dei dati, è essenziale stabilire quali stakeholder sono inclusi nello studio, le sottocategorie analizzate e il metodo utilizzato per costruire la scala degli indicatori. Gli impatti delle sottocategorie devono essere validati e collegati all'unità funzionale del sistema studiata dalla variabile di attività. Per ogni sottocategoria di impatto, inoltre si deve anche stabilire il metodo per valutarlo.
- nella terza fase quella di valutazione dell'impatto, devono essere misurati gli impatti sociali dai dati di inventario
- nell'ultima fase interpretativa, è necessario identificare le questioni sociali più significative, rispettando gli obiettivi dello studio

Ne consegue che gli stakeholder sono la base per la definizione degli indicatori di categorie. Così come previsto dal United Nations Environment Programme del 2009.

Soltani M¹⁸, studiando gli impatti sociali sui sistemi geotermici per la produzione di energia rinnovabile definisce cosa si intende per **Impatti sociali (SI)** ovvero qualsiasi attività che può avere conseguenza sulla società, che può cambiare o influenzare lo stile di vita, il business, la comunicazione tra le persone. Queste attività possono avere anche un impatto culturale modificando le convinzioni, i valori, gli standard e i comportamenti delle persone. Anche lui è convinto che l'accettazione sociale da parte delle comunità locali è un requisito fondamentale per lo sviluppo delle energie rinnovabili.

I fattori che influenzano negativamente l'uso delle energie geotermiche, per esempio, sono la conoscenza limitata della tecnologia, l'influenza mediatica negativa, la preoccupazione per gli impianti ambientali legata agli aspetti sismici, il consumo dell'acqua e l'effetto negativo sulle sorgenti termali.

Per esempio **Do Carmo**¹⁹ applica la metodologia sopra descritta ad un caso di studio fittizio legato ad un processo decisionale di fornitori di biodiesel nel quale sottolinea che la parte più problematica è l'aggregazione degli indicatori. Essa se ben condotta può facilitare il processo decisionale. Sottolinea anche il passo successivo necessario per la creazione di metodi a supporto del processo decisionale. Gli indicatori di valutazione dell'impatto sociale per le energie rinnovabili si concentrano principalmente sulla sensibilizzazione del pubblico, sull'occupazione, sulla salute e sicurezza, sullo sviluppo delle infrastrutture locali e sulla stabilità energetica.

L'ultima guida sul S.LCA a cura sempre di Benoit e altri è del 2021²⁰; "Methodological Sheets for subcategories in social life cycle assessment" è lo United Nations Environment Programme 2021. Qui sono raggruppate 40 schede metodologiche per calcolare gli S-LCA rispetto a 6 categorie di stakeholders: Worker, Local community, Value chain actors, consume, society, children. Le sei categorie di stakeholder sono poi suddivise in subcategorie.

Stakeholder categories	Worker	Local community	Value chain actors (not including consumers)	Consumer	Society	Children
Subcategories	<ol style="list-style-type: none"> 1. Freedom of association and collective bargaining 2. Child labor 3. Fair salary 4. Working hours 5. Forced labor 6. Equal opportunities / discrimination 7. Health and safety 8. Social benefits / social security 9. Employment relationship 10. Sexual harassment 11. Smallholders including farmers 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Access to material resources 2. Access to immaterial resources 3. Delocalization and migration 4. Cultural heritage 5. Safe and healthy living conditions 6. Respect of indigenous rights 7. Community engagement 8. Local employment 9. Secure living conditions 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fair competition 2. Promoting social responsibility 3. Supplier relationships 4. Respect of intellectual property rights 5. Wealth distribution 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Health and safety 2. Feedback mechanism 3. Consumer privacy 4. Transparency 5. End-of-life responsibility 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Public commitments to sustainability issues 2. Contribution to economic development 3. Prevention and mitigation of armed conflicts 4. Technology development 5. Corruption 6. Ethical treatment of animals 7. Poverty alleviation 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Education provided in the local community 2. Health issues for children as consumers 3. Children concerns regarding marketing practices

Figura 8 Categorie di Stakeholder e subcategorie nella guida UNEP 2020 ²⁰

Le schede metodologiche integrano le linee guida UNEP e si pongono come strumento operativo per chi vuole condurre analisi di S-LCA. Ciascuna sottocategoria viene inquadrata rispetto al contesto politico, collegata agli obiettivi di sviluppo sostenibile dell'agenda 2030 e definisce gli obiettivi che si possono raggiungere attraverso l'uso di indicatori generici.

Anche qua viene ribadito che le procedure SIA non hanno un'unica metodologia o un fondamento teorico; piuttosto, attingono da vari campi delle scienze sociali, tra cui la sociologia, l'ecologia umana, le scienze politiche e la geografia umana.

Sairinen R.²¹ prova a superare la linea UNEP elaborando una procedura per l'utilizzo degli indicatori sociali nei contesti. Dopo aver stabilito che per la ricerca degli indicatori sociali in un contesto sono necessarie 4 fasi 1) i preparativi della ricerca, 2) gli studi di base, 3) il lavoro sul campo e 4) l'analisi, la sua innovazione si concentra sulla strutturazione dell'ultima fase, l'analisi.

La parte di analisi riguarda l'organizzazione dei dati che è strettamente interconnessa con la fase di raccolta. Applicando un approccio induttivo, divide i dati empirici raccolti in dati primari e secondari.

I dati vengono poi analizzati con un'analisi tematica identificando temi, modelli, relazioni e differenze dei dati. I temi anche qua possono essere tratti dalla teoria o da dati empirici, ma nella pratica uno dei due approcci diventa dominante.

I dati vengono raggruppati a questo punto in impatti sociali diretti e indiretti, oppure in positivi e negativi ma anche nei modi in cui i vari gruppi interessati rispondano alle attività proposte. L'analisi può essere

effettuata anche dividendo i vari sottogruppi in "vincitori" e "perdenti" nella comunità locale in base alla probabilità che subiscano gli impatti generati dalle attività proposte.

In conclusione, la parte di analisi non dovrebbe semplicemente elencare i probabili impatti sociali, ma i dati dovrebbero essere interpretati anche in relazione agli obiettivi della ricerca utilizzando i concetti teorici chiave rilevanti indicati nel piano di ricerca.

Il processo di valutazione consiste nelle fasi di screening, scooping, analisi, partecipazione, valutazione, mitigazione e monitoraggio. Il metodo è progettato per indirizzare l'attenzione sugli aspetti rilevanti dei metodi di ricerca, della costruzione della teoria, dell'implementazione del lavoro sul campo e delle scelte di ricerca per l'analisi dei dati. Pertanto, il metodo fornisce un approccio multilivello flessibile completo per esaminare gli impatti sociali, che può essere adattato per un'ampia gamma di ricerca. In linea con l'idea di immaginazione sociologica, il ricercatore degli impatti sociali dovrebbe essere in grado di agire tra le dimensioni individuali, sociali e culturali e tracciare collegamenti tra queste tre dimensioni. Nella figura seguente è analizzato il procedimento di Sairinen.

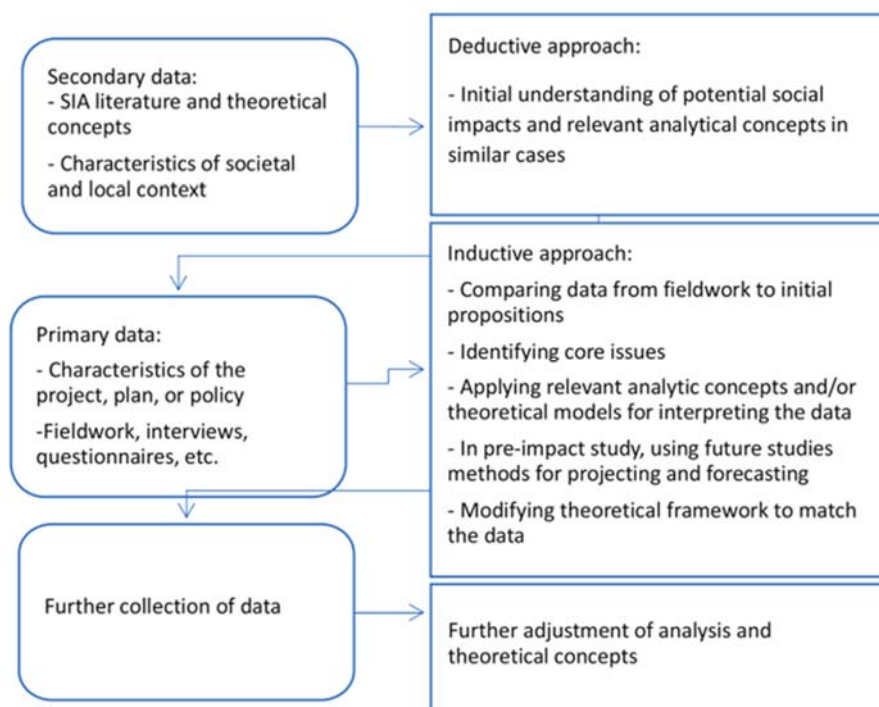


Figura 9 Raccolta dati e analisi in SIA ²¹

2.2.1 La metodologia analytic hierarchy process

In Cina è stato attuato un programma di riduzione della povertà attraverso l'installazione di impianti fotovoltaici (PVPA), **Huang Y.**²² Valuta l'andamento del programma attraverso un sistema di valutazione definito SSS comprendente quattro categorie e tredici indicatori. Gli indicatori per la valutazione degli impatti sociali provengono dalla guida alla valutazione del ciclo di vita sociale (UNEP-SETAC, 2013) e dai tre piani quinquennali della Cina per lo sviluppo economico e sociale, comprendono l'economia, il

miglioramento dell'occupazione, la salute umana, la costruzione di infrastrutture, l'impatto ambientale e la divulgazione delle politiche. Dalla letteratura sono presi gli indicatori dell'economia regionale, del sostegno pubblico, della salute umana e della costruzione di infrastrutture.^{23 24 25 26}. Gli indicatori includono il reddito delle famiglie povere, il tasso di connessione alla rete elettrica, la formazione sul funzionamento del fotovoltaico, il livello di sussistenza e l'uso del suolo. I 13 indicatori di valutazione dell'impatto sociale vengono classificati in quattro categorie:

- economic impact,
- safety guarantee,
- social resources,
- public participation

secondo la gerarchia dei bisogni di **Maslow**.²⁷

Gli indicatori economici sono determinati quantitativamente mentre quelli sociali qualitativamente.

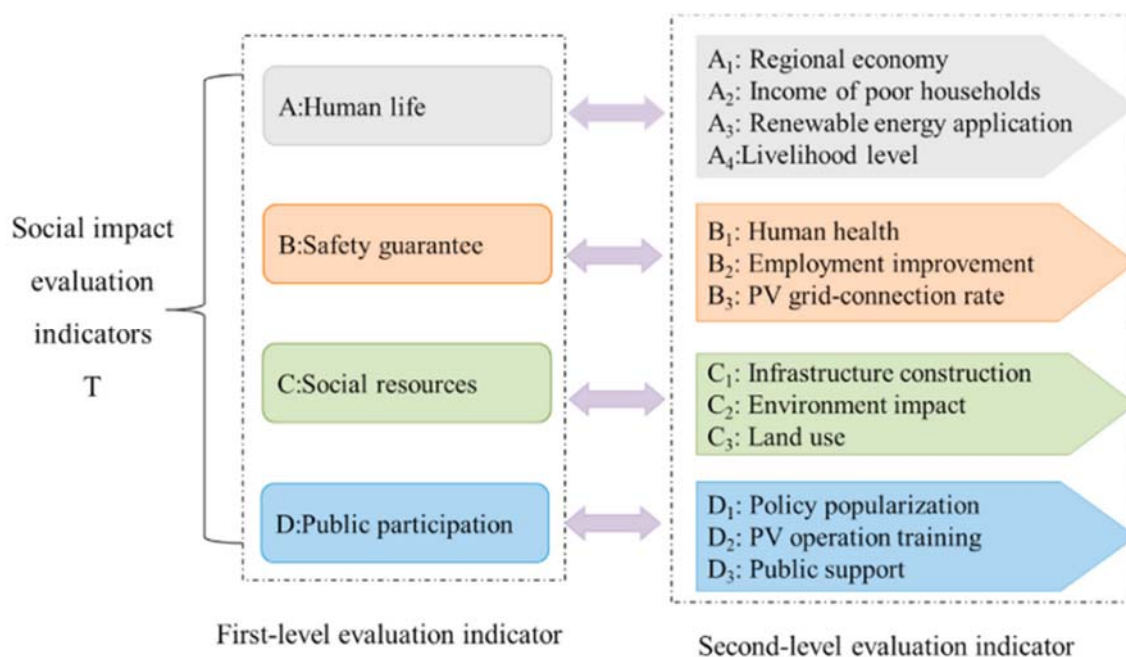


Figura 10 Social indicator²²

Per calcolare il peso di ciascun indicatore viene usata la metodologia **analytic hierarchy process** esposta da **Saaty**²⁸ nel 1989, nella quale viene assegnata una corrispondenza tra importanza relativa e pesi.

Analytic hierarchy method to judge matrix scale and definition.

standard value	definition
1	Equally important
3	Slightly important
5	More important
7	Obviously important
9	Absolutely important

Figura 11 Scala pesi Analytic hierarchy method ²²

Costruite le singole matrici in cui sono messi a confronto gli indicatori di primo e di secondo livello, viene determinato il peso dell'indicatore calcolando il vettore delle caratteristiche specifiche attraverso la matrice di confronto. Gli autovettori e gli autovalori maggiori delle cinque matrici di confronto sono calcolati secondo l'equazione seguente. Come mostrato nell'equazione, n è il numero di indicatori in ciascuna matrice di confronto, P_{ij} è il valore di importanza rilevante tra l'i-esimo e j-esimo indicatore di valutazione, per i, j =1,2, ...,n.

$$P = [p_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ 1/p_{12} & 1 & \dots & p_{2n} \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ 1/p_{1n} & 1/p_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

L'autovalore più grande (λ_{max}) dell'equazione viene utilizzato per calcolare l'indice di consistenza (Consistency Index CI). CI è un indice per verificare la coerenza della matrice. Quando CI =0, la matrice è considerata coerente.

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (4)$$

Attraverso un esame adimensionale degli indicatori quantitativi del progetto si costruisce un rapporto dato dai valori dell'indicatori prima e dopo lo sviluppo del progetto PVPA in Cina secondo la formula

$$y_i = (x_i - x_i') / (x_i') \quad (5)$$

dove y_i è il valore standard degli indicatori quantitativi, x_i è il valore dell'indicatore dopo lo sviluppo del programma PVPA e x_i' è il valore dell'indicatore prima dello sviluppo del progetto di riduzione della povertà. L'indicatore finale dell'impatto sociale che può essere calcolato con una somma pesata è il seguente.

$$G = \sum_{i=1}^n \omega_i y_i \quad (6)$$

dove G rappresenta il punteggio finale dell'impatto sociale del programma PVPA, ω_i rappresenta il fattore di ponderazione di ciascun indicatore e y_i rappresenta il risultato della valutazione di ciascun indicatore.

Emerge che i fattori che ostacolano lo sviluppo dei progetti PVPA sono la mancanza di fondi di investimento, la scarsa qualità dei pannelli solari, la scarsa consapevolezza del pubblico, l'alto tasso di abbandono del fotovoltaico.

2.2.2 Severity index statistical methods

Un'altra metodologia per la misura degli indicatori di sostenibilità è introdotta da **Attia S²⁹**, che definisce i **Key Performance Indicators (KPIs)** quale strumento per misurare la sostenibilità di case per studenti in Europa. Una volta raccolti gli indicatori di sostenibilità dalla letteratura costruisce un tool in cui gli studenti, intervistati mediante questionari, danno un peso ad ogni singolo indicatore secondo una metodologia multicriteria in cui si assegna un peso in base all'importanza relativa degli stessi. Ad ogni criterio è associata una scala da 0 a 5 in termini di importanza. Il valore 0 "Not necessary", 1 "Least importance", 2 "Fairly important", 3 "Important", 4 "Very Important", 5 "Extremely important". Viene così effettuata un'analisi ranking usando una matrice di prossimità e il metodo statistico **severity index statistical methods**

La formula utilizzata per calcolare l'indice statistico è la seguente:

$$(SI) = \left(\sum_{i=1}^5 \omega_i \cdot \frac{f_i}{n} \cdot 100 \right) / (a \cdot 100) \quad (7)$$

Dove

i = valore assegnato dallo studente all'indicatore secondo la scala descritta precedentemente

ω_i è il peso per ogni punto da 1-5;

f_i è la frequenza del punto i data da tutti gli intervistati;

n è il numero totale di intervistati;

a è il peso più alto, qui $a = 5$.

Applicando questa formula, ogni criterio ottiene un valore di severity index che permette di classificarli in diversi gradi di importanza.

2.2.3 Energy justice

La transizione energetica può creare delle ingiustizie e diseguaglianze. **Sovacool B.K³⁰**, focalizza l'attenzione nel cambiamento dell'uso dei combustibili, delle tecnologie associate che comportano un cambiamento nei modelli di utilizzo dell'energia tra gli utenti, e nella dipendenza dei sistemi economici o dei mercati da una fonte di energia o da un'altra e le sue possibili gamme spaziali di utilizzo.

Definito il concetto di comunità epistemica conduce lo studio con tre approcci: **RRI** (Responsible research and innovation prospettive), **Sociale practice perspective** e **Energy justice perspective**. Il primo si concentra sul modo in cui le tecnologie energetiche sono progettate, se i modelli di innovazione dietro di esse sono sostenibili o responsabili e sugli effetti delle decisioni di progettazione tecniche ed organizzative;

il secondo esamina gli effetti sul modo in cui le tecnologie, i sistemi o i servizi energetici vengono utilizzati e integrati nelle pratiche sociali, nelle routine quotidiane o nelle culture più ampie; il terzo come le implicazioni sociali e globali dei sistemi energetici influiscano su questioni sociali più ampie come l'equità, il giusto processo, la pianificazione equa sotto un profilo di giustizia sociale.

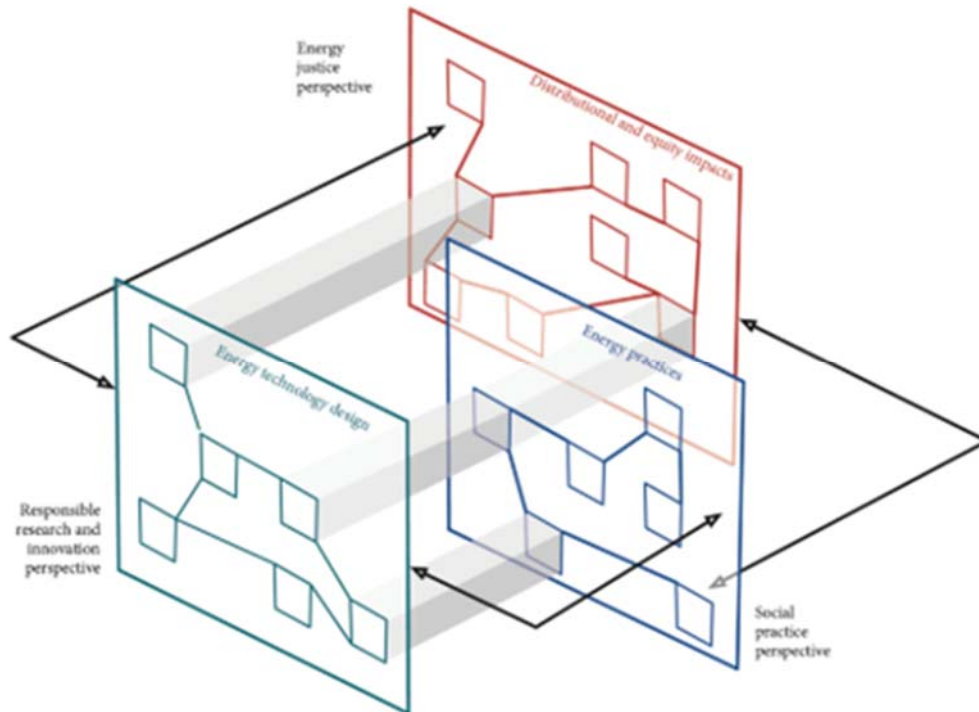


Figura 12 Variabili adottate dalle tre comunità epistemiche³⁰

Nell'approccio Responsible research and innovation prospettive individua gli indicatori:

Antipation (intesa come previsione di sistemi di innovazione per aumentare la resilienza),

Reflexivity (integrazione dei temi sociali e tecnici),

Inclusion (coinvolgimento pubblico delle parti interessate),

Responsiveness (identificazione degli aspetti etici e sociali della ricerca).

Nell'approccio Energy justice identifica la ricerca sulla giustizia energetica come una garanzia affinché le transizioni energetiche diffondano in modo equo i benefici e i costi dei loro servizi energetici e siano sostenute da un processo decisionale energetico rappresentativo e imparziale. Lo studio della giustizia energetica coinvolge la ricerca sugli oneri, o su come i rischi, i costi e le esternalità del sistema energetico sono diffusi nella società; i vantaggi ovvero come l'accesso ai moderni sistemi e servizi energetici è distribuito nella società; le procedure per garantire che il processo decisionale in materia di energia rispetti il giusto processo e la rappresentanza; e il riconoscimento, le prospettive radicate nelle preoccupazioni degli emarginati o dei vulnerabili³¹.

Individua gli indicatori "**distributive justice**" (il modo in cui le transizioni energetiche modellano l'allocazione non solo dei servizi energetici, ma anche della ricchezza, del potere e persino del rispetto); "**procedural justice**" (aspetti politici e di governance delle transizioni energetiche, regole e leggi, risoluzione

di controversie); "**Cosmopolitan justice**" (impatti globali delle transizioni energetiche, emissioni di carbonio o i flussi di rifiuti); "**Recognition justice**" (influenza delle transizioni energetiche sui gruppi vulnerabili – i senz'atetto, le persone con disabilità, le minoranze). Esamina il tema della giustizia energetica in modo qualitativo in quattro casi di studio: energia nucleare francese, l'energia eolica greca, l'energia solare della Papua Nuova Guinea e l'oil shale.

L'obiettivo primario della valutazione dell'impatto sociale (SIA) è la gestione dei rischi e degli impatti sociali causati dagli interventi pianificati. Gli interventi pianificati sono integrati in una struttura sociale sovralocale (SLSS) che influenza in modo significativo la produzione e la modellazione degli impatti e la progettazione e l'esecuzione dell'intervento.³² Si definiscono gli SLSS come l'insieme delle forze motrici politiche, economiche, socioculturali e ideologiche e dei fenomeni strutturali esterni che modellano la vulnerabilità sociale delle comunità.

2.2.4 Network analysis approach

Yip W.S.³³ infine utilizza l'analisi delle rete sociale (SNA) per sviluppare una rete di triple bottom line (sostenibilità economica, sociale e ambientale) per l'analisi della sostenibilità di una microproduzione per scoprire i significati precisi dei singoli elementi di varie dimensioni di TBL e le relazioni tra di loro. Le principali metriche degli elementi dominanti di TBL come in-degree, out-degree, betweenness centrality e closeness centrality. La SNA nasce negli anni '30 e oggi viene applicata in sociologia, antropologia e analisi aziendale. L'analisi permette con tecniche analitiche di comprendere i cambiamenti di comportamento dovuti alle interazioni tra gli attori. Una rete costituita da SNA è composta da un insieme di nodi (membri di rete) in cui i nodi sono collegati con uno o più tipi di nodi formando vari tipi di relazioni. Questo collegamento tra nodi genera una rete in cui la centralità del nodo mostra l'importanza relativa dei nodi nella rete costruita. Nel suo studio definisce le metriche che collegano i nodi in base alle domande e agli obiettivi investigativi della ricerca. Calcolando i pesi dei nodi nelle diverse domande di ricerca si ottengono i nodi dominanti.

La centralità del nodo (Degree centrality) è determinata dal numero dei collegamenti con gli altri nodi. La centralità del titolo C_D è calcolata da:

$$C_D(n_i) = \sum_j x_{ij} = \sum_j x_{ji} \quad (8)$$

dove x_{ij} è il numero positivo, è uguale a 1 se esiste una connessione tra n_i e n_j . La centralità del nodo è normalmente normalizzata in percentuale. La centralità del grado esprime le cause e le origini delle azioni dei nodi della rete all'interno della rete. Il calcolo della closeness centrality si basa sulla distanza geodetica

$d(n_i, n_j)$ tra due nodi, che è espressa come la lunghezza più breve del percorso tra il nodo n_i e il nodo n_j . La closeness centrality C_c si esprime come:

$$C_c(n_i) = \left[\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j) \right]^{-1} \quad (9)$$

dove $\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j)$ è la distanza totale del nodo n_i connesso con gli altri nodi. Closeness centrality indica quantitativamente il livello di vicinanza di un nodo della rete ad altri nodi della rete all'interno della stessa rete. Betweenness centrality determina il livello di un nodo avente il percorso più breve tra tutte le combinazioni delle coppie dei nodi della rete. Quando i nodi della rete con Betweenness centrality relativamente alta sono isolati da forze esterne, altri nodi della rete dipendenti saranno bloccati per comunicare con altri nodi della rete connessi. Tra centralità C_B è determinato da:

$$C_B(n_i) = \sum_{j < k} \frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}} \quad (10)$$

dove g_{jk} è il numero totale di connessioni geodetiche tra due nodi, $g_{jk}(n_i)$ è il numero di connessioni geodetiche incluso il nodo n_i .

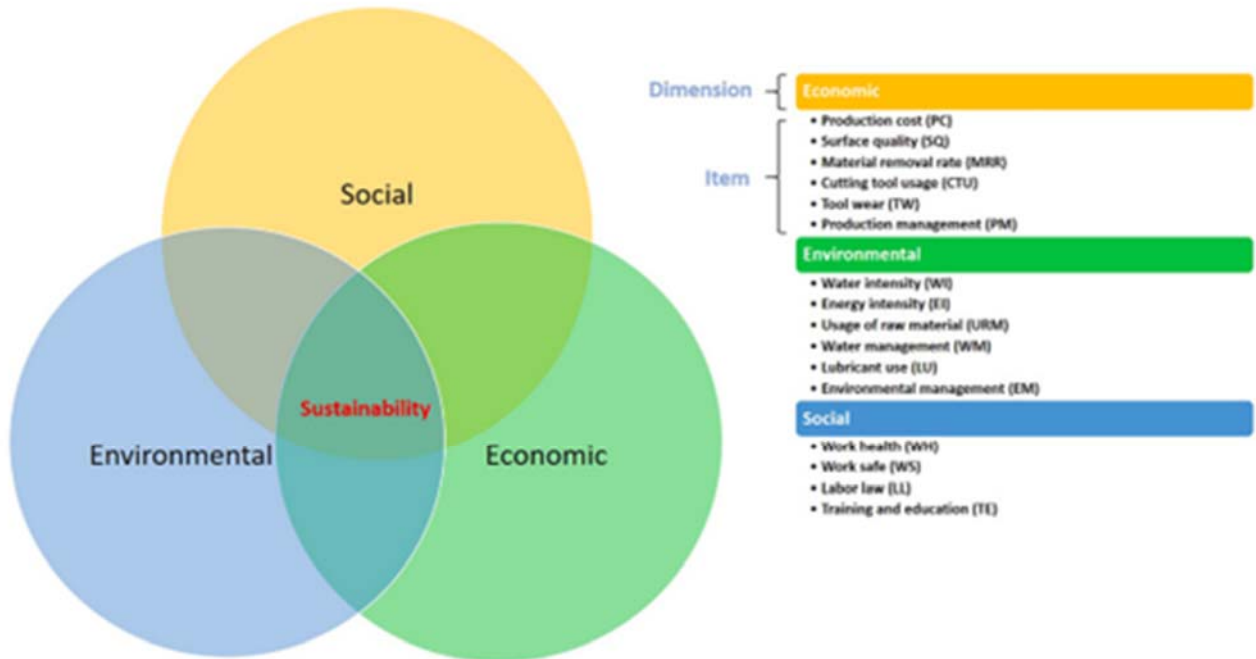


Figura 13 TBL in micromanufacturing e definizione degli indicatori³³

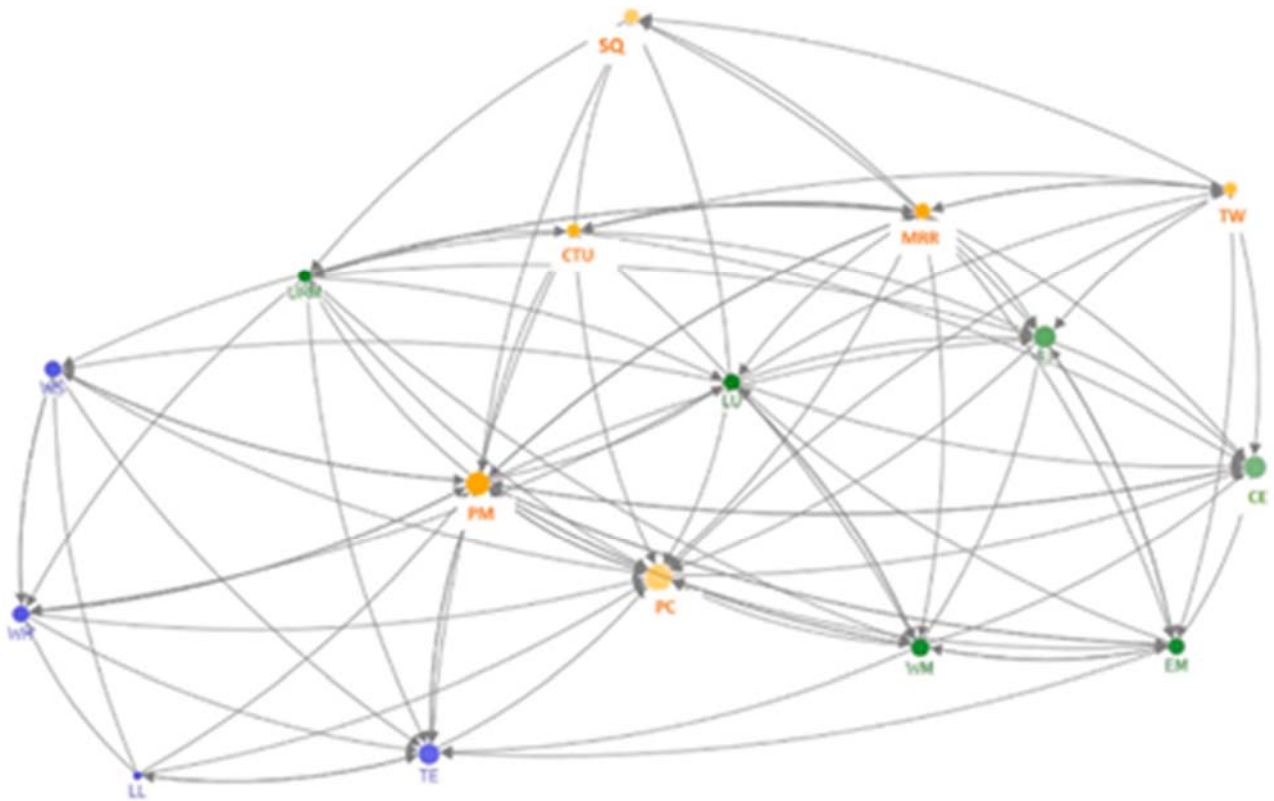


Figura 14 Costruzione della rete network nella TBL manufacturing ³³

L'analisi delle reti mette in associazione ad ogni componente le relazioni che li associano tra loro in modo unidirezionale o bidirezionale.

Aledo A³⁴ utilizza la causal network analysis approach per analizzare i problemi complessi determinati dalla SLSS nelle valutazioni di impatto sociale. In questo modo crea catene di relazioni restituendo una prospettiva sistemica del fenomeno studiato. Le reti causali consentono la rappresentazione dei percorsi di impatto, facilitando l'identificazione e la comprensione della causa e degli effetti rilevanti dei sistemi complessi. Gli impatti, in questo modo, possono essere tracciati a diversi livelli attraverso le sequenze di iterazioni. I nodi costituiscono le comunità. Utilizza le mappe causali per esaminare gli effetti generati dal progetto HydroAys in Patagonia e identificare gli impatti sull'ambiente.

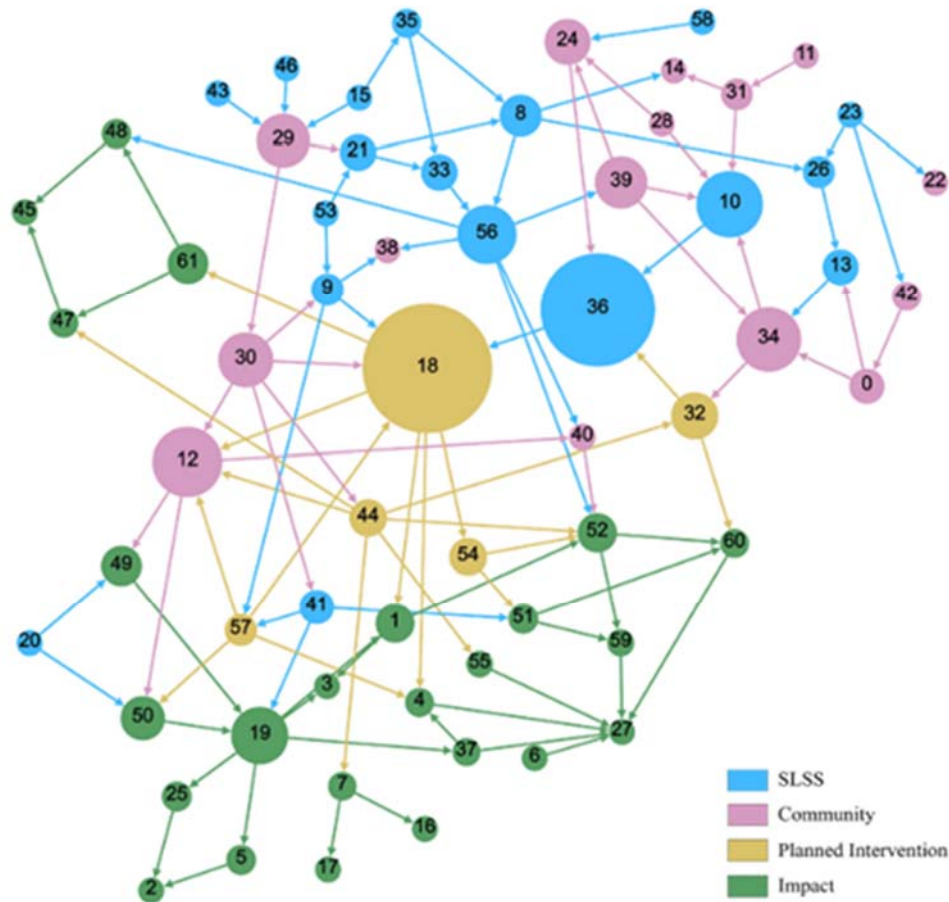


Figura 15 Casual network of HydroAys project ³⁴

Mette in luce che non solo gli interventi pianificati ma anche l'interazione dialettica di quattro elementi: il SLSS, la comunità locale, l'intervento pianificato e i suoi impatti sono la causa principale degli impatti sull'ambiente. La rete riesce anche a identificare gli elementi da affrontare per facilitare la gestione sociale del progetto.

Tabella riepilogativa metodologie e indicatori di sostenibilità

Metodologia	Indicatore		Ambientale	Economico	Sociale	+	-
Cumulative energy	CED	Quantità di energia per produrre un prodotto nel suo ciclo di vita	x			Ciclo di vita di un prodotto	
Embodied Energy	EE	Somma dei flussi energetici diretti e indiretti per produrre un prodotto	x				Somma energie solo della produzione
Emergy Analysis (EMA)	EMA	Somma energia per la produzione di un prodotto in unità di energia solare	x				
Exergy analysis	EXA	Quantità massima di lavoro che può essere prodotta da un sistema o di energia quando raggiunge l'equilibrio con un ambiente di riferimento	x			Influenza dell'ambiente di riferimento	
Ecological Footprint	EF	Impronta ecologica di una attività o dalla popolazione	x		x	Popolazione	
Sustainable process Index	SPI	Consumo di biosfera di un'attività	x				
Dissipation area index	DAI	Misura i flussi in uscita originati dal consumo di biosfera di una attività	x			Effetti finali una attività	
Carbon footprint	CO ₂ eq	Impatto delle attività umane sul clima globale – emissione di CO ₂	X				
Ecosystem Damage Potential	EPD	impatti sull'ecosistema dovuti all'uso e alla trasformazione del suolo	x	x	x	Attività economiche e valutazioni dei suoli	
Life cycle assessment : Impact 2000+ CMD	UNI 14040:2008 LCA	salute umana, conseguenze sull'ecosistema e sulle risorse	x			Raggruppa gli indicatori in categorie. Ciclo di vita di un prodotto	Non valuta l'uso efficace delle risorse
Environmental Performance Strategy Map	Elia V EPSM	integra cinque impronte (acqua, carbonio, energia, emissioni e ambiente di lavoro,) con una dimensione di costo trasversale	x		x		
Sustainable Environmental Performance Indicator	V Elia V SEPI	Indicatori di performance sostenibile	x			Indicatori di performance di sostenibilità ambientale	Solo ambientale
Indicatori di circolarità	Duflou KU Leuven Bracquenè Product Circularity Indicator (PCI)	Frazione di materiale che scorre in maniera circolare mantenendo qualità e quantità del materiale	x	x		Sistema, percentuali di materiale riciclato, recuperato	
S-LCA	Khan Terrapon-Pfaff Indicatori guida UNEP	Aspetti sociali positivi e negativi nel ciclo di vita di un prodotto. Gli indicatori di impatto sono stabiliti sulla base degli stakeholder: comunità locale, società, consumatori e attori			x	Miglioramento delle condizioni sociali, Supportare strategie di miglioramento Impatti del prodotto sulle persone.	Non indaga gli aspetti economici e ambientali
	Macombe	performance sociale è necessario considerare gli indicatori relativi a ciascun			x	Confini, quali stakeholder, quale metodo, validazione	

			stakeholder			indicatori, variabilità	
	Benoit		Stakeholder: Worker, Local community, Value chain actors, consume, society, children.		x		Teoria
SI	Soltani	SI	qualsiasi attività che può avere conseguenza sulla società, che può cambiare o influenzare lo stile di vita, il business, la comunicazione tra le persone		x	Accettazione sociale	Teoria
	Do Carmo	Sensibilizzazione Occupazione Salute Sicurezza Infrastrutture e stabilità			x	Applicazione in campo FER	
SIA	Sairinen R		Metodologia applicata ai contesti articolata su 4 fasi: raccolta dati, analisi tematica, raggruppamento, valutazione		x	Valutazione dei risultati in base agli obiettivi	qualitativa
Analytic hierarchy process	Huang Y	Economic impact Safety guarantee Social resources Public participation		x	x	x	Valutazione quantitativa degli indicatori sociali
Severity Index statistical meethods	Attia S	KPIs Key performance indicator	Valutazione degli indicatori raccolti			x	Metodologia di valutazione
Responsible research and innovation prospettive	Sovacool B.K	Anticipation Reflexivity Inclusion Responsiveness	Aumentare la resilienza, temi sociali e tecnici, coinvolgimento, aspetti etici e sociali della ricerca	x		x	Resilienza , integrazione sociale e tecnica
Social practice perspective			effetti del modo in cui le tecnologie energetiche sono integrati nelle pratiche sociali	x		x	
Energy justice perspective		Distributive justice Procedural justice Cosmopolitan justice Recognition justice	implicazioni dei sistemi energetici sulla società: equità, giustizia sociale pianificazione equa			x	x
Network analysis approach	Yip W.S	in-degree, out-degree, betweenness centrality e closeness centrality	Relazione tra gli elementi ambientali, sociali ed economici del processo connessi alla rete Sociale	x	x	x	
	Aledo A		Interventi pianificati, rete sociale che influenza il processo, comunità locale, impatti sull'ambiente.			x	Identificazione degli elementi da affrontare per facilitare la gestione sociale del progetto

Figura 16 Tabella riassuntiva impatti di sostenibilità

Emerge che le metodologie studiano nella maggior parte dei casi un solo aspetto della sostenibilità, molte hanno approcci solo di tipo teorico o qualitativo. Gli indicatori che interessano la sfera ambientale ed economici misurano un impatto mentre gli indicatori sociali individuano elementi di riflessione e suggeriscono azioni da intraprendere nel processo. L'indicatore sociale ha quindi uno scopo propositivo e di coinvolgimento degli attori del processo.

Un altro step dell'esame della letteratura è stato individuare la modalità di esaminare la sostenibilità è l'individuazione delle metodologie e degli indicatori specifici utilizzati in letteratura per una delle energie rinnovabili. Il vento. Gli impianti eolici perché sono quelli che nella pianificazione energetica italiana saranno quelli con maggiore diffusione nei prossimi anni.

2.3 Il vento: una risorsa per la produzione di energia rinnovabile

Analizzando gli approcci utilizzati per la definizione di sostenibilità nei processi di produzione di energia elettrica oltre al processo di produzione, sovente è affrontata nella ricerca specifica sulle FER la fase di fine vita dell'impianto di produzione. La dismissione, il riuso e il riciclo dei materiali e i rifiuti prodotti. La produzione di energia elettrica da fonte eolica sarà oggetto del caso di studio.

2.3.1 Indicatori ambientali nell'eolico

Besseau³⁵ attraverso una piattaforma on line LCA_WIND_DK (viewer.webservice-energy.org/lca-wind-dk/) visualizza le prestazioni ambientali delle turbine installate in Danimarca e la loro evoluzione temporale partendo dalle potenzialità produttive. Le prestazioni degli impianti sono valutate usando la metodologia del ciclo di vita LCA e identificando solamente indicatori propriamente ambientali. Applica lo studio alla passata e futura produzione di energia elettrica sulla base di obiettivi nazionali on-shore e off shore pre-approvati.

La produzione di elettricità della turbina eolica è stimata dalla sua curva di potenza, dalla geolocalizzazione e dal vento. Valuta che la riduzione della produzione dei gas serra (GWP) diminuisce da 40 a 13 g CO₂-eq/kWh tra il 1980 e il 2030 dovuto alle migliori tecnologie e dalle maggiori dimensioni delle turbine installate. Stesse considerazioni possono essere fatte per gli altri indicatori ambientali. Per l'analisi del ciclo di vita le metodologie usate sono IPCC (2013) con l'indicatore GWP 100 e ILCD (1.0.8) e i relativi indicatori sugli ecosistemi: freshwater, terrestrial acidification, freshwater eutrophication and ecotoxicity; sulle risorse: land use, mineral, fossil and renewable resource use; sul danno human-health: ozone layer depletion, carcinogenic and non-carcinogenic effects.

Dalla metodologia Ecological scarcity2013 esamina l'indicatore freshwater resources depletion ed infine dalla metodologia Cumulative energy demand gli indicatori renewable e non renewable energy sources. Raggruppa infine questi indicatori in indicatori di performance ambientale.

La prestazione ambientale di una turbina eolica viene calcolata come

- $EP_{turbine}$ il rapporto tra gli impatti e la produzione di energia elettrica (11)
- $LC\ Impact_{turbine}$, somma degli impatti nel corso della vita utile (12)

- $Production_{turbine}$ la somma della produzione annuale di energia elettrica nel corso della vita utile (13)

$$EP_{turbine} = \frac{LC\ impact_{turbine}}{Production_{turbine}} \quad (11)$$

$$LC\ impact_{turbine} = \sum_{year \in lifetime} Annual\ impact_{turbine} \quad (12)$$

$$Production_{turbine} = \sum_{year \in lifetime} Annual\ production_{turbine} \quad (13)$$

Infine, calcola la prestazione ambientale di un impianto $EP_{fleet}(year)$ (14) per un dato anno come somma degli impatti del ciclo di vita degli aerogeneratori facenti parte dell'impianto nello stesso anno diviso per la somma della loro produzione di energia elettrica.

$$\begin{aligned} EP_{fleet}(year) &= \frac{\sum_{turbine \in fleetyear} LC\ impact_{turbine}}{\sum_{turbine \in fleetyear} Production_{turbine}} \\ &= \frac{\sum_{turbine \in fleetyear} EP_{turbine} * Production_{turbine}}{\sum_{turbine \in fleetyear} Production_{turbine}} \end{aligned} \quad (14)$$

2.3.2 Il riuso

Uno dei primi studi sul riuso delle materie provenienti dallo smaltimento dei componenti delle pale di una turbina è condotto da **A-J.Nagle**³⁶ su un impianto eolico in Irlanda e dimostra la sostenibilità delle scelte analizzando i danni all'ambiente con il metodo del ciclo di vita. Nello studio sono comparate tre diverse possibilità di smaltimento delle pale: trasformazione mediante co-processing in materie prime per la produzione di clinker in calcestruzzo in Irlanda o in Germania oppure il conferimento in discarica nel medesimo luogo di smaltimento. La valutazione comparativa del ciclo di vita viene utilizzata per determinare quale scenario ha il minor impatto ambientale e quale delle variabili ha il maggiore impatto. Il co-processing in Irlanda è considerato il meno impattante, per il riutilizzo fino al 50% del materiale nel nuovo prodotto e per i ridotti danni derivanti dal trasporto. Altri autori come **Farinha**³⁷ e **Palmer**³⁸ si soffermano sugli indicatori economici di sostenibilità per valutare la sostenibilità dei processi di smaltimento delle componenti con la pirolisi o la macinazione dei componenti e riutilizzo nelle miscele cementizie.

J.Beauson³⁹ in un articolo più recente esaminando sempre l'intero ciclo di vita delle turbine eoliche oltre ad analizzare il riuso dei composti termoisolanti in fibra di vetro che lo compongono, intesi come importante potenzialità per l'economia circolare, discute di meccanismi di accettazione sociale e di percezione della tecnologia.

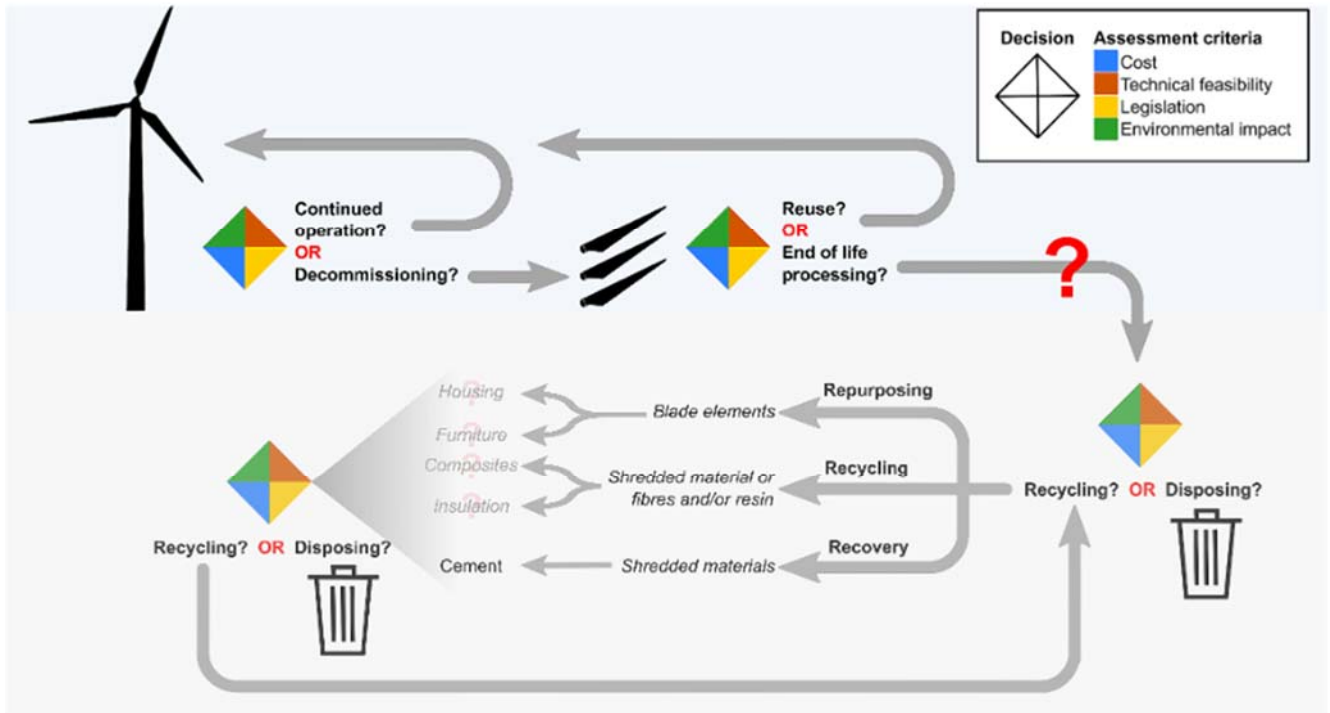


Figura 17 Valutazione del fine vita delle pale delle turbine eoliche in J.Beauson et al 2022³⁹

Come si può vedere nella figura 15 alla fine dell'uso dell'impianto eolico si esamina il fine vita dei materiali che costituiscono le turbine. Le ipotesi sono il revamping dell'impianto o la dismissione. Nella fase di dismissione vengono introdotti gli **indicatori di sostenibilità: il riciclo, il riuso e il recupero** dei materiali. Alla fine del ciclo di vita i componenti della pala possono essere trasformati in nuovi prodotti e utilizzati in ambiti differenti come il campo residenziale, l'arredamento, le coperture degli edifici o per la produzione di cemento. Valuta ancora quanto materiale può essere riciclato e quanto invece si trasforma in rifiuto. Però avverte che maggiori sono le lavorazioni della materia prima minori sono le possibilità di trasformazione. Inoltre, i materiali recuperati spesso sono molto costosi e di scarsa qualità. I criteri con i quali porta avanti la valutazione dell'economia circolare del processo sono i costi di trasformazione, la flessibilità di trasformazione delle tecniche utilizzate, gli impatti ambientali e i vincoli legislativi.

Sottolinea l'importanza di prevedere soluzioni per il fine vita dei materiali già dalla produzione della turbina cercando di ottenere materiali con maggiori prestazioni tecniche e cicli di riciclo meno costosi. Suggerisce inoltre la valutazione ex ante di diversi materiali che potrebbero costituire la pala mediante metodologia di LCA per identificare alternative di progettazione e di riciclo preferibili da un punto di vista ambientale e per supportare le decisioni in materia di sostenibilità ambientale. Introduce la necessità di procedure e normative che disciplinino la produzione di questi materiali tenendo conto dei rifiuti producibili, del loro posizionamento e del loro smaltimento. Suggerisce la creazione di linee guida per la pianificazione delle soluzioni di riciclaggio e sulle priorità in termini di impatti economici, sociali e ambientali. Infatti, lo studio affronta il tema dell'accettazione sociale nei processi decisionali sulla promozione e trasformazione dei

sistemi energetici. Le questioni di accettabilità sono prevalentemente associate alla resistenza e all'opposizione delle persone alla localizzazione dei parchi eolici. **R. Wustenhagen**⁴⁰ sostiene che il tema dell'accettazione sociale delle energie rinnovabili in letteratura sia affrontato solo nelle fasi preliminari della progettazione o di funzionamento degli impianti e meno nelle fasi di dismissione dell'impianto.

2.3.3 MCDA – analisi SWOT

Nella sua ricerca **P.Deeney**⁴¹ confronta la sostenibilità di modi alternativi per gestire i rifiuti provenienti dalla dismissione degli impianti eolici irlandesi: discarica, incenerimento con recupero di calore, co-lavorazione in forni da cemento, realizzazione di mobili e costruzione di ponti con gli obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG) delle Nazioni Unite. Questi sono utilizzati all'interno di metodologie multicriteria (MCDA) insieme alle analisi dei punti di forza/debolezza/opportunità/minacce propri delle analisi SWOT. I pesi delle analisi sono dati dalle opinioni degli esperti.

Gli indicatori utilizzati sono raggruppati in:

ambientali: resources, human health, ecosystem quality and GHG;

sociali : education, Hours of work, community support

economici: salary, R&D Value, Commercial potential.

Dimostra in questo modo la dimensione della sostenibilità in campo non solo ambientale, ma anche economico e sociale. Anche **R.Windemer**³⁹ nella sua review pone la domanda fino a che punto gli impatti ambientali siano concepiti come significativamente reversibili, indipendentemente dal fatto che siano legati dalla presenza del parco eolico o dal materiale di scarto delle turbine a fine vita da un punto di vista ambientale più che dal valore economico. Ciò implica che non tutti gli effetti delle turbine eoliche possono essere considerati reversibili, anche se i singoli componenti dell'impianto possono essere rimossi, riutilizzati o riciclati. **Quindi, la sostenibilità dell'energia eolica non è inerente alla sola tecnologia, ma anche alle caratteristiche attribuite dall'uomo e dipende dal modo in cui la tecnologia è viene trasmessa agli attori, percepita individualmente e utilizzata in uno specifico contesto sociale.**

2.3.4 GIS e MCDA

La metodologia GIS combinata con gli studi MCDA viene in aiuto nel lavoro di **E.Peri**⁴² per calcolare gli impatti nel sistema antropico degli impianti eolici. Introduce una metodologia per la selezione del sito per l'installazione dell'impianto con soluzioni sostenibili da un punto di vista ambientale. Lo studio è supportato anche dall'introduzione di una **analisi costi benefici** di tipo economico più che di tipo finanziario. Gli indicatori considerati sono legati alla distanza del sito dell'impianto eolico dagli insediamenti antropici abitativi. Gli indicatori scelti sono il rumore (noise), l'ombreggiamento intermittente dato dal movimento della pala (Shadow flickers), Impatto visivo (Visual impact) e vari indicatori ecologici come sensibilità degli uccelli, la copertura di suolo, la localizzazione in terreni disabitati e poco utilizzati.

2.3.5 Il rumore

Il rumore, inteso come impatto negativo, provocato dal movimento dei vari componenti delle turbine e dalle interazioni di natura fluidodinamica, è un altro indicatore di sostenibilità studiato da altri autori come **J.Radun**⁴³ che confronta il rumore provocato dalle turbine al traffico stradale. Nel suo studio esamina le influenze sia del rumore delle turbine eoliche che del rumore del traffico stradale sui sintomi e sulle malattie auto-riferiti vicino alle turbine eoliche e in un'area definita. I livelli sonori registrati dalle turbine eoliche pari a circa 17–39 dBA e soddisfano la normativa nazionale italiana pari a (40 dBA). Le influenze sono state calcolate somministrando un questionario alla popolazione con domande calibrate sulla norma ISO TS 15666 che tengono conto dello stress percepito dalla vicinanza delle strade o delle turbine in termini di controllo della vita, di rabbia e di stress nell'arco di un mese. Altre domande sono poste sui sintomi derivanti dalle malattie derivanti dall'esposizione al rumore delle turbine eoliche, ai sintomi legati allo stress prolungato e agli effetti del rumore ambientale. ^{44 45} **N.Dallenbach**⁴⁶ spiega attraverso due casi di studio in Svizzera che la percezione del rumore non è data tanto dall'effettiva distanza degli insediamenti antropici dall'impianto quanto dalla familiarità che hanno le popolazioni agli impianti di energia eolica. Conferma che la percezione del rumore è un indicatore importante rispetto all'accettazione del progetto. Dimostra che in prossimità (<1 km) di un progetto non esiste una chiara correlazione tra la vicinanza a un progetto eolico pianificato e le preoccupazioni relative al rumore, sovente le preoccupazioni del rumore sono percepite anche a distanze molto più ampie in cui nella realtà la percezione del rumore è nulla se il progetto non è pianificato, non c'è consapevolezza. Nel suo studio è dimostrato che i residenti che hanno familiarità con le turbine eoliche hanno meno probabilità di essere preoccupati per il rumore delle turbine eoliche. Accrescere la familiarità con i progetti è la soluzione che lei propone alle autorità politiche o ai promotori di iniziative, sia attraverso l'organizzazione di escursioni per i residenti per visitare le turbine eoliche esistenti in altre regioni o creando simulazioni o esperimenti di realtà virtuale tra i residenti che vivono entro 1 km dal progetto.

2.3.6 In sintesi

L'analisi della letteratura esistente ha evidenziato essenzialmente un'analisi qualitativa degli impatti sociali mentre nessuno studio ha analizzato quantitativamente l'impatto sociale dell'eolico nella fase di progettazione e realizzazione nelle aree agricole rurali. Gli studi presenti in letteratura hanno indagato sul significato di sostenibilità. Gli strumenti riconosciuti sono i concetti di economia circolare, gli obiettivi dell'agenda 2030 e le guide UNEP che indicano dei possibili temi su cui focalizzare degli indicatori utili nel processo di valutazione di processi e progetti.

Metodologia	Indicatore		Ambientale	Economico	Sociale	+	-
LCA_WIND_DK IPCC ILCD Ecological Scarcity 2013 Cumulative energy demande	Besseau EP _{turbine} LC _{impact turbine} Production _{turbine} EP _{fleet} (year)	Prestazioni ambientali di tutte le turbine GWP 100 freshwater, terrestrial acidification, freshwater eutrophication and ecotoxicity; sulle risorse: land use, mineral, fossil and renewable resource use; human-health: ozone layer depletion, carcinogenic and non-carcinogenic effects freshwater resources depletion renewable e non renewable energy sources Raggruppa tutti gli indicatori presi dai 4 metodi in indicatori di performance ambientale	x			Mette insieme diverse metodologie e somma i diversi impatti	
Riuso	A-J.Nagle Farinha Palmer LCA indicatori ambientali Indicatori economici	Ipotesi di smaltimento delle pale Indicatori economici di smaltimento delle componentistiche con la pirolisi e macinazione componenti cementizie	x		x	Parte economica	
Fine vita dell'impianto e accettazione sociale	J.Beauson Riciclo Riuso Recupero	Parametri utilizzati costi di trasformazione, la flessibilità di trasformazione delle tecniche utilizzate, impatti ambientali, vincoli legislativi	x	x	x	Accettazione sociale Vincoli legislativi	
Accettazione sociale nella fase di dismissione dell'impianto	Wustenhagen Accettazione fase di dismissione dell'impianto				x		qualitativo
Gestione dei rifiuti da impianti eolici	Deeeny ambientali : resources, human health, ecosystem quality and GHG; sociali : education, Hours of work, community support economici : salary, R&D Value, Commercial potential.	Metodologia multicriteria MCDA SWOT: forza, debolezza, opportunità, minacce	x	x	x	Rifiuti Tre ambiti TBL	
Reversibilità degli impatti ambientali	R.Windemer Impatti ambientali	La reversibilità degli impatti ambientali non dipende solo dall'ambiente ma anche dall'uomo e da come la tecnologia è trasmessa agli attori e percepita in un certo contesto sociale			x	Iterazione ambiente e uomo	
GIS MCDA	E. Peri Rumore Ombreggiamento movimento della pala Impatto visivo Sensibilità degli uccelli Copertura di suolo Localizzazione terreni disabitati e poco utilizzati	Metodologia per la scelta del sito per l'installazione dell'impianto	x	x	x	Impatti nel sistema antropico Analisi costi benefici	
Rumore	J.Radun Stress percepito Malattie Stress da esposizione prolungata N.Dallenbach Consapevolezza dell'impianto	Esame degli effetti del rumore provocato o provocabile dalle turbine eoliche La percezione del rumore non è data dall'effettiva vicinanza all'impianto eolico quanto dalla familiarità con l'impianto.			x	consapevolezza	

Figura 18 Impatti di sostenibilità per gli impianti di energia eolica in letteratura

È emerso ancora che questi indicatori non possono essere statici ma possono cambiare nel tempo e nei diversi contesti. La ricerca sottolinea questa capacità di resilienza dei valutatori di sostenibilità che devono sapersi adattare alle diverse situazioni e devono trarre una volta individuati degli indicatori specifici solo gli elementi significativi per ogni processo. Un primo passo è identificare come nella metodologia TBL le tre tipologie di indicatori ovvero ambientali, economici e sociali. Se gli indicatori ambientali e quelli economici sono facilmente quantificabili e spesso normati, la stessa cosa non accade per gli indicatori sociali che in molti contesti mantengono una specificità qualitativa. Nell'analisi degli indicatori sociali è emerso un altro aspetto nella guida UNEP che questi non sono oggettivi e univoci ma vanno rivolti agli stakeholder che gravitano intorno al processo: committenza, i lavoratori, la comunità locale, i bambini (intesi come le generazioni future). Avere l'accettazione sociale del processo è un dato fondamentale affinché vi sia la riuscita e l'efficacia del progetto. Nel campo delle energie rinnovabili la ricerca mostra che la sostenibilità in campo ambientale ed economico è data dai minori consumi di CO₂, da un risparmio monetario di investimento e dall'accettazione.

Nel campo delle energie rinnovabili la posizione dello stakeholder che maggiormente interessa secondo la filosofia dell'Agenda 2030 è quella della comunità locale e i danni o i vantaggi percepibili dalle generazioni future. Gli studi mostrano che i fattori ostativi per l'accettazione di un progetto sono legati alle trasformazioni del territorio reversibili o irreversibili che l'installazione di nuovi impianti può portare e quale vantaggio lo sfruttamento di un territorio può dare a chi lo abita o chi guadagna da quelle aree. Sempre di più con la transizione energetica, la pianificazione futura vede la realizzazione di impianti di energie rinnovabili in aree esterne alle città, non sempre possibile in aree già a vocazione industriale, sempre di più le aree interessate sono quelle agricole. E' in corso la trasformazione di quei territori da agricoli, potenzialmente produttivi ad aree industrializzate. Gli studi mostrano che non è solo l'impatto visivo uno dei fattori da attenzionare, ma emergono altri fattori importanti come l'impermeabilizzazione del suolo, l'ombreggiamento dei suoli circostanti, la regimentazione dei corsi d'acqua presenti e a livello sociale il rumore, la vicinanza agli insediamenti abitativi e il profitto per le comunità vicine. Un compenso non solo per chi affitta o vende i terreni privati ma anche per la comunità che vive quei territori. Un tema importante è legato anche al fine vita dell'impianto e l'assenza di una normativa specifica che imponga al realizzatore le modalità di dismissione dello stesso al fine vita dell'impianto e la restituzione delle aree come nello stato iniziale.

La domanda a cui cerca di dare risposta la presente ricerca è quindi **“E' possibile creare un metodo che possa adattarsi a differenti processi e che valuti la sostenibilità ambientale economica e sociale del processo? Si possono quantificare e pesare tutti gli indicatori?”**.

3. LE ENERGIE RINNOVABILI IN SARDEGNA

Con il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 29 marzo 2022 (c.d. “DPCM Sardegna”) sono state individuate le opere e le infrastrutture necessarie al phase-out dell’utilizzo del carbone in Sardegna e alla decarbonizzazione dei settori industriali dell’Isola, nonché funzionali alla transizione energetica verso la decarbonizzazione delle attività produttive, anche in conformità a quanto previsto dal Piano Nazionale Integrato per l’Energia e l’Ambiente (PNIEC 2019).

Il decreto individua le infrastrutture da realizzare da parte dell’operatore di trasmissione elettrica Terna S.p.A. per il soddisfacimento dei fabbisogni elettrici dell’Isola, ossia la realizzazione del cavo HVDC Sardegna-Sicilia facente parte del Tyrrhenian Link, l’installazione di compensatori sincroni e l’ulteriore sviluppo della rete di trasmissione sull’Isola. Sono inoltre stabilite le esigenze di nuova potenza programmabile in Sardegna con prevalente funzione di adeguatezza, regolazione e riserva, e definite pari a 550 MW articolate tra zona Sud e zona Nord, da individuare nell’ambito e secondo la disciplina del sistema di remunerazione della disponibilità di capacità produttiva di energia elettrica (capacity market).

Ai sensi delle deliberazioni 654/2017/R/eel e 689/2017/R/gas Terna e Snam mettono in atto scenari energetici nazionali che sono funzionali alla elaborazione dei piani di sviluppo delle reti di trasmissione e di trasporto nei settori dell’energia elettrica e del gas.



Figura 19 Piani di sviluppo Terna e Snam nel rispetto dei goal dell’Agenda 2030

I sopraccitati decreti sviluppati rispettano i goal dell'AGENDA 2030 e prevedono

Decarbonizzazione: sviluppo della rete a supporto della transizione ecologica e della lotta ai cambiamenti climatici.

- Agevolazione della diffusione e integrazione FER
- Agevolazione della diffusione della mobilità elettrica
- Sostegno all'incremento della penetrazione elettrica

Sostenibilità: sostegno ad un modello sostenibile

- Investimenti in tecnologie innovative per mitigare l'impatto ambientale
- Progetti a tutela di biodiversità e habitat naturali
- Costante coinvolgimento degli Stakeholders
- Efficientamento delle reti

Market Efficiency: sostegno alla crescita economica e al miglioramento della qualità della vita mediante la riduzione dei costi di sistema

- Realizzazione di infrastrutture finalizzate all'integrazione dei mercati
- Integrazione del mercato di dispacciamento (MSD/MB)

Sicurezza qualità e resilienza: garanzia degli standards di sicurezza, affidabilità e resilienza

- Investimenti in ricerca e utilizzo di tecnologie innovative
- Investimenti in esercizio, mantenimento, potenziamento, nuova magliatura rete e eliminazione di vapore all'interno dei cavidotti.

Le misure previste per il settore elettrico saranno pertanto:

- l'individuazione di meccanismi di sostegno alla realizzazione di nuovi impianti FER tra cui lo svolgimento di nuove aste (impianti > 1MW) prevedendo l'individuazione di contingenti di potenza differenziati per favorire le sinergie con lo sviluppo del sistema elettrico e le aree idonee all'installazione delle FER;
- che Terna, sulla base della crescita attesa della produzione FER e degli iter autorizzativi in corso, elabori una specifica pianificazione di opere di rete urgenti, finalizzate al raggiungimento degli obiettivi del PNRR al 2025 nonché di quelli aggiuntivi derivanti dall'innalzamento degli obiettivi europei al 2030, anche con riguardo alla tecnologia offshore;
- la realizzazione di nuovi sistemi di accumulo per massimizzare l'utilizzo dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili;
- l'identificazione da parte di Terna del fabbisogno di nuova capacità di accumulo in considerazione dell'evoluzione attesa delle FER non programmabili, anche in relazione alle richieste di connessione, e agli sviluppi di rete e delle esigenze di esercizio del sistema.

I progetti di sviluppo dovranno tener conto della sicurezza della rete elettrica con il potenziamento di quella esistente e rifacimento delle parti obsolete così come dei 3 punti di consegna ormai risalenti agli anni '80: Fiumesanto, Portovesme e Sarroch . Ancora gestire tutte le nuove richieste produzione di energia elettrica da FER e allaccio alla rete di connessione garantendo la stabilità della rete e la dislocazione di sistemi di accumulo dell'energia in forma di batterie chimiche o serbatoi idrici collegati a impianti di pompaggio.

La realizzazione del Tyrrhenian link permetterà la chiusura dell'anello con i tratti esistenti del SAPEI e del SACOI per collegare la Sardegna con il sud e il nord dell'Italia.

Si apre sicuramente uno scenario in cui la Sardegna potrebbe diventare un hub energetico per quanto attiene alle energie rinnovabili per l'Italia e in parte per l'estero. Ruolo per altro già ricoperto dalla produzione di energia elettrica da fonti fossili.

3.1.1 Produzione di energia elettrica da fonte energetica

Allo stato attuale la produzione di energia elettrica in Sardegna avviene per il 71% da fonte termoelettrica e solo per il 29% da fonti rinnovabili. La Produzione di energia elettrica calibrata dalle richieste dopo aver avuto un calo nel 2013-2015 si è assestata totalizzando per il 2021 **12505 GWh** di produzione totale. L'abbassamento della produzione è dovuto alla chiusura di numerose industrie nei poli industriali di Portoscuso e Ottana.

Per raggiungere gli obiettivi del 2030 la capacità installata dovrà triplicare per raggiungere la diminuzione del 55% della produzione di CO₂ che a livello nazionale si aggira in una stima pari al 65% di energia elettrica da fonte rinnovabile. Solo quest'anno in Sardegna si ipotizza che saranno realizzati 7 GW a fronte di una richiesta ipotetica di allaccio di circa 50GW.

La produzione di energia elettrica da FER avverrà oltre che dalla installazione di nuovi impianti anche dal repowering e revamping degli impianti esistenti, con la modifica delle caratteristiche tecniche degli impianti, delle dimensioni e in alcuni casi con il riposizionamento in aree più idonee.

La programmazione energetica statale ha previsto per la Sardegna un incremento della produzione di energia da fonte rinnovabile in campo fotovoltaico ma soprattutto eolico on shore e off shore lungo tutte le coste dell'isola. Minore incremento di produzione si avrà dagli impianti idroelettrici se non per le percentuali legate all'efficientamento degli impianti esistenti in quanto il sistema idrico integrato è al 75% la fonte per usi potabili di tutta la Sardegna. Una piccola crescita energetica sarà possibile dallo sfruttamento dei salti della rete SMIR di distribuzione dell'acqua per usi civici.

Dal grafico seguente, elaborato da Terna, si vede la crescita negli ultimi anni in Sardegna della produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile che oggi è pari a 1 GW di fotovoltaico, 1,1 GW eolico, 0,6 GW idroelettrico, 0,2 GW biomasse.

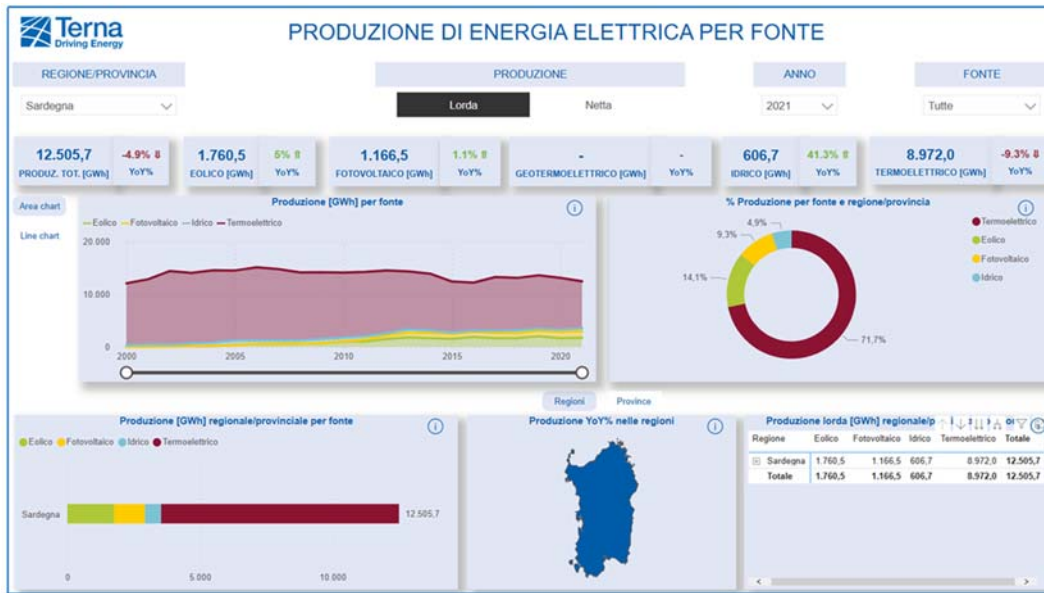


Figura 20 Dati Terna 2021 sulla produzione di energia elettrica in Sardegna

Volendo localizzare il posizionamento degli impianti eolici si può ricorrere all'Atlaimpianti del GSE, dal quale si ricava una localizzazione di tutti gli impianti eolici esistenti a giugno 2021.

(https://atla.gse.it/atlaimpianti/project/Atlaimpianti_Internet.html)



Figura 21 Impianti eolici presenti in Sardegna - fonte GSE luglio 2021

In questa rappresentazione sono riportate tutte le taglie di impianti, interrogando le query del sistema si possono estrarre solo gli impianti eolici di taglia media con potenza maggiore di 1000 kWh che come si legge nella seguente tabella sono un numero molto limitato.

Impianti con dimensioni > 1000 kW

Fonte	Regione	Provincia	Comuni	Pot.nom. (kW)
Eolica	Sardegna	Sassari	BUDDUSO'	138000
Eolica	Sardegna	Oristano	MOGORELLA	98900
Eolica	Sardegna	Nuoro	ULASSAI	96000
Eolica	Sardegna	Sud Sardegna	PORTOSCUSO	89700
Eolica	Sardegna	Sassari	BONORVA	74000
Eolica	Sardegna	Sassari	SEDINI	65620
Eolica	Sardegna	Sassari	TULA	51000
Eolica	Sardegna	Sassari	PLOAGHE	43350
Eolica	Sardegna	Sassari	TULA	32800
Eolica	Sardegna	Sud Sardegna	VILLACIDRO	31640
Eolica	Sardegna	Sassari	NULVI	29750
Eolica	Sardegna	Sassari	AGGIUS	29700
Eolica	Sardegna	Sassari	VIDDALBA	28900
Eolica	Sardegna	Sud Sardegna	GOI	24650
Eolica	Sardegna	Cagliari	UTA	24000
Eolica	Sardegna	Sud Sardegna	GUSPINI	24000
Eolica	Sardegna	Sud Sardegna	NURRI	22100
Eolica	Sardegna	Sud Sardegna	GONNOSFANADIGA	22000
Eolica	Sardegna	Cagliari	ASSEMINI	21000
Eolica	Sardegna	Sassari	FLORINAS	20000
Eolica	Sardegna	Sassari	SASSARI	12250
Eolica	Sardegna	Sassari	AGGIUS	9240
Eolica	Sardegna	Sassari	SASSARI	6340
Eolica	Sardegna	Sassari	SASSARI	3170
Eolica	Sardegna	Cagliari	CAPOTERRA	1320
Eolica	Sardegna	Oristano	SANTA GIUSTA	900

Figura 22 Impianti eolici esistenti maggiormente estesi in Sardegna - giugno 2021 - fonte GSE

3.1.2 Andamento storico dei consumi finali di elettricità per settore

La domanda elettrica della regione Sardegna ha registrato un continuo aumento nel corso degli ultimi decenni, interrompendosi solo con la crisi economica del 2008. Negli anni successivi al 2012 i consumi elettrici della regione hanno inoltre registrato un importante calo a seguito della chiusura dell'impianto ex Alcoa, che da solo rappresentava il 20% circa dei consumi elettrici finali dell'intera regione.

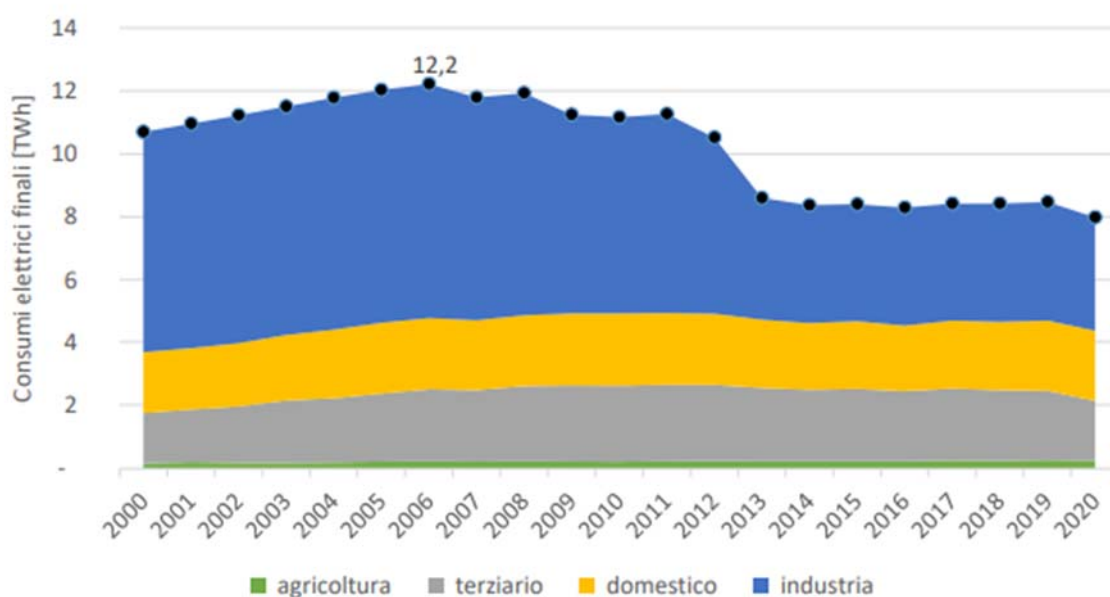


Figura 23 Consumi finali di energia elettrica per settore in Sardegna (2000-2020)

Nel 2019 i settori agricoltura, industria, servizi e domestico hanno consumato circa 8,5 TWh. In figura 18 si riportano le statistiche sui consumi elettrici finali per settore per gli anni 2018, 2019 e 2020; l'anno 2020 risulta negativamente influenzato dalla pandemia da Covid-19, mostrando quindi un significativo calo rispetto ai due anni precedenti concentrato nei settori servizi e industria.

Consumi elettrici finali [TWh]			
	2018	2019	2020
Agricoltura	0.2	0.2	0.2
Industria	3.8	3.8	3.6
Servizi	2.2	2.2	1.9
Domestico	2.2	2.2	2.2
Totale consumi	8.4	8.5	8.0

Figura 24 Consumi complessi della regione Sardegna negli anni 2018, 2019 e 2020

3.1.3 Scenari di domanda elettrica in Sardegna dal rapporto ambientale Terna

Gli scenari di domanda elettrica per la Sardegna sono sintetizzati nella tabella seguente. Si denota una crescita dei consumi elettrici legata prevalentemente a due fattori: (1) un processo di progressiva elettrificazione dei consumi che impatta particolarmente il settore dei trasporti e (2) una crescita del settore industria nel decennio 2020-30 dovuta alla ipotizzata riattivazione della filiera dell'alluminio. Il processo di elettrificazione dei trasporti isolani è guidato dalle stesse ambizioni che identificano lo scenario di policy "Fit-for-55" (FF55) per l'intera nazione italiana. Al 2040, in coerenza con il DDS, si assume come riferimento lo scenario "Distributed Energy Italia" (DE IT) che comunque – per il caso specifico della Sardegna – presenta pochissime differenze rispetto allo scenario "Global Ambition Italia" ed essenzialmente limitate al settore dei trasporti. Si vuole qui evidenziare che solo nel periodo compreso tra il 2030 e il 2040 viene eguagliato e superato il massimo storico di consumo elettrico annuo della regione Sardegna che nel 2006 è stato pari a 12.2 TWh.

Consumi elettrici finali [TWh]	2030	2040
	FF55	DE IT
Agricoltura	0.3	0.3
Industria	5.8	6.0
Servizi	2.4	2.4
Domestico	2.4	2.5
Sviluppo del trasporto elettrico	0.4	1.4
Totale consumi elettrici	11.4	12.6

Figura 25 Consumi complessivi della Regione Sardegna per gli anni previsionali 2030 e 2040

3.1.4 Dismissione degli impianti termoelettrici in Sardegna

Con il Rapporto Adeguatezza Italia (RAI), pubblicato nel 2021, Terna ha individuato le condizioni necessarie per consentire la dismissione degli impianti termoelettrici nel pieno rispetto dei vincoli di adeguatezza e sicurezza del sistema elettrico. Più in particolare il RAI evidenziava che, per abilitare il processo di decarbonizzazione del sistema elettrico sardo, si rende necessario:

- (1) realizzare nuova capacità per circa 500 MW di CDP (Capacità Disponibile in Probabilità) distribuita opportunamente sull'isola e
- (2) realizzare il nuovo collegamento Centro Sud – Sicilia – Sardegna (Tyrrhenian Link).

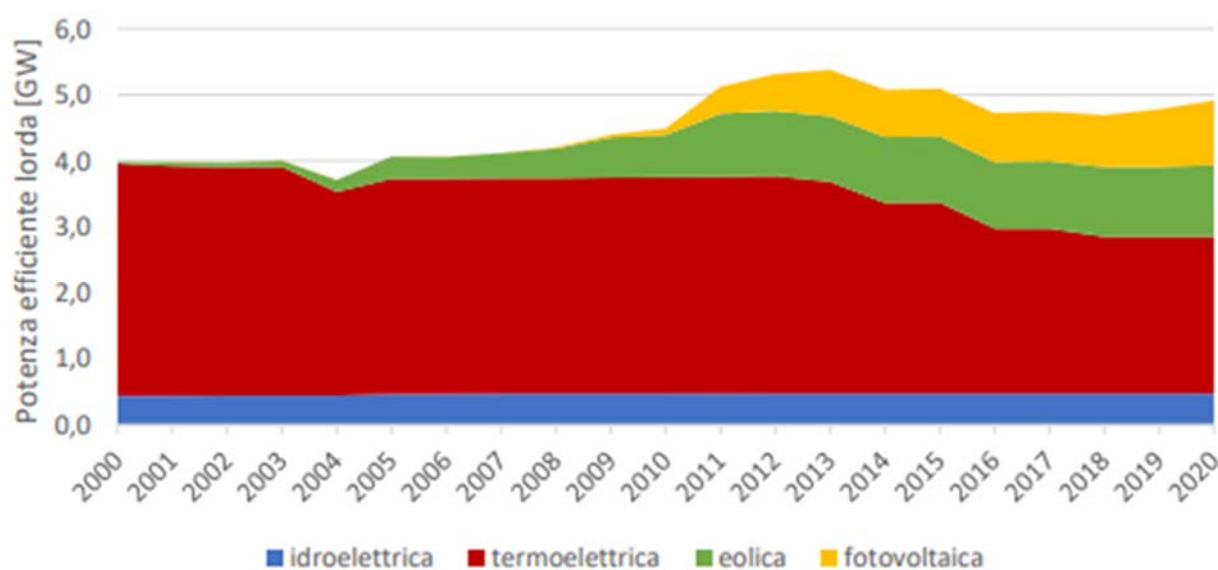


Figura 26 Potenza efficiente lorda degli impianti elettrici di generazione in Sardegna

Più nello specifico, le caratteristiche del sistema insulare richiedono di approvvigionare almeno 200 MW di nuova CDP nell'area nord della Sardegna e almeno 300 MW di nuova CDP nell'area sud. Nell'ultima asta del Capacity Market, tenutasi a febbraio 2022 con anno di consegna 2024, in Sardegna non è stata presentata nessuna offerta di nuova capacità termica a gas bensì esclusivamente offerte di nuova capacità di accumulo. In esito all'asta sono stati complessivamente assegnati 528 MW di nuova CDP di accumuli elettrochimici, di cui 247 MW nell'area Sardegna Nord e 281 MW nell'area Sardegna Sud. Con l'asta 2024 è stato quindi coperto il fabbisogno di nuova capacità necessaria per garantire l'adeguatezza dell'isola e consentire il phase-out degli impianti termoelettrici presenti sull'isola. La dismissione della generazione termica dell'isola potrà quindi avvenire in modo progressivo man mano che le nuove risorse (il Tyrrhenian Link e i 528 MW di nuova CDP) entreranno in servizio; la dismissione completa potrà essere realizzata solo successivamente alla completa realizzazione del nuovo collegamento e alla piena disponibilità della nuova capacità programmabile. Nel contempo lo scenario FF55 ipotizza che al 2030 la Sardegna potrà avere fino a 9,4 GW di capacità rinnovabile (3,3 GW di eolico e 6,1 GW di solare distribuito e utility-scale) che, affiancati da circa 10,7 GWh di capacità di accumulo e dalle opere di rete già presentate nell'ambito del Pds21 (tra cui

il Tyrrhenian Link e il rifacimento del SA.CO.I.3) consentiranno di soddisfare il fabbisogno elettrico dell'isola. In considerazione quindi degli esiti dell'asta Capacity Market 2024 e degli obiettivi di decarbonizzazione del pacchetto legislativo UE "Fit-for-55" non si prevede consumo di gas naturale per la generazione termoelettrica in Sardegna in nessuno degli scenari analizzati.

Lo scenario elettrico, inoltre, è elaborato in coerenza con alcuni nuovi vincoli normativi che richiedono da Terna una pianificazione di opere di rete urgenti sulla base della crescita attesa della produzione FER e degli iter autorizzativi in corso (Dlgs. n. 199/2021, Art. 35) e la definizione del fabbisogno di nuova capacità accumulo in considerazione dell'evoluzione attesa delle FER non programmabili (Dlgs. n. 210/2021, Art. 18).

3.1.5 Evoluzione della capacità FER

Alla luce dei target previsti dal pacchetto legislativo UE «Fit-for-55», la capacità installata del parco di generazione rinnovabile italiano è prevista in forte aumento in tutti gli scenari elaborati.

L'eolico raggiunge i 27 GW al 2030, con un incremento di circa 16 GW rispetto al valore raggiunto nel 2019. L'eolico onshore ammonta a circa 18,5 GW (+7,7 GW rispetto al 2019), mentre l'offshore raggiunge 8,5 GW. Tutta la capacità è prevalentemente localizzata al sud per via di un potenziale, sia geografico che di producibilità, maggiore. L'eolico offshore in particolare è concentrato al largo della Puglia ed intorno alle due isole maggiori.

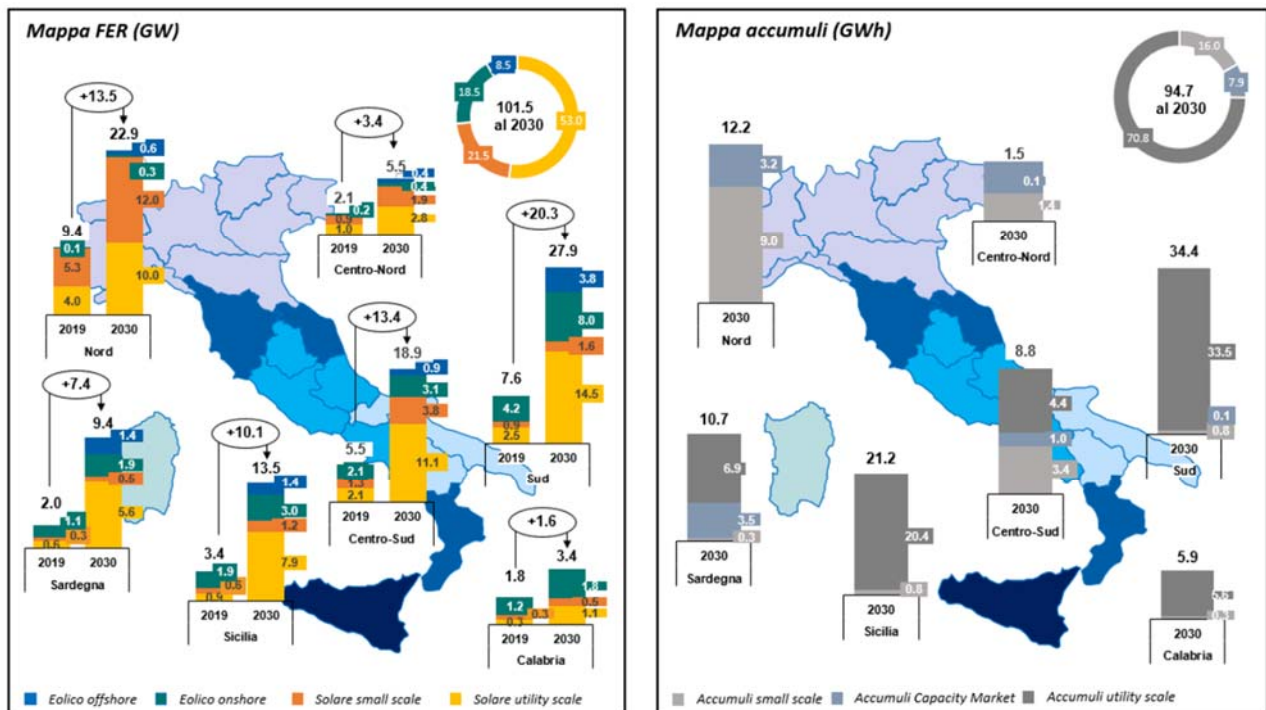


Figura 27 Dettaglio evoluzione capacità FER (GW) e capacità totale di accumuli (GWh) al 2030 nello scenario FF55 Terna

Capacità FER al 2030[GW]	Solare distribuito	Solare Utility	Eolico onshore	Eolico onshore	Somma FER	Incremento vs 2019 FER	Solare distribuito	Solare Utility	Eolico onshore	Eolico onshore	Somma FER
--------------------------	--------------------	----------------	----------------	----------------	-----------	------------------------	--------------------	----------------	----------------	----------------	-----------

[GW]											
Nord	12.0	10.0	0.3	0.6	22.9	Nord	6.7	6.0	0.1	0.6	13.5
Centro-Nord	1.9	2.8	0.4	0.4	5.5	Centro-Nord	1.0	1.8	0.3	0.4	3.5
Centro Sud	3.8	11.1	3.1	0.9	18.9	Centro Sud	2.4	9.0	1.1	0.9	13.4
Sud	1.6	14.5	8.0	3.8	27.9	Sud	0.7	12.0	3.7	3.8	20.3
Calabria	0.5	1.1	1.8	0.0	3.4	Calabria	0.2	0.8	0.6	0	1.7
Sicilia	1.2	7.9	3.0	1.4	13.4	Sicilia	0.6	7.0	1.1	1.4	10.1
Sardegna	0.5	5.6	1.9	1.4	9.4	Sardegna	0.2	5.0	0.8	1.4	7.4
Totale	21.5	53.0	18.4	8.5	101.5	Totale	12.0	41.6	7.7	8.5	69.8

Capacità SdA al 2030 [GW]	SdA Distribuiti	Utility Aste CM	Utility New E/P=8h	Somma accumulati	Incremento vs 2019 SdA [GW]	SdA Distribuiti	Utility Aste CM	Utility New E/P=8h	Somma accumulati
Nord	9.0	3.2	0.0	12.2	Nord	8.4	3.2	0.0	11.7
Centro-Nord	1.4	0.1	0.0	1.5	Centro-Nord	1.4	0.1	0.0	1.5
Centro Sud	3.4	1.0	4.4	8.8	Centro Sud	3.3	1.0	4.4	8.7
Sud	0.8	0.1	33.5	34.4	Sud	0.8	0.1	33.5	34.4
Calabria	0.3	0.0	5.6	5.9	Calabria	0.3	0.0	5.6	5.9
Sicilia	0.8	0.0	20.4	21.3	Sicilia	0.8	0.0	20.4	21.3
Sardegna	0.3	3.5	6.9	10.7	Sardegna	0.3	3.5	6.9	10.7
Totale	16.0	7.9	70.9	94.8	Totale	15.3	7.9	70.9	94.1

Figura 28 Capacità nominale FER (GW) e capacità energetica accumulati (GWh) al 2030 nello scenario FF55

Per raggiungere i target del pacchetto Fit-for-55 entro il 2030 la quota FER dovrà raggiungere circa il 65% dei consumi rispetto al 55% prevista dal PNIEC. In quest'ottica, il fotovoltaico di grande taglia risulta essere una tecnologia indispensabile per raggiungere i target di FER al 2030 e ciò trova riprova nei dati delle richieste di connessione che evidenziano un significativo numero di iniziative concentrate nel Sud e nelle Isole e principalmente su Rete di Trasmissione Nazionale (taglia media iniziativa FV 40 MW, taglia media iniziativa Eolico on-shore 50 MW). Ciò rappresenta una sostanziale diversità dal passato dove le iniziative di fotovoltaico erano concentrate su rete di distribuzione ed allocate nella zona Nord della penisola.

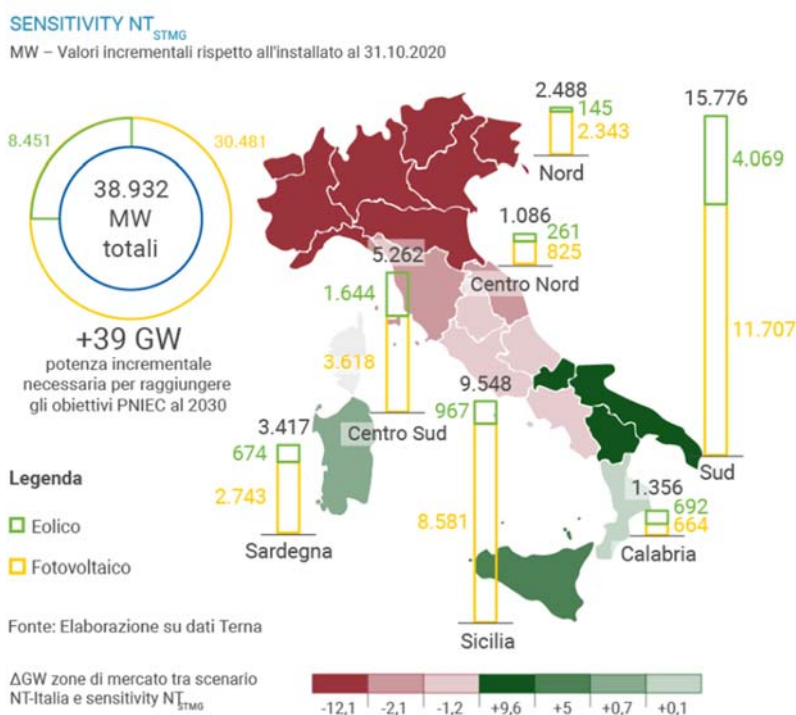


Figura 29 Valori incrementali rispetto all'installato 31.10.2021 Piano di Sviluppo Terna 2022

3.1.6 Richieste di connessione alla RTN al 2021

Rispetto ad un installato delle stesse fonti di oltre 33 GW (FV 22,3 GW e EOL 11,3 GW), alla data del 31.12.2021 la capacità addizionale da installare per tragguardare questi obiettivi dovrebbe raggiungere un valore di circa 60-70 GW, rispetto ai circa 40 GW previsti nel PNIEC, comprensiva di tecnologia fotovoltaica (utility scale e distribuita) ed eolica (on-shore e off-shore). Un particolare trend che si sta verificando è quello dell'eolico off-shore. Difatti, il recente sviluppo nel mercato della tecnologia floating ha determinato la possibilità di installare turbine eoliche di taglia 15-17 MW ciascuna in acque con profondità elevata (ben oltre i noti 50-100 m). Questo salto tecnologico ha ravvivato il trend delle iniziative che al 31.12.2021 hanno raggiunto i 31,8 GW, con parchi eolici di potenza media rilevante, di alcune centinaia di MW. È necessario, tuttavia, evidenziare che il salto tecnologico delle turbine floating abiliterebbe estese aree marine a poter accogliere significative iniziative di produzione di energia da fonte eolica, con centrali le cui potenze nominali (anche maggiori di 2.000 – 3.000 MW) risultano ben superiori ai convenzionali impianti di produzione di energia elettrica. Nella figura sottostante si riportano il numero di iniziative offshore suddivise per taglia e per zona di mercato.

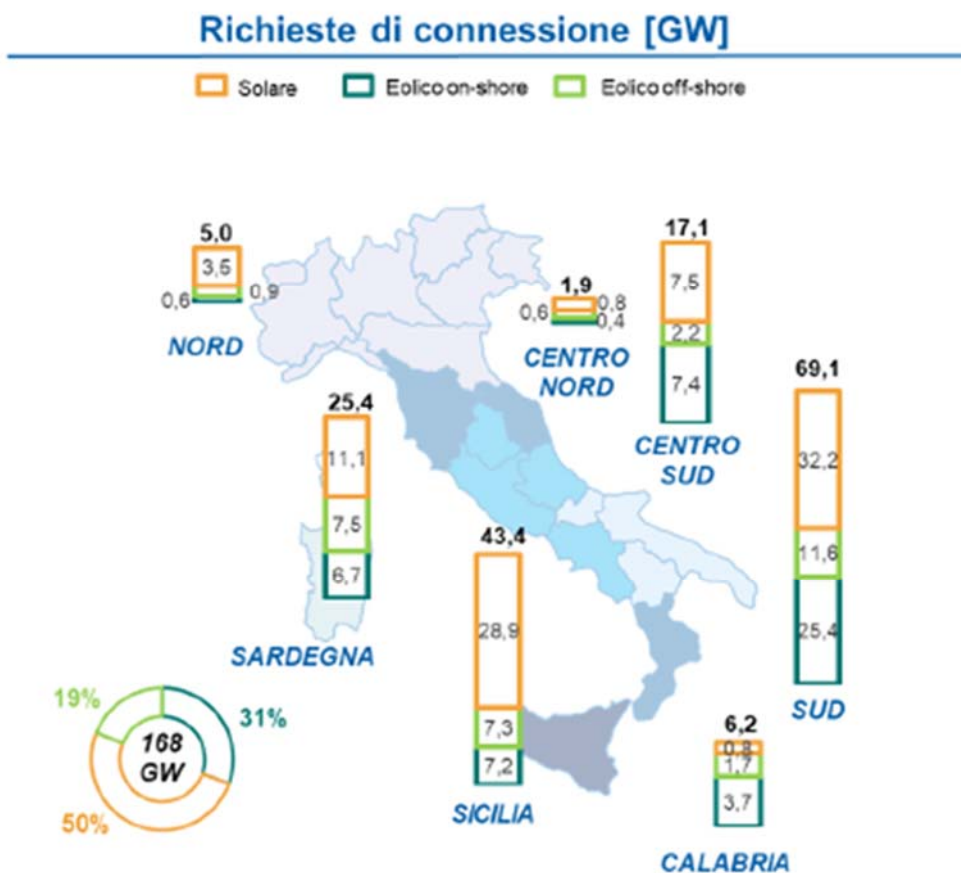


Figura 30 Distribuzione delle richieste di connessione di eolico e solare alla RTN al 31/12/2021 in Valutazione ambientale strategica del piano di sviluppo - Rapporto preliminare ambientale 2023 – Terna

3.1.7 Analisi delle richieste di VIA per l'installazione di nuovi impianti di FER in Sardegna nel 2022

Sono stati raccolti e georeferenziati i dati relativi agli impianti di iniziativa privata on shore per la produzione di energia da FER in fase di richiesta di Valutazione di Impatto Ambientale o autorizzazione unica nel 2022.

I dati sono pubblicati nei portali del MISE o dell'Assessorato all'ambiente della Regione Sardegna ma l'elaborazione è stata condotta presso l'Autorità di Bacino della Regione Sardegna e autorizzata all'uso in sede di ricerca.

Nell'analisi sono stati raccolti i dati degli impianti eolici, fotovoltaici e agrivoltaici e georeferenziati con il software open source QGIS. La potenza installata prevista dalle richieste è pari a **1.806.142,4 kWp** in totale. I parchi eolici hanno una potenza simile tra i 54 - 78 GWh con una media di 8-15 aerogeneratori ciascuno. Gli aerogeneratori sono in genere alti tra i 125-140 m. Le turbine scelte non sono sempre indicate nei progetti di fattibilità ma sovente sono Vestas V162 o Siemens. In ogni caso sono prodotti innovativi da un punto di vista del ciclo di vita del prodotto con una buona percentuale di materiale riciclato e riutilizzabile e performanti da un punto di vista prestazionale. Le singole turbine hanno in genere una potenza di 5 – 6 MW.

Per gli impianti solari sono spesso utilizzati sistemi con tracker monoassiali che sostengono stringhe movimentabili piuttosto ampie di moduli fotovoltaici che hanno una potenza di picco intorno ai 540-570 Wp. Numerosi impianti sono parchi agrivoltaici influenzati dalla normativa attuale e dalle agevolazioni alla costruzione in agro. I pannelli, in questo modo sono posati ad un'altezza da terra in orizzontale di circa 2,5-3 m fino a raggiungere altezze di 6 m con particolari orientazioni.

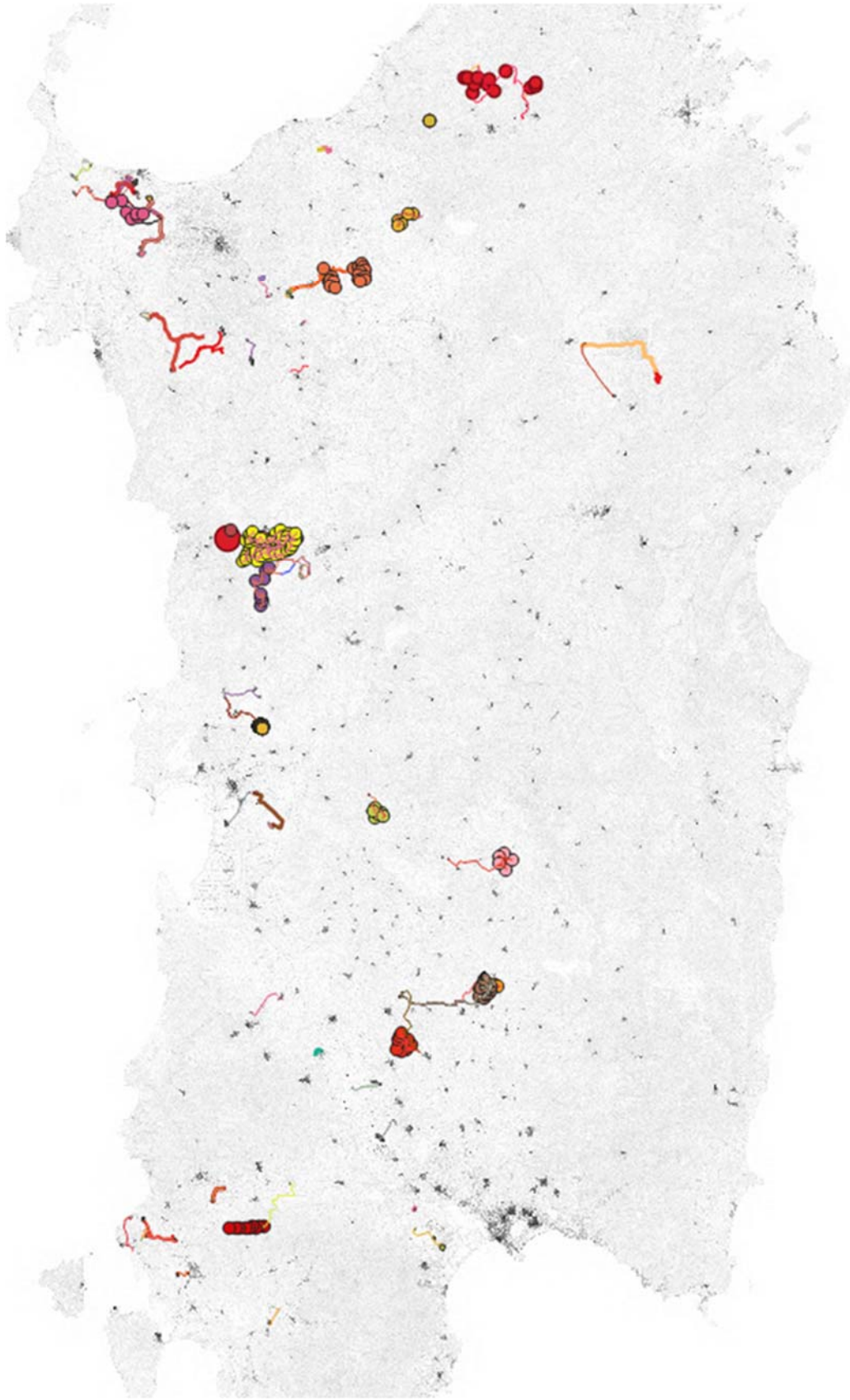


Figura 31 Rappresentazione georeferenziata impianti FER in Sardegna 2022

Nella figura sopra sono rappresentate con sfere circolari le turbine e con areali gli impianti solari. Sono altresì rappresentate le connessioni tra gli impianti e le cabine di conferimento dell'energia e il

collegamento tra un aerogeneratore e l'altro anche se verranno tutti posati interrati ad un metro sotto il piano di posa per consentire il superamento con le reti e le infrastrutture esistenti.

Dalla visione complessiva dell'isola appare subito evidente come alcune aree della Sardegna siano state maggiormente oggetto di elaborazione di progetti legati evidentemente alle caratteristiche anemometriche del sito o di irraggiamento solare.

La normativa della regione Sardegna disciplina le aree non idonee all'installazione di FER per la presenza di pericolosità idrogeologiche, presenza di beni identitari o beni paesaggistici tutelati. Altresì disciplina le modalità autorizzative agevolando l'uso delle aree minerarie dismesse. Nella realtà dei casi i progetti sono localizzati al 90% in agro e non sono mai legati ad attività produttive della zona né industriali né agricole, ma impianti di tali dimensioni sono sempre destinati alla sola produzione di energia elettrica destinata alla vendita e all'emissione nelle aste del mercato del giorno dopo.

Ad oggi non esiste una pianificazione energetica della regione Sardegna adguata e non vi è un vero catasto degli impianti installati a cui poter sovrapporre le nuove richieste in atto, ne consegue che le valutazioni di sostenibilità degli impianti vengono condotte solo parzialmente e nei singoli ambiti e non in una valutazione globale del territorio e del grado di resilienza alle trasformazioni. La domanda spontanea sorge legata alla fase di dismissione.

Vi è il divieto di posizionare impianti tecnologici nelle aree a rischio idrogeologico da elevato a molto elevato e nelle fasce di rispetto del reticolo idrografico così come in prossimità di beni identitari. I progetti rispettano certe distanze non codificate rispetto agli abitati per adempiere alle disposizioni normative sugli impatti acustici, gli impatti elettromagnetici, sulle distanze di sicurezza relative ai possibili effetti di rottura delle pale delle turbine o degli effetti indotti di abbagliamento alle rotte aeree soprattutto in prossimità degli aeroporti.

Come appare chiaro dalla rappresentazione GIS vi è un altro elemento importante, ovvero la connessione alla rete Terna di AT. Gli allacci concessi da Terna che in fase di presentazione di VIA sono sempre allegati con specifico contratto spesso non sono in prossimità dell'impianto o nel territorio comunale che lo ospita ma sono oggetto di lunghi tratti di attraversamento da un comune all'altro. Spesso attraversano anche quattro o cinque comuni per arrivare a siti non edificati dove verrà realizzata una nuova cabina di conferimento alla rete.

Si nota che molti impianti hanno la cabina di conferimento in comune e in taluni casi impianti di proponenti diversi si sovrappongono o vengono presentati separati per motivi economici autorizzativi. Emerge un quadro caotico legato alla pianificazione delle rinnovabili e alla decarbonizzazione della Sardegna.

Nella tabella seguente a scopo puramente informativo e riepilogativo sono riportati gli impianti on shore soggetti a VIA nel 2022.

Riepilogativo impianti 2022 in corso di VIA

IMPIANTO	localizzazione	destinazione d'uso	Denominazione	Potenza kWp	Superficie disponibile m2	Superficie occupata m2	Tipologia descrizione	Tipo di elemento	
1	Agrivoltaico	Carbonia - contrada su campus a domu - zona agricola	zona agricola	AGR 1 - 2 - zir	12412,4	75800	30642	Moduli in silicio monocristallino con tecnologia perc di potenza 700Wp su strutture monoassiali ad	moduli alti 2,75 m
2	Agrivoltaico	Carbonia - contrada su campus a domu - zona industriale	zona industriale	ZIR	4186	57.324	18.576	Moduli in silicio monocristallino con tecnologia perc di potenza 700Wp su strutture monoassiali ad	moduli alti 2,75 m
3	Agrivoltaico	Tramatza 1			4029				
4	Agrivoltaico	Tramatza 2							
5	Agrivoltaico	Macomer - agro	zona agricola	Macomer 4	42000	722.700	195.258	Sistema monoassiale con sistema ad inseguimento, potenza di picco pannelli 570 Wp con sistema storage 10000 Solar* da 570 Wp kWac (n.73.696)	moduli alti 3,18 m e ampiezza 2,28 m - tipo bifacciali 72HL4-BDV 570 Watt della Jinko
6	Eolico	Narcao, Musei, Villamasargia		Energia Is Coris*	48000			Impianto costituito da 9 aerogeneratori potenza totale 48 MW	Vestas V162-5,4 MW h mozzo 125
7	Agrivoltaico	Carbonia		Acqua derettas	5853				
8	Fotovoltaico	Galtellì			3000				
9	Agrivoltaico	Siligo		Punta Sos Lacchedos	14000				
10	Agrivoltaico	Nuraminis		Petu Mannu	5434				
11	Agrivoltaico	Putifigaris		Monte Siseri	72640				
12	Agrivoltaico	Sedini		Loc.Bacchialzu	7890				
13	Agrivoltaico	Porto Torres			40000				
14	Eolico	Bitti		Gomoretta	45045				
15	Agrivoltaico	Santa Giusta		Green and blue	75116				
16	Eolico	Ittiri, Villanova Monteleone		Atlas	66000			11 turbine da 6 MW	
17	Agrivoltaico	Sassari		Sassari 02	30000				
18	Agrivoltaico	Sassari		Cugulongiu	48300				
19	Agrivoltaico	Serramanna-Gamassi		Tintoretto	25820		110907	540 Wp	modulo H-Mo LR-72HPH 540
20	Fotovoltaico	Uta			46175				
21	Agrivoltaico	Sassari		Bazzinitta e Serra Feni	120000				
22	Fotovoltaico	Porto Torres			33600				
23	Eolico	Bitti-Onani Budùso			10240				
24	Fotovoltaico	Fiume Santo			20261				
25	Fotovoltaico	Cargaghe- Codrongianus - Florinas			3361				
26	Fotovoltaico	Gonnesa - Carbonia			9000				
27	Eolico	Chiaromonti, Ploaghe, Codrongianus		Su Sassitu	18000				
28	Fotovoltaico	Codrongianus							
29	Agrivoltaico	Guspini Pabillonis	agricolo		18380	379000	290000	n. 33740 moduli fotovoltaici	tipo silicio monocristallino a 72 celle con tecnologia bifacciale, indicativamente della potenza di 545 Wp
30	Eolico	Macomer Sindia	agricolo	Monte S. Antonio	43400			N. 7, di potenza nominale singola pari a 6,2 MW con 170 m di apertura palare	
31	Agrivoltaico	Siligo - Pta Sos Lacchedos		Siligo 1	15830				Tracker h 1,30 575 W,
32	Eolico	Luras, Tempio Pausania, Calangianus, Aggius	agricolo	Petra Bianca	84000			14 aerogeneratori - 6 MW	Siemens Gamesa SG170 da 6.0MW, altezza mozzo pari a 115 m,
33	Fotovoltaico	Sassari	agricolo	Truncu Reale PV01	7590	86000	36114	72HBD da 545 W - moduli sono 249	Pannelli LONGI HI-MOS LRS-
34	Fotovoltaico	Bitti - Budùso			6426	108800	30310	10710 pannelli bifacciali 642 WP	TRINA SOLAR, in silicio monocristallino bifacciale, ed ha una potenza di picco di 600 Wp (VERTEX serie TSM-DEG20C.20).
35	Fotovoltaico	Sassari	agricolo	Nurra	35000				
36	Fotovoltaico	Piscinas			10548	147000		silicio monocristallino da 670 Wp moduli fotovoltaico 15.744	
37	Eolico	Selegas, Guasila, Gua Maggiore	agricolo	Parco eolico Trexenta	54000				
38	Eolico	Sindia, Santu Lussurgiu, Borore, Scano di Montiferro, Macomer	agricolo	Sindia	78000			13 turbine	
39	Fotovoltaico	Portosusso, Gonnesa	agricolo - industriale	Cirfini	13790		155000	27.586 moduli fotovoltaici in silicio monocristallino da 500 Wp, 61 inverter di stringa	Altezza minima da terra: 0,4m - Altezza massima da terra: 4,10 m
40	Agrivoltaico	Sassari	agricolo	Green and Blue Domo Spanedda"	75116				
41	Agrivoltaico	Sassari Porto Torres	agricolo	Sassari 3	28000	425.300	141.946	50.904 moduli, con un totale di stringhe di 1.414, considerando generalmente 36 moduli per stringa. Su ogni tracker tipo saranno alloggiati, quindi 72 moduli.	550 Wp,
42	Eolico	Serrenti Samassi	agricolo	Parco eolico Serrenti Samassi	66000			11 turbine da 6 MW totale 66 MW	Vestas V162-6,2
43	Eolico	Mogorella e Villa Sant'Antonio	agricolo	"Parco Eolico Mogorella - Sant'Antonio	37800			6 aerogeneratori 6,30 MW	altezza mozzo 115 m e diametro rotore 170 m altezza finale 2 m Siemens-Gamesa SG170
44	Eolico	Bessude, Borutta, Ittiri, Thiesi (SS)	agricolo	Energia Monte Pizzinu,	54400		48.100	8 turbine diametro rotore 162, altezza totale 230 m. potenza nominale aerogeneratori 6,8 MW	Sistema di accumulo BEES
45	Eolico	Erula e Tula	agricolo	Sa Florida"	31500			5 turbine	
46	Eolico	Macomer e Scano Montiferro	agricolo	"Scano-Sindia",	336000			56 aerogeneratori	
Totale					1806142,4				

Figura 32 Richiesta FER Sardegna di Valutazione Impatto Ambientale 2022 potenza totale installata. 1.806.142,4 kWp

Nelle figure successive sono riportati alcuni focus in aree specifiche dell'isola. Nella figura 26 si nota la diffusione degli impianti fotovoltaici a servizio dell'area industriale di Sassari e Porto Torres. Spostandosi nella parte centro orientale sono presenti gli impianti eolici oggetto di contestazione pubblica e non

accettati dalle comunità locali per conflitti con altre attività a sviluppo del territorio. Analogo caso nella parte centro occidentale dell'isola, nella zona di Sindia e Macomer dove gli impianti eolici proposti entrano in conflitto con aree naturalistiche riconosciute dalla comunità e non essendoci un coinvolgimento della stessa nel processo decisionale si manifestano fenomeni di non accettazione e ostruzione alla costruzione. (vedi figura 31).

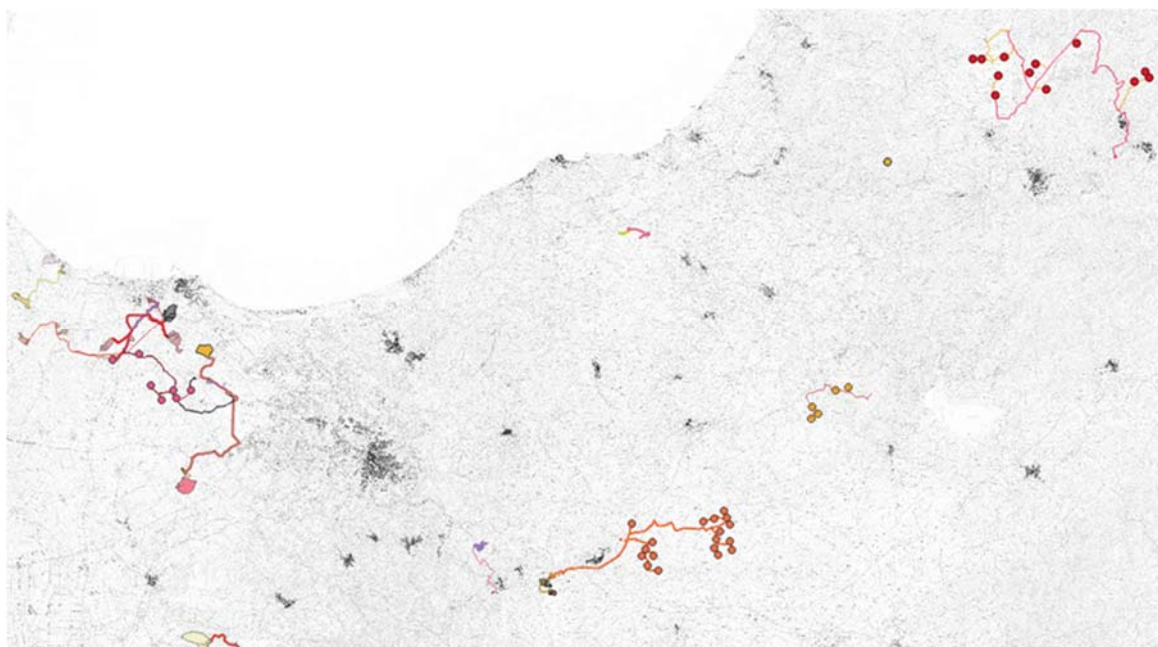


Figura 33 Zoom richieste VIA FER Sardegna nord-occidentale 2022

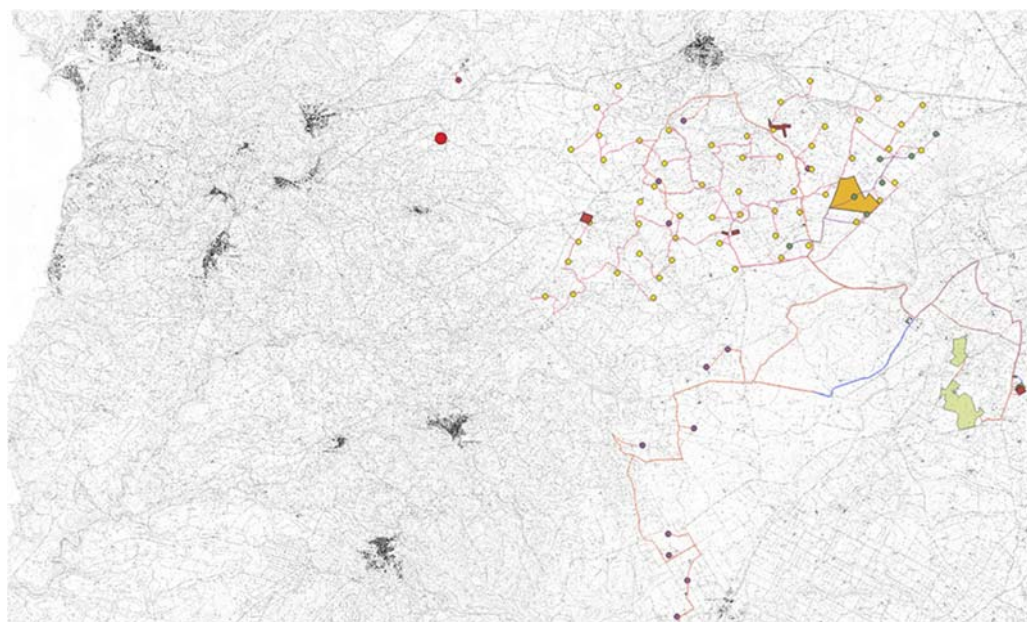


Figura 34 Zoom richieste VIA FER Sardegna centro occidentale e zona meridionale mineraria 2022

Tra tutti gli impianti si prenderà in esame nel capitolo 5 come caso di studio il parco eolico denominato “Parco eolico Serrenti – Samassi” localizzato nei rispettivi comuni composto da 11 turbine e potenza complessiva di 66 MW. Nella rappresentazione successiva è rappresentato con gli aerogeneratori in rosso. La linea di connessione che arriva nel comune di Sanluri dove verrà realizzata la nuova cabina di conferimento a Terna in AT attraversa i comuni di Serrenti, Samassi, Segariu e Furtei.

Si notano subito degli aspetti di vicinanza con due impianti FER. Il primo è un agrivoltaico denominato Samassi Serramanna con potenza installata di progetto pari a 25 MW diviso in due siti pressoché adiacenti. Il secondo impianto che si vede in alto a destra e localizzato nel territorio della Trexenta nei comuni di Guasila e Guamaggiore in realtà è un doppio impianto. Trattasi di due impianti eolici sovrapponibili al 60% con la medesima rete di connessione alla cabina, nonché prossima alla cabina del parco eolico Samassi Serrenti con due proponenti diversi. Uno di questi è il medesimo del parco eolico Serrenti Samassi e non a caso l'impianto è composto dallo stesso tipo di turbina e da una potenza simile 54 GW.

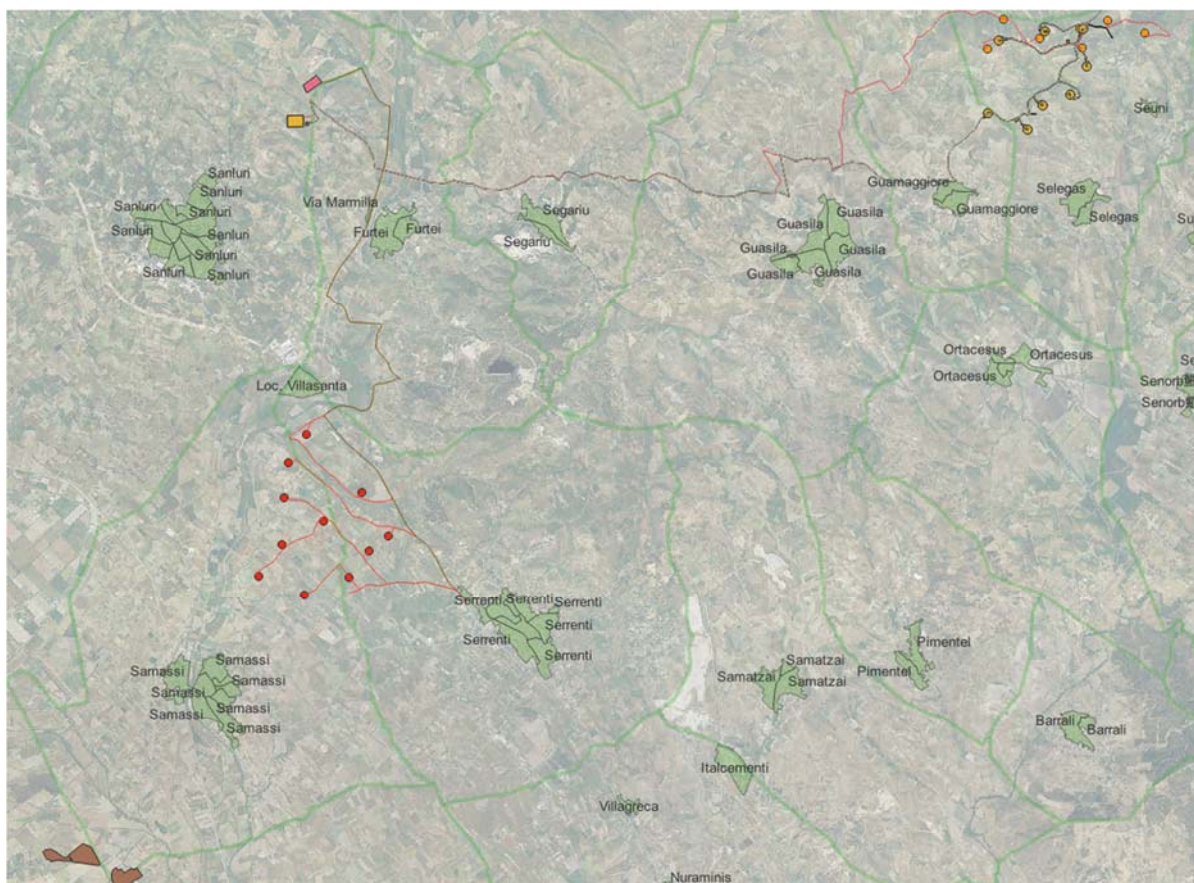


Figura 35 Sardegna Centrale zona agricola - ambito caso di studio - richiesta VIA FER 2022

4. COSTRUZIONE DELLA METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITA' AMBIENTALE, ECONOMICA E SOCIALE

L'analisi della letteratura ha mostrato che non esiste una metodologia nel campo delle rinnovabili che determini in modo quantitativo tutti gli indicatori della TBL: ambientali, economici e sociali.

Gli studi sono sempre parziali e concentrati solo su una specifica linea della TBL.

Gli indicatori ambientali quantificano gli impatti e hanno l'obiettivo di ridurre gli impatti stessi. Gli indicatori economici valutano la monetizzazione del progetto e possono essere condizionati dagli elementi dell'ambiente che lo circondano. Gli indicatori sociali invece modificano la percezione del problema e ricercano l'accettazione sociale per lo sviluppo del progetto.

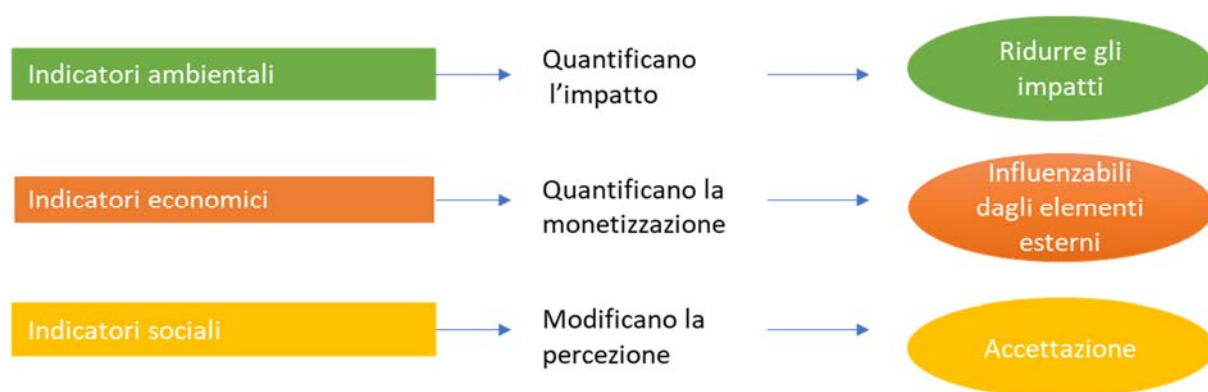


Figura 36 Scopo degli indicatori in letteratura

4.1 MEES methodology

La metodologia proposta denominata **MEES methodology** (Mixed Environmental, Economic and Social) mette insieme alcuni aspetti innovativi della letteratura, sceglie alcune metodologie settoriali e utilizza contemporaneamente alcuni indicatori nei tre aspetti della sostenibilità ambientale, economica e sociale. Come si è visto nella letteratura gli indicatori sono utilizzati solo settorialmente e sporadicamente nei tre ambiti e usati solo qualitativamente in questi casi e non quantitativamente.

Un altro aspetto della metodologia è l'applicazione a casi reali superando gli aspetti teorici enunciati nella guida UNEP. In questa ricerca il caso di studio si concentra sugli impianti eolici essendo quelli che nei prossimi anni avranno maggiore sviluppo nell'ambito territoriale scelto della Sardegna ed esaminato nel capitolo precedente.

4.1.1 Obiettivo

L'obiettivo è rispondere alla domanda **“è possibile valutare qualitativamente e quantitativamente la sostenibilità di un progetto non solo in termini economico-ambientali ma anche in termini sociali?”**

4.1.2 Scopo

Lo scopo è quello di ottenere dei risultati aperti, utili nei processi decisionali ove è possibile l'incontro tra gli stakeholder del processo. Il fine ultimo diventa l'individuazione e la focalizzazione degli aspetti positivi e delle criticità presentate da un processo/progetto affinché non diventino ostacoli per la realizzazione del processo. Rispondere dunque alla seconda domanda **“gli attori coinvolti nel processo possono influenzare la resilienza del progetto e la sua accettazione?”**

4.1.3 Elementi innovativi

- Esamina l'intero ciclo del processo decisionale alla base di un nuovo progetto di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile. Tiene conto negli input iniziali del processo dei fattori esterni dell'ambito di riferimento che condizionano la riuscita del progetto. Il contesto territoriale, la tecnologia dell'impianto, i vincoli normativi, individua gli stakeholder presenti nel progetto e la loro influenza.
- Identifica gli elementi per la gestione sociale del progetto con l'uso di tecniche come il questionario e le interviste che focalizzano le percezioni della comunità locale reale in cui insiste il progetto identificando i valori di equità sociale;
- Introduce metodologie già utilizzate in letteratura per la quantificazione degli impatti come LCA, hieratic analysis, severity index analysis, network analysis per meglio comprendere le relazioni tra gli indicatori e il loro grado di importanza nel contesto del processo;
- Ricerca la performance degli indicatori rispetto ad ogni stakeholder e la sua specifica modalità di valutazione dell'impatto;
- L'analisi degli indicatori ambientali è condotta con la metodologia LCA ma anche con gli indicatori di circolarità confrontati con sistemi energetici differenti quali : agrivoltaico, energia fornita dalla rete.
- Individua come le condizioni al contorno come il costo di vendita dell'energia, il costo di costruzione dell'impianto , la modifica della bancabilità dell'intervento sono ulteriormente influenzati dall'accettazione sociale e dalla condivisione dei profitti e dell'uso dell'energia prodotta;
- Nella fase di controllo della metodologia individua gli effetti delle criticità individuate esaminando soluzioni differenti per supportare la resilienza del sistema e quindi la sua sostenibilità al variare delle condizioni iniziali

4.2 Struttura

Un progetto sostenibile è dunque caratterizzato da numerosi input: la tecnologia di impianto scelto ripetibile anche in altri territori, i vincoli normativi, le variabili economiche, gli stakeholder e le aspettative sociali che invece sono proprie dell'ambito in cui si opera. L'innovazione consiste nell'utilizzo di un range di indicatori KPIs che sono condizionati e scelti da questi input non codificati a priori e che vanno individuati con una attenta analisi. I dati di output, ovvero la valutazione del progetto in termini di sostenibilità con i KPIs vengono riletti alla luce dell'accettazione del progetto necessaria per la sua realizzazione e resilienza nel tempo.

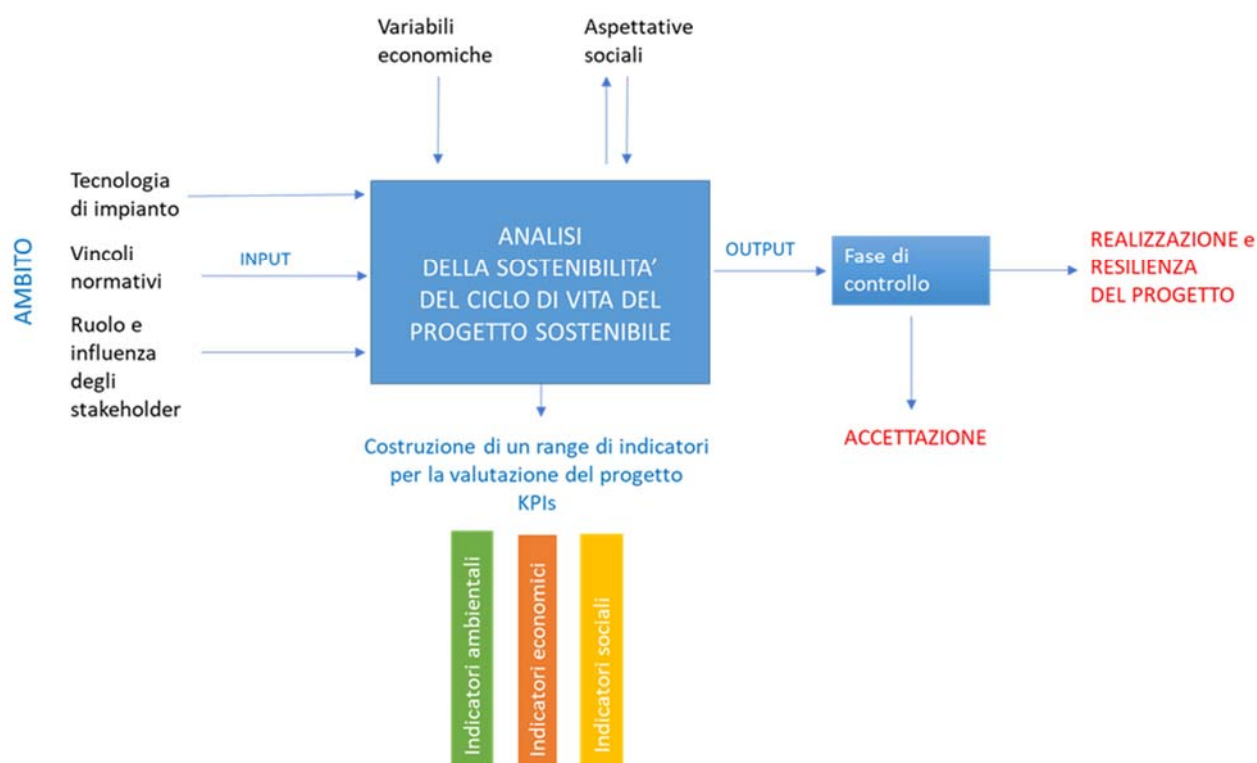


Figura 37 Analisi del ciclo di vita del progetto nella metodologia MEES

La metodologia si articola in 4 fasi in cui gli indicatori della letteratura vengono implementati dalle specificità dell'ambito reale per la valutazione della sostenibilità del progetto, mettendo in luce i fattori che condizionano l'accettazione del progetto.



Figura 38 Le fasi della Metodologia MEES

- ✓ Fase Iniziale
- ✓ Fase di pianificazione
- ✓ Fase di valutazione
- ✓ Fase di controllo

4.2.1 Fase Iniziale

E' la fase di raccolta dei dati e dell'analisi tematica del progetto con le sue specificità geografiche e le caratteristiche tecniche. L'analisi del contesto permette di identificare gli stakeholder, che includono persone, organizzazioni o gruppi i cui interesse possono essere influenzati positivamente o negativamente dal progetto o che possono influenzare le modalità di gestione e i risultati dei progetti.

L'approccio deduttivo raccoglie i dati secondari e verifica l'influenza degli impatti sociali in letteratura di casi simili e seleziona degli indicatori di letteratura ambientali, economici e sociali utilizzabili nella valutazione del progetto. Gli indicatori sono tratti oltre che da casi di studio da vincoli normativi, da piani nazionali e internazionali come l'Agenda 2030 e la guida UNEP.

L'approccio induttivo raccoglie i dati nel contesto reale mediante interviste e questionari.

Il *questionario* raccoglie le percezioni dell'intervistato, nascondendo gli scopi dello studio per evitare risposte falsate. Il questionario ha lo scopo anche di raccogliere attraverso il peso attribuito alla reversibilità degli impatti sociali, nuovi indicatori legati non solo all'ambiente ma anche dalla conoscenza del progetto tecnico.

4.2.2 Fase di pianificazione

E' la fase di raggruppamento dei dati.

4.2.2.1 Analisi degli stakeholder

Una volta identificati gli stakeholder nella fase iniziale sono identificati il ruolo, gli interessi, il livello di conoscenza, le aspettative e il livello di influenza mediante l'analisi dell'ambiente di progetto.

Gli stakeholder sono identificati in quattro comunità principali, in base al tipo di interesse specifico, e al conseguente linguaggio specifico: i fornitori, gli acquirenti, gli investitori e gli influenzatori.

I fornitori (providers): il loro interesse è il progetto nel suo complesso ovvero nei tempi, costi e qualità. Fanno parte di questa comunità il project manager, il project team, partner e subfornitori.

Gli acquirenti (purchasers): il loro interesse è la qualità del progetto, hanno già concordato per il progetto tempi e costi. Sono purchasers i clienti, gli utenti finali del progetto.

Gli investitori (investors): il loro interesse prevalente è la redditività, ovvero i minori costi di progetto possibile, oltre a ulteriori ricavi nel tempo. L'interesse è per la qualità erogata. Fanno parte degli investors lo sponsor, la project governance, gli azionisti e i finanziatori esterni.

Gli influenzatori (influencer): il loro interesse è partecipare al progetto, pur non essendo una parte contraente. Avremo le pubbliche amministrazioni, i media, la comunità locale, le associazioni ma anche i potenziali clienti.

Questa classificazione degli stakeholder come evidenziato nella figura seguente mette in evidenza come le diverse comunità di stakeholder interagiscono, scambiando contenuti e sviluppano relazioni. Identifica in

questo modo i loro obiettivi. La gestione delle relazioni valorizza i risultati e le attività per soddisfare gli obiettivi del progetto e le aspettative degli stakeholder.

La complessità delle iterazioni tra le parti interessate dipende da diversi fattori come l'afflusso di capitale, la percezione dello spazio, il livello culturale, il ruolo e il grado di attività nella comunità.

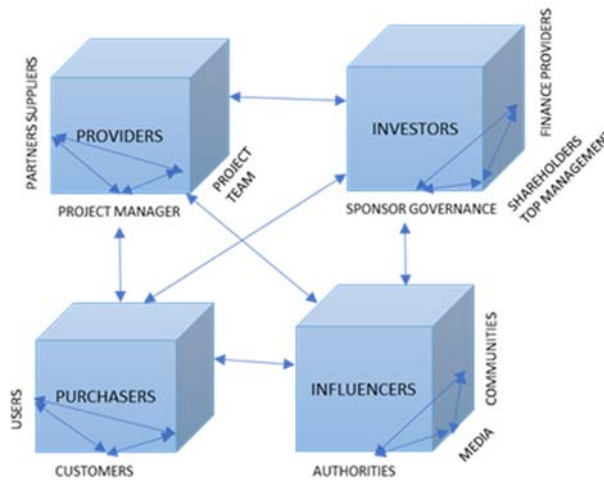


Figura 39 Relazioni tra gli stakeholder

Viene misurato il livello di autorità (potere) e il livello di sensibilità (interesse) degli stakeholder in merito ai risultati del progetto. Il potere è il livello di influenza che lo stakeholder può esercitare sull'impostazione, il funzionamento, sui risultati del progetto. L'interesse è il livello di influenza che il progetto esercita sull'area business dello stakeholder in termini di obiettivi, attività e risultati.

Dopo aver valutato il livello di potere e interesse dei principali stakeholder secondo una scala alto/basso è possibile rappresentarli su una **griglia potere/interesse** e classificare gli stakeholder in: marginale, operativo, istituzionale e chiave.

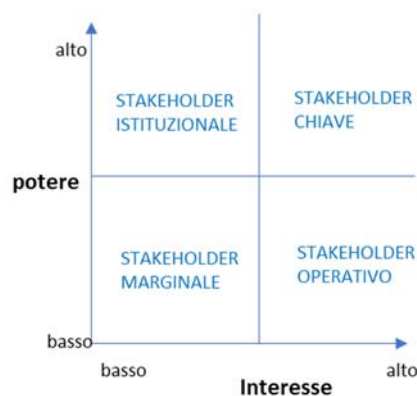


Figura 40 Griglia potere interesse

La griglia mostra l'influenza di quel tipo di stakeholder nel processo. Quanto il suo operato può incidere nella soluzione rilasciata, nelle attività svolte ma con scarso peso sulle decisioni di progetto si definisce lo *s. operativo*, gli attori che partecipano indirettamente al progetto fornendo un contributo di supporto sono *gli s. istituzionali*, che si differenziano dallo *s. chiave*, figura che riveste un ruolo centrale nell'economia del progetto in grado di influenzare le decisioni, ed infine lo *s. marginale* attore di contorno al progetto, che vive indirettamente il progetto senza potervi incidere.

Questa classificazione in base al ruolo permette di sviluppare apposite strategie di gestione che dipendono da come il progetto viene percepito e vissuto dai diversi tipi di stakeholder.

Viene valutata anche la posizione nei confronti del progetto secondo una classificazione del livello di coinvolgimento degli stakeholder: inconsapevole, neutro, favorevole, e guida (consapevole degli impatti e impegnato a garantire il successo del progetto) dalla quale scaturisce un piano di azioni per l'accettazione sociale del progetto.

4.2.2.2 Identificazione mediante validazione degli indicatori di sostenibilità KPIs

Il raggruppamento degli indicatori tratti dal metodo deduttivo insieme agli indicatori del metodo induttivo costituisce un range di indicatori che sono messi in relazione in un sistema matriciale con gli stakeholder. Ad ogni coppia viene attribuito un peso che definisce la scala di importanza data all'indicatore dallo stakeholder.

I pesi sono attribuiti con un metodo oggettivo, mediante processo gerarchico analitico che attribuisce un peso secondo una scala di importanza.

Considerando 5 possibili risposte ad ognuna viene assegnato un punteggio ω_i

1=Meno importante, 2=Poco importante, 3=Importante, 4=molto importante, 5=Estremamente importante
La scala di importanza è ricavata dalle interviste durante la presentazione del progetto e dai risultati del questionario.

	ENVIROMENTAL		SOCIAL		ECONOMIC	
	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_n
Stakeholder 1	ω_i	ω_i	ω_i	ω_i	ω_i	ω_i
Stakeholder 2	ω_i	ω_i	ω_i	ω_i	ω_i	ω_i
Stakeholder 3	ω_i	ω_i	ω_i	ω_i	ω_i	ω_i
Stakeholder 4	ω_i	ω_i	ω_i	ω_i	ω_i	ω_i
Stakeholder m	ω_i	ω_i	ω_i	ω_i	ω_i	ω_i

Figura 41 Matrice di confronto stakeholder indicatori

Gli indicatori classificati per la loro importanza vengono validati usando il metodo statistico **Severity Index**

$$Severity Index (SI) = \frac{\left(\sum_{i=1}^5 \omega_i * \frac{f_i}{n} * 100\right)}{\alpha * 100} \quad (15)$$

Dove ω_i è il peso di ciascuna risposta, f_i è la frequenza della risposta; n è il numero totale degli stakeholder and α è il peso più alto assegnato (in questo caso $\alpha = 5$).

Esaminati i risultati ottenuti per le tre categorie ambientali, economici e sociali mediante radar graph, sono presi in considerazione solo quelli che riportano un punteggio $> 0,6$.

In questo modo sono ricavati i **Key Performance Social Indexes (KPSi)** condivisi che possono essere misurati nella valutazione della sostenibilità del progetto.

4.2.3 Fase di valutazione

Nella fase di valutazione la sostenibilità del progetto viene valutata con i Key Performance Social Indexes individuati. Gli indicatori misurano gli impatti del progetto nell'ambiente, ma anche gli impatti sociali dovuti alle aspettative del progetto e la sua realizzazione economica.

4.2.3.1 Network analysis

Con la Network analysis vengono indagate anche le relazioni che intercorrono tra gli indicatori. Viene costruita una rete in cui i nodi sono gli indicatori e i collegamenti rappresentano i legami unidirezionali che li caratterizzano. La centralità del nodo mostra l'importanza relativa dei nodi nella rete costruita.

Esaminando le relazioni unidirezionali che intercorrono tra loro si possono esaminare:

- **In degree:** gli indicatori influenzati. Ovvero il grado di reazione alle influenze degli indicatori collegati.
- **Out degree:** gli indicatori che possono influenzare gli altri. Distribuendo la loro influenza nella rete
- **Betweenness Centrality:** la capacità per un indicatore di mediare tra indicatori non adiacenti nella rete
- **Closeness Centrality:** l'indicatore facilitatore che può esercitare un controllo sui nodi vicini

La valutazione mette in luce quali elementi possono maggiormente influenzare la sostenibilità del progetto in base alla dipendenza con gli altri indicatori.

4.2.3.2 Gli indicatori ambientali

Gli indicatori ambientali utilizzati sono quelli codificati dall'analisi LCA secondo UNI 14040:2008.

La metodologia utilizzata è IMPACT 2002+ introdotta nel 2003 da Joliet O. come metodologia innovativa che combina i valori ottenuti in metodologie precedenti quali CML e Eco-Indicator 99 in quanto associa ai 14 indicatori ambientali risultanti dall'analisi LCI 4 categorie di danno: Human Health, Ecosystem Quality, Climate Change e Resources. Le categorie di danno individuate possono anche essere normalizzate e pesate per essere confrontate tra loro.

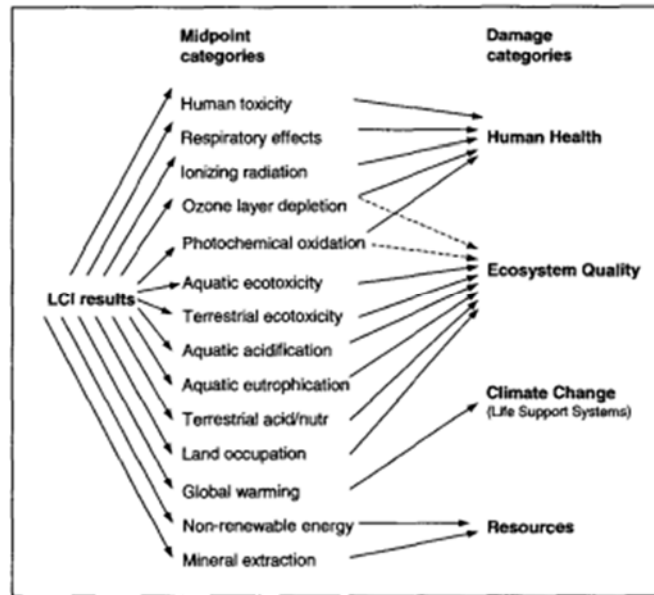


Figura 42 Impact 2000+ Indicatori e categorie di danno 49

I 14 Indicatori, definiti midpoint categories, sono human toxicity, respiratory effects, ionizing radiation, ozone layer depletion, photochemical oxidation, aquatic ecotoxicity, terrestrial eco-toxicity, terrestrial acidification/nutrition, aquatic acidification, aquatic eutrophication, land occupation, global warming, non-renewable energy, mineral extraction. La figura precedente mostra come tali indicatori sono associati alle categorie di danno (damage categories). Le categorie di danno sono ottenute moltiplicando i valori degli indicatori ottenuti con i fattori di caratterizzazione del danno delle sostanze di riferimento come da tabella seguente.

Table 2: Characterization damage factors of the various reference substances

Midpoint categories	Damage factors	Units
Carcinogens	1.45E-06	DALY/kg chloroethylene
Non-carcinogens	1.45E-06	DALY/kg chloroethylene
Respiratory inorganics	7.00E-04	DALY/kg PM2.5
Ozone layer	1.05E-03	DALY/kg CFC-11
Radiation	2.10E-10	DALY/Bq carbon-14
Respiratory organics	2.13E-06	DALY/kg ethylene
Aquatic ecotoxicity	8.86E-05	PDF·m ² ·yr/kg-triethylene glycol
Terrestrial ecotoxicity	8.86E-05	PDF·m ² ·yr/kg-triethylene glycol
Terrestrial acidification/nutr.	1.04	PDF·m ² ·yr/kg SO ₂
Land occupation	1.09	PDF·m ² ·yr/m ² -organic arable land-yr
Global Warming	1	kg CO ₂ /kg CO ₂
Mineral extraction	5.10E-02	MJ/kg iron
Non-renewable energy	45.6	MJ/kg crude oil

Figura 43 Tabella fattori moltiplicativi di danno per gli indicatori LC149

- **Human Health:** La tossicità per l'uomo (effetti cancerogeni e non cancerogeni), gli effetti respiratori (sostanze inorganiche e organiche), le radiazioni ionizzanti e l'impoverimento dello strato di ozono contribuiscono tutti ai danni per la salute umana. Può essere espresso direttamente in [DALY/kgemission]

- **Ecosystem Quality:** Gli indicatori che lo caratterizzano sono terrestrial acidification, terrestrial nutrification, and land occupation, E' legato alla frazione potenzialmente scomparsa su una certa area e durante un certo tempo per kg di sostanza emessa, espressa in [PDF-m²-year/kgemitted]
- **Climate change:** inteso come danno ai sistemi di supporto vitale che meritano protezione. Il riscaldamento globale è considerato come una categoria di endpoint a sé stante con unità di [kgeq CO₂], che viene normalizzato nella fase successiva. L'orizzonte temporale ipotizzato è di 500 anni per tenere conto sia degli effetti a breve che a lungo termine.
- **Resources:** Le due categorie che lo compongono sono l'estrazione di minerali e il consumo di energia non rinnovabile. Secondo il concetto di surplus energetico in [MJ].

L'altra metodologia utilizzata per ricavare gli indicatori sociali sempre utilizzando l'analisi LCA è la Cumulative Energy Demand (CED). Creata nel 1979 da Boustead e Hancock è una metodologia che viene combinata con l'analisi LCA per analisi di screening sull'uso di energia primaria. Si può distinguere tra fabbisogno energetico di risorse rinnovabili e non rinnovabili. Viene implementato nel database di Ecoinvent che verrà utilizzato nel caso di studio successivo.

Tab. 2.2 Impact assessment method cumulative energy demand (CED) implemented in ecoinvent

	subcategory	includes
non-renewable resources	fossil	hard coal, lignite, crude oil, natural gas, coal mining off-gas, peat
	nuclear	uranium
	primary forest	wood and biomass from primary forests
renewable resources	biomass	wood, food products, biomass from agriculture, e.g. straw
	wind,	wind energy
	solar	solar energy (used for heat & electricity).
	geothermal	geothermal energy (shallow: 100-300m)
	water	run-of-river hydro power, reservoir hydro power

Figura 44 Ripartizione degli indicatori nel CED

4.2.3.3 Gli indicatori sociali

Gli indicatori sociali misurano la modifica della percezione del progetto nella comunità. La reversibilità degli impatti ambientali non dipende solo dall'ambiente ma anche dall'uomo e da come la tecnologia è trasmessa agli attori ed percepita in un determinato contesto sociale.

Il rumore percepito per esempio dato dalla rotazione delle pale non è dato dall'effettiva vicinanza all'aerogeneratore ma dalla familiarità con il progetto.

Gli indicatori sociali devono tenere conto anche delle conseguenze del sistema energetico nella società ovvero dell'equità economica generata, della giustizia sociale e di una pianificazione equa.

Gli indicatori così come prescritto dalla guida UNEP sono ricavati da una attenta analisi del processo e delle relazioni tra gli stakeholder interessati.

Stakeholder categories	Worker	Local community	Value chain actors (not including consumers)	Consumer	Society	Children
Subcategories	<ol style="list-style-type: none"> 1. Freedom of association and collective bargaining 2. Child labor 3. Fair salary 4. Working hours 5. Forced labor 6. Equal opportunities/discrimination 7. Health and safety 8. Social benefits/social security 9. Employment relationship 10. Sexual harassment 11. Smallholders including farmers 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Access to material resources 2. Access to immaterial resources 3. Delocalization and migration 4. Cultural heritage 5. Safe and healthy living conditions 6. Respect of indigenous rights 7. Community engagement 8. Local employment 9. Secure living conditions 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fair competition 2. Promoting social responsibility 3. Supplier relationships 4. Respect of intellectual property rights 5. Wealth distribution 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Health and safety 2. Feedback mechanism 3. Consumer privacy 4. Transparency 5. End-of-life responsibility 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Public commitments to sustainability issues 2. Contribution to economic development 3. Prevention and mitigation of armed conflicts 4. Technology development 5. Corruption 6. Ethical treatment of animals 7. Poverty alleviation 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Education provided in the local community 2. Health issues for children as consumers 3. Children concerns regarding marketing practices

Figura 45 Esempi di indicatori raggruppati per stakeholder della guida UNEP

Lo scopo è ricercare quegli indicatori sociali che possono essere oggetto di criticità e necessitano di approfondimento nel processo decisionale e possono determinare o meno l'accettazione del progetto. Lo strumento più vicino al contesto è il questionario che esprime le sensibilità della comunità locale.

4.2.3.4 Gli indicatori economici

Gli impatti economici dipendono dalle condizioni al contorno del progetto e sono quindi influenzati dal costo dell'energia, dalla percentuale di produzione di energia e immissione nel mercato, cambi dei tassi di interesse del capitale, dai prezzi delle materie prime, dai costi di progetto ovvero da una somma di costi e ricavi che possono mutare nel tempo.

Si effettua dunque una valutazione economica-finanziaria del progetto con i metodi utilizzati per la valutazione degli investimenti che identificano gli indicatori:

- ROI
- VAN(K)
- IRR
- PBP

Metodo del ritorno dell'investimento (Return of Investment -ROI)

Basato sul calcolo della redditività del capitale investito nel progetto, l'indicatore rappresenta efficienza economica del progetto.

$$ROI = \frac{\text{Ricavo del progetto} - \text{Costo del progetto}}{\text{Costo del progetto}} \quad (16)$$

Dato dall'impatto del progetto sul risultato aziendale al netto delle imposte e degli oneri finanziari.

Il criterio decisionale prevede se il $ROI > 0$ il progetto è sostenibile, se il $ROI < 0$ il progetto è da scartare.

Metodo del valore attuale netto (Net Present Value)

Basato sul calcolo della somma di tutti i flussi di cassa (positivi e negativi) generati dal progetto e dal prodotto/servizio generato, attualizzati all'anno zero (anno di avvio del progetto).

$$VAN(k) = \sum_{k=0}^n \frac{F(k)}{(1+i)^k} \quad (17)$$

Il criterio decisionale prevede che se il $VAN > 0$ il progetto crea ricchezza ed è sostenibile, $VAN < 0$ il progetto non è sostenibile.

L'altro indicatore esaminato è il **Tasso interno di redditività (TIR)** o Internal Rate of Return che rappresenta il tasso di interesse per cui il valore attuale degli investimenti è uguale al costo degli investimenti.

Metodo del tempo di ritorno (Pay Back Period)

Valuta il tempo che impiegano i flussi di cassa positivi determinati dal progetto a ripagare l'investimento nel progetto stesso. Il tempo di ritorno è determinato calcolando il valore attuale netto del progetto anno per anno fino ad individuare l'anno in cui si passa dal valore negativo al valore positivo.

Stabilito un tempo di ritorno massimo del progetto PBP_{max} il progetto è sostenibile se il $PBP < PBP_{max}$ e si ripaga entro il tempo massimo consentito. Se $PBP > PBP_{max}$ il progetto non è sostenibile.

4.2.4 Fase di controllo

La metodologia si conclude con la fase di controllo dei dati ottenuti in fase di valutazione. Viene analizzato se l'indicatore ha riportato dei valori positivi di sostenibilità e di che tipo. Viene analizzata l'influenza che questo indicatore ha nei confronti degli altri e suggerite delle azioni.

Le azioni possono suggerire analisi di sensitività o di scenario oppure possono essere misure da intraprendere nel processo decisionale.

5. IL CASO DI STUDIO

Il caso di studio in esame è il progetto di uno dei parchi eolici presentati al MISE nel corso del 2022 e attualmente in corso di procedimento di Valutazione di Impatto Ambientale

5.1 Fase Iniziale

Il parco eolico è di iniziativa privata, con capitali della ditta convenzionalmente indicata come Energy plus S.r.l. (per privacy), è costituito da 11 turbine eoliche con potenza nominale totale di 66 MW e 155,5 GWh/anno di energia elettrica prodotta, corrispondenti ad un fattore di utilizzazione del 26,9%. L'energia prodotta dal parco eolico consentirà la non emissione di 74,000 tonnellate di CO₂ ogni anno.

Le turbine sono localizzate da progetto nei crinali di un'area con destinazione agricola, i terreni saranno presi in affitto dagli agricoltori. Mentre non saranno conferite da progetto altre indennità al territorio se non una fideiussione all'Assessorato all'Industria regionale in fase esecutiva come accantonamento per la fase di dismissione. L'area agricola circostante è caratterizzata dalla coltura del carciofo, ritenuta molto redditizia perché destinata soprattutto all'esportazione.



Figura 46 Individuazione dell'area di impianto

Analisi del progetto

L'area effettiva occupata è di circa 35.000 m², mentre le turbine saranno distanziate tra loro di 900 m. Il parco eolico seguirà l'orografia del terreno, quindi le strade di accesso alle turbine seguiranno le strade di campagna esistenti. Verranno limitati i movimenti di terra per l'elettrodotto e per gli edifici accessori come cabine e locali di servizio. La scelta di turbine con un'altezza del mozzo così elevata e le dimensioni del rotore consentono di avere pochi elementi nel territorio, minori opere di fondazione e di conseguenza minore impermeabilizzazione del suolo.

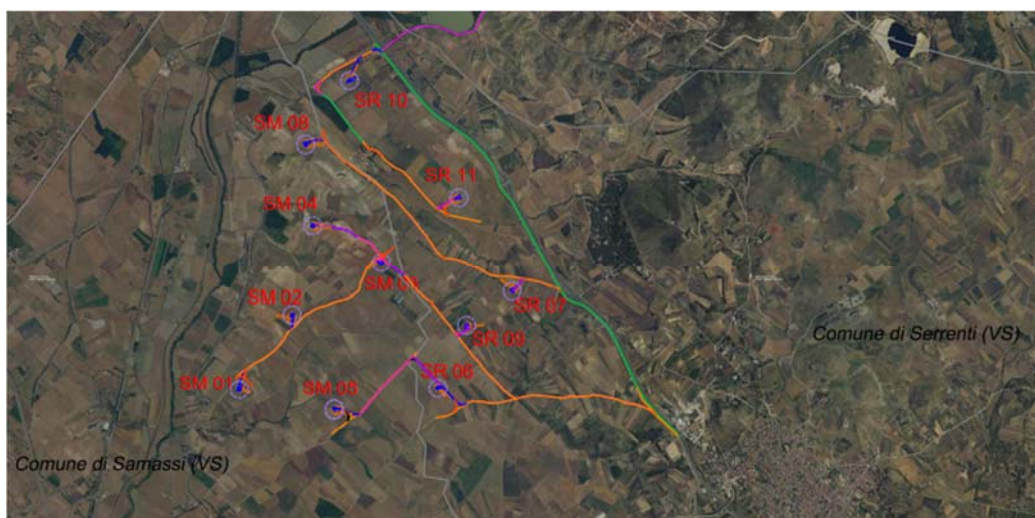


Figura 47 Individuazione del sito in esame e degli aerogeneratori su ortofotocarta

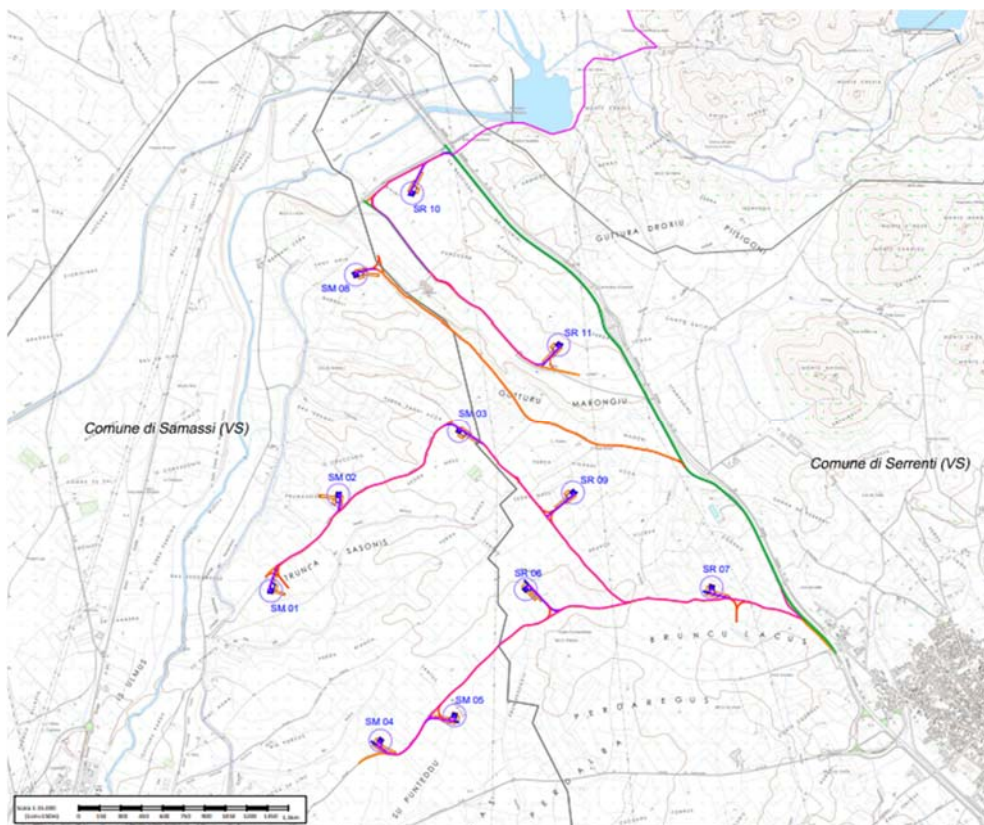
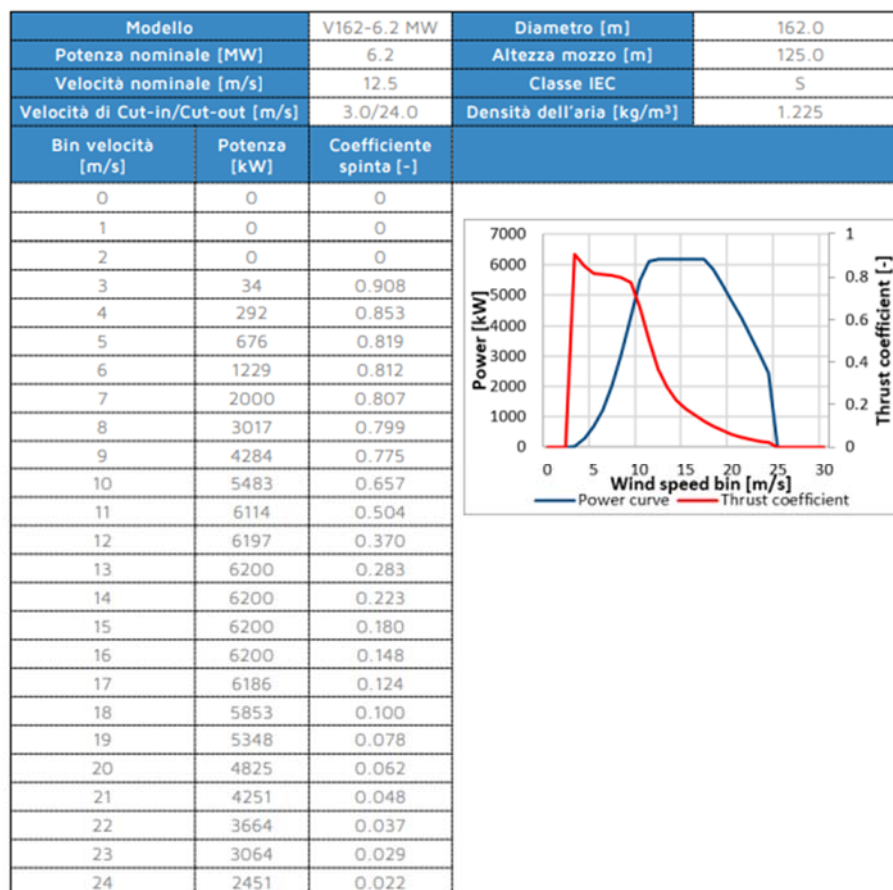


Figura 48 Inquadramento parco eolico su CTR

Le turbine previste dal progetto sono le Vestas V162 di recente generazione, con una potenza unitaria di 6 MW. L'altezza del mozzo è di 125m e il diametro del rotore è di 162 m. Le pale sono realizzate in resina epossidica rinforzate con fibra di vetro.

La navicella ospita il generatore elettrico, il moltiplicatore di giri e le apparecchiature di comando e controllo idraulico ed elettrico ed è realizzata principalmente in vetroresina e metallo. La torre è un tronco conico in acciaio.



Tab. 4 - Vestas V162-6.2 MW

Figura 49 Curve di potenza della turbina V162-6.2 con densità d'aria standard di 1.225 kg/m³ e adattate secondo IEC 61400-12

Il rumore prodotto dalle turbine ad una distanza di 500 m è stato calcolato minore di 30 dBA, assimilabile al rumore di fondo di una città. Inoltre, l'elevata distanza tra le turbine riduce il rumore globale. Gli insediamenti abitativi più vicini Samassi e Serrenti saranno rispettivamente a 1,2 e 1,3 km.

La distanza tra le turbine influisce anche sugli effetti di sfarfallio delle ombre (Shadow flicker). Il movimento delle pale, infatti, interrompe l'ombra della luce solare generando un fastidioso sfarfallio. L'area di sfarfallio dell'ombra è determinata dalla distanza dalla turbina, dalla posizione geografica, dall'ora del giorno, dalla stagione, dalle condizioni meteorologiche, dall'altezza della turbina e dal diametro del rotore. Lo sfarfallio potrebbe determinare un disturbo visivo e un impatto negativo nel suolo.

Le emissioni elettromagnetiche invece saranno limitate perché verranno usate linee elettriche interrato ed elicoidali limitando i campi elettromagnetici solo all'area vicino alla cabina.

Analisi SWOT

Per focalizzare dunque gli elementi del contesto di progetto si ricorre all'analisi SWOT. Nella tabella seguente sono riepilogati i punti di forza e debolezza interni al progetto, le opportunità e i rischi/minacce provenienti dall'esterno.

	utile	pericoloso
Origine interna	S (forze)	W (debolezze)
	Uso di tecnologie innovative e materiali riciclabili. Profitto per il promotore. Uso ridotto di territorio per la dimensione delle turbine.	Progetto non condiviso col territorio. Impatti del progetto come rumore, ombreggiamento, modifica dello skyline. Conversione di terreni agricoli in terreni industriali. Aree con prevalente vocazione di coltura del carciofo.
Origine esterna	O (opportunità)	T (minacce)
	Produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile. Minore produzione di CO ₂ . Uso di suoli non utilizzati. Possibilità di costruzione di CER (comunità energetiche rinnovabili) per un costo minore dell'energia elettrica per la comunità vicina.	Non accettazione del progetto dalla comunità locale. Vincoli normativi. Aumento dei costi di costruzione dovuti all'aumento delle tempistiche di realizzazione e dei costi del materiale.

Figura 50 Analisi SWOT del contesto

Questionario

E' stato somministrato alla comunità appartenente all'ambito di progetto (centri di Serrenti, Samassi, Villacidro) un questionario denominato "Questionario sull'ambiente di vita" costruito per lo specifico caso di studio. (APPENDICE 1) che comprende 20 domande generali sulle condizioni abitative e le percezioni dell'intervistato. Per evitare risposte inutili, sono stati fatti tutti i tentativi di mascherare gli scopi del questionario per evitare, ad esempio, l'aspettativa che lo studio si concentrasse su uno specifico progetto. Sono stati menzionati i rumori e gli abbagliamenti percepiti sia dalle turbine eoliche, dagli impianti agrivoltaici sia dal traffico stradale. Altresì sono state inserite le percezioni di visibilità, ombreggiamento, consumo di suolo, senso di appartenenza del territorio e profitto. I punteggi vengono assegnati in una scala da 1 a 5 e verranno utilizzati nella procedura di validazione degli indicatori.

Sono state raccolte 79 risposte presso le comunità locali vicine ai progetti presentati al MISE.

1. Che tipo di attività svolgi abitualmente?

79 risposte

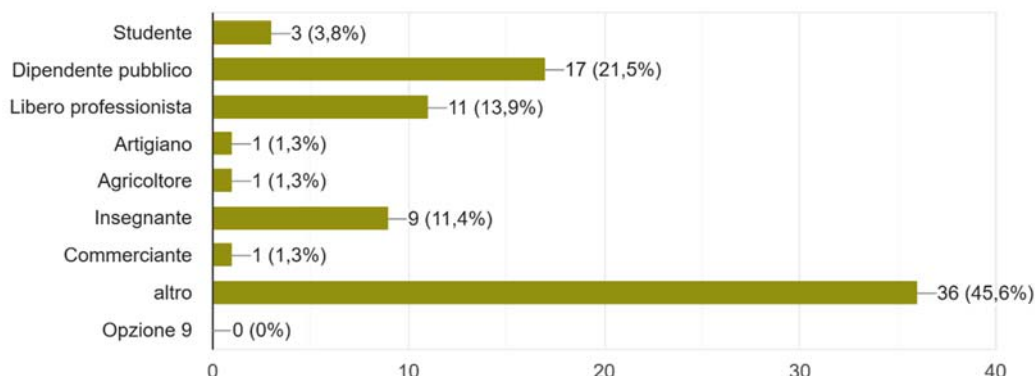


Figura 51 Composizione del campione che ha risposto al questionario

Le comunità che hanno partecipato sono residenti in zone agricole e dal questionario emerge come la trasformazione edificatoria del territorio e l'inquinamento delle vie di comunicazione destano maggiore preoccupazione rispetto alla presenza di impianti di energie rinnovabili. L'elemento di disturbo maggiormente percepito nel paesaggio è costituito dalle linee aeree di AT e MT che tagliano il territorio. Mentre le turbine eoliche se presenti sono sempre percepite come lontane e non costituiscono al deprezzamento dei propri immobili.

8. Quanto sei soddisfatto delle caratteristiche della tua zona?

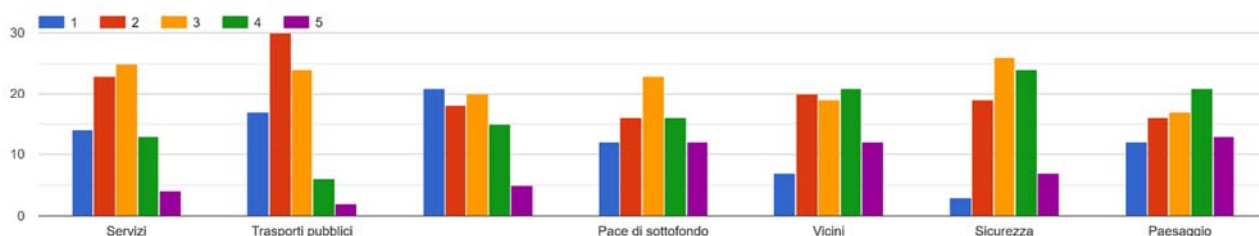


Figura 52 Domanda 8 questionario analisi del contesto

10. Secondo te alcune caratteristiche della tua zona influiscono sul valore della tua proprietà?

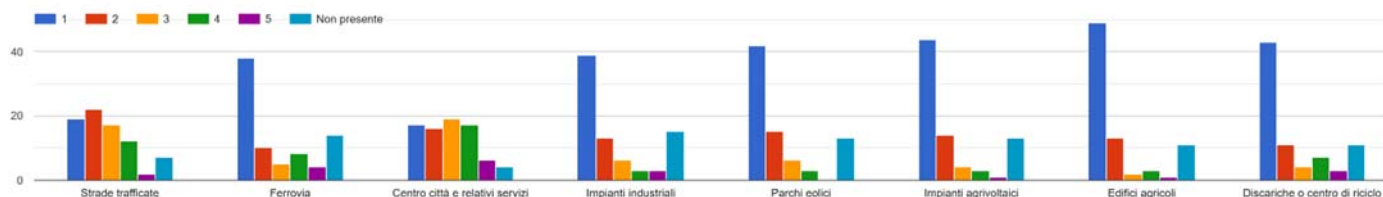


Figura 53 Domanda 10 questionario accettabilità impianti FER

La realizzazione di impianti FER è vista come un beneficio per il territorio come il potenziamento delle infrastrutture di collegamento, legato alla diminuzione di importazione di energia dall'esterno, al minore consumo dei combustibili fossili.

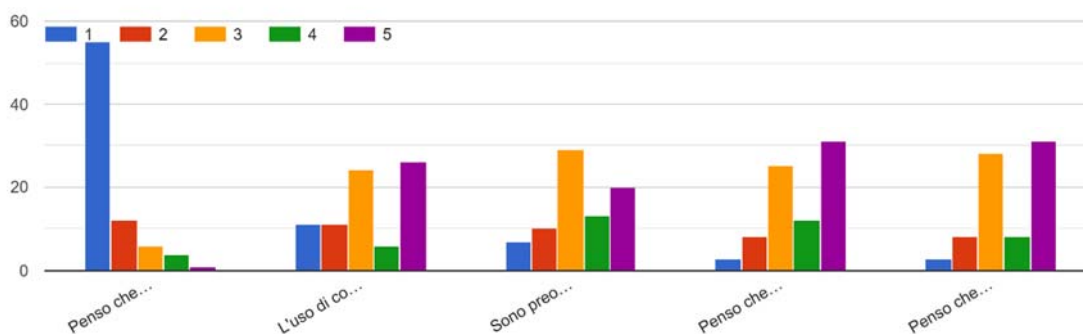
13. Percepisci che la tua comunità acquisisce benefici da questi progetti realizzati fuori dalla tua zona?



Figura 54 Domanda 13 questionario - benefici

Mentre non si rileva la preoccupazione per il rumore delle turbine eoliche o per l'abbagliamento dei parchi agrivoltaici, l'attenzione è posta verso la diminuzione del costo dell'energia per le comunità, le fasi di dismissione degli impianti, la presenza di componenti riciclabili nei nuovi impianti FER.

15. Valuta quanto sei d'accordo con le seguenti dichiarazioni relative alla produzione di energia



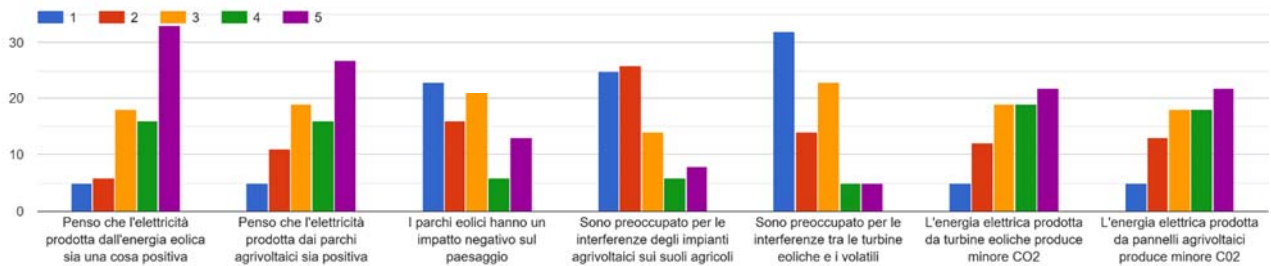
15. Valuta quanto sei d'accordo con le seguenti dichiarazioni relative alla produzione di energia

Affermazione 1	Affermazione 2	Affermazione 3	Affermazione 4	Affermazione 5
Penso che l'energia solare non sia conveniente economicamente	L'uso di combustibili fossili importati dall'estero dovrebbe essere diminuito per aumentare l'autosufficienza energetica dell'Italia	Sono preoccupato per gli effetti negativi creati dall'uso dei combustibili fossili nell'aria	Penso che se gli impianti di energia rinnovabile portassero alla diminuzione del costo dell'energia nel mio territorio sarebbero un'opportunità	Penso che sia importante valutare la quantità di materiale riciclabile presente nei nuovi impianti di energie rinnovabili o la quantità riutilizzabile dopo la loro dismissione

Figura 55 Domanda 15 questionario - diminuzione del costo dell'energia

L'energia elettrica prodotta dai parchi eolici sembra comportare maggiore consenso rispetto a quella prodotta dai parchi agrivoltaici, mentre le interferenze rispetto al paesaggio si invertono. Ma nella maggior parte delle risposte la comunità sembra indifferente agli impatti negativi sul territorio.

16. Valuta le seguenti affermazioni



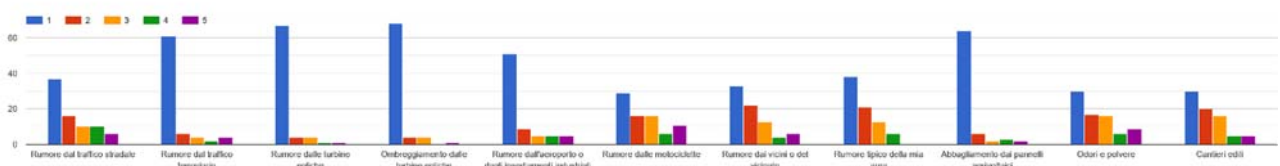
16. Valuta le seguenti affermazioni

Affermazione 1	Affermazione 2	Affermazione 3	Affermazione 4	Affermazione 5	Affermazione 6	Affermazione 7
Penso che l'elettricità prodotta dall'energia eolica sia una cosa positiva	Penso che l'elettricità prodotta dai parchi agrivoltaici sia positiva	I parchi eolici hanno un impatto negativo sul paesaggio	Sono preoccupato per le interferenze degli impianti agrivoltaici sui suoli agricoli	Sono preoccupato per le interferenze tra le turbine eoliche e i volatili	L'energia elettrica prodotta da turbine eoliche produce minore CO2	L'energia elettrica prodotta da pannelli agrivoltaici produce minore CO2

Figura 56 Domanda 16 questionario - Impatti

Il rumore non è percepito in maniera marcata così come l'abbagliamento degli impianti agrivoltaici come emerge dalla domanda 17.

17. Quanto ti disturbano o ti infastidiscono i seguenti fattori ambientali quando trascorri del tempo nella tua casa? Pensa agli ultimi 12 mesi



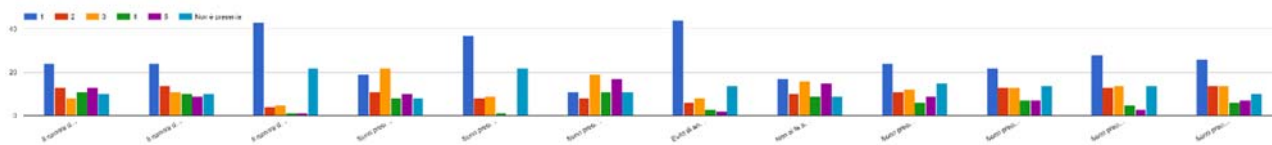
17. Quanto ti disturbano o ti infastidiscono i seguenti fattori ambientali quando trascorri del tempo nella tua casa? Pensa agli ultimi 12 mesi

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Rumore dal traffico stradale	Rumore dal traffico ferroviario	Rumore dalle turbine eoliche	Ombreggiamento o dalle turbine eoliche	Rumore dall'aeroporto o dagli insediamenti industriali	Rumore dalle motocicletture	Rumore dai vicini o del vicinato	Rumore tipico della mia area	Abbagliamento o dai pannelli agrivoltaici	Odori e polveri	Cantieri edili

Figura 57 Domanda 17 Fastidio da impatti ambientali provocati da attività

Si evince quindi una favorevole accettazione dei parchi eolici accompagnati però dal coinvolgimento delle comunità e dai benefici economici per i minori costi sull'energia indotti dai nuovi impianti.

20. Valuta quanto sei d'accordo sulle seguenti affermazioni in merito ai possibili disagi della tua zona



20. Valuta quanto sei d'accordo sulle seguenti affermazioni in merito ai possibili disagi della tua zona

Affermazione 1	Affermazione 2	Affermazione 3	Affermazione 4	Affermazione 5	Affermazione 6
Rumore dal traffico stradale	Il rumore del traffico stradale influisce quando passo il mio tempo in balcone o in giardino	Il rumore delle turbine eoliche influisce se trascorro del tempo nel mio balcone o nel mio giardino	Sono preoccupato dei possibili effetti negativi sulla salute del traffico stradale	Sono preoccupato dei possibili effetti negativi sulla salute del rumore delle turbine eoliche	Sono preoccupato per la salute per gli effetti delle emissioni di particolato del traffico stradale
Affermazione 7	Affermazione 8	Affermazione 9	Affermazione 10	Affermazione 11	Affermazione 12
Evito di andare nelle zone dove sono installati dei parchi eolici perché non mi sento al sicuro	Non si fa abbastanza per l'abbattimento del rumore da traffico stradale	Sono preoccupato per i possibili effetti negativi che si genereranno dopo la dismissione di un parco eolico	Sono preoccupato per i possibili effetti negativi che si genereranno dopo la dismissione di un parco agrivoltaico	Sono preoccupato per le alterazioni visuali del mio territorio per la costruzione di una nuova infrastruttura viaria	Sono preoccupato per le alterazioni visuali del mio territorio se fosse costruito un parco eolico

Figura 58 Domanda 20 - Inserimento nuovi parchi eolici nel territorio

Il questionario è uno degli strumenti utilizzati per la determinazione dei pesi da assegnare nella matrice per il confronto a coppie tra stakeholder e indicatori utilizzata nella fase di pianificazione.

5.2 Fase di pianificazione

Analisi degli stakeholder

Gli stakeholder del caso di studio in esame sono così identificati:

	Stakeholder	Obiettivo	Coinvolgimento
A	Energy plus Srl	Investor	Guida
B	Project Team	Provider	Guida
C	University	Influencer	Favorevole
D	Energy buyers	Purchaser	Favorevole
E	Regional Administration	Influencer	Neutro
F	Local administrations	Influencer	Neutro
G	Landowners	Investor	Favorevole
H	Farmer association	Influencer / Purchaser	Inconsapevole /favorevole
I	Farmers	Influencer / Purchaser	Inconsapevole /favorevole
L	Local community	Influencer	Inconsapevole
M	Environmental associations	Influencer	Inconsapevole

Figura 59 Individuazione degli stakeholder in base all'interesse

L'interesse e il potere degli stakeholder nei confronti del progetto sono riportati nella **griglia potere/interesse** secondo una scala alto/basso che li identifica in base al loro ruolo in marginali, operativi e istituzionali e chiave.

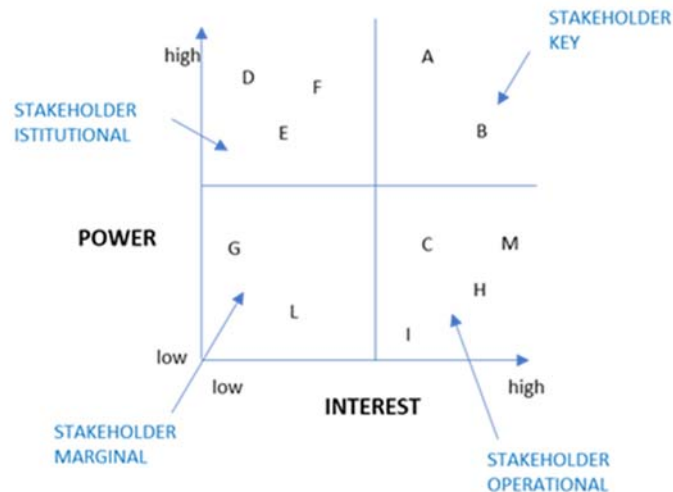


Figura 60 Griglia stakeholder potere/interesse

Il promotore Energy Plus Srl ha un ruolo chiave perché portatore delle decisioni e degli investimenti, così come il team di progetto. Le amministrazioni comunali, la Regione, il ministero avranno un ruolo istituzionale perché dalle loro autorizzazioni dipende la realizzabilità del progetto. Non sono chiave perché non hanno il potere finanziario. I proprietari terrieri hanno un basso potere nell'iniziativa e anche un scarso interesse se non quello di percepire un affitto per l'uso dei loro terreni, ma non hanno un alto potere di trattativa perché i terreni sono tanti e il prezzo di locazione di mercato si abbassa. Gli agricoltori circostanti e le comunità locali hanno un basso potere nell'iniziativa ma hanno un alto interesse legato alla trasformazione del loro territorio e possono costituire motivo ostativo o di non accettabilità del progetto oppure potrebbero trarre vantaggio acquistando ad un prezzo calmierato l'energia prodotta.

Identificazione mediante validazione degli indicatori di sostenibilità KPIs

Gli indicatori ricavati dalla letteratura e provenienti dai risultati del questionario sono riportati nella matrice a coppie dove sono esplicitati i pesi che ogni stakeholder attribuisce all'impatto.

		LAND USE	VISUAL IMPACT	CO ₂	NOISE	AGRICULTURAL AND LAND OCCUPATION	PROFITABILITY	RENEWABLE ENERGY TO COMMUNITY	PRODUCTION RENEWABLE ENERGY	SHADOW FLICKERS	LOCAL EMPLOYMENTS	ENGAGEMENT WITH COMMUNITY	SUSTAINABLE OR ECO-FRIENDLY PRODUCT	USE NON RENEWABLE ENERGY	CLIMATE CHANGE	HUMAN RESOURCES AND RIGHT	STAKEHOLDER COLLABORATION	OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY	WASTE	INCREASE OF CUSTOMERS
A	Energy Plus srl	2	2	3	3	1	5	2	5	2	2	2	5	1	4	2	2	2	5	4
B	Project Team	3	3	5	3	2	5	2	5	3	3	3	5	5	5	3	4	3	4	4
C	University	3	3	5	3	3	2	4	5	3	3	4	5	5	5	4	4	3	3	1
D	Energy buyers	1	1	5	1	1	5	1	5	1	1	3	5	4	2	1	1	1	1	5
E	Regional administration	3	3	5	3	3	4	3	5	1	4	2	2	5	5	3	3	4	5	2
F	Local administrations	5	5	3	5	5	5	5	3	3	5	5	2	2	3	2	3	3	5	2
G	Landowners	5	2	3	4	2	5	2	5	5	1	1	1	1	3	2	1	1	5	1
H	Farmer association	3	1	5	4	5	1	2	2	5	4	2	5	2	5	3	1	2	1	1
I	Farmers	1	1	5	3	3	5	5	4	4	3	2	3	5	5	3	3	3	1	1
L	Local community	3	1	5	2	2	3	5	5	1	5	5	5	5	5	5	3	4	5	3
M	Environmental association	4	5	5	5	5	3	5	5	5	3	5	5	5	5	3	5	3	4	2
		0,60	0,49	0,89	0,65	0,58	0,78	0,65	0,89	0,60	0,62	0,62	0,78	0,73	0,85	0,56	0,55	0,53	0,71	0,47

Figura 61 Rappresentazione Matrice gerarchica pesi stakeholder-indicatori con dati oggettivi raccolti

Per discretizzare gli indicatori sottoposti agli stakeholder ed individuare gli impatti maggiormente percepiti si applica l'indice SI:

$$Severity Index (SI) = \frac{\left(\sum_{i=1}^5 \omega_i * \frac{f_i}{n} * 100\right)}{\alpha * 100} \quad (18)$$

Dove ω_i è il peso di ciascuna risposta, f_i è la frequenza della risposta; n è il numero totale degli stakeholder and α è il peso più alto assegnato (in questo caso $\alpha = 5$).

I risultati dell'analisi sono rappresentati in forma grafica attraverso un radar graph per ogni categoria di indicatori ambientali, sociali ed economici. Vengono assunti come indicatori quelli che superano lo 0,50 di punteggio escludendo gli altri.

L'innovazione della ricerca è che gli indicatori sono scelti dagli stakeholder. Quindi è la componente sociale che sceglie come valutare la sostenibilità.



Figura 62 Radar graph Severity Index Analysis per le tre categorie di indicatori

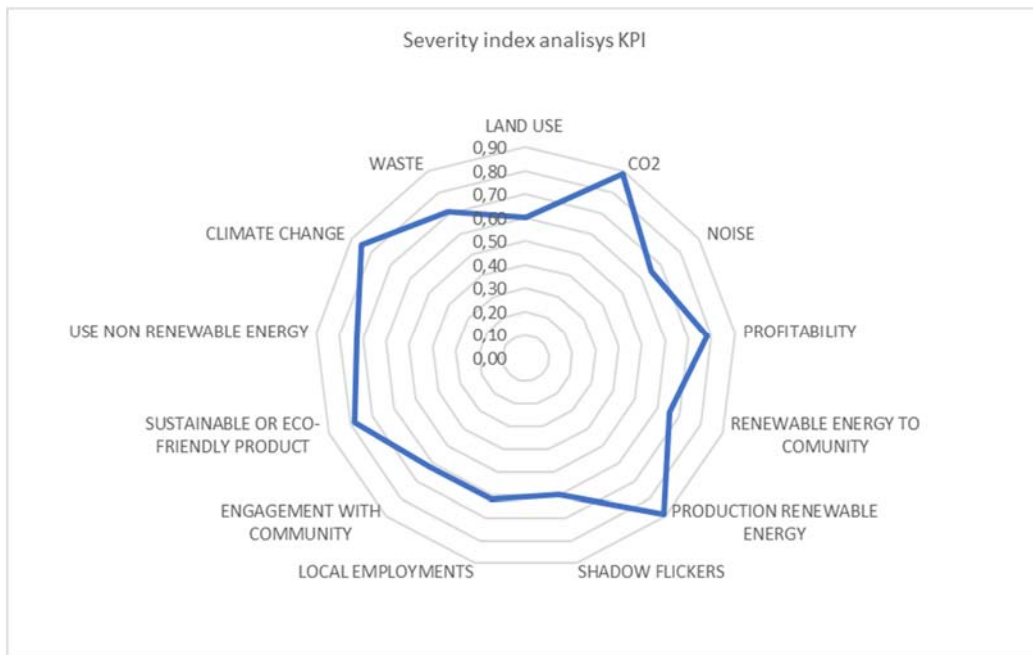


Figura 63 Severity index rappresentazione dei KPIs per la valutazione del progetto

I KPIs individuati con la Severity Index analysis sono Land Use, diminuzione dei consumi di CO₂, minori consumi di energia non rinnovabile, attenzione verso i cambiamenti climatici, attenzione verso la produzione di rifiuti in campo ambientale, percezione del rumore, aumento di energia rinnovabile per l'uso della comunità, posti di lavoro, ombreggiamento dato dalle pale degli aerogeneratori, uso di prodotti riciclabili per quello sociale e profitto indotto dal nuovo impianto, produzione di energia rinnovabile come valore monetizzabile per quello economico.

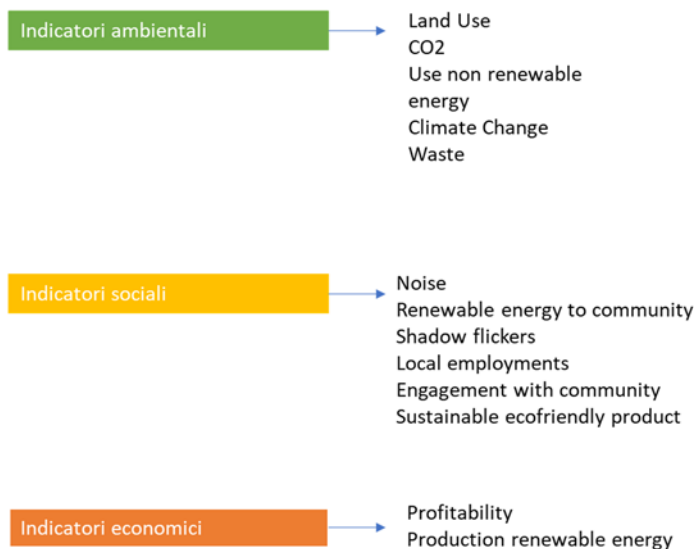


Figura 64 Identificazione KPIs

5.3 Fase di Valutazione

La fase di valutazione valuta la sostenibilità del progetto rispetto ad ogni indicatore determinato dalla validazione. Si inizia con la valutazione delle relazioni che intercorrono tra gli indicatori e i condizionamenti reciproci. Ogni indicatore è valutato con la sua metodologia come descritto di seguito.

- ✓ Land use
- ✓ Minore consumo di CO₂
- ✓ Use non renewable energy
- ✓ Climate change
- ✓ Waste
- ✓ Sustainable ecofriendly product
- ✓ Noise
- ✓ Shadow flickers
- ✓ Local employments
- ✓ Engagement with community
- ✓ Renewable energy to community
- ✓ Profitability
- ✓ Production renewable energy

Network analysis

L'analisi relativa ai rapporti tra gli indicatori scelti nel caso di studio in esame può essere portata avanti seguendo le indicazioni di Yip WS.⁵⁴ . I nodi sono rappresentati dagli indicatori, le rette sono le relazioni unidirezionali che intercorrono tra loro come riportato nella tabella seguente.

SOURCEi	TARGET	TYPE
9 - Engagement	4 - Waste	Directed
9 - Engagement	3 - Climate change	Directed
9 - Engagement	2 - Use non renewable energy	Directed
9 - Engagement	1 - CO ₂	Directed
9 - Engagement	0 - Land use	Directed
8 - Local employment	9 - Engagement	Directed
8 - Local employment	10 - Profitability	Directed
7 - Shadow flickers	11 - Production renewable energy	Directed
7 - Shadow flickers	9 - Engagement	Directed
7 - Shadow flickers	3 - Climate change	Directed
7 - Shadow flickers	1 - CO ₂	Directed
7 - Shadow flickers	0 - Land use	Directed

6 - Noise	11 - Production renewable energy	Directed
6 - Noise	1 - CO2	Directed
6 - Noise	9 - Engagement	Directed
5 - Sustainable ecofriendly product	11 - Production renewable energy	Directed
5 - Sustainable ecofriendly product	10 - Profitability	Directed
5 - Sustainable ecofriendly product	2 - Use non renewable energy	Directed
5 - Sustainable ecofriendly product	0 - Land use	Directed
5 - Sustainable ecofriendly product	1 - CO2	Directed
4 - Waste	10 - Profitability	Directed
4 - Waste	3 - Climate change	Directed
4 - Waste	1 - CO2	Directed
3 - Climate change	11 - Production renewable energy	Directed
1 - CO2	10 - Profitability	Directed
1 - CO2	4 - Waste	Directed
1 - CO2	2 - Use non renewable energy	Directed
0 - Land use	11 - Production renewable energy	Directed
0 - Land use	1 - CO2	Directed
0 - Land use	3 - Climate change	Directed
0 - Land use	4 - Waste	Directed
9 - Engagement	8 - Local employment	Directed
9 - Engagement	10 - Profitability	Directed
9 - Engagement	11 - Production renewable energy	Directed
9 - Engagement	12 - % renewable energy to community	Directed
12 - % renewable energy to community	1 - CO2	Directed
12 - % renewable energy to community	2 - Use non renewable energy	Directed
12 - % renewable energy to community	3 - Climate change	Directed
12 - % renewable energy to community	4 - Waste	Directed
12 - % renewable energy to community	10 - Profitability	Directed
10 - Profitability	0 - Land use	Directed
10 - Profitability	11 - Production renewable energy	Directed
11 - Production renewable energy	0 - Land use	Directed
11 - Production renewable energy	1 - CO2	Directed
11 - Production renewable energy	2 - Use non renewable energy	Directed
11 - Production renewable energy	3 - Climate change	Directed
11 - Production renewable energy	4 - Waste	Directed
11 - Production renewable energy	6 - Noise	Directed
11 - Production renewable energy	7 - Shadow flickers	Directed
11 - Production renewable energy	8 - Local employment	Directed
11 - Production renewable energy	10 - Profitability	Directed

Figura 65 Relazioni tra indicatori – tabella di assegnazione

Le elaborazioni sono effettuate con il software open source Gephi 0.9.7. Gli indicatori sono confrontati a coppie e sono collegati in modo unidirezionale in base al loro grado di influenza reciproco come riportato nella figura precedente dove si vede la rete e la tabella di assegnazione. Si ottengono 11 nodi e 50 archi di

collegamento. Non sono assegnati pesi. La rappresentazione di base denominata Degree rappresenta i nodi e gli archi individuati. La dimensione del diametro indica il numero di relazioni con gli altri nodi.

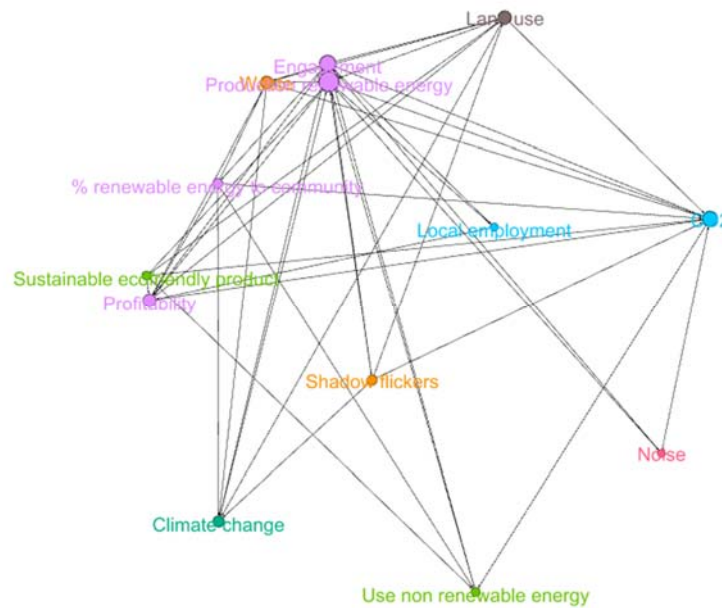


Figura 66 Network analysis – Degree- indicatori ambientali, sociali ed economici del caso di studio

Eseguendo una analisi “network diameter” è possibile rappresentare con l’analisi in-degree gli indicatori maggiormente influenzati: Production renewable energy, Profitability, CO₂, Climate change, Use non renewable energy e land use dagli altri indicatori. Il raggiungimento di quell’obiettivo è strettamente legato agli altri che possono determinare il non raggiungimento dello scopo del progetto: il profitto e la produzione di energia rinnovabile. Anche la minore produzione di CO₂, i cambiamenti climatici e l’uso del suolo risultano mediamente influenzati.

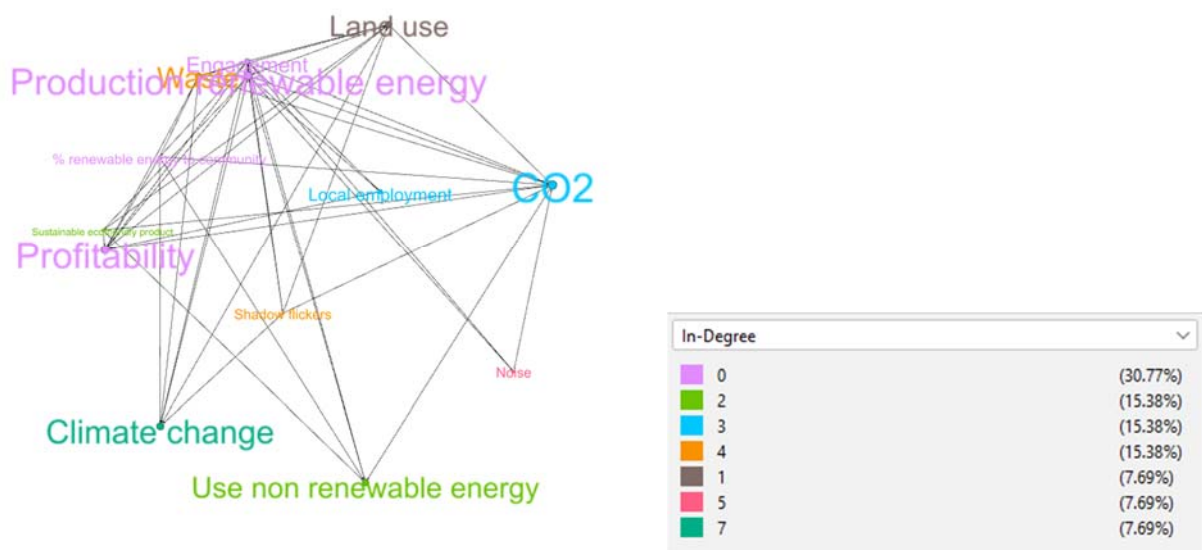


Figura 67 In degree

Gli indicatori che invece maggiormente influenzano gli altri secondo l'analisi out degree sono: Engagement, Production renewable energy. A seguire Sustainable ecofriendly product, Shadow flickers e % renewable energy to community.

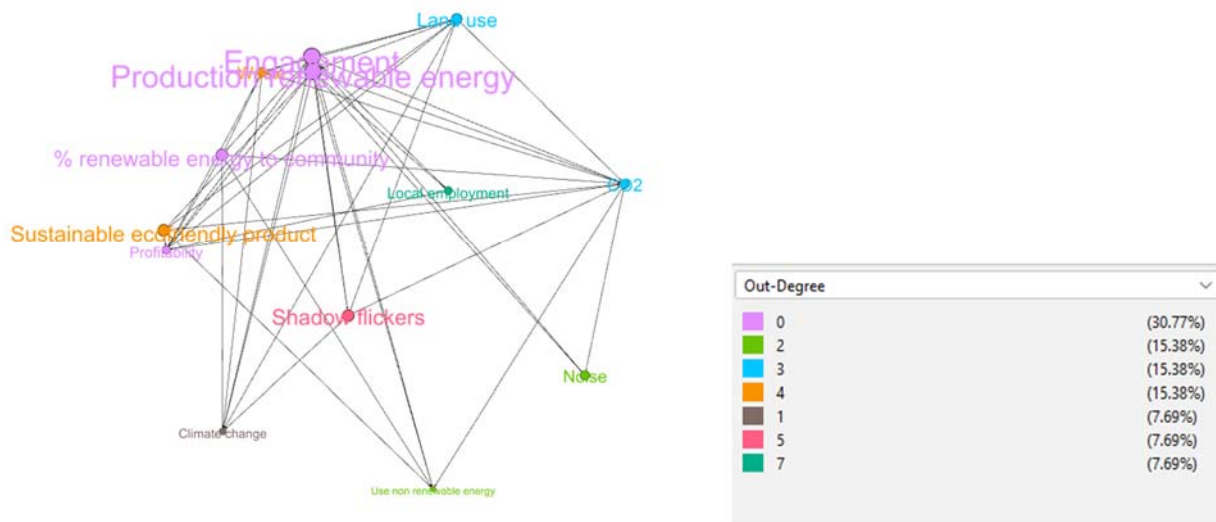


Figura 68 OUT degree

Calcolando la **closeness centrality** C_c che si basa sulla distanza geodetica $d(n_i, n_j)$ tra due nodi, ed è espressa come la lunghezza più breve del percorso tra il nodo n_i e il nodo n_j .

$$C_c(n_i) = \left[\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j) \right]^{-1} \quad (19)$$

dove $\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j)$ è la distanza totale del nodo n_i connesso con gli altri nodi e la **Betweenness centrality** C_B determinata da

$$C_B(n_i) = \sum_{j < k} \frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}} \quad (20)$$

dove g_{jk} è il numero totale di connessioni geodetiche tra due nodi, $g_{jk}(n_i)$ è il numero di connessioni geodetiche incluso il nodo n_i . Si ottengono le rappresentazioni seguenti che indicano invece quegli indicatori che sono facilitatori per la riuscita del progetto o sono mediatori tra le parti. Il rapporto non è letto tra i nodi direttamente adiacenti ma tra quelli lontani.

In particolare la Betweenness centrality misura quante volte un nodo appare nei percorsi più brevi tra i nodi della rete ovvero quegli elementi ricorrenti che sono definiti mediatori. L'indicatore che ritorna è Production renewable energy seguito da Profitability e Engagement. Quelli che variano sono gli altri indicatori che hanno meno facilità ad essere mediatori e si presentano con diametro al nodo inferiore rispetto all'analisi in-degree.

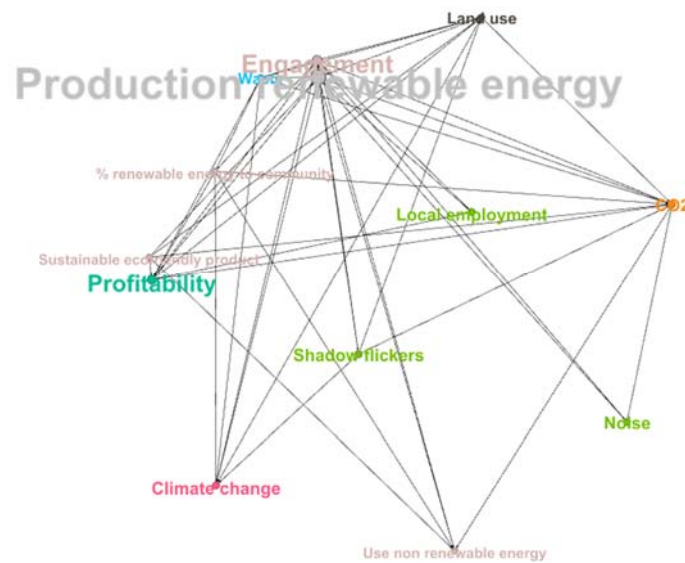


Figura 69 Betweenness centrality

Nella Closeness sono gli indicatori che maggiormente possono contrallare i nodi non adiacenti, Emerge un dato rilevante che tutti gli indicatori possono influenzare i nodi non adiacenti. Possiamo parlare di una stretta dipendenza tra gli indicatori.

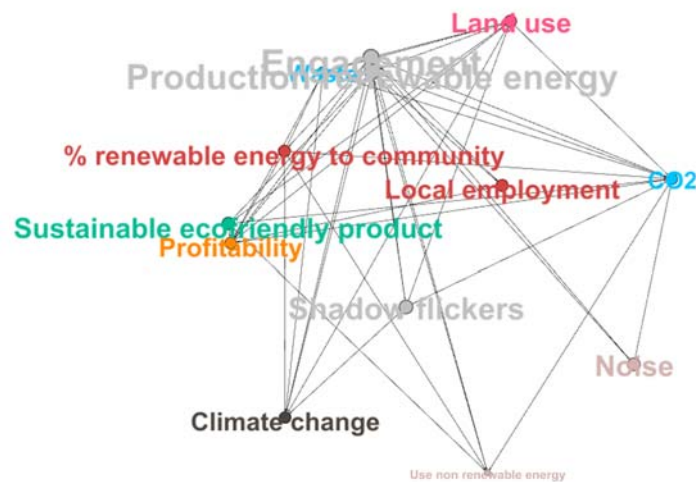


Figura 70 Closeness Centrality

Il risultato di queste analisi focalizza l'influenza e il ruolo degli indicatori a seconda del punto di vista che vogliamo esaminare nel progetto: lo scopo, gli elementi che influiscono nella sua realizzazione e gli elementi oggettivi che servono alla quantificazione della sostenibilità del progetto.

Gli Indicatori ambientali

L'analisi delle prestazioni energetiche e ambientali del parco eolico è stata effettuata utilizzando la metodologia di valutazione del ciclo di vita (LCA).

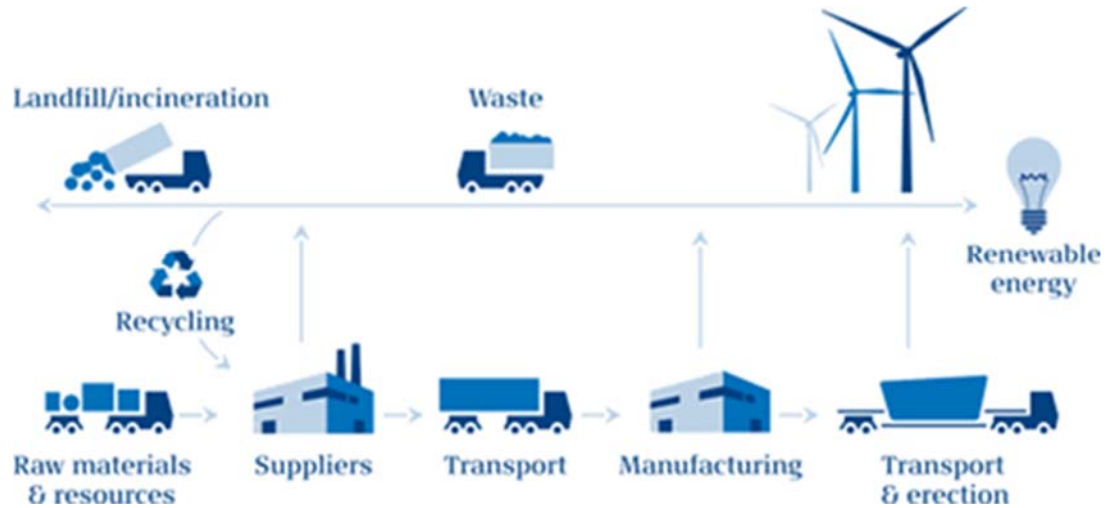


Figura 71 Ciclo di vita di un aerogeneratore

La metodologia LCA si basa sulle linee guida ISO 14040 e 14044 e consente di valutare l'impatto ambientale (utilizzo di energia e materiali, nonché le emissioni inquinanti) di un prodotto lungo tutto il suo ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime, alla produzione, uso e smaltimento finale. La definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione, i confini del sistema e le ipotesi dello studio sono descritti di seguito. In particolare, l'analisi mira a valutare l'impatto ambientale connesso alla costruzione e all'esercizio del parco eolico. L'impianto è progettato per produrre energia elettrica e pertanto l'unità funzionale scelta per lo studio LCA è 1 kWh di energia elettrica prodotta dal parco eolico. L'analisi attributiva del ciclo di vita è stata sviluppata utilizzando SimaPro 9.11.7, software e dati dalla letteratura e dal database Ecoinvent 3.7.

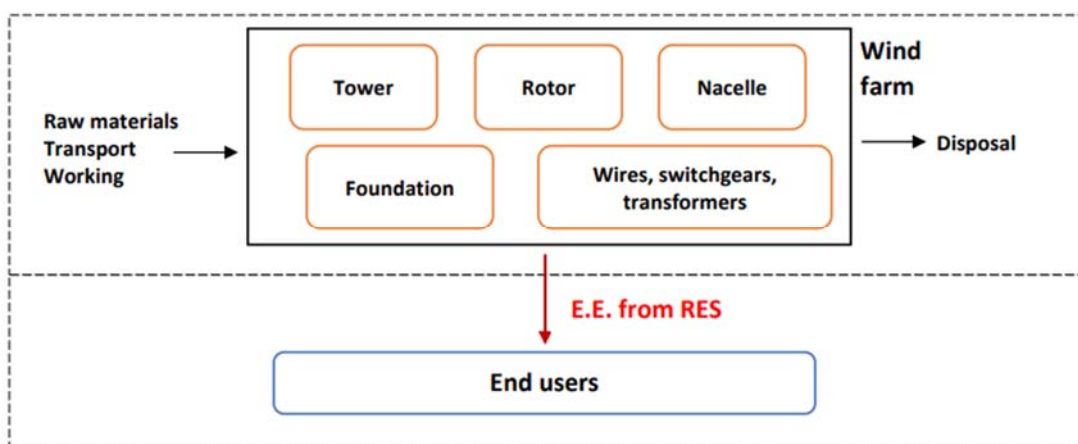


Figura 72 Confini del sistema per l'analisi LCA

La Figura precedente mostra i confini del sistema. Il parco eolico è composto da 11 aerogeneratori, ciascuno costituito da una torre, un rotore, una navicella e una fondazione, cavi, quadri elettrici e trasformatori. Al fine di valutare l'impatto ambientale del sistema, sono stati definiti i flussi di materia ed energia relativi all'intero ciclo di vita di tutti i componenti. Il ciclo di vita inizia dall'estrazione delle materie prime e termina con lo smaltimento dei componenti. Il riciclo dei materiali è stato ipotizzato per i metalli più comuni, quali acciaio, alluminio e rame. Inoltre, è stato preso in considerazione l'impatto della fase di trasporto delle turbine eoliche. Il parco eolico è modellato secondo i dati pubblicati da Vestas e da A. Schreiber et al.⁵¹. L'inventario tiene conto anche dell'occupazione diretta del suolo secondo i dati forniti dai progettisti. Il riciclaggio dei materiali metallici è stato modellato secondo l'approccio dell'"impatto evitato", ovvero un chilogrammo di materiale riciclato consente di sostituire una quantità definita di materiale nuovo equivalente. I rifiuti di acciaio sostituiscono una quantità simile di ghisa, i rifiuti di alluminio vengono fusi per produrre una quantità simile di alluminio secondario. I rifiuti di rame vengono raffinati ("raffinazione al fuoco" e "raffinazione elettrolitica") per rimuovere le impurità secondo C. Jingjing et al.⁵². La valutazione dell'impatto è stata effettuata utilizzando il metodo Impact 2002+ con una suddivisione intermedia (midpoint) in 14 categorie di impatto, riassunte in 4 indicatori di danno: **Human Health** *Salute umana* (cancerogeni, non cancerogeni, organici respiratori, inorganici respiratori, radiazioni ionizzanti, riduzione dello strato di ozono), **Ecosystem quality** *qualità dell'ecosistema* (ecotossicità acquatica, ecotossicità terrestre, acidificazione/eutrofizzazione terrestre, acidificazione acquatica, eutrofizzazione acquatica, occupazione del suolo), **Climate change** cambiamento climatico (riscaldamento globale), **Resources** risorse (energia non rinnovabile, estrazione di minerali).

Definito lo scopo dell'analisi LCA e i confini del processo riportati nella figura precedente si costruisce l'inventario.

RIFERIMENTI
Vestas - Life cycle assessment of electricity delivered from an onshore power plant based on Vestas V82-1.65 MW turbines - 2006
A.Schreiber, J.Marx, P.Zapp – Comparative life cycle assessment of electricity generation by different wind turbine types – Journal of Cleaner Production, 2019
C.Jingjing et al. - Environmental benefits of secondary copper from primary copper based on life cycle assessment in China
Vestas - Life cycle assessment of electricity production from an onshore V136-4.2 MW wind plant – 2019

CAMPO EOLICO - TURBINE					
Unità funzionale inventario: 1 unità di turbina V82-1.65MW					
FATTORE DI SCALA (approssimazione sulla base delle dimensioni)					
Energia prodotta annualmente					
Fattore di scala complessivo					
		2,72	-		
		155,5	GWh		
		1,74937E-08	-		
Materiale	Dataset Ecoinvent	Q (per FU)	Unità	Q effettiva	Unità
Torre	-	-	-	-	-
Steel, low alloyed	Steel, low-alloyed [RER] steel production, converter, low-alloyed APOS, S	1,261E+05	kg/unit	2,206E-03	kg/kWh
Aluminium	Aluminium, primary, ingot [AI Area, EU27 & EFTA] market for APOS, S	2,600E+03	kg/unit	4,548E-05	kg/kWh
Copper	Copper [RER] production, primary APOS, S	1,300E+03	kg/unit	2,274E-05	kg/kWh
Plastic	Polyethylene, high density, granulate [GLO] market for APOS, S	2,000E+03	kg/unit	3,499E-05	kg/kWh
Electronics	Electronics, for control units [GLO] market for APOS, S	2,200E+03	kg/unit	3,849E-05	kg/kWh
Oil	Lubricating oil [RER] market for lubricating oil APOS, S	1,000E+03	kg/unit	1,749E-05	kg/kWh
Acrylic varnish	Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state [RER] market for acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state APOS, S	1,000E+03	kg/unit	1,749E-05	kg/kWh
Sheet rolling, steel	Sheet rolling, steel [RER] processing APOS, S	1,261E+05	kg/unit	2,206E-03	kg/kWh
Sheet rolling, aluminium	Sheet rolling, aluminium [RER] processing APOS, S	2,600E+03	kg/unit	4,548E-05	kg/kWh
Welding, steel	Welding, arc, steel [GLO] market for APOS, S	-	-	3,055E-06	m/kWh
Wire drawing, copper	Wire drawing, copper [RER] processing APOS, S	1,300E+03	kg/unit	2,274E-05	kg/kWh
TOTALE TORRE	-	1,362E+05	kg/unit	2,383E-03	kg/kWh
Navicella	-	-	-	-	-
Cast iron	Cast iron [GLO] market for APOS, S	1,800E+04	kg/unit	3,149E-04	kg/kWh
Steel, unalloyed	Steel, unalloyed [RER] steel production, converter, unalloyed APOS, S	1,300E+04	kg/unit	2,274E-04	kg/kWh
Steel, high alloyed	Steel, chromium steel 18/8 [RER] steel production, converter, chromium steel 18/8 APOS, S	7,800E+03	kg/unit	1,365E-04	kg/kWh
Steel, low alloyed	Steel, low-alloyed [RER] steel production, converter, low-alloyed APOS, S	6,300E+03	kg/unit	1,102E-04	kg/kWh
Fiberglass	Glass fibre reinforced plastic, polyester resin, hand lay-up [GLO] market for APOS, S	1,800E+03	kg/unit	3,149E-05	kg/kWh
Copper	Copper [RER] production, primary APOS, S	1,600E+03	kg/unit	2,799E-05	kg/kWh
Plastic	Polyethylene, high density, granulate [GLO] market for APOS, S	1,000E+03	kg/unit	1,749E-05	kg/kWh
Aluminium	Aluminium, primary, ingot [AI Area, EU27 & EFTA] market for APOS, S	5,000E+02	kg/unit	8,747E-06	kg/kWh
Electronics	Electronics, for control units [GLO] market for APOS, S	3,000E+02	kg/unit	5,248E-06	kg/kWh
Oil	Lubricating oil [RER] market for lubricating oil APOS, S	3,000E+02	kg/unit	5,248E-06	kg/kWh
Sulphur hexafluoride	Sulfur hexafluoride, liquid [RER] market for sulfur hexafluoride, liquid APOS, S	-	-	5,145E-08	kg/kWh
Sulphur hexafluoride (air)	Sulfur hexafluoride	-	-	1,029E-09	kg/kWh
Sheet rolling, steel	Sheet rolling, steel [RER] processing APOS, S	2,710E+04	kg/unit	4,741E-04	kg/kWh
Sheet rolling, aluminium	Sheet rolling, aluminium [RER] processing APOS, S	5,000E+02	kg/unit	8,747E-06	kg/kWh
Wire drawing, copper	Wire drawing, copper [RER] processing APOS, S	1,440E+03	kg/unit	2,519E-05	kg/kWh
Sheet rolling, copper	Sheet rolling, copper [RER] processing APOS, S	1,600E+02	kg/unit	2,799E-06	kg/kWh
TOTALE NAVICELLA	-	5,060E+04	kg/unit	8,852E-04	kg/kWh
Navicella	-	-	-	-	-
Cast iron	Cast iron [GLO] market for APOS, S	1,130E+04	kg/unit	1,977E-04	kg/kWh
Steel, low alloyed	Steel, low-alloyed [RER] steel production, converter, low-alloyed APOS, S	4,200E+03	kg/unit	7,347E-05	kg/kWh
Steel, unalloyed	Steel, unalloyed [RER] steel production, converter, unalloyed APOS, S	1,500E+03	kg/unit	2,624E-05	kg/kWh
Fiberglass	Glass fibre reinforced plastic, polyester resin, hand lay-up [GLO] market for APOS, S	1,260E+04	kg/unit	2,204E-04	kg/kWh
Carbon fibre reinforced plastic	Carbon fibre reinforced plastic, injection moulded [GLO] market for carbon fibre reinforced plastic, injection moulded APOS, S	1,260E+04	kg/unit	2,204E-04	kg/kWh
Sheet rolling, steel	Sheet rolling, steel [RER] processing APOS, S	5,700E+03	kg/unit	9,971E-05	kg/kWh
TOTALE ROTORE	-	4,220E+04	kg/unit	7,383E-04	kg/kWh
TOTALE TURBINA	-	2,290E+05	kg/unit	4,006E-03	kg/kWh
Basamento	-	-	-	-	-
Reinforcing steel	Reinforcing steel [GLO] market for APOS, S	2,498E+04	kg/unit	4,369E-04	kg/kWh
Steel, highly alloyed	Steel, chromium steel 18/8 [RER] steel production, converter, chromium steel 18/8 APOS, S	2,025E+03	kg/unit	3,542E-05	kg/kWh
Concrete	-	8,050E+05	kg/unit	1,408E-02	kg/kWh
-	Concrete, 35MPa [RNA] market for concrete, 35MPa APOS, S	2,981E+02	m ³ /unit	5,216E-06	m ³ /kWh
TOTALE BASAMENTO	-	8,320E+05	kg/unit	1,455E-02	kg/kWh

CAMPO EOLICO - TRASPORTO TURBINE					
Unità funzionale inventario: 1 unità di turbina V82-1.65MW					
FATTORE DI SCALA (approssimazione sulla base delle dimensioni)					
Energia prodotta annualmente					
Fattore di scala complessivo					
		2,72	-		
		155,5	GWh		
		1,74937E-08	-		
Materiale	Dataset Ecoinvent	Q (per FU)	Unità	Q effettiva	Unità
Ship, 700 km	Transport, freight, sea, container ship [GLO] market for transport, freight, sea, container ship APOS, S	1,603E+05	tkm/unit	2,804E-03	tkm
Lorry, 1200 km	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6 [RER] market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 APOS, S	2,748E+05	tkm/unit	4,807E-03	tkm

CAMPO EOLICO - SMALTIMENTO TURBINE						
Unità funzionale inventario: 1 unità di turbina V82-1.65MW						
FATTORE DI SCALA (approssimazione sulla base delle dimensioni)						
Energia prodotta annualmente						
Fattore di scala complessivo						
2,72						
155,5 GWh						
1,74937E-08						
Materiale	Dataset Ecoinvent	Q (per FU)	Unità	Q effettiva	Unità	
Torre	-	-	-	-	-	-
Preparazione scarti acciaio/ferro	Iron scrap, sorted, pressed [RER] sorting and pressing of iron scrap APOS, S	1,135E+05	kg/unit	1,985E-03	kg/KWh	
Riciclo acciaio/ferro, 90%	Steel and iron (waste treatment) [GLO] recycling of steel and iron APOS, S	1,135E+05	kg/unit	1,985E-03	kg/KWh	
Smaltimento acciaio/ferro discarica	Scrap steel [Europe without Switzerland] treatment of scrap steel, inert material landfill APOS, S	1,261E+04	kg/unit	2,206E-04	kg/KWh	
Riciclo alluminio, 90%	Aluminium (waste treatment) [GLO] recycling of aluminium APOS, S custom	2,340E+03	kg/unit	4,094E-05	kg/KWh	
Preoarazione scarti alluminio	Aluminium scrap, post-consumer [RER] treatment of, by collecting, sorting, cleaning, pressing APOS, S	2,340E+03	kg/unit	4,094E-05	kg/KWh	
Produzione alluminio secondario	Aluminium scrap, post-consumer, prepared for melting [RER] treatment of aluminium scrap, post-consumer, prepared for recycling, at remelter APOS, S	2,340E+03	kg/unit	4,094E-05	kg/KWh	
Smaltimento alluminio discarica	Waste aluminium [RoW] treatment of, sanitary landfill APOS, S	2,600E+02	kg/unit	4,548E-06	kg/KWh	
Produzione rame secondario	Copper scrap recycling, for secondary copper production, custom	1,170E+03	kg/unit	2,047E-05	kg/KWh	
Smaltimento comp. elettronici	Electronics scrap from control units [RER] treatment of APOS, S	2,200E+03	kg/unit	3,849E-05	kg/KWh	
Smaltimento olio	Waste mineral oil [Europe without Switzerland] treatment of waste mineral oil, hazardous waste incineration APOS, S	1,000E+03	kg/unit	1,749E-05	kg/KWh	
Smaltimento plastiche, inceneritore, 50%	Waste polyethylene [RoW] treatment of waste polyethylene, municipal incineration APOS, S	1,000E+03	kg/unit	1,749E-05	kg/KWh	
Smaltimento plastiche, discarica, 50%	Waste polyethylene [RoW] treatment of waste polyethylene, sanitary landfill APOS, S	1,000E+03	kg/unit	1,749E-05	kg/KWh	
Navicella	-	-	-	-	-	-
Riciclo acciaio/ferro, 90%	Steel and iron (waste treatment) [GLO] recycling of steel and iron APOS, S	4,059E+04	kg/unit	7,101E-04	kg/KWh	
Preparazione scarti acciaio/ferro	Iron scrap, sorted, pressed [RER] sorting and pressing of iron scrap APOS, S	4,059E+04	kg/unit	7,101E-04	kg/KWh	
Smaltimento acciaio/ferro discarica	Scrap steel [Europe without Switzerland] treatment of scrap steel, inert material landfill APOS, S	4,510E+03	kg/unit	7,890E-05	kg/KWh	
Riciclo alluminio, 90%	Aluminium (waste treatment) [GLO] recycling of aluminium APOS, S custom	4,500E+02	kg/unit	7,872E-06	kg/KWh	
Preoarazione scarti alluminio	Aluminium scrap, post-consumer [RER] treatment of, by collecting, sorting, cleaning, pressing APOS, S	4,500E+02	kg/unit	7,872E-06	kg/KWh	
Produzione alluminio secondario	Aluminium scrap, post-consumer, prepared for melting [RER] treatment of aluminium scrap, post-consumer, prepared for recycling, at remelter APOS, S	4,500E+02	kg/unit	7,872E-06	kg/KWh	
Smaltimento alluminio discarica	Waste aluminium [RoW] treatment of, sanitary landfill APOS, S	5,000E+01	kg/unit	8,747E-07	kg/KWh	
Produzione rame secondario	Copper scrap recycling, for secondary copper production, custom	1,440E+03	kg/unit	2,519E-05	kg/KWh	
Smaltimento comp. elettronici	Electronics scrap from control units [RER] treatment of APOS, S	3,000E+02	kg/unit	5,248E-06	kg/KWh	
Smaltimento olio	Waste mineral oil [Europe without Switzerland] treatment of waste mineral oil, hazardous waste incineration APOS, S	3,000E+02	kg/unit	5,248E-06	kg/KWh	
Smaltimento plastiche, inceneritore, 50%	Waste plastic, mixture [RoW] treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration APOS, S	1,400E+03	kg/unit	2,449E-05	kg/KWh	
Smaltimento plastiche, discarica, 50%	Waste plastic, mixture [RoW] treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill APOS, S	1,400E+03	kg/unit	2,449E-05	kg/KWh	
Rotore	-	-	-	-	-	-
Riciclo acciaio/ferro, 90%	Steel and iron (waste treatment) [GLO] recycling of steel and iron APOS, S	1,530E+04	kg/unit	2,677E-04	kg/KWh	
Preparazione scarti acciaio/ferro	Iron scrap, sorted, pressed [RER] sorting and pressing of iron scrap APOS, S	1,530E+04	kg/unit	2,677E-04	kg/KWh	
Smaltimento acciaio/ferro discarica	Scrap steel [Europe without Switzerland] treatment of scrap steel, inert material landfill APOS, S	1,700E+03	kg/unit	2,974E-05	kg/KWh	
Smaltimento plastiche, inceneritore, 50%	Waste plastic, mixture [RoW] treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration APOS, S	1,260E+04	kg/unit	2,204E-04	kg/KWh	
Smaltimento plastiche, discarica, 50%	Waste plastic, mixture [RoW] treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill APOS, S	1,260E+04	kg/unit	2,204E-04	kg/KWh	
Basamento	-	-	-	-	-	-
Riciclo acciaio/ferro, 90%	Steel and iron (waste treatment) [GLO] recycling of steel and iron APOS, S	2,430E+04	kg/unit	4,251E-04	kg/KWh	
Preparazione scarti acciaio/ferro	Iron scrap, sorted, pressed [RER] sorting and pressing of iron scrap APOS, S	2,430E+04	kg/unit	4,251E-04	kg/KWh	
Smaltimento acciaio/ferro discarica	Scrap steel [Europe without Switzerland] treatment of scrap steel, inert material landfill APOS, S	2,700E+03	kg/unit	4,723E-05	kg/KWh	
Smaltimento cemento in discarica	Waste concrete [Europe without Switzerland] treatment of waste concrete, inert material landfill APOS, S	8,050E+05	kg/unit	1,408E-02	kg/KWh	

CAMPO EOLICO - CAVI, QUADRI, TRASFORMATORI						
Unità funzionale inventario: 1 campo eolico da 1 MW						
Potenza installata del campo eolico in esame						
FATTORE DI SCALA						
Energia prodotta annualmente						
Fattore di scala complessivo						
66 MW						
66,00						
155,5 GWh						
4,24437E-07						
Materiale	Dataset Ecoinvent	Q (per FU)	Unità	Q effettiva	Unità	
Cavi interni	-	-	-	-	-	-
Aluminium	Aluminium, primary, ingot [AI Area, EU27 & EFTA] market for APOS, S	2,113E+02	kg/MW	8,970E-05	kg/KWh	
Plastic	Polyethylene, high density, granulate [GLO] market for APOS, S	1,840E+02	kg/MW	7,810E-05	kg/KWh	
Copper	Copper [RER] production, primary APOS, S	1,030E+02	kg/MW	4,372E-05	kg/KWh	
Trasformatori/quadri	-	-	-	-	-	-
Steel, low alloyed	Steel, low-alloyed [RER] steel production, converter, low-alloyed APOS, S	3,300E+02	kg/MW	1,401E-04	kg/KWh	
Steel, high alloyed	Steel, chromium steel 18/8 [RER] steel production, converter, chromium steel 18/8 APOS, S	5,000E+01	kg/MW	2,122E-05	kg/KWh	
Copper	Copper [RER] production, primary APOS, S	1,000E+02	kg/MW	4,244E-05	kg/KWh	
Polymer materials	Polyethylene, high density, granulate [GLO] market for APOS, S	1,000E+01	kg/MW	4,244E-06	kg/KWh	
Electronics	Electronics, for control units [GLO] market for APOS, S	1,000E+01	kg/MW	4,244E-06	kg/KWh	
Transformer oil	Lubricating oil [RER] market for lubricating oil APOS, S	1,300E+02	kg/MW	5,518E-05	kg/KWh	
Ceramics	Ceramic tile [GLO] market for APOS, S	1,000E+01	kg/MW	4,244E-06	kg/KWh	
Cellulose fibre	Cellulose fibre, inclusive blowing in [GLO] market for APOS, S	3,000E+01	kg/MW	1,273E-05	kg/KWh	
Sulphur hexafluoride	Sulfur hexafluoride, liquid [RER] market for sulfur hexafluoride, liquid APOS, S	4,200E-01	kg/MW	1,783E-07	kg/KWh	
Sulphur hexafluoride (air)	Sulfur hexafluoride	8,400E-03	kg/MW	3,565E-09	kg/KWh	
Cavi esterni	-	-	-	-	-	-
Aluminium	Aluminium, primary, ingot [AI Area, EU27 & EFTA] market for APOS, S	3,117E+03	kg/MW	1,323E-03	kg/KWh	
Plastic	Polyethylene, high density, granulate [GLO] market for APOS, S	5,063E+03	kg/MW	2,149E-03	kg/KWh	
Copper	Copper [RER] production, primary APOS, S	7,953E+02	kg/MW	3,376E-04	kg/KWh	
-	-	-	-	-	-	-
Wire drawing, copper	Wire drawing, copper [RER] processing APOS, S	4,326E+03	kg/MW	1,836E-03	kg/KWh	
TOTALE CAVI/TRASFORMATORI		1,014E+04	kg/unit	4,306E-03	kg/KWh	

CAMPO EOLICO - SMALTIMENTO CAVI, QUADRI, TRASFORMATORI						
Unità funzionale inventario: 1 unità di turbina V82-1.65MW						
Potenza installata del campo eolico in esame						
FATTORE DI SCALA				66	MW	-
Energia prodotta annualmente				155,5	GWh	-
Fattore di scala complessivo				4,24437E-07	-	-
Materiale	Dataset Ecoinvent	Q (per FU)	Unità	Q effettiva	Unità	
Cavi e trasformatori						
Riciclo acciaio/ferro, 90%	Steel and iron [waste treatment] [GLO] recycling of steel and iron APOS, S	3,420E+02	kg/unit	1,452E-04	kg/KWh	
Preparazione scarti acciaio/ferro	Iron scrap, sorted, pressed [RER] sorting and pressing of iron scrap APOS, S	3,420E+02	kg/unit	1,452E-04	kg/KWh	
Smaltimento acciaio/ferro discarica	Scrap steel [Europe without Switzerland] treatment of scrap steel, inert material landfill APOS, S	3,800E+01	kg/unit	1,613E-05	kg/KWh	
Riciclo alluminio, 90%	Aluminium [waste treatment] [GLO] recycling of aluminium APOS, S custom	2,995E+03	kg/unit	1,271E-03	kg/KWh	
Preoarazione scarti alluminio	Aluminium scrap, post-consumer [RER] treatment of, by collecting, sorting, cleaning, pressing APOS, S	2,995E+03	kg/unit	1,271E-03	kg/KWh	
Produzione alluminio secondario	nium scrap, post-consumer, prepared for melting [RER] treatment of aluminium scrap, post-consumer, prepared for recycling, at remelter A	2,995E+03	kg/unit	1,271E-03	kg/KWh	
Smaltimento alluminio discarica	Waste aluminium [RoW] treatment of, sanitary landfill APOS, S	3,328E+02	kg/unit	1,413E-04	kg/KWh	
Smaltimento plastiche, inceneritore, 50%	Waste polyethylene [RoW] treatment of waste polyethylene, municipal incineration APOS, S	2,629E+03	kg/unit	1,116E-03	kg/KWh	
Smaltimento plastiche, discarica, 50%	Waste polyethylene [RoW] treatment of waste polyethylene, sanitary landfill APOS, S	2,629E+03	kg/unit	1,116E-03	kg/KWh	
Smaltimento olio	Waste mineral oil [Europe without Switzerland] treatment of waste mineral oil, hazardous waste incineration APOS, S	1,300E+02	kg/unit	5,518E-05	kg/KWh	
Smaltimento comp. elettronici	Electronics scrap from control units [RER] treatment of APOS, S	1,000E+01	kg/unit	4,244E-06	kg/KWh	
Produzione rame secondario	Copper scrap recycling, for secondary copper production, custom	8,985E+02	kg/unit	3,814E-04	kg/KWh	

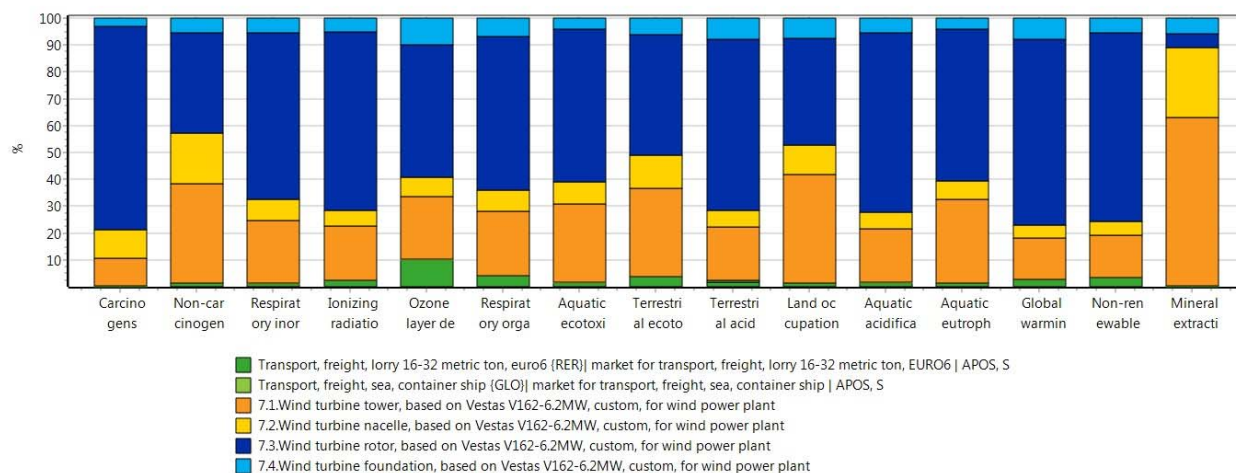
CAMPO EOLICO - OCCUPAZIONE DEL SUOLO (DIRETTA)						
Energia prodotta annualmente						
FATTORE DI SCALA				155,5	GWh	-
Anni di esercizio impianto				20	-	-
Materiale	Dataset Ecoinvent	Q (per FU)	Unità	Q effettiva	Unità	
Transformation from agriculture	Transformation, from agriculture	-	-	2,251E-04	m ²	
Transformation to industrial	Transformation, to industrial area	-	-	2,251E-04	m ²	
Land occupation, arable	Occupation, arable land, unspecified use	-	-	4,502E-03	m ² a	

Copper scrap recycling, for secondary copper production, custom					
Unità funzionale inventario: 1 kg copper scrap					
Materiale	Dataset Ecoinvent	Q (per FU)	Unità	Q effettiva	Unità
Avoided products, to technosphere	Copper [RER] production, primary APOS, S	5,376E-01	kg/kg	-	-
Electricity	Electricity, medium voltage [IT] market for APOS, S	2,059E-01	kWh/kg	-	-
Heat	Heat, central or small-scale, natural gas [RER] market group for APOS, S	1,760E+00	MJ/kg	-	-
Fresh water, from nature	Water, fresh	7,527E-04	m ³ /kg	-	-
Limestone	Limestone, crushed, for mill [RoW] market for limestone, crushed, for mill APOS, S	4,548E-03	kg/kg	-	-
Industrial oxygen	Oxygen, liquid [RER] market for APOS, S	7,023E-02	kg/kg	-	-
Refractory material	Refractory, fireclay, packed [GLO] market for APOS, S	4,097E-03	kg/kg	-	-
Sulfuric acid	Sulfuric acid [RER] market for sulfuric acid APOS, S	3,656E-03	kg/kg	-	-
Sodium hydroxide	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state [GLO] market for APOS, S	2,151E-05	kg/kg	-	-
Sodium chloride	Sodium chloride, powder [GLO] market for APOS, S	2,441E-04	kg/kg	-	-
Sodium hypochlorite	odium hypochlorite, without water, in 15% solution state [RER] market for sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state APOS,	2,011E-04	kg/kg	-	-
Carbon dioxide, air	Carbon dioxide	1,495E-01	kg/kg	-	-
Sulfur dioxide, air	Sulfur dioxide	4,210E-04	kg/kg	-	-
Nitrogen oxide	Nitrogen oxides	4,473E-05	kg/kg	-	-
Carbon monoxide, air	Carbon monoxide	1,968E-04	kg/kg	-	-
Methane, air	Methane	7,097E-04	kg/kg	-	-
Sulfuric acid mist	Sulfuric acid	1,828E-07	kg/kg	-	-
NMVO	NMVO, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	1,086E-05	kg/kg	-	-
Particulate matter, air	Particulates	1,409E-03	kg/kg	-	-
Mercury, water	Mercury	7,634E-07	kg/kg	-	-
Lead, water	Lead	6,290E-07	kg/kg	-	-
Zineb, water	Zineb	5,430E-07	kg/kg	-	-
Nickel, water	Nickel	3,188E-07	kg/kg	-	-
Arsenic, water	Arsenic	7,312E-08	kg/kg	-	-
COD	COD, Chemical Oxygen Demand	1,242E-04	kg/kg	-	-
BOD5	BOD5, Biological Oxygen Demand	1,296E-06	kg/kg	-	-
Solid suspension	Suspended solids, unspecified	9,516E-05	kg/kg	-	-
Ammonia nitrogen	Ammonia, as N	8,817E-11	kg/kg	-	-
Solid waste	Waste, industrial	7,151E-01	kg/kg	-	-

Aluminium [waste treatment] [GLO] recycling of aluminium APOS, S custom					
Unità funzionale inventario: 1 kg aluminium waste					
Materiale	Dataset Ecoinvent	Q (per FU)	Unità	Q effettiva	Unità
Avoided products, to technosphere	Aluminium, primary, ingot [AI Area, EU27 & EFTA] production APOS, S	1,000E+00	kg	-	-

Figura 73 INVENTARIO LCA 1 TURBINA

L'analisi di caratterizzazione della singola turbina Vestas V 162 effettuata con la metodologia Impact 2002+ restituisce i risultati degli indicatori di midpoint della figura sottostante. Gli indicatori sono suddivisi nei processi che compongono il ciclo di vita della turbina: il trasporto, la torre, la navicella, il rotore e la fondazione.

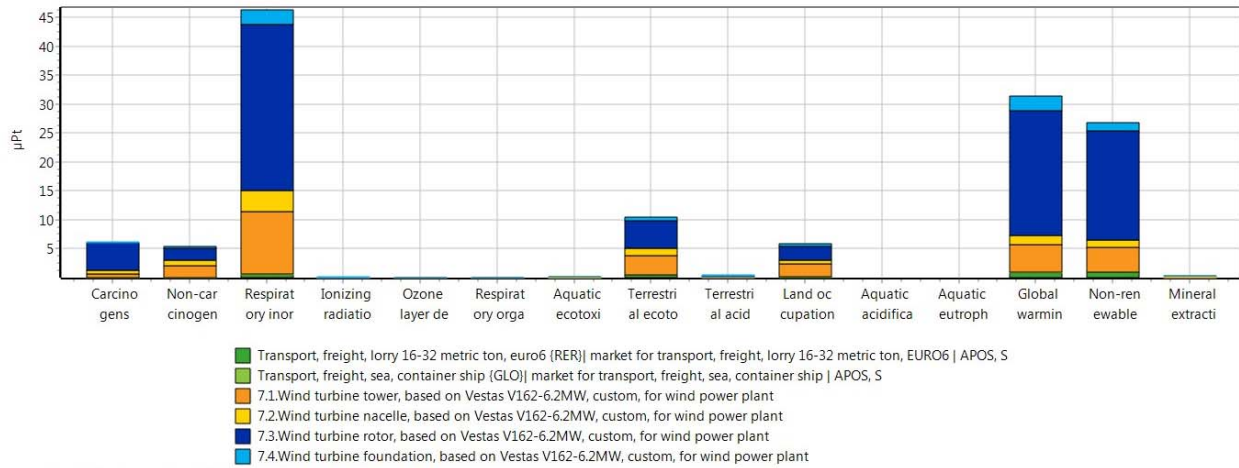


Method: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Characterization
Analyzing 1 p 'Vestas V162-6.2MW, custom, for wind power plant';

Impact category	Unit	Total	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6 (RER) market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 APOS, S	Transport, freight, sea, container ship (GLO) market for transport, freight, sea, container ship APOS, S	7.1.Wind turbine tower, based on Vestas V162-6.2MW, custom, for wind power plant	7.2.Wind turbine nacelle, based on Vestas V162-6.2MW, custom, for wind power plant	7.3.Wind turbine rotor, based on Vestas V162-6.2MW, custom, for wind power plant	7.4.Wind turbine foundation, based on Vestas V162-6.2MW, custom, for wind power plant
Carcinogens	kg C2H3Cl eq	0,001418368	4,66287E-06	1,81713E-07	0,00014651	0,000150732	0,001073514	4,27679E-05
Non-carcinogens	kg C2H3Cl eq	0,001236186	1,72774E-05	2,36666E-07	0,000456977	0,000231252	0,000464037	6,64063E-05
Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	4,26699E-05	5,00004E-07	1,11164E-07	9,91117E-06	3,39861E-06	2,63394E-05	2,40953E-06
Ionizing radiation	Bq C-14 eq	0,249654432	0,006219586	0,000153732	0,049894589	0,014919611	0,165506323	0,01296059
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	1,44839E-09	1,43068E-10	4,20019E-12	3,41128E-10	1,00511E-10	7,13251E-10	1,46237E-10
Respiratory organics	kg C2H4 eq	9,42097E-06	3,75175E-07	2,16824E-08	2,24448E-06	7,48193E-07	5,38614E-06	6,45297E-07
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	5,562331013	0,085715986	0,001199257	1,633691032	0,450688979	3,171339991	0,219695767
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	1,650903337	0,063601914	0,004000012	0,539252382	0,203980854	0,741777414	0,101890762
Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq	0,000481593	7,47392E-06	3,35758E-06	9,65859E-05	2,96951E-05	0,000306081	3,83995E-05
Land occupation	m2org.arable	0,006664323	9,10756E-05	5,54096E-07	0,002703371	0,000721339	0,000263706	0,000510923
Aquatic acidification	kg SO2 eq	0,000149178	1,90618E-06	7,28382E-07	2,93711E-05	9,1317E-06	9,98545E-05	8,18609E-06
Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	5,16821E-06	7,22195E-08	1,92606E-09	1,61184E-06	3,47379E-07	2,929E-06	2,05844E-07
Global warming	kg CO2 eq	0,028229123	0,000771225	2,59697E-05	0,004359109	0,001351725	0,019479609	0,002241485
Non-renewable energy	MJ primary	0,371458853	0,012592477	0,000356756	0,058535976	0,019263275	0,260869891	0,019840478
Mineral extraction	MJ surplus	0,004677309	8,94229E-06	2,50081E-07	0,002936705	0,001213508	0,000243066	0,000274838

Figura 74 Risultati dell'analisi LCIA della singola turbina Vestas V162-6.2.

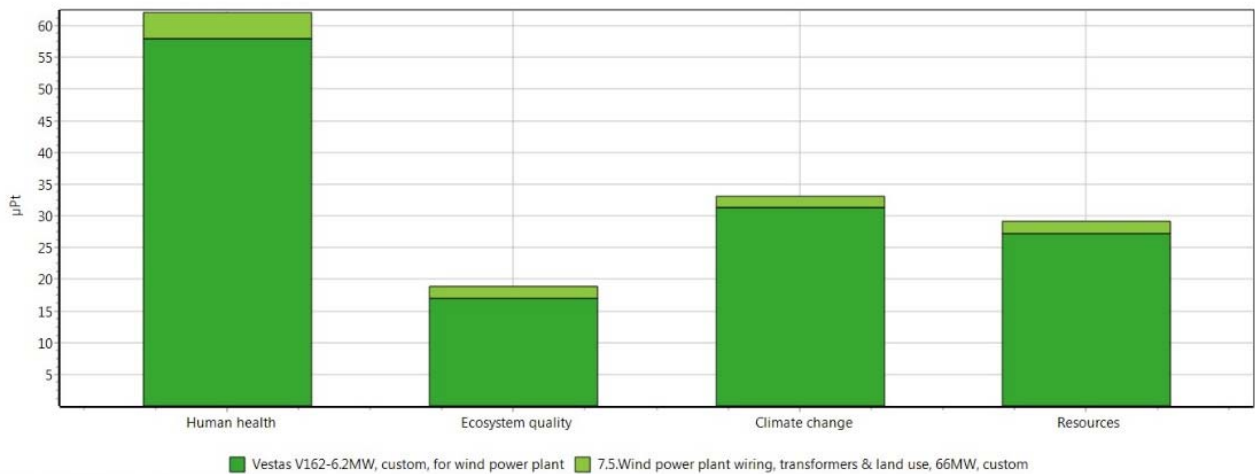
I processi di costruzione e smaltimento della torre e del rotore sono quelli che hanno i valori più elevati. L'impatto della torre è legato ai materiali che la compongono calcestruzzo, acciaio. Il processo di trasporto compare in piccole quantità solo in alcuni indicatori: Ozone layer depletion, and Respiratory Organics. Valutando i pesi in assoluto dei singoli indicatori e applicando i fattori moltiplicativi della metodologia Impact 2002+ codificata si può paragonare con la stessa scala i diversi indicatori e si può ricavare che Respiratory inorganics, global warming e non renewable energy sono le categorie più impattanti per la turbina singola come si può vedere nella figura seguente.



Method: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Weighting
 Analyzing 11 p 'Vestas V162-6.2MW, custom, for wind power plant';

Figura 75 Weight Indicators di midpoint per una singola turbina Vestas V162

Prendendo in esame invece l'intero parco eolico composto dalle 11 turbine e la quantità di suolo occupato per la realizzazione dell'impianto relativamente a fondazioni, strade di collegamento, cabine, elettrodotti e locali di servizio, è possibile esaminare i risultati ottenuti per le 4 categorie di danno: Human Health, Ecosystem quality, Climate change, Resource. Anche in questo grafico sono separati i risultati del parco e dell'occupazione di suolo. La categoria di danno maggiore è Human Health con un valore di 62,07 mPt, seguita da Climate change con 33,04 mPt, Resource con 29,12 mPt e Ecosystem quality con 18,91 mPt. Nelle quattro categorie di danno, la percentuale di danno generata dall'uso del suolo utilizzato è di circa il 6%.



Method: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Weighting

Figura 76 Risultati analisi LCA per l'intero parco eolico rappresentato nelle 4 categorie di danno

Gli Indicatori sociali

Gli indicatori sociali validati con la severity index analysis vengono valutati ognuno con specifiche metodologie che di seguito verranno descritte. La valutazione del progetto in termini di sostenibilità sociale può generare un valore in taluni casi come la percentuale di circolarità del progetto, il valore di rumore percepito, la percentuale di ombreggiamento dovuto al movimento delle pale, ma può essere solo la focalizzazione di un elemento che deve essere soddisfatto secondo una percentuale che per esempio può essere stabilita nel processo decisionale tra gli stakeholder.

Gli indicatori sociali che non sono generici, ma sono stati scelti dagli stakeholder del progetto hanno lo scopo di mostrare la percezione di chi partecipa al progetto. Il risultato di un indicatore come, per esempio, la percezione del suono costituisce un limite normativo da rispettare per il team project e per l'ammissibilità ambientale dell'opera ma è un indicatore sociale perché la sua percezione influisce nell'accettabilità del progetto.

Altri indicatori verranno focalizzati ma costituiranno quegli elementi esterni che condizionano la sostenibilità economica del progetto come per esempio la percentuale di energia rinnovabile che potrà essere utilizzata dalla comunità locale che abita il territorio. Ovvero saranno indicatori utili nella fase di controllo. Nella fase di valutazione saranno esaminati e proposte delle alternative progettuali utilizzabili nel processo decisionale.

Gli indicatori esaminati sono dunque:

- ✓ Sustainable ecofriendly product
- ✓ Noise
- ✓ Shadow flickers
- ✓ Local employment
- ✓ Engagement with community
- ✓ % Renewable energy community

Sustainable ecofriendly product

Per valutare se gli aerogeneratori scelti da progetto sono ecofriendly si utilizza l'indicatore di circolarità indicato da Duflo^{12 54} PCI.

Ricavando dagli inventari utilizzati per la fase di Inventory nell'analisi LCA costruiti con i database di Ecoinvent i valori di materiale vergine (V) di input, il valore dei rifiuti (W) nella fase di processo e nella fase di dismissione dell'impianto e le parti di materiale riciclabile riutilizzabile nel medesimo processo è possibile ricostruire il ciclo di vita dell'aerogeneratore e il valore dell'indicatore di economia circolare.

I dati sono tratti dagli studi e dalle schede tecniche del prodotto utilizzato Vestas V 162.

Applicando la formula vista nel paragrafo 2.1.2

$$PCI = 1 - \frac{LFI}{x} \quad (21)$$

dove

$$LFI = \frac{V+W+\frac{1}{2}|R|}{M_{linear}} \quad (22)$$

X = 1 essendo un processo circolare interno

M_{linear} = 10E+7 e 10E+2.

In particolare, l'unità funzionale presa in esame nell'analisi LCA è rappresentata nel caso dell'eolico da 1 kWh di energia prodotta.

I valori presi in esame per il calcolo sono rispettivamente V= 1,29E+06, W=8,61E+05, R=3,89E+05.

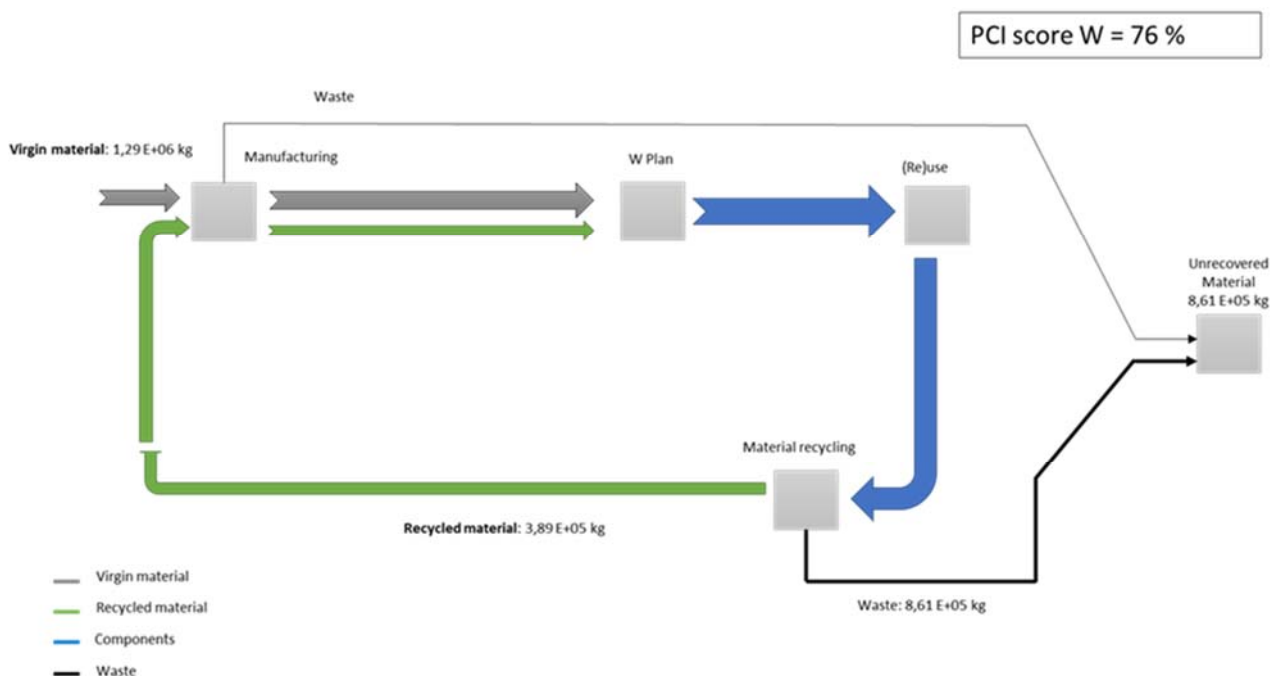


Figura 77 Ciclo di vita di un aerogeneratore e indice di circolarità

Si ottiene il valore di PCI = 76% e PCI. Il valore è simile ai dati di letteratura e alla scheda tecnica del prodotto. Nella figura sottostante viene raffigurato l'intero ciclo di economia circolare e individuate le parti di materiale che possono essere riusate in altri processi e le parti di materiale che possono essere riciclate e quindi rimesse nello stesso processo di produzione della turbina.

Come già visto nell'analisi LCA gli elementi maggiormente impattanti per i parchi eolici sono i materiali costituenti l'aerogeneratore. Il calcestruzzo e soprattutto l'alluminio.

La focalizzazione di questo indicatore mostra che quei materiali, come sostenuto dalla ricerca dell'azienda produttrice dell'aerogeneratore sono riciclabili in altissima percentuale riducendo così l'impatto e la produzione di rifiuti.

Si risponde quindi ad uno dei temi più sentiti in letteratura: il riciclo e riuso del sistema energetico a fine vita dell'impianto.

Questo è un risultato strettamente connesso all'indicatore engagement with community. Infatti nel processo decisionale per ottenere l'accettazione è fondamentale comunicare in modo corretto alla comunità locale i componenti tecnici utilizzati che costituiscono l'aerogeneratore.

Noise. – Rumore

Il rumore generato dalla rotazione delle pale degli aerogeneratori è un indicatore percepito come accennato sopra in modi diversi dagli stakeholder del progetto.

Per il team project il rumore prodotto deve essere inferiore a quello indicato dall'organizzazione mondiale della sanità (OMS) che raccomanda di limitare l'esposizione al rumore a una media annua notturna di 40 dBA al di fuori dei soggiorni, al fine di ottenere un sonno di qualità. Altresì in Italia le misurazioni del rumore devono rispettare le prescrizioni della norma CEI-EN 61400-1.

La valutazione del progetto prevede la misurazione del rumore prodotto dalle turbine ad una distanza di 500 m che è stato calcolato minore **di 30 dBA**, assimilabile al rumore di fondo di una città. Inoltre, l'elevata distanza tra le turbine riduce il rumore globale.

L'analisi sul suono, ripresa dal progetto in fase di VIA, analizza gli effetti del rumore rispetto a tre ricettori R9_S1, R2_S7 e R2_S8 posti come rappresentato in figura 50 rispetto alle turbine ed ai centri abitati. In rosso in figura 51 è riportata l'isofonica prodotta dal rumore delle pale a 32 dBA che arriva ad una distanza intermedia tra pale e centro abitato, ragion per cui nei centri abitati la percezione del rumore sarà ancora minore aumentando la distanza dalle turbine.

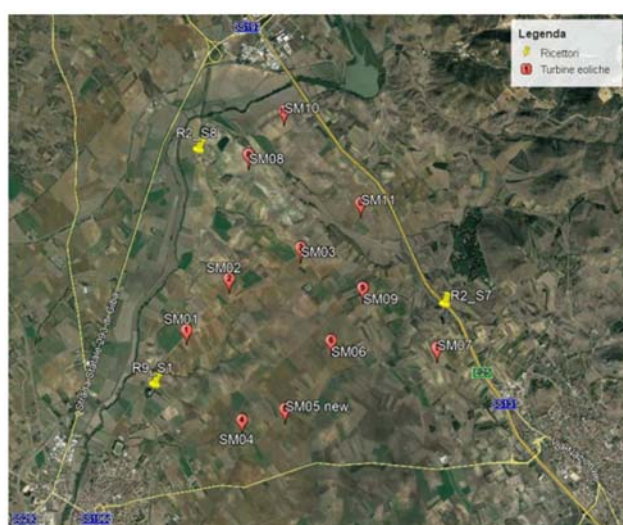


Figura 78 turbine e ricettori per il suono

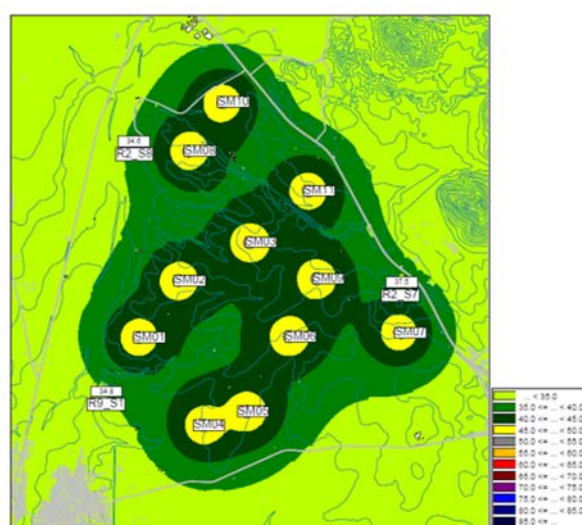


Figura 79 Simulazione emissione sorgenti aerogeneratori

Ricettore	Altezza [m]	Emissione [dB(A)]
R9_S1	2	34,8
R2_S7	2	37,5
R2_S8	2	34,6

Figura 80 Valori rilevati ricettori

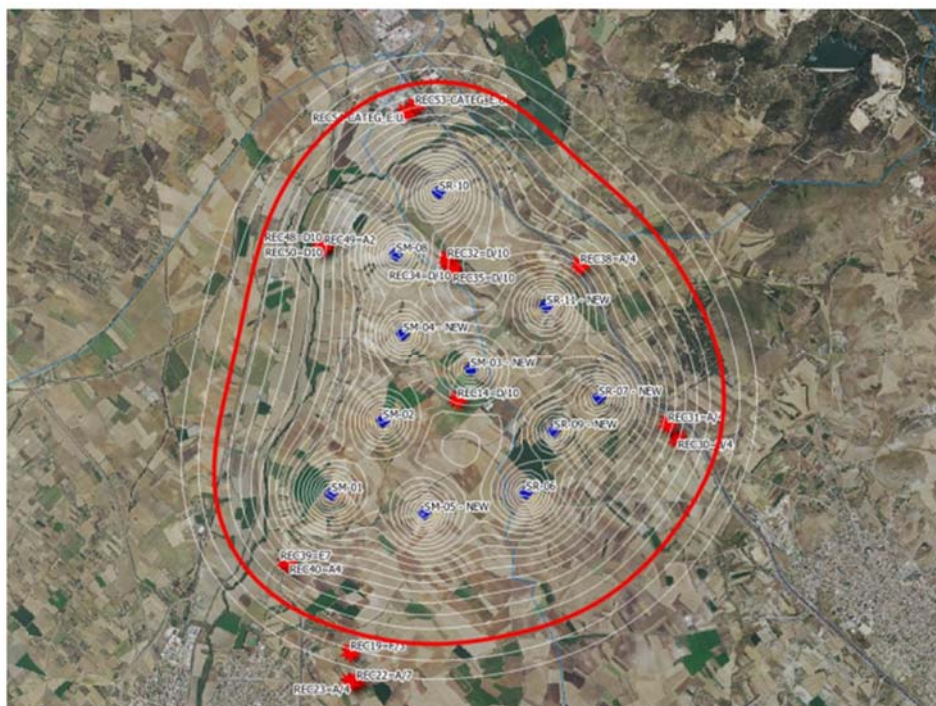


Figura 81 Campo sonoro generato dall'impianto. In rosso l'isofonica dei 32 dbA attestata ad una distanza indicativa di 1000 m dalle postazioni eoliche in progetto

Da un punto di vista normativo il rumore emesso dalle pale risulta sostenibile verificando i requisiti richiesti.

Per la comunità locale che vive il territorio la percezione non si limita alla reale percezione del rumore che, come visto praticamente scompare, ma è condizionata dalla familiarità col progetto. Non a caso nei risultati del questionario, sottoposto ad ottobre 2022, in cui la necessità di ricorrere ad energie rinnovabili al posto di quelle fossili non è più in dubbio si rilevano valori molto bassi di disagio dovuti alla percezione del rumore nelle proprie abitazioni.

Shadow flickers. effetto stroboscopico delle ombre proiettate dalle pale degli aerogeneratori eolici

Il fenomeno si traduce in una variazione alternata di intensità luminosa che, a lungo andare, può provocare fastidio agli occupanti delle abitazioni le cui finestre risultano esposte al fenomeno stesso. Il fenomeno, ovviamente, risulta assente sia quando il sole è oscurato da nuvole o nebbia, sia quando, in assenza di vento, le pale del generatore non sono in rotazione. In particolare, le frequenze che possono provocare un senso di fastidio sono comprese tra i 2,5 ed i 20 Hz (Verkuijlen and Westra, 1984). I più recenti aerogeneratori tripala operano ad una velocità di rotazione inferiore ai 35 giri al minuto, corrispondente ad una frequenza di passaggio delle pale sulla verticale inferiore a 1,75 Hz, minore, quindi, della frequenza

critica di 2,5 Hz. Inoltre, i generatori di grande potenza (dai 2 MW in su) raramente superano la velocità di rotazione di 20 giri al minuto, nel caso in oggetto addirittura ci si ferma a circa 12,1 giri al minuto, corrispondente a frequenze di passaggio delle pale ampiamente minori di quelle ritenute fastidiose per la maggioranza degli individui. Le relazioni spaziali tra un aerogeneratore ed un ricettore (abitazione), così come la direzione del vento risultano essere fattori chiave per la durata del fenomeno di shadow flickering. Con i moderni aerogeneratori di grandi dimensioni per distanze superiori ai 500 m, il fenomeno in esame potrebbe verificarsi all'alba, oppure al tramonto, ovvero in quelle ore in cui le ombre risultano molto lunghe per effetto della piccola elevazione solare. Al di là di una certa distanza, comunque, l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala ed il diametro del sole diventa molto piccolo. Quindi, come è facile immaginare, la condizione più penalizzante corrisponde al caso in cui il piano del rotore risulta ortogonale alla congiungente ricettore-sole; infatti, in tali condizioni, l'ombra proiettata darà origine ad un cerchio di diametro pari al rotore del generatore eolico. In generale, l'area soggetta a shadow flickering non si estende oltre i $500 \div 1.000$ m dall'aerogeneratore e le zone a maggiore impatto ricadono entro i 300 m di distanza dalle macchine con durata del fenomeno dell'ordine delle 300 ore all'anno. Diversi studi valutano l'impatto dello sfarfallio e tutti confermano che le ombre tremolanti non rappresentano un pericolo per la salute dell'uomo. Allo stesso tempo, il fenomeno crea spesso notevoli disagi ai residenti.

L'analisi riportata di seguito, tratta dal progetto di VIA, si basa sull'impiego di un modello digitale del terreno dell'area oggetto di progettazione, sulle posizioni (E, N, quota) degli aerogeneratori e dei recettori sensibili, nonché sui dati che correlano la posizione del sole nell'arco dell'anno con le condizioni operative delle turbine nello stesso arco di tempo. Nello specifico è stato impiegato il modulo shadow flickering del software windPRO. Esso consente di analizzare la posizione del sole nell'arco di un anno per identificare i tempi in cui ogni turbina può proiettare ombre sulle finestre delle abitazioni vicine.

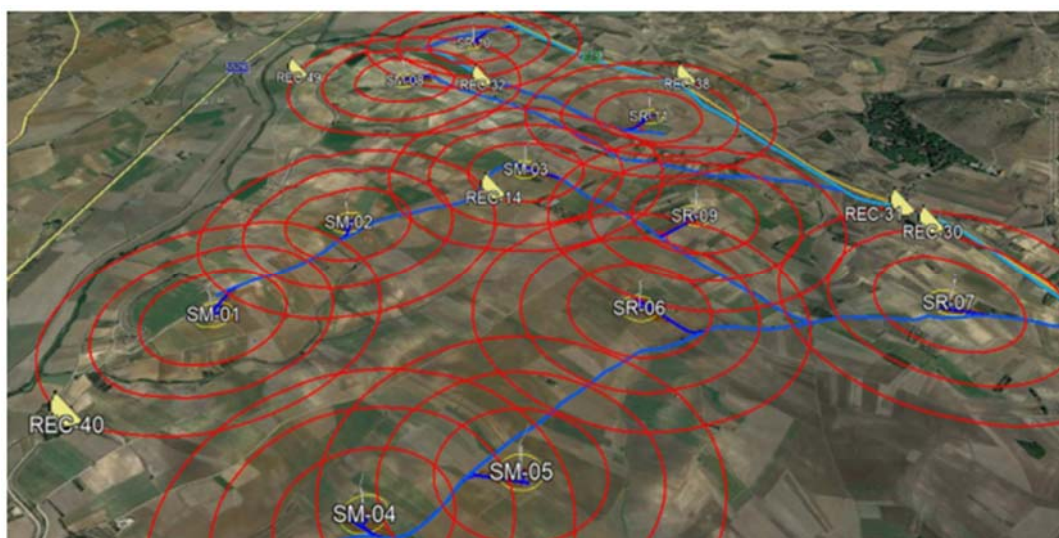


Figura 82 Localizzazione dei ricettori rispetto alle turbine

Sono state calcolate le ore massime di sfarfallio all'anno nello scenario peggiore "WORST CASE". Le simulazioni ipotizzano contemporaneamente le seguenti condizioni sfavorevoli per qualunque ricettore soggetto a shadow flickering:

- rotore in movimento alla massima frequenza ed in moto continuo;
- assenza di ostacoli;
- orientamento del rotore ortogonale alla congiungente ricettore-sole.

L'analisi considera che ci sia sempre il sole, quindi non ci siano coperture dovute a nubi ed altri eventi atmosferici, al di là di una certa distanza l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala e il diametro del sole diventa piccolo.

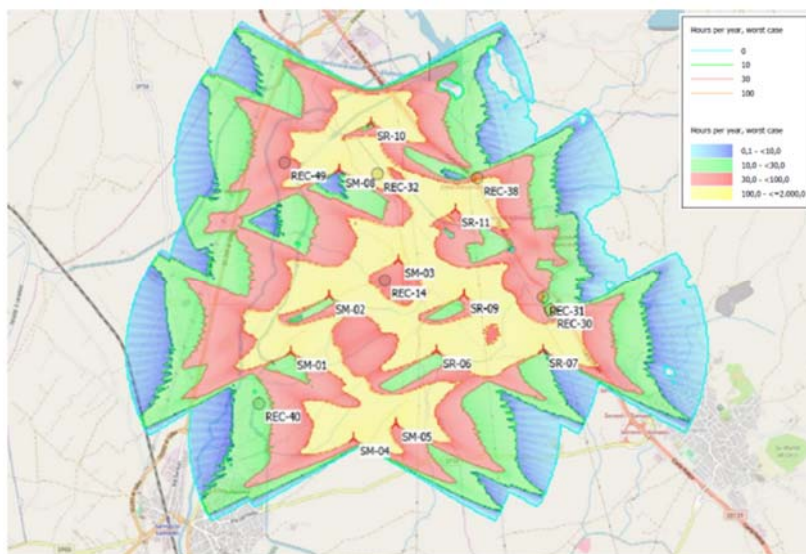


Figura 83 Rappresentazione grafica dell'ombreggiamento delle turbine rispetto i ricettori nel "Worst Case"

In realtà le ipotesi sopra enunciate difficilmente si verificano in quanto sono possibili delle incertezze date dalla presenza di un manto nuvoloso e le effettive ore di funzionamento dell'impianto in base ai dati anemometrici del sito. Anche l'orientamento del rotore in direzione sempre ortogonale alla congiungente ricettore-sole è da considerarsi un errore. Considerando le ore di operatività attesa per i 16 settori di provenienza del vento

Operational time																
N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Sum
21	6	15	35	46	41	142	161	45	22	28	11	61	320	1.215	186	2.355

Si possono riepilogare i risultati di REAL case confrontati ai valori di WORST CASE per le turbine dell'impianto considerando l'incertezza dovuta alla presenza di manto nuvoloso per le varie fasce orarie mensili, le ore di operatività attese del rotore ma continuando a considerare l'orientamento del rotore in direzione sempre ortogonale alla congiungente ricettore-sole.

Turbina	Shadow WORST CASE (ore / anno)	Shadow REAL CASE (ore / anno)	Percentuale media di abbattimento da worst a real case
SM-01	14:52	0:43	-93%
SM-02	43:46	3:56	-91%
SM-03	6:25	0:59	-84%
SM-04	16:22	2:00	-87%
SM-05	6:52	0:50	-84%
SR-06	12:47	0:57	-82%
SR-07	0:00	0:00	-0%
SM-08	187:03	26:19	-86%
SR-09	57:24	7:33	-88%
SR-10	47:29	5:30	-87%
SR-11	90:16	4:52	-94%

Figura 84 Tabella percentuale media giornaliera di abbattimento da worst a real case

Che in forma grafica assume la seguente configurazione

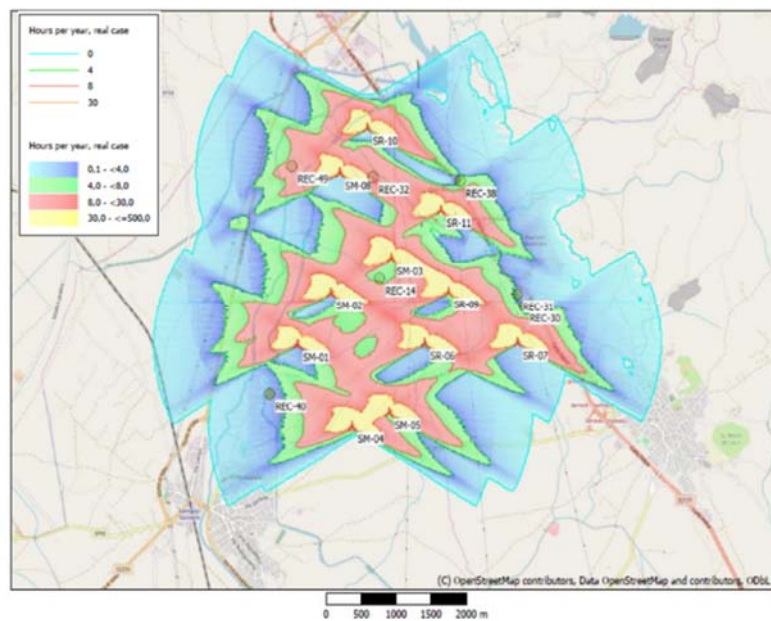


Figura 85 Rappresentazione grafica dell'ombreggiamento delle turbine rispetto i ricettori nel "Real Case"

Confrontando i dati pressoché trascurabili rispetto ai ricettori con i dati della letteratura si evince che per aerogeneratori simili la percentuale di shadow flicker è pari al **12%** dell'area totale di ombreggiamento della singola turbina. Questo valore non condiziona le possibili colture che possono essere impiantate nella parte residua del terreno agricolo utilizzato per l'installazione dell'impianto. Il progetto può essere ritenuto sostenibile.

Local employment

L'installazione di impianti di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile sono delle attività specialistiche per le quali è previsto l'uso di imprese e manodopera specializzata. Il ricorso a maestranze e ditte locali è limitato alla preparazione del terreno e alle attività di controllo e piccola manutenzione periodica. Si può leggere però la sostenibilità nella realizzazione di una nuova opera nella permanenza delle maestranze nel territorio per il periodo di realizzazione dell'opera; ospitalità continua o giornaliera. Possibile però l'appoggio di progettualità locali di dettaglio che possono supportare la realizzazione dell'opera come rilievi, indagini geologiche e geognostiche e supporto per la fase amministrativa autorizzativa.

Engagement with community

Il Progetto è sostenibile nel momento in cui è condiviso nella sua fase progettuale con l'amministrazione locale e le comunità che rappresentano le linee guida di sviluppo del territorio o le sue vocazioni.

La valutazione positiva di sostenibilità può avvenire se il progetto è costruito prima in condivisione e non presentato solo in fase autorizzativa ministeriale agli amministratori locali.

Questa mancanza di concertazione delle specifiche del progetto innesca l'immediata reazione della comunità locale che mediante i mass media esprime **la non accettazione del progetto** e ne impedisce lo sviluppo dello stesso o l'utilizzo dei benefici che lo stesso può portare per valorizzare l'ambito.

Nel caso specifico il progetto è stato presentato due volte all'amministrazione locale, alle associazioni ambientaliste, alle cooperative di agricoltori e alla comunità. Il progetto infatti è stato oggetto di modifiche nella localizzazione di tre aerogeneratori. Di recente è iniziata anche la fase di costituzione di una comunità energetica promossa dal sindaco di uno dei comuni interessati.

Si può affermare che esiste un'attività di coinvolgimento della comunità locale.

% Renewable energy community

Nella maggior parte dei casi l'energia prodotta da un parco eolico viene venduta nella sua totalità nel mercato dell'energia. L'autorizzazione amministrativa prevede il pagamento di sole cauzioni a garanzia dello smaltimento dell'impianto in fase di dismissione a fine vita.

Il progetto non prevede la cessione di parte dell'energia prodotta dall'impianto alla comunità locale. La normativa non prevede questo tipo di compensazione.

Il promotore si rende però disponibile alla cessione di una parte dell'energia da cedere o vendere ad un prezzo agevolato e non immetterla totalmente in rete.

La valutazione della sostenibilità di questo criterio indica la creazione di misure di utilizzo dell'energia prodotta nel territorio che ospita l'impianto non solo per migliorare l'accettazione della comunità locale ma anche per contestualizzare l'intervento all'ambito in cui ricade. I benefici dell'impianto in questo modo non

si fermano ad attività che non producono CO₂ o miglioramenti del sistema ma possono diventare un valore aggiunto per il territorio, per esempio, cambiando le emissioni delle attività collegate o territori a vocazione turistica, Nella fase di controllo sono analizzate le percentuali di energia che possono essere cedute alla comunità senza perdere la sostenibilità economica dell'iniziativa.

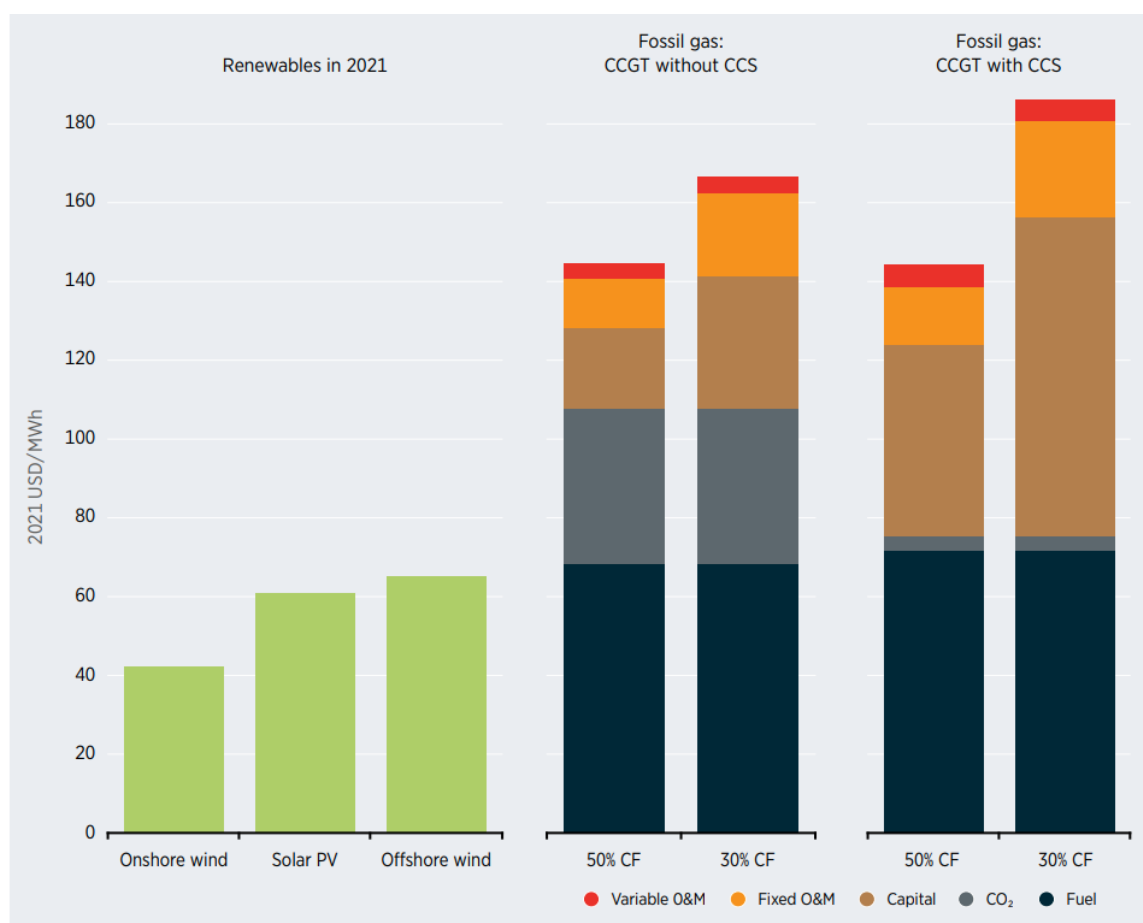
Il progetto è sostenibile se si creano misure di cessione dell'energia al territorio in fase decisionale.

Gli Indicatori economici

Profitability

I costi per la produzione di energia rinnovabile da fonte eolica sono desunti dal report Renewable power generation cost 2021 dell'IRENA⁵⁰ (Internationa Renewable Energy Agency).

L'IRENA calcola un costo per gli impianti eolici pari per l'Europa a USD 42/MWh per il 2021.

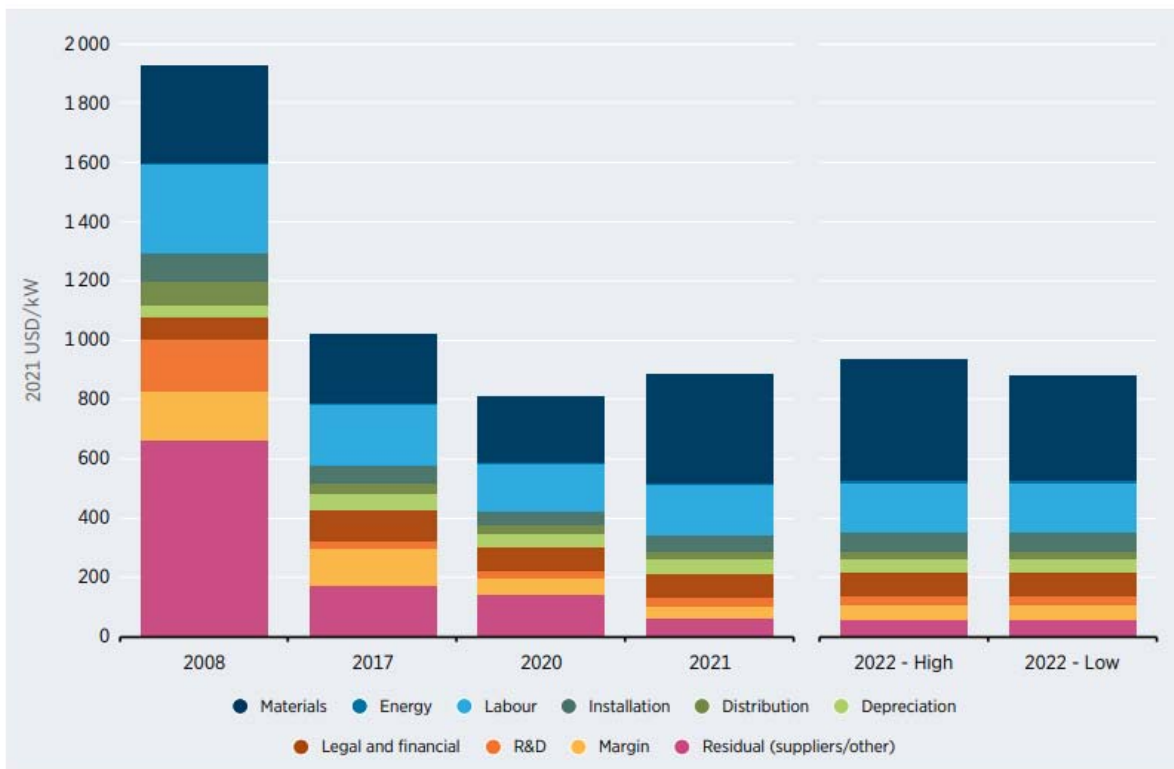


Source: IRENA analysis based on IRENA Renewable Cost Database and Lyons, Durrant and Kochbar, 2021.

Figura 86 IRENA costi per energie rinnovabili 2021

Nonostante la crisi per il reperimento delle materie prime nel 2021 I costi sono notevolmente diminuiti rispetto agli anni precedenti. IRENA e l'Università di Cork hanno esaminato i componenti di costo per le

turbine eoliche onshore tra il 2008 e il 2017 per capire quali siano i fattori alla base della riduzione dei costi delle turbine eoliche. Nella figura seguente viene analizzato l'andamento nel corso degli anni e la sua ripartizione per categorie. Le categorie di costo considerate sono i materiali, l'energia per la loro produzione, il costo di produzione, l'installazione, la distribuzione, il deprezzamento dei materiali, i costi legali, i margini di produzione e la supply chain. I costi che maggiormente decrescono sono legati alla razionalizzazione della supply chain, ai minori costi energetici di produzione, ai costi di produzione, mentre il costo dei materiali registra un certo incremento dato dalla indisponibilità di alcuni materiali. Nel 2022 si apprezza una possibile risalita dei costi dei materiali dovuto al completo blocco di produzione dei componenti dovuto al covid.



Source: IRENA analysis based on Elia, A. et al., 2020.

Note: Cost components are normalised to the average representative wind turbine cost by year for the period 2008 to 2021. The 2022 values are estimates based on assuming constant 2021 values for all cost components, except for materials, installation and margins and do not represent a forecast of 2022 wind turbine prices; see Annex I for more details about the input assumptions.

Figura 87 IRENA rappresentazione dei costi per i componenti delle turbine eoliche 2008, 2017, 2020, 2021 e 2022

Esaminando il caso reale di investimento nel progetto per la realizzazione del parco eolico è possibile capire fino a quando si può parlare di sostenibilità economica dell'investimento.

Ipotizzando un costo totale di realizzazione impianto (C_{IMP}) ovvero l'Overnight Construction Cost dato dalla disaggregazione di

$$C_{IMP} = C_{FAT} + C_{TUR} + C_{SVI} + C_{ING} + C_{BOP} + C_{VAR} \quad (23)$$

dove C_{FAT} = costi di fattibilità del progetto

C_{TUR} = costo delle turbine – somma del costo di acquisto e trasporto del macchinario basato sui costi preventivati dalla Sorgenia Srl

C_{SVI} = costo di sviluppo del progetto

C_{ING} = costi di ingegneria

C_{BOP} =costo del Balance of Plant pari 80% delle turbine

C_{VAR} =costi vari valutati pari al 10% dei costi delle turbine e del Balance of Plant

Analizzando il ciclo di vita dell'investimento totale **I**, si assume una durata complessiva del periodo di realizzazione dell'impianto pari a 3 anni, durante i quali si assume un tasso di interesse del 5%. Nel primo anno si hanno gli studi di fattibilità tecnico finanziari, gli incontri con le comunità locali, l'accettazione e la condivisione del progetto e le autorizzazioni con i costi per oneri e convenzioni. Probabili imprevisti dipendenti dalle mancate autorizzazioni amministrative, da problemi con le comunità presenti nei siti interessati. Nel secondo anno si hanno i costi per la progettazione e la realizzazione delle opere civili e impiantistiche. Altresì è necessario pagare parte dei costi di acquisto delle turbine. Sono ricompresi i costi bancari e i costi vari. Nel terzo anno sono previsti il completamento degli impianti, il trasporto e la messa in posa delle turbine e tutti i costi relativi ai collaudi, alla chiusura delle pratiche amministrative e dell'avviamento dell'impianto con la produzione di energia elettrica e vendita alla rete nazionale. I costi di realizzazione seguono dunque la seguente ripartizione.

1° anno: studi e autorizzazioni

$$C_1=80\% C_{FAT}+20\% C_{VAR}+30\% C_{SVI} \quad (24)$$

2° anno: progettazione, realizzazione opere civili e impiantistiche, acquisti turbine

$$C_2=20\% C_{FAT} + 80\% C_{ING} + 70\% C_{SVI} + 50\% C_{TUR} + 20\% C_{BOP} +20\% C_{VAR} \quad (25)$$

3° anno: completamento impianto e avviamento

$$C_3= 20\% C_{ING} + 50\% C_{TUR} + 80\% C_{BOP}+60\% C_{VAR} \quad (26)$$

I costi annui di gestione e manutenzione sono stimati pari al 2% del costo di realizzazione C_{IMP} per i primi 10 anni, 4% di C_{IMP} dall'11° al 20° anno.

Le stime relative alla valorizzazione dell'energia elettrica prodotta, che in questo momento è il valore più incerto, si ipotizza in

$$C_{EE}= 110 \text{ €/MWh}$$

Il costo totale di realizzazione è ipotizzato per quanto definito sopra pari a **82,446 M€** senza tenere conto degli interessi passivi. Gli interessi passivi relativi ai mancati guadagni derivanti dall'aver immobilizzato per

un determinato numero di anni le somme di denaro per la realizzazione dell'impianto, si possono calcolare come differenza fra il montante (valore futuro) dei diversi esborsi relativi ai costi sostenuti nei diversi anni e gli stessi costi, ovvero il costo di realizzazione. Il montante, ovvero l'investimento totale richiesto tenuto conto che i flussi di denaro si riportano al 31 dicembre dell'anno è pari a

$$I = C_1 (1+i)^2 + C_2 (1+i)^1 + C_3 (1+i)^0 = \mathbf{85.836 \text{ M€}} \quad (27)$$

Tenendo conto dei costi di gestione e manutenzione enunciati sopra, della potenza installata **di 66 MW** con una producibilità annua dell'impianto **di 155,5 GWh/anno** e una vita utile dell'impianto di 20 anni prima della dismissione si possono calcolare gli indicatori di redditività il VAN e il TIR.

Si possono calcolare i diversi indicatori di redditività:

ROI (Return of Investment -ROI), efficienza economica del progetto.

$$ROI = \frac{\text{Ricavo del progetto} - \text{Costo del progetto}}{\text{Costo del progetto}} \quad (28)$$

VAN (NPV, Net Present Value), ovvero il valore dei futuri flussi di cassa (positivi e negativi) nell'intero ciclo di vita dell'investimento dato dalla formula:

$$NPV (i) = \sum_{t=0}^n F_t (1+i)^{-t} = 83,715 \text{ M€} \quad (29)$$

TIR (IRR, Internet Rate of Return), ovvero il Tasso di interesse che permette di pareggiare le entrate e le uscite ovvero dove la sommatoria dei flussi di cassa è pari a 0.

$$NPV (IRR) = \sum_{t=0}^n F_t (1 + IRR)^{-t} = 0 \quad (30)$$

Essendo il VAN maggiore di zero il progetto è sostenibile ovvero ha un ritorno economico. L'ammontare di questo valore è dato dal valore assunto dal NPV stesso. Il TIR (IRR) è invece pari al 9%. ROI =2,98 >0 calcolato per il 20 anni di vita del progetto.

CALCOLO DEL VALORE ANNUO NETTO (VAN)

Descrizione	Valori
Costo dell'energia Mwh	110,00 €
Produzione annua netta MWh/y	155500,0
Costo iniziale dell'investimento	85.836.456,00 €
Importo bancario richiesto	85.836.456,00 €
Ricavi annuali	17.105.000,00 €
	1%
Tasso di interesse	2,00%
Numero di anni di investimento:	20
Flusso di cassa annuale:	15.388.270,88 €
Valore Attuale Netto (VAN):	83.715.105,11 €
TIR	9%

Anni di investimento	Flusso di costi annuali	Flusso di ricavi annuali	Valore attualizzato	Flusso di cassa annuale	Rientro dell'investimento
Anno 0	- 85.836.456,00 €			- 85.836.456,00 €	- 85.836.456,00 €
Anno 1	5.421.148,86 €	17.105.000,00 €	16.769.607,84 €	11.348.458,99 €	-74.487.997 €
Anno 2	5.421.148,86 €	17.105.000,00 €	16.440.792,00 €	11.019.643,15 €	-63.468.354 €
Anno 3	5.421.148,86 €	17.105.000,00 €	16.118.423,53 €	10.697.274,68 €	-52.771.079 €
Anno 4	5.421.148,86 €	17.105.000,00 €	15.802.376,01 €	10.381.227,16 €	-42.389.852 €
Anno 5	5.421.148,86 €	17.105.000,00 €	15.492.525,50 €	10.071.376,65 €	-32.318.475 €
Anno 6	5.421.148,86 €	17.105.000,00 €	15.188.750,49 €	9.767.601,64 €	-22.550.874 €
Anno 7	5.421.148,86 €	17.105.000,00 €	14.890.931,86 €	9.469.783,00 €	-13.081.091 €
Anno 8	5.421.148,86 €	17.105.000,00 €	14.598.952,80 €	9.177.803,94 €	-3.903.287 €
Anno 9	5.421.148,86 €	17.105.000,00 €	14.312.698,82 €	8.891.549,97 €	4.988.263 €
Anno 10	5.421.148,86 €	17.105.000,00 €	14.032.057,67 €	8.610.908,81 €	13.599.172 €
Anno 11	5.592.821,77 €	17.105.000,00 €	13.756.919,28 €	8.164.097,52 €	21.763.269 €
Anno 12	5.592.821,77 €	17.105.000,00 €	13.487.175,77 €	7.894.354,00 €	29.657.623 €
Anno 13	5.592.821,77 €	17.105.000,00 €	13.222.721,34 €	7.629.899,57 €	37.287.523 €
Anno 14	5.592.821,77 €	17.105.000,00 €	12.963.452,30 €	7.370.630,53 €	44.658.154 €
Anno 15	5.592.821,77 €	17.105.000,00 €	12.709.266,96 €	7.116.445,19 €	51.774.599 €
Anno 16	5.592.821,77 €	17.105.000,00 €	12.460.065,64 €	6.867.243,88 €	58.641.843 €
Anno 17	5.592.821,77 €	17.105.000,00 €	12.215.750,63 €	6.622.928,86 €	65.264.772 €
Anno 18	5.592.821,77 €	17.105.000,00 €	11.976.226,11 €	6.383.404,34 €	71.648.176 €
Anno 19	5.592.821,77 €	17.105.000,00 €	11.741.398,15 €	6.148.576,38 €	77.796.752 €
Anno 20	5.592.821,77 €	17.105.000,00 €	11.511.174,65 €	5.918.352,88 €	83.715.105 €

Figura 88 tabella Calcolo VAN e TIR scenario ipotizzato

Dal grafico è possibile vedere il flusso di cassa dell'investimento con il raggiungimento del PBT (Pay-Back Time) tra il 9° e 10° anno. Il progetto di investimento è sostenibile per una durata di 20 anni e con un prezzo di vendita di 110 euro MWh considerando che l'intera produzione di energia è venduta in rete.

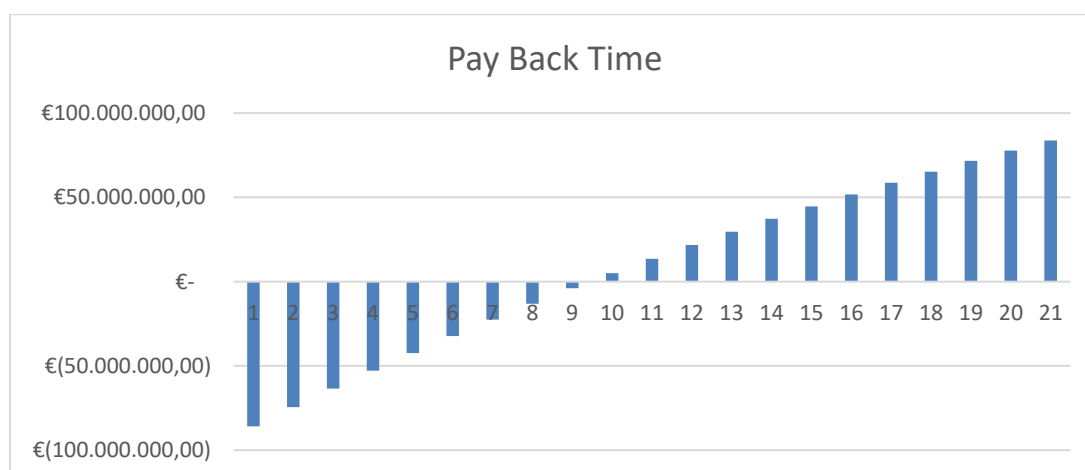


Figura 89 PBT dell'investimento

Production renewable energy

La producibilità dell'impianto è stata riportata nella successiva immagine e si stima una producibilità annua di 155,5 MWh/anno.

PARK - Main Result

Calculation: Park V162-6.0 HH125

Wake Model N.O. Jensen (RISØ/EMD) Park 2 2018

Calculation performed in UTM (north)-WGS84 Zone: 32
At the site centre the difference between grid north and true north is: 0,0°

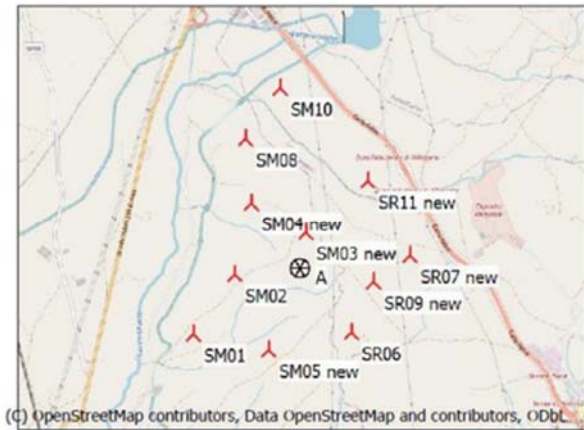
Power curve correction method
New windPRO method (adjusted IEC method, improved to match turbine control) <RECOMMENDED>
Air density calculation method
Height dependent, temperature from climate station
Station: CAGLIARI/ELMAS
Base temperature: 16,5 °C at 4,0 m
Base pressure: 1013,3 hPa at 0,0 m
Air density for Site center in key hub height: 102,9 m + 125,0 m = 1,192 kg/m³ -> 97,3 % of Std
Relative humidity: 0,0 %

Wake Model Parameters
Terrain type Wake decay constant
DTU default onshore 0,090

Wake calculation settings
Angle [°] Wind speed [m/s]
start end step start end step
0,5 360,0 1,0 0,5 30,5 1,0

Wind statistics IT MCP - METMAST + ERAS - [Regression].wvs

WAsP version WAsP 12 Version 12.6.0.28



Key results for height 125,0 m above ground level

Terrain UTM (north)-WGS84 Zone: 32

Easting Northing Name of wind distribution Type

A 494.085 4.373.186 SDO for PARK

WAsP (WAsP 12 Version 12.6.0.28)

Wind energy [kWh/m²] Mean wind speed [m/s] Equivalent roughness
2.411 6,1 1,6

Calculated Annual Energy for Wind Farm

WTG combination	Result [MWh/y]	GROSS (no loss) [MWh/y]	Wake loss [%]	Specific results ^{*)}			
				Capacity factor [%]	Mean WTG result [MWh/y]	Full load hours [Hours/year]	Mean wind speed @hub height [m/s]
PARK	165.239,1	177.552,7	6,9	28,6	15.021,7	2.504	6,1

^{*)} Based on wake reduced results and any curtailments.

Figura 90 Report Wind PRO per la bontà del sito

Utilizzando l'analisi LCA e la metodologia CED è possibile analizzare le componenti dell'impianto visto in precedenza inserendo anche la producibilità eolica annua nell'inventario. L'analisi attributiva del ciclo di vita è stata sviluppata utilizzando SimaPro 9.11.7, software e dati dalla letteratura e dal database Ecoinvent 3.7.

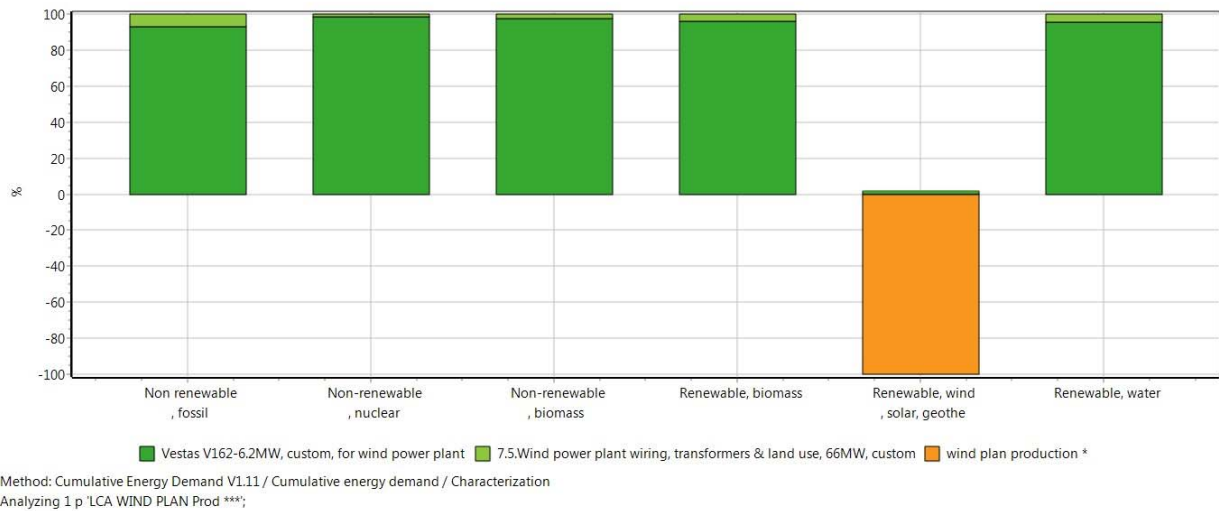


Figura 91 Caratterizzazione LCA con produttività di energia

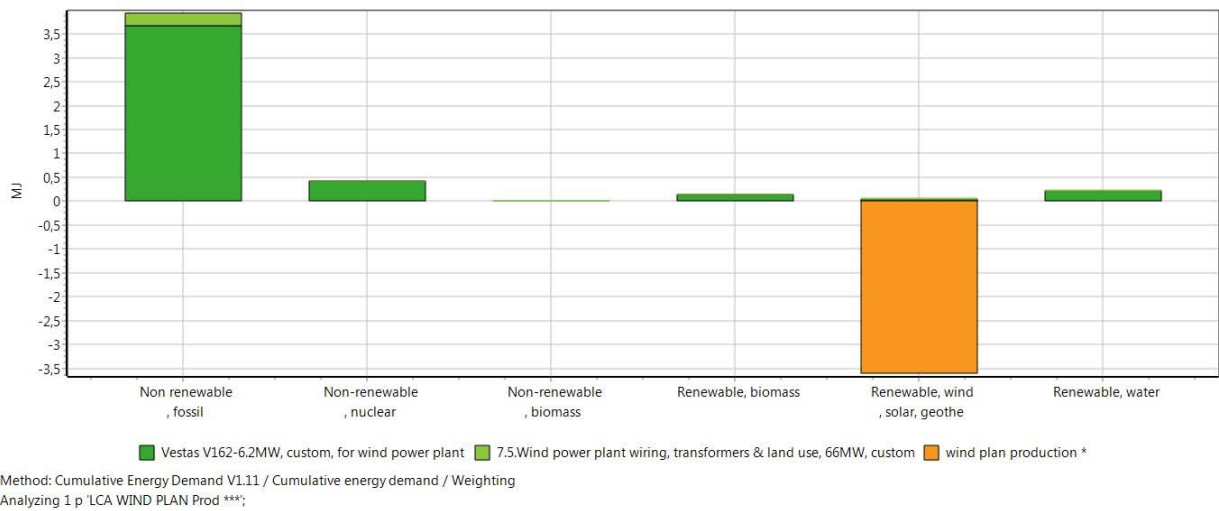


Figura 92 Weight LCA con produttività di energia

Impact category	Unit	Total	Vestas V162-6.2MW, custom, for wind power plant	7.5.Wind power plant wiring, transformers & land use, 66MW, custom	wind plan production *
Non renewable, fossil	MJ	3,93672	3,665386174	0,271333583	0
Non-renewable, nuclear	MJ	0,426858	0,420574402	0,006283716	0
Non-renewable, biomass	MJ	0,000806	0,000787782	1,8561E-05	0
Renewable, biomass	MJ	0,145518	0,139985435	0,005532102	0
Renewable, wind, solar, geoth	MJ	-3,54427	0,054568566	0,001156753	-3,6
Renewable, water	MJ	0,231494	0,221184708	0,010309239	0

Figura 93 Dati LCA caratterizzazione produttività di energia

La produzione di energia eolico e quindi rinnovabile che nel grafico è riportata nell'asse dei valori negativi essendo una risorsa e non un danno è notevolmente superiore ai valori di energia non rinnovabile utilizzati per la costruzione del parco eolico comprensivo del terreno utilizzato per la posa dell'impianto.

5.4 Fase di Controllo

Nella fase di valutazione il progetto è stato valutato con i KPIs identificati nella fase di pianificazione e scelti dal contesto, dagli stakeholder. Si è visto come alcuni indicatori ritenuti apparentemente più importanti di altri in realtà alla validazione spariscono lasciando il posto ad altri. Come, per esempio, l'impatto visivo degli impianti che dai dati del questionario perde importanza rispetto al coinvolgimento della comunità locale nel progetto e al profitto che anche la network analysis mostra essere l'indicatore che maggiormente influenza gli altri. Si è detto che alcuni indicatori sociali non sono direttamente quantificabili ma possono essere influenzare gli altri venendo a costituire il contorno del sistema.

Nella tabella seguente sono riportati i dati ottenuti nella valutazione del progetto e quali indicatori possono influenzarli.

CONTROLLO DELLA VALUTAZIONE				
KPIs	SOSTENIBILE	VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ	PUÒ CONDIZIONARE GLI ALTRI INDICATORI	AZIONI
LAND USE MINORE PRODUZIONE DI CO2 USE NON RENEWABLE ENERGY CLIMATE CHANGE WASTE	SI condizionato dai materiali costituenti la torre e la turbina dell'impianto	Mediante metodologia LCA e il raggruppamento degli indicatori in categorie di danno. L'uso di energie non rinnovabili, la produzione di CO2 misurata dall'indicatore Global Warming e il land occupation sono inferiore all'indicatore Respiratory inorganic che è condizionato dagli impatti dell'alluminio e del calcestruzzo materiali costituenti la torre e la turbina. Ma essendo questi riciclabili 81% secondo scheda tecnica Vestas gli impatti si annullano. Diventa bassissima anche la produzione di rifiuti		Confronto con altri sistemi di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile o rete
SUSTAINABLE ECOFRIENDLY PRODUCT	SI	PCI= 78%	Accettabilità del Progetto per la maggiore produzione di rifiuti al fine vita dell'impianto	Comunicazioni della tecnologia e riciclabilità dei prodotti costituenti l'impianto
NOISE	SI	32 db < 40 db		Comunicazione adeguata del Progetto
SHADOW FLIKERS	SI	12% superficie netta occupata dall'impianto		Comunicazione degli impatti che non creano danno per l'utilizzo produttivo del restante territorio.
LOCAL EMPLOYMENT	Solo marginalmente	Valutato in termini di ricadute per il territorio: ospitalità, progettualità		Convenzioni con attività esistenti nel territorio
ENGAGEMENT WITH	SI	Incontri con le amministrazioni locali, con le associazioni ambientaliste, le	Può determinare la non accettazione	Modifica del ciclo di vita del progetto che

COMMUNITY		associazioni agricole e la comunità prima della presentazione del progetto per l'ottenimento dell'ammissibilità ambientale.	del progetto.	deve nascere col territorio che lo ospita
% RENEWABLE ENERGY COMMUNITY	NO	Deve essere stabilita una percentuale di energia cedibile al territorio	Profitability Condiziona i ricavi del promotore che deve cedere una parte dell'energia vendibile	Accordi con il promotore per una equità delle risorse. Costituzione di CER
PROFITABILITY	SI	VAN IRR ROI Payback time		Analisi di sensitività e di scenario variando le condizioni esterne e le aspettative della comunità locale.
PRODUCTION RENEWABLE ENERGY	SI			

Figura 94 Discussione indicatori nella fase di controllo

Vengono quindi condotte delle analisi di sensitività per gli indicatori ambientali e quelli economici. I primi sono confrontati con altri sistemi di produzione energetica: energia di rete e fotovoltaica, i secondi vengono fatti variare per concertazione con gli indicatori che indicano le aspettative della comunità locale ovvero la partecipazione al progetto e la condivisione dell'energia rinnovabile prodotta.

Altra analisi di sensitività è condotta per gli indicatori

Analisi di sensitività: Indicatori ambientali

I risultati precedenti vengono confrontati con gli impatti prodotti per la produzione di 1 kWh di energia elettrica da rete in alta tensione e da impianti agrivoltaici. In questo caso si tratta di un impianto agrivoltaico simile a quelli del territorio agricolo anch'esso in fase di valutazione ambientale nella medesima area.

L'inventario costruito per il parco agrivoltaico è ricavato sulla base di un impianto adiacente nei comuni di Samassi e Serramanna di 25818,65 kWp. e che occupa 110 907.94 m² di suolo con moduli fotovoltaici Hi-Mo LR-72HPH 540 da 540 Wp.

Per l'energia in alta tensione viene adoperato il mix energetico presente in Ecoinvent Electricity, high voltage {IT} | market for | APOS, S valido per 2016 calcolato in base alle statistiche IEA World Energy Statistics and Balances⁵³.

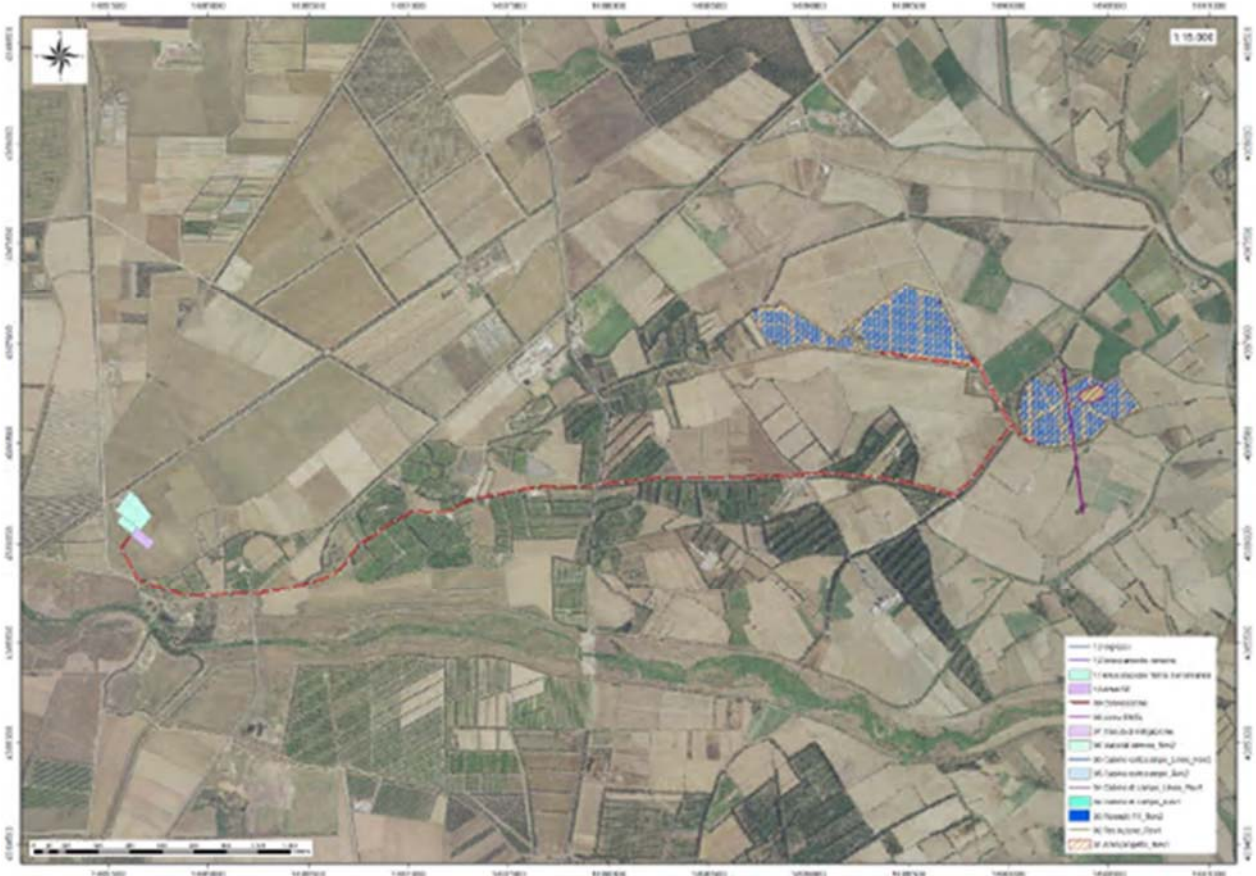


Figura 95 Inquadramento area di progetto agrivoltaico su ortofoto

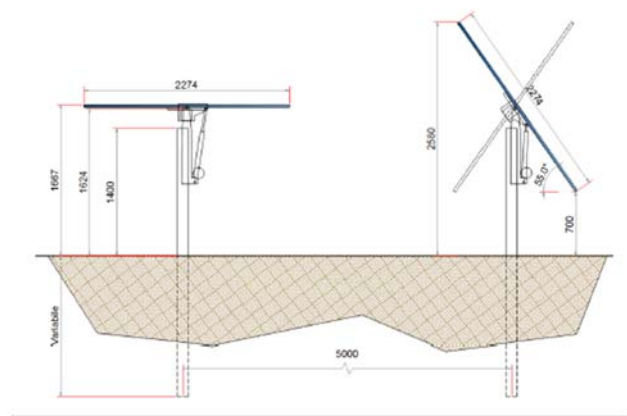


Figura 96 Tracker inseguitore mono assiale - vista laterale delle strutture di sostegno

Caratteristiche tecniche dell'impianto agrivoltaico

L'impianto fotovoltaico in esame è definito agrivoltaico in quanto rispetta i parametri della circolare del MISE e del decreto legislativo n.199 del 2021. La superficie occupata dall'impianto è pari a 110.907,94 m² su una superficie totale di 554.539,7 m².

- La **superficie minima coltivata** ($S_{agricola}$) è superiore al 70% della superficie agricola totale (S_{tot}) interessata dall'intervento.

$$S_{agricola} \geq 0,7 S_{tot} \quad (31)$$

La superficie agricola 468.586 m² è superiore a 388.177,8 m².

- Il **LAOR** (land Area Occupation Ratio) ovvero la percentuale di superficie complessiva coperta dai moduli 38817,7 m², è minore del 40% della superficie totale di impianto.

$$LAOR \leq 40\% \quad (32)$$

Il LAOR del progetto è intorno al 35% al di sotto delle linee guida.

- La **producibilità elettrica minima** dell'impianto agrivoltaico non è inferiore al 60% della producibilità di un impianto fotovoltaico standard costituito da strutture fisse con inclinazione del 12% che interessa la stessa area di impianto.

$$FV_{agri} \geq 0,6 FV_{standard} \quad (33)$$

Il valore di producibilità dell'impianto agrivoltaico si attesta a 25MW rispetto a 12 MW di un impianto fotovoltaico standard.

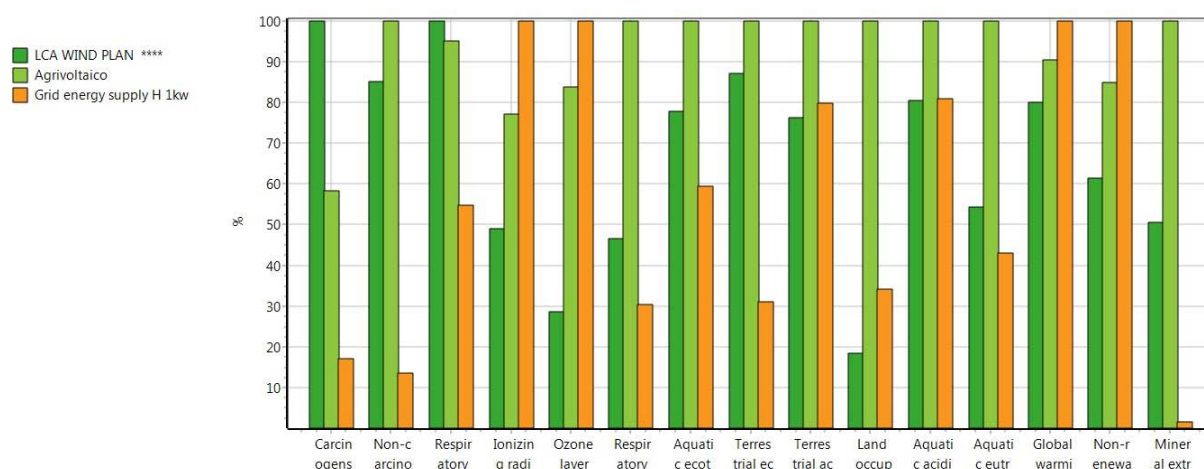
Le colture che, per le loro caratteristiche e per le caratteristiche del sito saranno coltivate sono le seguenti: finocchio; sedano; bietola da coste; cavolo broccolo e cavolfiore; aglio, cipolla, porro; indivia e scarola. melone cetriolo.

Riportando l'inventario anche per l'impianto agrivoltaico è possibile effettuare l'analisi LCA e confrontare le diverse tipologie di produzione di energia elettrica: eolico, agrivoltaico e rete.

PANNELLI AGRIVOLTAICI ESTRATTO INVENTARIO		
INPUT		
Aluminium alloy, AlMg3 [GLO] market for APOS, S	1,870E+00	kg/m ²
Copper [GLO] market for APOS, S	1,030E+01	kg/m ²
Wire drawing, copper [GLO] market for APOS, S	1,030E+01	kg/m ²
Diode, auxiliaries and energy use [GLO] market for APOS, S	2,810E+03	kg/m ²
Silicone product [RER] market for silicone product APOS, S	1,220E+01	kg/m ²
Tin [GLO] market for APOS, S	1,290E+02	kg/m ²
Lead [GLO] market for APOS, S	7,250E+04	kg/m ²
Solar glass, low-iron [GLO] market for APOS, S	7,735E+00	kg/m ²
Tempering, flat glass [GLO] market for APOS, S	7,735E+00	kg/m ²
Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded [GLO] market for APOS, S	2,950E+01	kg/m ²
Polyethyleneterephthalate, granulate, amorphous [GLO] market for APOS, S	3,460E+01	kg/m ²
Polyethylene, high density, granulate [GLO] market for APOS, S	2,380E+02	kg/m ²
Ethylvinylacetate, foil [GLO] market for APOS, S	8,750E+01	kg/m ²
Polyvinylfluoride [GLO] market for APOS, S	1,120E+01	kg/m ²
Tap water [RER] market group for APOS, S	5,030E+00	kg/m ²
Hydrogen fluoride [RER] market for hydrogen fluoride APOS, S	6,420E+02	kg/m ²
1-propanol [GLO] market for APOS, S	1,590E+02	kg/m ²
Isopropanol [RER] market for isopropanol APOS, S	1,470E+04	kg/m ²
Potassium hydroxide [GLO] market for APOS, S	5,140E+02	kg/m ²
Soap [GLO] market for APOS, S	1,160E+02	kg/m ²
Corrugated board box [RER] market for corrugated board box APOS, S	7,630E+01	kg/m ²
	2,527E+01	kg/m ²
RECYCLING		
Silica sand [GLO] market for APOS, S	5,44E+01	kg/m ²
Soda ash, dense [GLO] market for APOS, S	1,36E+01	kg/m ²
Limestone, crushed, for mill [RoW] market for limestone, crushed, for mill APOS, S	2,38E+01	kg/m ²
Copper [GLO] market for APOS, S	0	kg/m ²
Aluminium, primary, ingot [RoW] market for APOS, S	5,34E+02	kg/m ²
	9,71E+01	kg/m ²
WASTE		
Waste plastic, mixture [RoW] treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration APOS, S	0,147	kg/m ²
Waste plastic, mixture [RoW] treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill APOS, S	0,0257	kg/m ²
Aluminium scrap, post-consumer, prepared for melting [RER] treatment of aluminium scrap, post-consumer, prepared for recycling, at remelter APOS, S	0,0534	kg/m ²
Copper scrap recycling, for secondary copper production, custom	0,04613	kg/m ²
	0,27223	kg/m ²

Figura 97 Inventario per V, W e R per pannello agrivoltaico

L'analisi viene effettuata applicando l'analisi LCA alle tre tipologie di energia con il metodo Impact 2002+ v.2.15 e software SimaPro 9.1.17

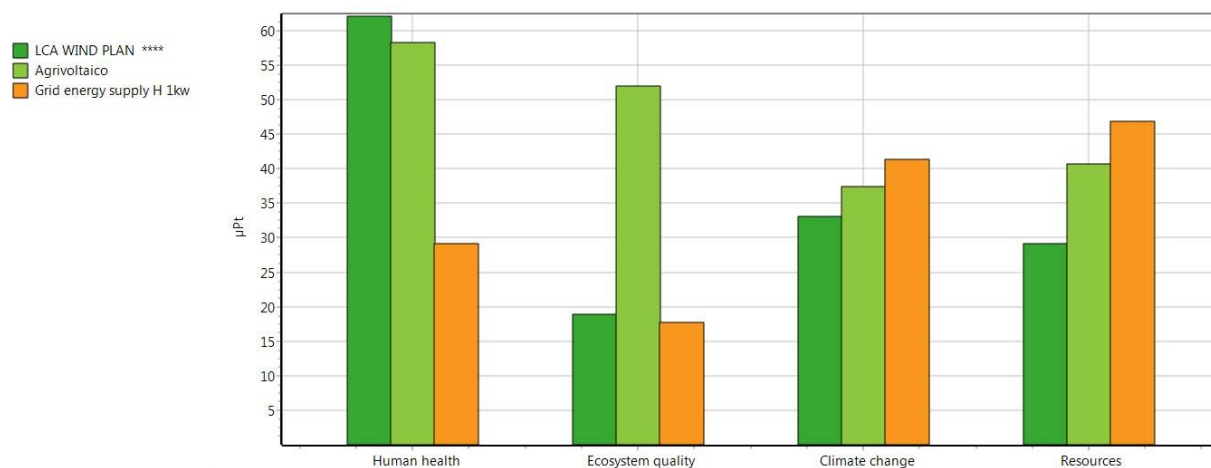


Method: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Characterization
Comparing 1 p 'LCA WIND PLAN ****', 1,25E-8 p 'Agrivoltaico' and 1 p 'Grid energy supply H 1kw';

Impact category	Unit	LCA WIND PLAN ****	Agrivoltaico	Grid energy supply H 1kw
Carcinogens	kg C2H3Cl eq	0,016475402	0,009624108	0,002827729
Non-carcinogens	kg C2H3Cl eq	0,016888148	0,019847671	0,002683794
Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	0,000494293	0,00047032	0,000270737
Ionizing radiation	Bq C-14 eq	2,777904543	4,370854364	5,666353996
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	1,65352E-08	4,84969E-08	5,77954E-08
Respiratory organics	kg C2H4 eq	0,000112065	0,000240311	7,31498E-05
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	66,34021421	85,15193884	50,53097884
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	19,47137327	22,35016838	6,935683403
Terrestrial acid/nutrient	kg SO2 eq	0,005640663	0,007404078	0,005912628
Land occupation	m2org.arable	0,088019822	0,479654374	0,163884175
Aquatic acidification	kg SO2 eq	0,001769786	0,002198828	0,001777179
Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	6,00225E-05	0,000110309	4,74585E-05
Global warming	kg CO2 eq	0,327155718	0,369793085	0,408864185
Non-renewable energy	MJ primary	4,363669005	6,049804717	7,115992747
Mineral extraction	MJ surplus	0,063022547	0,124437819	0,001915618

Figura 98 Risultati analisi di sensitività per la produzione di 1 kWh da fonti diverse – Caratterizzazione

Dall'analisi di caratterizzazione nei grafici e tabelle seguenti si vede che il ciclo di vita dell'energia prodotta dal campo eolico è pressoché simile agli altri due sistemi energetici nei valori dell'indicatore GWP infatti si ottengono 0,32 kg CO₂eq contro i 0,40 kg CO₂eq dell'energia da rete in alta tensione. Anche per le energie non rinnovabili utilizzate nel processo l'eolico raggiunge minori valori pari a 4,36 MJ_{primari} contro 7,11 MJ_{primari} dell'energia di rete.



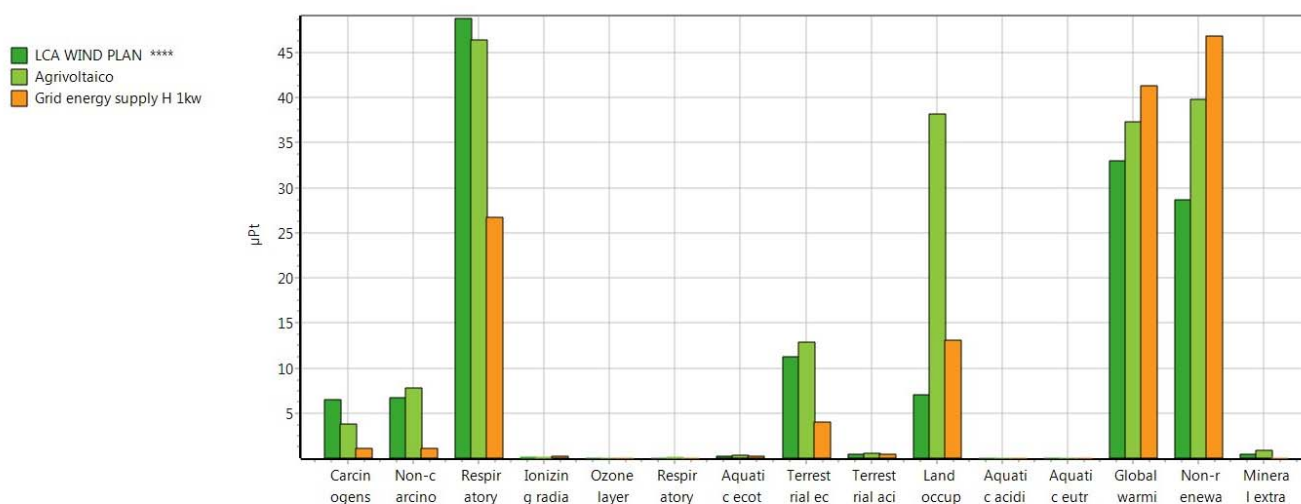
Method: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Weighting
 Comparing 1 p 'LCA WIND PLAN ****', 1,25E-8 p 'Agrivoltaico' and 1 p 'Grid energy supply H 1kw';

Damage category	Unit	LCA WIND PLAN ****	Agrivoltaico	Grid energy supply H 1kw
Total	μPt	143,1658345	188,1863412	134,9063628
Human health	μPt	62,07703475	58,26480209	29,09604507
Ecosystem quality	μPt	18,91844181	51,94592165	17,67919806
Climate change	μPt	33,04272755	37,34910158	41,29528266
Resources	μPt	29,12763042	40,62651588	46,83583704

Figura 99 Analisi di sensitività per categorie di danno UF 1kWh per differenti fonti di energia

Eseguendo il calcolo LCA riferito al peso delle categorie di danno previste da IMPACT 2002+ emerge che il parco eolico ha maggiori impatti nella categoria Human health mentre in tutte le altre è il processo meno impattante. L'energia di rete ha un valore inferiore nella categoria human health pari a 29 punti, dato dal mix energetico nucleare, rinnovabile, carbone, gas, contro i 62 dell'eolico o i 52 dell'agrivoltaico.

L'agrivoltaico segue di poco eolico ponendosi sostenibile nelle categorie climate change e resources rispetto all'energia di rete. Nella categoria di danno ecosystem quality l'impianto agrivoltaico ha un impatto maggiore rispetto alle altre due fonti che sono pressoché uguali. Analizzando gli impatti pesati per singoli indicatori invece che raggruppati per categorie come riportati nella figura 53 si vede subito che l'indicatore che determina questo alto valore nella categoria è dato da Land occupation. Infatti, la superficie occupata dai pannelli agrivoltaici per la produzione di energia elettrica è superiore a quella degli altri due sistemi energetici.



Method: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Weighting
 Comparing 1 p 'LCA WIND PLAN *****', 1,25E-8 p 'Agrivoltaico' and 1 p 'Grid energy supply H 1kw';

Impact category	Unit	LCA WIND PLAN *****	Agrivoltaico	Grid energy supply H 1kw
Total	µPt	143,1658345	188,1863412	134,9063628
Carcinogens	µPt	6,504488531	3,799597701	1,116387427
Non-carcinogens	µPt	6,66744077	7,835860368	1,05956197
Respiratory inorganics	µPt	48,78674708	46,4205704	26,72178926
Ionizing radiation	µPt	0,082253754	0,129420998	0,167780742
Ozone layer depletion	µPt	0,002448032	0,007179964	0,008556603
Respiratory organics	µPt	0,03365659	0,07217266	0,02196907
Aquatic ecotoxicity	µPt	0,243110349	0,312047795	0,185175825
Terrestrial ecotoxicity	µPt	11,24335507	12,90565773	4,004871667
Terrestrial acid/nutri	µPt	0,428239149	0,562117578	0,448886734
Land occupation	µPt	7,00373724	38,16609855	13,04026383
Aquatic acidification	µPt	0	0	0
Aquatic eutrophication	µPt	0	0	0
Global warming	µPt	33,04272755	37,34910158	41,29528266
Non-renewable energy	µPt	28,71294206	39,80771504	46,82323227
Mineral extraction	µPt	0,414688361	0,818800848	0,012604764

Figura 100 Analisi LCA - analisi di sensitività differenti sistemi energetici - pesi

L'esame per singoli indicatori evidenzia ancora che gli indicatori interessati dai tre sistemi energetici sono respiratory organics (i gas respirati), terrestrial ecotoxicity (emissioni nell'ambiente durante il processo), GWP e non renewable energy.

In conclusione, da un punto di vista ambientale: global warming, e non renewable energy i due sistemi per la produzione di energia rinnovabile: eolico e agrivoltaico sono meno impattanti rispetto al sistema energetico mix di rete in alta tensione. Conclusione che permette di dire che i due sistemi sono sostenibili da un punto di vista ambientale.

Analisi di sensitività: Indicatori economici

Per modifiche delle condizioni esterne all'investimento quali il variare del costo di vendita dell'energia, i costi da recuperare se parte di questi fossero finanziati con incentivi statali, del tasso di interesse e se parte dell'energia confluiva nella comunità locale e si avrebbe minore risorsa da vendere o da vendere ad un prezzo inferiore il valore dell'indicatore Profitability cambia. In questo modo cambiano anche le condizioni di sostenibilità.

A partire dallo scenario base descritto nella fase di valutazione si possono fare delle ipotesi per capire quali sono gli scenari in cui il progetto è sostenibile economicamente. Nella prima ipotesi si determina il valore del VAN al variare del prezzo di vendita dell'energia C_{EE} nel range 70-150 €/MWh e si considera la quantità di energia prodotta destinata alla vendita nel range 50-100% nell'ipotesi che parte di questa energia sia ceduta alla comunità.

		PREZZO DI VENDITA DELL'ENERGIA €/MWh				
		70	80	100	110	150
% ENERGIA VENDUTA MWh/y	50% 77750	- 106.983.486,27 €	- 94.270.246,85 €	- 68.843.768,00 €	- 56.130.528,57 €	- 5.277.570,87 €
	80% 124400,0	- 53.587.880,68 €	- 33.246.697,60 €	7.435.668,56 €	27.776.851,64 €	109.141.583,96 €
	100% 155500,0	- 17.990.810,29 €	7.435.668,56 €	58.288.626,26 €	83.715.105,11 €	185.421.020,51 €

Figura 101 Analisi di sensitiva al variare del prezzo dell'energia e la percentuale di energia disponibile per la vendita

L'analisi mostra che con un prezzo di vendita di 70 €/MWh il VAN è sempre minore di zero quindi l'investimento non è sostenibile. Alzando invece il prezzo di vendita a 80 €/MWh il progetto è sostenibile se tutta l'energia elettrica prodotta è venduta alla rete. Alzando il prezzo a 100 €/MWh anche vendendo solo l'80% di energia alla rete il progetto è sostenibile.

Analizzando una seconda analisi di sensitività in cui le variabili sono sempre la quota di energia venduta alla rete e invece il contributo di capitale introdotto per l'investimento supponendo che una parte dei costi sia sostenuto da misure di finanziamento a fondo perduto. L'energia immessa in rete segue le regole precedenti tra il 50-100% mentre le misure di finanziamento sono comprese tra 0%-80%. Come mostra la tabella seguente solo con un finanziamento a fondo perduto dell'80% dei costi iniziali di investimento la vendita della metà dell'energia prodotta comporta un VAN >0.

		MISURE DI FINANZIAMENTO			
		80%	40%	20%	0%
% ENERGIA V		17.167.291,20 €	51.501.873,60 €	68.669.164,80 €	85.836.456,00 €
	50% 77750	27.861.086,54 €	14.134.721,01 €	35.132.624,79 €	56.130.528,57 €
	80% 124400,0	111.768.466,75 €	69.772.659,19 €	48.774.755,42 €	27.776.851,64 €
	100% 155500,0	167.706.720,22 €	125.710.912,67 €	104.713.008,89 €	83.715.105,11 €

Figura 102 Analisi di sensitività misure di finanziamento- percentuale di energia venduta alla rete

Analisi di scenario

Nel campo dei valori del VAN>0 si esaminano più variabili (prezzo di vendita dell'energia, quantità di energia immessa in rete, % di prestito richiesto) tenendo fermi i costi iniziali dell'investimento e il tasso di interesse. Si scelgono 4 scenari derivati dall'analisi di sensitività precedenti raffrontati allo scenario corrente (paragrafo 4.1.3.1) per capire come per esempio nello scenario 4 se viene immessa solo la metà dell'energia prodotta a quale prezzo l'investimento mantiene un VAN>0. In questo caso il costo di vendita sarebbe pari a 150 €/MWh con una quota di finanziamento a fondo perduto pari al 60% (scenario 4) e scenderebbe a 110 €/MWh con una quota di finanziamento a fondo perduto pari al 80% (scenario 3). Esaminando il caso dell'immissione in rete dell'80% dell'energia prodotta con un prezzo di vendita fino a 100 €/MWh nel caso di finanziamenti a fondo perduto pari al 40% l'investimento sarebbe sostenibile (scenario 1). Confrontando gli scenari 1 e 2 in cui varia la sola percentuale di finanziamento a fondo perduto (80-40%) si può vedere che maggiore è la percentuale di finanziamento a fondo perduto maggiore è il Valore del VAN e maggiore il valore del TIR. I risultati sono riportati nella tabella seguente.

Scenari a tasso costante 2%

	Valori correnti:	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
€/MWh	110,00 €	100,00 €	100,00 €	110,00 €	150,00 €
MWh/y	155500,0	124400,0	124400,0	77750,0	77750,0
Costi	85.836.456,00 €	85.836.456,00 €	85.836.456,00 €	85.836.456,00 €	85.836.456,00 €
Prestito	85.836.456,00 €	51.501.873,60 €	68.669.164,80 €	17.167.291,20 €	51.501.873,60 €
Tasso di interesse	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%
VAN	83.715.105,11 €	49.431.476,11 €	28.433.572,34 €	27.861.086,54 €	36.718.236,69 €
TIR	9%	5%	3%	3%	4%

Figura 103 Riepilogo scenari con tasso pari al 2% e costo iniziale costante

Cosa succede se il tasso invece dovesse variare dal 2% al 4%? In questo caso solo lo scenario 1 manterrebbe un VAN>0 immettendo in rete 80% dell'energia prodotta a 100 €/MWh e con un contributo a fondo perduto del 40% dei costi di investimento. Lo scenario corrente invece al variare del tasso (scenario 5) mantenendo un costo di 110€/MWh e la vendita di tutta l'energia prodotta anche senza il supporto di finanziamenti è sostenibile e mantiene un VAN >0 e un TIR pari al 2%. Segue tabella riepilogativa.

Scenari a tasso costante 4%

Valori correnti:		Scenario corrente (4%)	Scenario 1 (4%)	Scenario 2 (4%)	Scenario 3 (4%)	Scenario 4 (4%)
€/MWh	€ 110,00	€ 110,00	€ 100,00	100,00 €	110,00 €	150,00 €
MWh/y	155500,0	155500,0	124400,0	124400,0	77750,0	77750,0
Costi	85.836.456,00 €	85.836.456,00 €	85.836.456,00 €	85.836.456,00 €	85.836.456,00 €	85.836.456,00 €
Prestito	85.836.456,00 €	85.836.456,00 €	51.501.873,60 €	68.669.164,80 €	17.167.291,00 €	51.501.873,60 €
Tasso di interesse	2,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%
VAN	€ 83.715.105,11	€ 15.155.955,28	€ 2.285.056,28	- 22.978.930,42 €	- 19.363,70 €	- 8.281.422,46 €
TIR	9%	2%	0%	-4%	0%	-1%

Figura 104 Riepilogo analisi scenari con variazione di tasso al 4% e costo iniziale costante

Infine, è opportuno vedere cosa succede agli scenari esaminati sopra, al variare dei costi di investimento iniziale, ipotizzando un aumento dei costi dovuto a fattori esterni quali l'inflazione, la guerra i cambiamenti politici sociali. L'analisi di scenario mostra che all'incrementarsi dei costi iniziali del 20% e passando da 85.836.456,00 a 103.007.747,20 gli scenari 1,3,4 a parità di tasso di interesse sono sostenibili e il VAN >0. Dallo scenario 2 si evince che al salire dei costi e in assenza di un importante finanziamento a fondo perduto il fattore discriminante diventa il prezzo dell'energia perché deve essere alzato per rendere il progetto sostenibile. Il tasso di interesse è mantenuto costante al 2%. Rispetto allo scenario base il VAN comunque è notevolmente inferiore così come il TIR.

Scenari a tasso costante 2% e aumento dei costi di realizzazione del 20%

Valori correnti:	Scenario 1 +20%	Scenario 2 + 20%	Scenario 3 +20%	Scenario 4 + 20%
Celle variabili:				
€/MWh	110,00 €	100,00 €	100,00 €	110,00 €
MWh/y	155500,0	124400,0	124400,0	77750,0
Costi	85.836.456,00 €	103.003.747,20 €	103.003.747,20 €	103.003.747,20 €
Prestito	85.836.456,00 €	61.802.248,32 €	82.402.997,76 €	20.600.749,44 €
Tasso di interesse	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%
Celle risultato:				
VAN	83.715.105,11 €	18.635.405,17 €	- 6.562.079,36 €	5.464.177,11 €
TIR	9%	2%	-1%	1%

Figura 105 Analisi scenari con aumento dei costi di realizzazione del 20%

In conclusione, l'analisi di sensitività e di scenario restituisce un primo dato importante. Lo scenario economico ipotizzato nella fase di valutazione è quello con indicatori economici di sostenibilità finanziaria VAN (f) e TIR (f) maggiormente performanti.

Al variare di alcune variabili chiave importanti per l'accettazione del progetto è possibile determinare degli scenari in cui gli indicatori economici di sostenibilità finanziaria indicano ancora la redditività dell'investimento e insieme suggeriscono delle opportunità per gli aspetti sociali del progetto come per esempio:

- 1) La cessione di quota parte dell'energia prodotta all'ambito di interesse;
- 2) La funzionalità dell'impianto anche con prezzi di vendita dell'energia inferiori se il progetto venisse supportato da finanziamenti o misure compensative
- 3) La scelta di accorgimenti progettuali per la limitazione dei costi di realizzazione per mantenere l'iniziativa sostenibile.

6. CONCLUSIONI E FUTURI SVILUPPI

La ricerca ha sviluppato il concetto di sostenibilità e determinato una metodologia che sceglie gli indicatori per valutare la sostenibilità del progetto a partire dal contesto in cui ricade. Mediante la combinazione del metodo deduttivo e induttivo e quindi la raccolta di indicatori provenienti dalla letteratura per un tipo specifico di progetto e indicatori tratti dalle aspettative degli stakeholder coinvolti nel progetto è possibile creare un range di indicatori i KPIs di tipo ambientale, economico e sociale che possono valutare il grado di sostenibilità del progetto. La metodologia MEES articolata in 4 fasi analisi, pianificazione, valutazione e concertazione si inserisce come innovativa nel campo della letteratura della valutazione dei progetti di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile perché oltre a valutare gli aspetti ambientali ed economici codificati da norme UNI individua indicatori sociali, determinanti per l'accettazione sociale del progetto, e calcola nella fase di concentrazione gli effetti per permettere la realizzazione e la resilienza.

La ricerca risponde dunque alla domanda **“è possibile valutare qualitativamente e quantitativamente la sostenibilità di un progetto non solo in termini economico-ambientali ma anche in termini sociali?”** individuando indicatori legati allo specifico progetto appartenenti alle tre categorie della sostenibilità. Altresì individua una metodologia per l'identificazione degli elementi ostativi legati alla non riuscita del progetto proponendo azioni per il superamento di queste criticità.

La metodologia, applicata ad un impianto eolico preso come caso di studio, individua un range di indicatori che tengono conto della circolarità delle materie prime costituenti l'impianto, dei consumi di CO₂, dei cambiamenti climatici, dei rifiuti, del minore uso di energie rinnovabili, del rumore, dell'ombreggiamento delle pale eoliche, della produzione di energia rinnovabile e del profitto condizionati dal coinvolgimento delle comunità locali nelle fasi decisionali di progetto. Riesce quindi a rispondere alla seconda domanda **“gli attori coinvolti nel processo possono influenzare la resilienza del progetto e la sua accettazione?”**

Alcuni risultati della valutazione del progetto assunto come caso di studio sono quantificabili mentre altri possono suggerire azioni o elementi da approfondire nel processo decisionale.

Gli **sviluppi della ricerca** saranno orientati in due filoni.

Il primo riguarda la ricerca di altri indicatori specifici rintracciabili nel processo decisionale e la loro analisi per esempio correlando il peso delle relazioni tra gli indicatori. Uno degli indicatori potrebbe essere il secondo il PNRR il VAN E, ovvero il calcolo della finanziabilità dell'opera in termini sociali calcolando i prezzi ombra delle ricadute e dei danni sul territorio.

Il secondo riguarda l'applicazione del metodo su altri sistemi energetici determinando per ogni caso specifico differenti indicatori legati alle relazioni che intercorrono tra gli stakeholder. Un esempio potrebbe essere la necessità di nuovi impianti di pompaggio nel sistema idroelettrico come accumuli di energia o come bilanciamenti della rete. In questo caso le trasformazioni strutturali sul territorio sono più importanti

e legandole ad un processo di economia circolare difficilmente sarebbe possibile ripristinare i luoghi. Uno dei fattori in questo caso è legato alla gestione dell'impianto a cui per normativa deve essere periodicamente rinnovata la concessione. In questo caso gli indicatori da esaminare sarebbero quelli legati alla fiducia nell'amministrazione e la condivisione della pianificazione delle risorse. Altro tema potrebbe essere l'applicazione del metodo ai nuovi impianti per la produzione di idrogeno dove l'accettazione sarà legata alla scarsa conoscenza dell'impianto e dei rischi probabili per il territorio.

Un'altra considerazione che lega entrambi gli aspetti sarebbe legata a quale stakeholder si vuole riferire la sostenibilità ed eventualmente compararle tra loro. Un altro elemento è il tempo. E' stata eseguita la valutazione degli impatti sociali ed economici nella fase della progettazione, ma se venissero replicati e rianalizzati nella fase di esercizio e di fine vita dell'impianto? I risultati attesi sono positivi come trovati nei fattori ambientali e negli indici di circolarità in cui i nuovi prodotti sono già costruiti nel nuovo design di fine vita del prodotto?

7. RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia per i dati la società proponente del progetto Parco Eolico "Serrenti – Samassi" la Sorgenia Renewable S.r.l, l'Autorità di Bacino della Regione Sardegna per i dati relativi alle progettazioni in corso nella regione Sardegna, i cittadini che hanno compilato il questionario.

8. REFERENCES

1. Assemblea generale delle nazioni unite. Risoluzione adottata dall'Assemblea Generale il 25 settembre 2015. *ONU* 1–35 (2015).
2. Kirchherr, J., Reike, D. & Hekkert, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling* (2017) doi:10.1016/j.resconrec.2017.09.005.
3. Hartley, K. *et al.* Resources, Conservation & Recycling Policies for transitioning towards a circular economy: Expectations from the European Union (EU). *Resour. Conserv. Recycl.* **155**, 104634 (2020).
4. Ghisellini, P. & Ulgiati, S. Circular economy transition in Italy. Achievements, perspectives and constraints. *J. Clean. Prod.* **243**, 118360 (2020).
5. Ghisellini, P., Cialani, C. & Ulgiati, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *J. Clean. Prod.* **114**, 11–32 (2016).
6. Dame, F. & Macarthur, E. In *Conversation Ellen MacArthur: From Linear to Circular*. 247–256 (2019).
7. Economy, C., Food, F. O. R. & Foundation, E. M. CITIES AND CIRCULAR ECONOMY FOR FOOD CITIES AND CIRCULAR ECONOMY. 1–66.
8. Caroli T.; Lavagna M.; Campioli A. Approcci LCA per la verifica di Tecnologie Reversibili per il riuso, la rigenerazione e il riciclo. in *Atti di XIV Convegno della rete Italiana LCA. IX Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA La sostenibilità della LCA tra sfide globali e competitività delle organizzazioni* 343–352 (2021).
9. Elia, V., Gnoni, M. G. & Tornese, F. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. *J. Clean. Prod.* **142**, 2741–2751 (2017).
10. Elia, V., Gnoni, M. G. & Tornese, F. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. *J. Clean. Prod.* **142**, 2741–2751 (2017).
11. Zhang, H., Peeters, J., Demeester, E., Duflou, J. R. & Kellens, K. A CNN-Based Fast Picking Method for WEEE Recycling. *Procedia CIRP* **106**, 264–269 (2022).
12. Bracquené, E., Lindemann, J. & Duflou, J. Implementation of circularity indicators in a household product manufacturing company. *Procedia CIRP* **105**, 660–665 (2022).
13. Khan, I. Critiquing social impact assessments: Ornamentation or reality in the Bangladeshi electricity infrastructure sector? *Energy Res. Soc. Sci.* **60**, 101339 (2020).
14. Terrapon-Pfaff, J., Fink, T., Viebahn, P. & Jamea, E. M. Determining significance in social impact assessments (SIA) by applying both technical and participatory approaches: Methodology development and application in a case study of the concentrated solar power plant NOORO I in Morocco. *Environ. Impact Assess. Rev.* **66**, 138–150 (2017).
15. Benoît-Norris, C. *et al.* Introducing the UNEP/SETAC methodological sheets for subcategories of social LCA. *Int. J. Life Cycle Assess.* **16**, 682–690 (2011).
16. Benoît, C. *et al.* The guidelines for social life cycle assessment of products: Just in time! *Int. J. Life Cycle Assess.* **15**, 156–163 (2010).
17. Macombe, C., Leskinen, P., Feschet, P. & Antikainen, R. Social life cycle assessment of biodiesel production at three levels: A literature review and development needs. *J. Clean. Prod.* **52**, 205–216 (2013).

18. Soltani, M. *et al.* Environmental, economic, and social impacts of geothermal energy systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **140**, 110750 (2021).
19. Do Carmo, B. B. T., Margni, M. & Baptiste, P. Social impacts profile of suppliers: A S-LCA approach. *IFAC-PapersOnLine* **49**, 36–41 (2016).
20. Life, S. & Assessment, C. Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA) 2021. (2021).
21. Sairinen, R., Sidorenko, O. & Tiainen, H. A research framework for studying social impacts: Application to the field of mining. *Environ. Impact Assess. Rev.* **86**, 106490 (2021).
22. Huang, Y. *et al.* Social impact assessment of photovoltaic poverty alleviation program in China. *J. Clean. Prod.* **290**, 125208 (2021).
23. Müggenburg, H., Tillmans, A., Schweizer-Ries, P., Raabe, T. & Adelman, P. Social acceptance of PicoPV systems as a means of rural electrification - A socio-technical case study in Ethiopia. *Energy Sustain. Dev.* **16**, 90–97 (2012).
24. Talinli, I., Topuz, E. & Uygur Akbay, M. Comparative analysis for energy production processes (EPPs): Sustainable energy futures for Turkey. *Energy Policy* **38**, 4479–4488 (2010).
25. Büsgen, U. & Dürschmidt, W. The expansion of electricity generation from renewable energies in Germany. A review based on the Renewable Energy Sources Act Progress Report 2007 and the new German feed-in legislation. *Energy Policy* **37**, 2536–2545 (2009).
26. West, J., Bailey, I. & Winter, M. Renewable energy policy and public perceptions of renewable energy: A cultural theory approach. *Energy Policy* **38**, 5739–5748 (2010).
27. Duncan, M. K. W. & Blugis, A. Maslow's needs hierarchy as a framework for evaluating hospitality houses' resources and services. *J. Pediatr. Nurs.* **26**, 325–331 (2011).
28. Saaty, T. L. No Title. (1989).
29. Attia, S., Alphonsine, P., Amer, M. & Ruellan, G. Towards a European rating system for sustainable student housing: Key performance indicators (KPIs) and a multi-criteria assessment approach. *Environ. Sustain. Indic.* **7**, 100052 (2020).
30. Sovacool, B. K., Hess, D. J. & Cantoni, R. Energy transitions from the cradle to the grave: A meta-theoretical framework integrating responsible innovation, social practices, and energy justice. *Energy Res. Soc. Sci.* **75**, 102027 (2021).
31. Sovacool, B. K. & Hess, D. J. Ordering theories: Typologies and conceptual frameworks for sociotechnical change. *Soc. Stud. Sci.* **47**, 703–750 (2017).
32. Ortiz, G., Domínguez-gómez, J. A., Aledo, A. & Urgeghe, A. M. Participatory multi-criteria decision analysis for prioritizing impacts in environmental and social impact assessments. *Sustain. Sci. Pract. Policy* **14**, 6–21 (2018).
33. Yip, W. S. & To, S. A critical analysis of sustainable micro-manufacturing from the perspective of the triple bottom line: A social network analysis. *Environ. Impact Assess. Rev.* **90**, (2021).
34. Aledo, A., Ortiz, G., Mañas-Navarro, J. J., Climent-Gil, E. & Vallejos-Romero, A. Incorporating supra-local social structure into social impact assessment using causal network analysis. *Environ. Impact Assess. Rev.* **89**, (2021).
35. Besseau, R. *et al.* Past , present and future environmental footprint of the Danish wind turbine fleet with LCA _ WIND _ DK , an online interactive platform. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **108**, 274–288 (2019).

36. Nagle, A. J., Delaney, E. L., Bank, L. C. & Leahy, P. G. A Comparative Life Cycle Assessment between landfilling and Co-Processing of waste from decommissioned Irish wind turbine blades. *J. Clean. Prod.* **277**, 123321 (2020).
37. Farinha, C. B., de Brito, J. & Veiga, R. Assessment of glass fibre reinforced polymer waste reuse as filler in mortars. *J. Clean. Prod.* **210**, 1579–1594 (2019).
38. Palmer, J., Ghita, O. R., Savage, L. & Evans, K. E. Successful closed-loop recycling of thermoset composites. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* **40**, 490–498 (2009).
39. Beauson, J., Laurent, A., Rudolph, D. P. & Pagh Jensen, J. The complex end-of-life of wind turbine blades: A review of the European context. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **155**, 111847 (2022).
40. Wu, R., Wolsink, M. & Bu, M. J. Social acceptance of renewable energy innovation : An introduction to the concept. **35**, 2683–2691 (2007).
41. Deeney, P. *et al.* End-of-Life alternatives for wind turbine blades: Sustainability Indices based on the UN sustainable development goals. *Resour. Conserv. Recycl.* **171**, 105642 (2021).
42. Peri, E. & Tal, A. A sustainable way forward for wind power: Assessing turbines' environmental impacts using a holistic GIS analysis. *Appl. Energy* **279**, 115829 (2020).
43. Radun, J. *et al.* Health effects of wind turbine noise and road traffic noise on people living near wind turbines. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **157**, (2022).
44. Michaud, D. S. *et al.* Exposure to wind turbine noise: Perceptual responses and reported health effects. *J. Acoust. Soc. Am.* **139**, 1443–1454 (2016).
45. Canelas, R., Ferreira, R. M. L., Crespo, A. J. C., Domínguez, J. M. & Domínguez, J. M. A generalized SPH-DEM discretization for the modelling of complex multiphase free surface flows STEEP STREAMS View project SEDITRANS Multi-ITN Marie Curie Project View project SEE PROFILE A generalized SPH-DEM discretization for the modelling of complex . 2–8 (2013) doi:10.13140/RG.2.1.1283.2407.
46. Dällenbach, N. & Wüstenhagen, R. How far do noise concerns travel? Exploring how familiarity and justice shape noise expectations and social acceptance of planned wind energy projects. *Energy Res. Soc. Sci.* **87**, (2022).
47. Snam S.p.A; Terna S.p.A. Scenario di domanda di energia elettrica e gas naturale relativi alla Regione Sardegna - predisposto ai sensi della deliberazione 279/2022/R/COM del 28 giugno 2022. (2022).
48. V.Fois, L.Lecis, D. C. Social impact assessment of wind power generation . An innovative method for decision making processes Social impact assessment of wind power generation . An innovative method for decision making processes. doi:10.1088/1742-6596/2385/1/012004.
49. Wilson, C. B. Additional notes on the development of the Argulidae, with description of a new species. *Proc. United States Natl. Museum* **32**, 411–424 (1907).
50. Renewable, I. & Agency, E. *RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2021*. (2021).
51. Schreiber, A., Marx, J. & Zapp, P. Comparative life cycle assessment of electricity generation by different wind turbine types. *J. Clean. Prod.* **233**, 561–572 (2019).
52. Jingjing, C. *et al.* Resources , Conservation & Recycling Environmental benefits of secondary copper from primary copper based on life cycle assessment in China. **146**, 35–44 (2019).
53. *Electricity Information 2019*. (OECD, 2019). doi:10.1787/e0ebb7e9-en.
54. Bracquené, E., Dewulf, W. & Duflou, J. R. Measuring the performance of more circular complex product supply chains. *Resour. Conserv. Recycl.* **154**, 104608 (2020).

55. Huesca-Pérez, M. E., Sheinbaum-Pardo, C. & Köppel, J. Social implications of siting wind energy in a disadvantaged region - The case of the Isthmus of Tehuantepec, Mexico. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **58**, 952–965 (2016).
56. Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N. & Gekas, V. Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy* **33**, 289–296 (2005).
57. Cranmer, A. *et al.* Worth a thousand words: Presenting wind turbines in virtual reality reveals new opportunities for social acceptance and visualization research. *Energy Res. Soc. Sci.* **67**, 101507 (2020).
58. Martinez, N. & Komendantova, N. The effectiveness of the social impact assessment (SIA) in energy transition management: Stakeholders' insights from renewable energy projects in Mexico. *Energy Policy* **145**, 111744 (2020).
59. Tang, B. sin, Wong, S. wai & Lau, M. C. hong. Social impact assessment and public participation in China: A case study of land requisition in Guangzhou. *Environ. Impact Assess. Rev.* **28**, 57–72 (2008).
60. Fois, V., Fois, V. & Cocco, D. ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect Implication of SDGs on LCA based sustainable design of milk powder ' s dairy production Implication of SDGs on LCA based sustainable design of milk powder ' s dairy production. *Transp. Res. Procedia* **67**, 83–92 (2022).

55 56 57 58 59 60

- 61 V.Fois, "La strutturazione di un problema decisionale: il ricorso alle mappe cognitive per l'interazione tra sapere tecnico e sapere locale" in G. Maciocco, Immagini spaziali e progetto del territorio Franco Angeli, Milano 2003
- 62 E. Mastrofini, "Guida ai temi ed ai processi di project management. Conoscenze avanzate e abilità per la gestione dei progetti." ISIPM Franco Angeli, 2017
- 63 RENA (2022), Renewable Power Generation Costs in 2021, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi . ISBN 978-92-9260-452-3
- 64 Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida – uni 14044_2021. 2021.
- 65 Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento - uni 14040-2021. n.d.
- 66 Life cycle assessment of CO2 emissions from wind power plants: Methodology and case studies
- 67 World Energy Outlook 2019 – www.iea.org/weo , 2019
- 68 A.Schmidt. Life cycle assessment of electricity produced from onshore sited wind power plants based on Vestas V82-1.65 MW turbines. vol. 8. 2007.
- 69 G P. Mali S. Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V136-4.2 MW Wind Plant March 2022 Authors : Peter Garrett & Sagar Mali Vestas Wind Systems A / S.
- 70 A.Schreiber A, Marx J, Zapp P. Comparative life cycle assessment of electricity generation by different wind turbine types. J Clean Prod 201

9. APPENDICE

Questionario sull'ambiente di vita

- Format
- Riepilogo risposte

QUESTIONARIO SULL' AMBIENTE DI VITA

ti chiediamo gentilmente di compilare il seguente "Questionario sull'ambiente di vita" del progetto di ricerca "Metodi per la valutazione della sostenibilità nei progetti" redatto in collaborazione con la facoltà di Ingegneria dell'Università di Cagliari al fine della raccolta dei dati relativi al benessere ambientale e alle interferenze dovute ad impianti di energia rinnovabile e la valutazione delle modalità di partecipazione pubblica nella progettazione di nuovi impianti. Il presente questionario è anonimo e le risposte espresse saranno elaborate e diffuse esclusivamente in forma aggregata. In caso di utilizzo di tablet o cellulari consigliamo di ruotare lo schermo per una migliore compilazione. Ti ringraziamo per la collaborazione!

***Campo obbligatorio**

1. 1. Che tipo di attività svolgi abitualmente?

Seleziona tutte le voci applicabili.

- Studente
- Dipendente pubblico
- Libero professionista
- Artigiano
- Agricoltore
- Insegnante
- Commerciante
- altro
- Opzione 9

Incominciamo

2. 2. Quanto tempo dedichi alla tua attività?

Seleziona tutte le voci applicabili.

- Impiegato full-time
- Impiegato part-time
- Pensionato
- Disoccupato
- Smart - working full time
- Smart-working part time
- In malattia

3. 3. In che tipo di abitazione vivi?

Contrassegna solo un ovale.

- in una casa isolata?
- In una casa semi-isolata?
- in un appartamento?
- In una casa a schiera?

4. 4. In che anno è stato costruito l'immobile in cui vivi? (es. 1943 indicare (1930-1940))

Contrassegna solo un ovale.

- Prima del 1930
- 1930 -1940
- 1950 -1960
- 1970 -1980
- 1990 - 2000
- 2010 o dopo?

5. 5. Da quanti anni vivi nella tua attuale casa?

6. 6. In che tipo di casa vivi?

Contrassegna solo un ovale.

- casa di proprietà (tua o della tua famiglia)
- Casa in affitto
- Casa della società per cui lavori
- Casa di riposo, struttura di riabilitazione

Le tue percezioni

poco (1) ... moltissimo (5)

7. 7. Quanto ti descrivono queste affermazioni?

Contrassegna solo un ovale per riga.

	1	2	3	4	5
Mi abituo alla maggior parte dei rumori senza difficoltà	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mi infastidisco se i miei vicini sono rumorosi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trovo difficile rilassarmi in un posto rumoroso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sono sensibile al rumore	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. 8. Quanto sei soddisfatto delle caratteristiche della tua zona? *

Contrassegna solo un ovale per riga.

	1	2	3	4	5
Servizi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trasporti pubblici	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aree verdi / parchi attività ludico motorie	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pace di sottofondo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vicini	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sicurezza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Paesaggio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. 9. Cosa puoi vedere dalle finestre, dal balcone o dal giardino della tua casa... *

Contrassegna solo un ovale per riga.

	No	Si
strade trafficate?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
aree edificate?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ferrovia?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
turbine eoliche?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
impianti agrivoltaici?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
linee elettriche, linee telefoniche?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
mare, fiumi o laghi?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
campi, prati, boschi o parchi?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
edificato abbandonato o disordinato?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
area industriale?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Cambiamenti nella tua area

poco (1) ... moltissimo (5)

10. 10. Secondo te alcune caratteristiche della tua zona influiscono sul valore della tua proprietà? *

Contrassegna solo un ovale per riga.

	1	2	3	4	5	Non presente
Strade trafficate	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ferrovia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Centro città e relativi servizi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Impianti industriali	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Parchi eolici	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Impianti agrivoltaici	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Edifici agricoli	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Discariche o centro di riciclo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11. 11. Ci sono stati cambiamenti significativi nelle aree visibili dalla tua zona giorno o ci saranno cambiamenti significativi nel futuro?

13. 13. Percepisci che la tua comunità acquisisce benefici da questi progetti realizzati fuori dalla tua zona?

*

Contrassegna solo un ovale per riga.

	Non del tutto	In parte	Molto
Costruzione di strade o di reti di trasporto pubblico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Edifici industriali o depositi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Parchi eolici	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Impianti agrivoltaici	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Uffici o edifici commerciali	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Edifici agricoli	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

14. 14. Hai mai guadagnato finanziariamente dai seguenti progetti che si sono verificati nella tua zona (per esempio hai guadagnato attraverso la vendita o affitto di un terreno o sei partner di un progetto)? *

Contrassegna solo un ovale per riga.

	No	Si
Costruzione di strade o di reti di trasporto pubblico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Edifici industriali o depositi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Parchi eolici	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Impianti agrivoltaici	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Uffici o edifici commerciali	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Edifici agricoli	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Le energie rinnovabili e ...

1(poco) ... 5 (molto)

15. Valuta quanto sei d'accordo con le seguenti dichiarazioni relative alla produzione di energia

Contrassegna solo un ovale per riga.

	1	2	3	4	5
Penso che l'energia solare non sia conveniente economicamente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
L'uso di combustibili fossili importati dall'estero dovrebbe essere diminuito per aumentare l'autosufficienza energetica dell'Italia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sono preoccupato per gli effetti negativi creati dall'uso dei combustibili fossili nell'aria	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Penso che se gli impianti di energia rinnovabile portassero alla diminuzione del costo dell'energia nel mio territorio sarebbero un'opportunità	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Penso che sia importante valutare la quantità di materiale riciclabile presente nei nuovi impianti di energie rinnovabili o la quantità riutilizzabile dopo la loro dismissione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

16. Valuta le seguenti affermazioni

Contrassegna solo un ovale per riga.

	1	2	3	4	5
Penso che l'elettricità prodotta dall'energia eolica sia una cosa positiva	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Penso che l'elettricità prodotta dai parchi agrivoltaici sia positiva	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
I parchi eolici hanno un impatto negativo sul paesaggio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sono preoccupato per le interferenze degli impianti agrivoltaici sui suoli agricoli	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sono preoccupato per le interferenze tra le turbine eoliche e i volatili	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
L'energia elettrica prodotta da turbine eoliche produce minore CO2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
L'energia elettrica prodotta da pannelli agrivoltaici produce minore CO2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

17. 17. Quanto ti disturbano o ti infastidiscono i seguenti fattori ambientali quando trascorri del tempo nella tua casa? Pensa agli ultimi 12 mesi

Contrassegna solo un ovale per riga.

	1	2	3	4	5
Rumore dal traffico stradale	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rumore dal traffico ferroviario	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rumore dalle turbine eoliche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ombreggiamento dalle turbine eoliche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rumore dall'aeroporto o dagli insediamenti industriali	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rumore dalle motociclette	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rumore dai vicini o del vicinato	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rumore tipico della mia area	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Abbagliamento dai pannelli agrivoltaici	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Odori e polvere	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cantieri edili	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Stato di salute

1(scarso) 5 (ottimo)

18. 18. Come valuteresti la qualità della tua vita?

Contrassegna solo un ovale.

—

1

2

3

4

5

—

19. 19. Quanto sei soddisfatto dello stato della tua salute?

Contrassegna solo un ovale.

—

1

2

3

4

5

—

**eolici perché non
mi sento al sicuro**

**Non si fa
abbastanza per
l'abbattimento del
rumore da traffico
stradale**

**Sono preoccupato
per i possibili effetti
negativi che si
genereranno dopo
la dismissione di un
parco eolico**

**Sono preoccupato
per i possibili effetti
negativi che si
genereranno dopo
la dismissione di un
parco agrivoltaico**

**Sono preoccupato
per le alterazioni
visuali del mio
territorio per la
costruzione di una
nuova infrastruttura
viaria**

**Sono preoccupato
per le alterazioni
visuali del mio
territorio se fosse
costruito un parco
eolico**

RINGRAZIAMENTI

Grazie per il tempo che hai dedicato alla compilazione del
questionario!

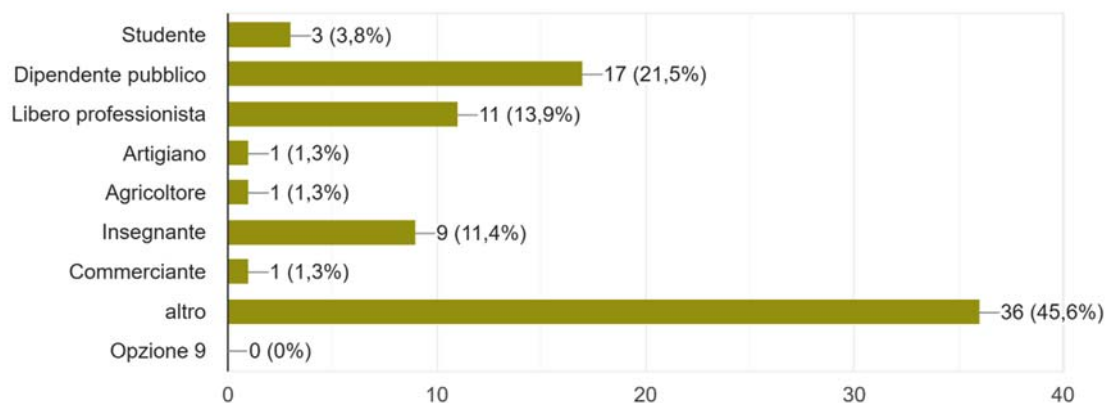
APPENDICE 2

Risposte Questionario sull'ambiente di vita

RISPOSTE 79

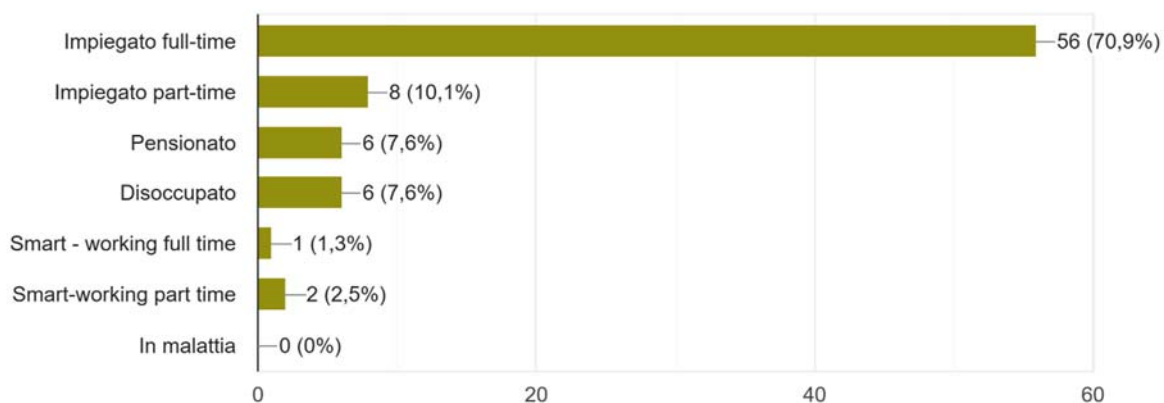
1. Che tipo di attività svolgi abitualmente?

79 risposte



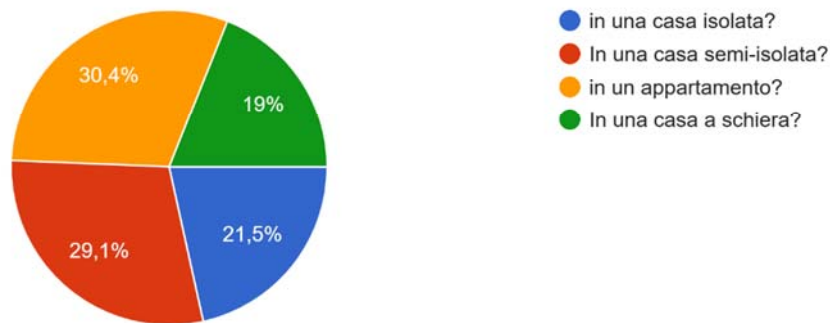
2. Quanto tempo dedichi alla tua attività?

79 risposte



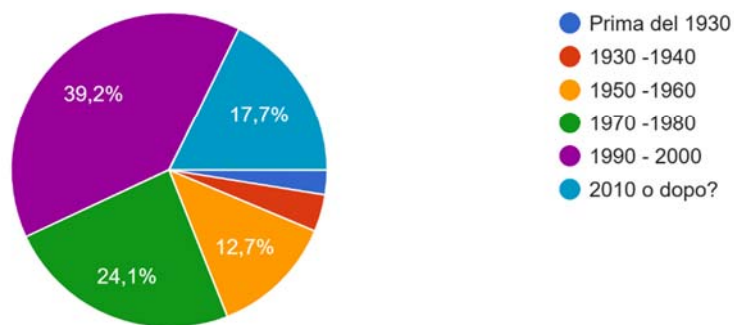
3. In che tipo di abitazione vivi?

79 risposte



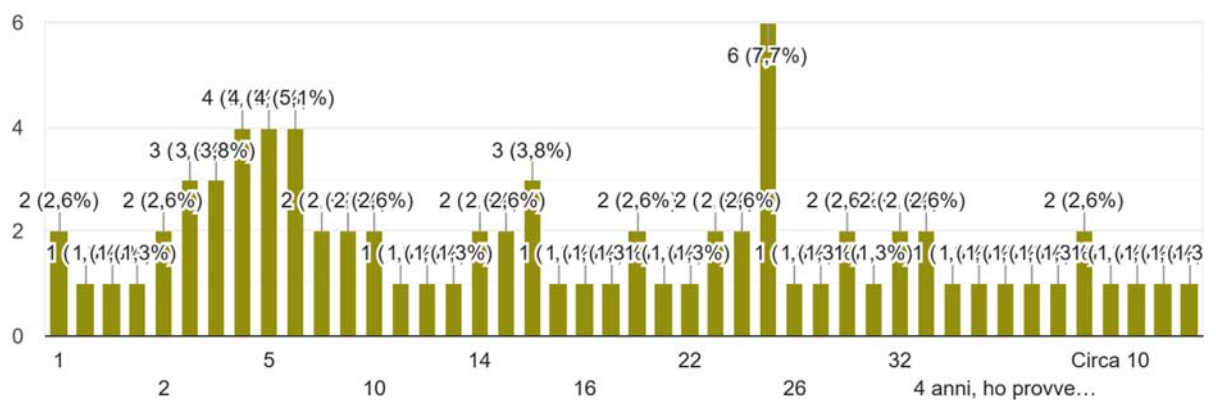
4. In che anno è stato costruito l'immobile in cui vivi? (es. 1943 indicare (1930-1940))

79 risposte



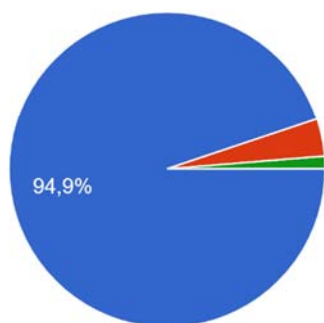
5. Da quanti anni vivi nella tua attuale casa?

78 risposte



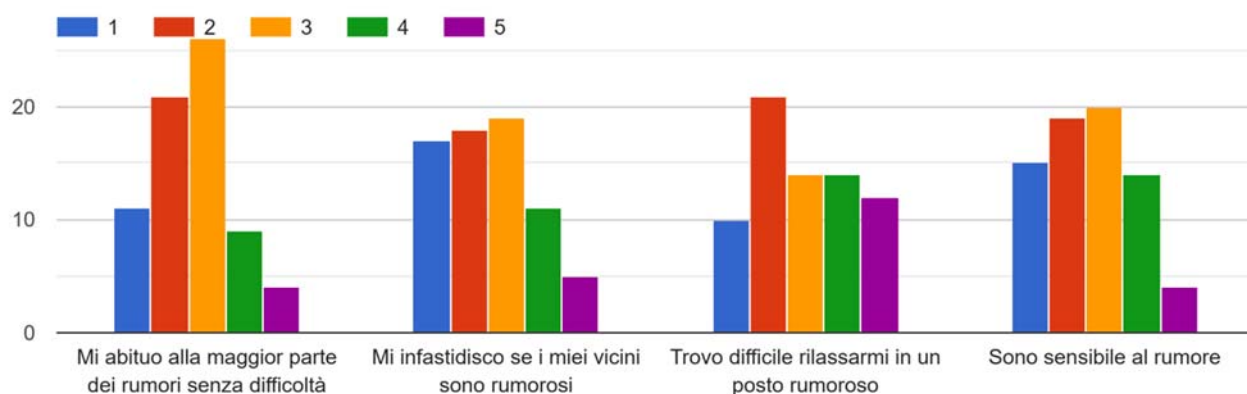
6. In che tipo di casa vivi?

78 risposte

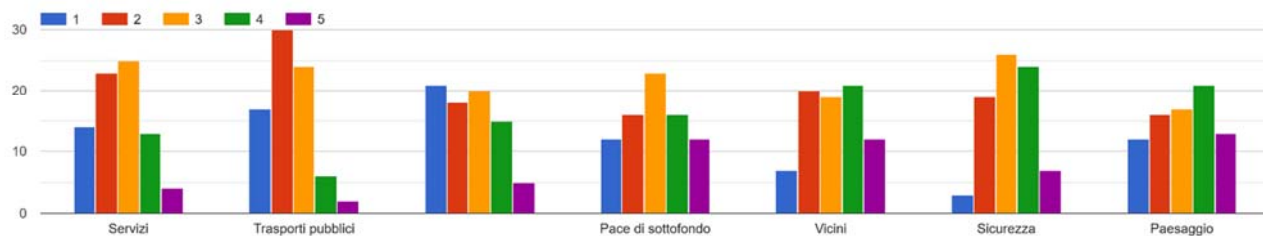


- casa di proprietà (tua o della tua famiglia)
- Casa in affitto
- Casa della società per cui lavori
- Casa di riposo, struttura di riabilitazione

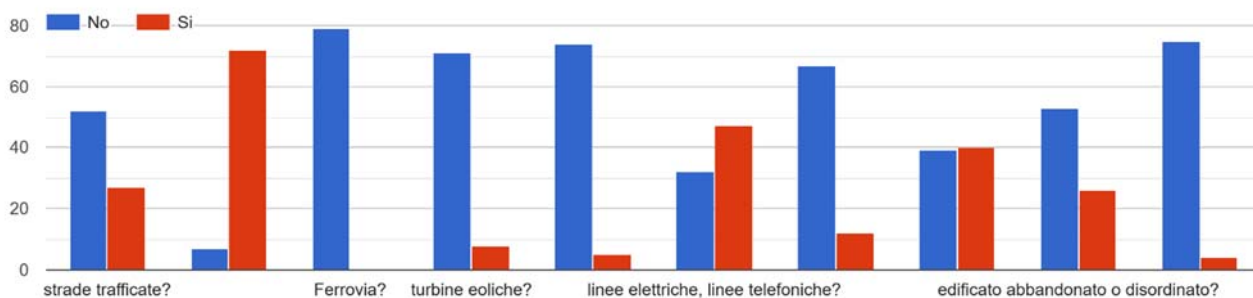
7. Quanto ti descrivono queste affermazioni?



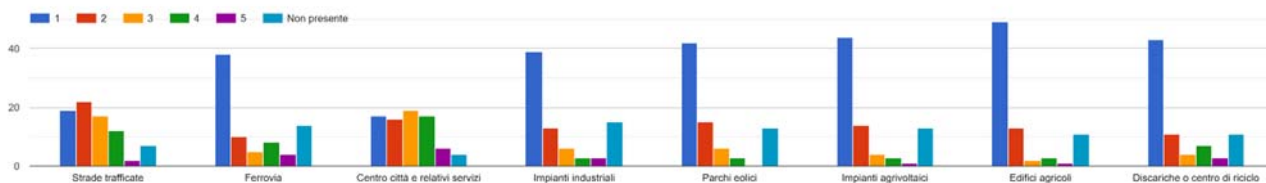
8. Quanto sei soddisfatto delle caratteristiche della tua zona?



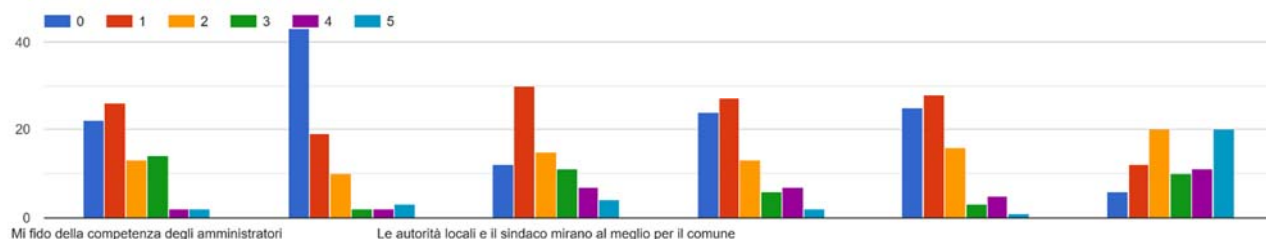
9. Cosa puoi vedere dalle finestre, dal balcone o dal giardino della tua casa...



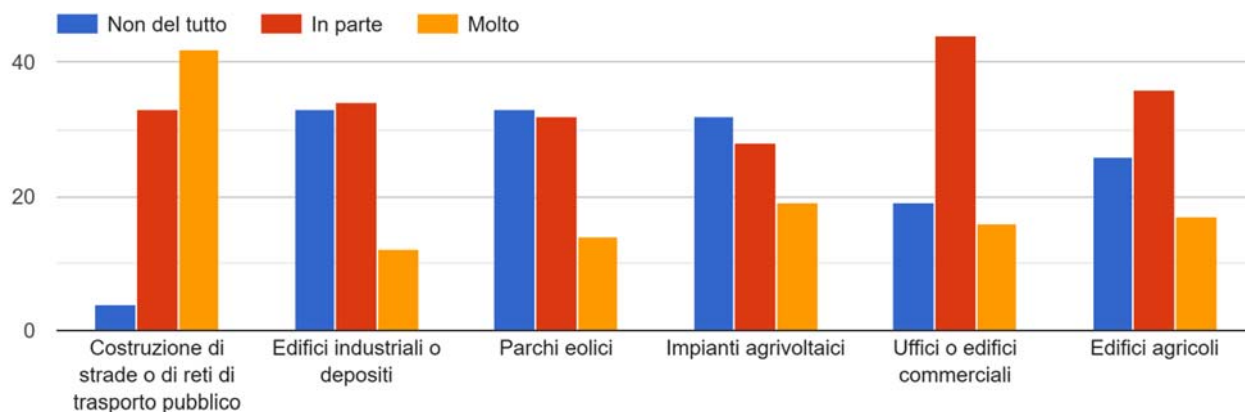
10. Secondo te alcune caratteristiche della tua zona influiscono sul valore della tua proprietà?



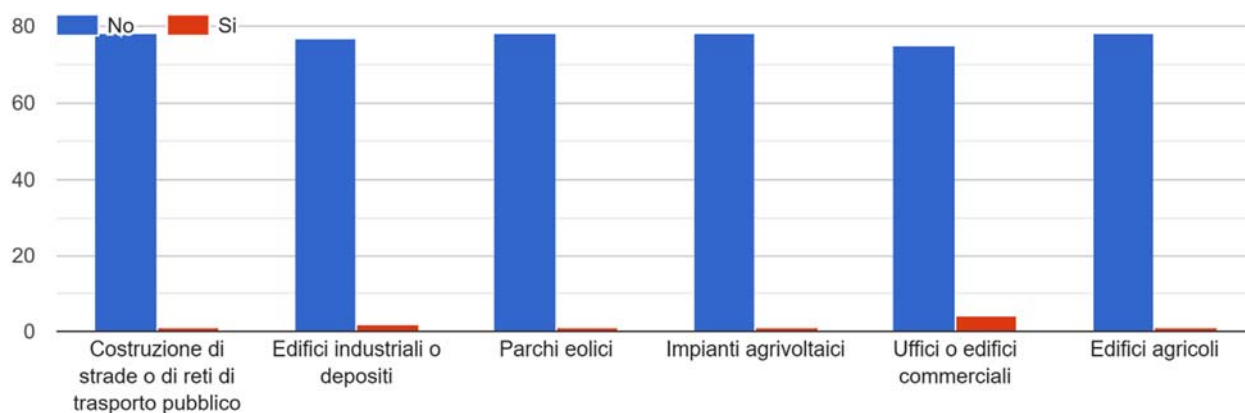
12. Quanto sei d'accordo con le seguenti affermazioni riguardanti le scelte dell'uso del suolo nel tuo comune.



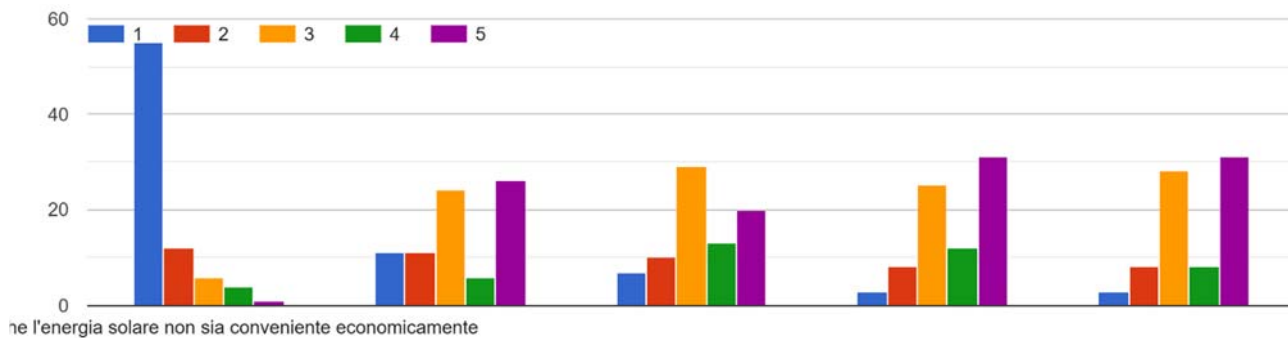
13. Percepisci che la tua comunità acquisisce benefici da questi progetti realizzati fuori dalla tua zona?



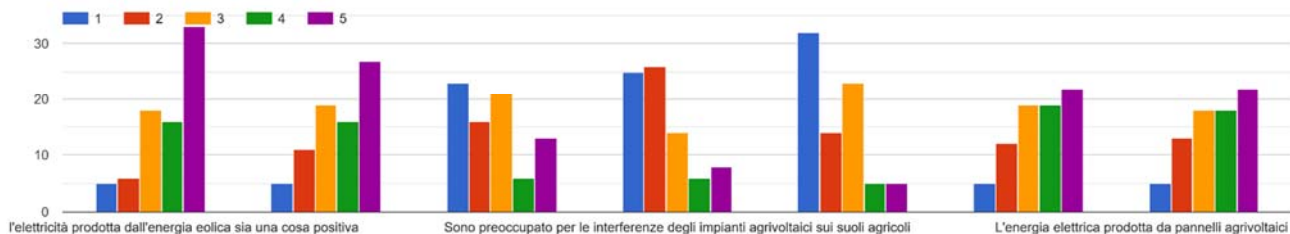
14. Hai mai guadagnato finanziariamente dai seguenti progetti che si sono verificati nella tua zona (per esempio hai guadagnato attraverso la vendita o affitto di un terreno o sei partner di un progetto)?



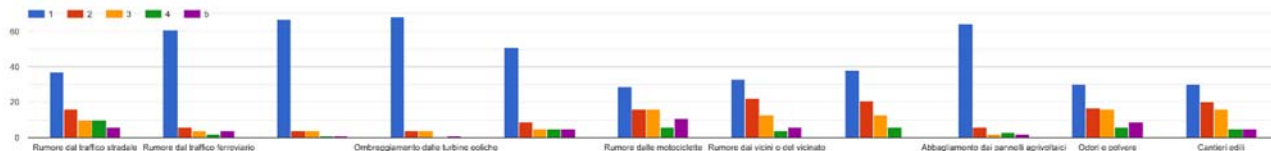
15. Valuta quanto sei d'accordo con le seguenti dichiarazioni relative alla produzione di energia



16. Valuta le seguenti affermazioni

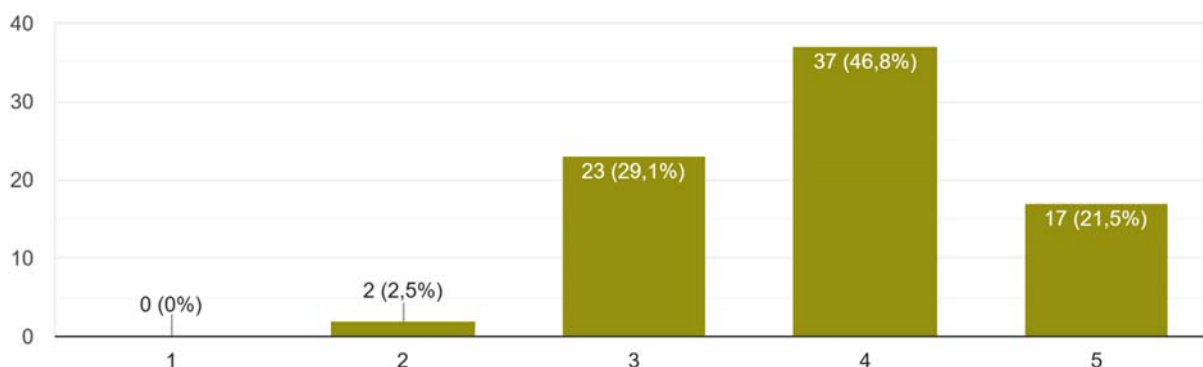


17. Quanto ti disturbano o ti infastidiscono i seguenti fattori ambientali quando trascorri del tempo nella tua casa? Pensa agli ultimi 12 mesi



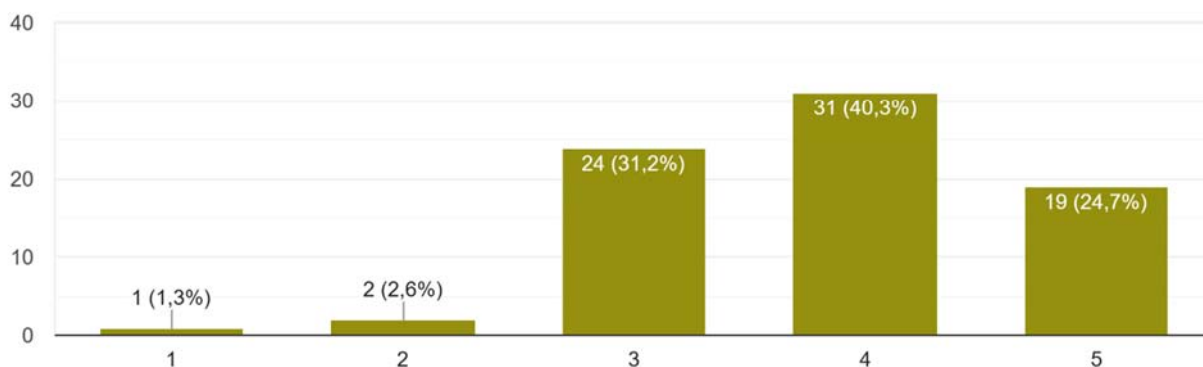
18. Come valuteresti la qualità della tua vita?

79 risposte



19. Quanto sei soddisfatto dello stato della tua salute?

77 risposte



20. Valuta quanto sei d'accordo sulle seguenti affermazioni in merito ai possibili disagi della tua zona

