



IMPIANTO AGRO-VOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE DENOMINATO "GADAU" DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI SASSARI (SS)

OPERA DI PUBBLICA UTILITA'

VALUTAZIONE IMPATTO AMBIENTALE ai sensi del D.Lgs 3 aprile 2006, n.152 ALL. II

CUSTOMER
Committente

FIMENERGIA

ADDRESS
Indirizzo

VIA L.BUZZI, 6, 15033 CASALE MONFERRATO (AL)
T. +390292875126 (ufficio operativo)

DESIGNERS TEAM

Gruppo di progettazione

SUPERVISION
Coordinamento

FAVERO ENGINEERING

VIA GIOVANNI BATTISTA PIRELLI, 27
20124 MILANO (MI)
T. +390292875126

Ing. FRANCESCO FAVERO

CONSULTANTS
Consulenti

AMBIENTALE: Dott.ssa MARZIA FIORONI

Via C.Battisti, 44 23100 Sondrio (SO) - +39 0342 050347 - mfioroni@alp-en.it

GEOLOGIA, GEOTECNICA E IDRAULICA: Dott.ssa Geol. COSIMA ATZORI

Via Bologna, 30 09033 Decimomannu (CA) - +39 070 7346008 - cosima.atzori@gaiiconsulting.eu

AGRONOMIA: Dott. Agr. NICOLA GARIPPA

Via Beltrame di Bagnacavallo, 4 08015 Macomer (NU) - +39 328 2633596 - nicolagarippa@gmail.com

ARCHEOLOGIA: Dott.ssa GIUSEPPINA MARRAS

Via Frau, 22 07100 Sassari (SS) - + 39 340 5316848 - giuseppina.marras@arubapec.it

ACUSTICA: Ing. CARLO FODDIS

Viale Europa, 54 09045 Quartu San'Elena (CA) - + 39 070 2348760 - cf@fadsystem.net

FAUNA: Dott. Nat. MAURIZIO MEDDA

Via Lunigiana, 17 09122 Cagliari (CA) - +39 393 8236806 - meddamaurizio@libero.it

FLORA: Dott. Agr. FABIO SCHIRRU

Via Solomardi, 34 09040 San Basilio (SU) - +39 347 4998552 - fabio.schirru@pegagrotecnici.it

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	CHECKED	APPROVED
00	Settembre 2023	PRIMA EMISSIONE	Arch. Paes. R. Goretti	Ing. A. Lunardi	Ing. F. Favero
01	Novembre 2023	REVISIONE PER RISPOSTA AD OSSERVAZIONI	Arch. Paes. R. Goretti	Ing. A. Lunardi	Ing. F. Favero
02					
03					
04					

DRAWING - Elaborato

TITLE
Titolo

FOTOINSERIMENTI DA IMPIANTI FER

DRAWING DETAILS - Dettagli di disegno

GENERAL SCALE
Scala generale

-

DETAIL SCALE
Scala particolari

-

ARCHIVE - Archivio

FILE

DTG_034

PLOT STYLE

FAVERO ENGINEERING.ctb

CODING - Codifica

PROJECT LEVEL
Fase progettuale

DEFINITIVO

CATEGORY
Categoria

DTG

PROGRESSIVE
Progressivo

0

3

4

REVISION
Revisione

01

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	OGGETTO E OBIETTIVI	3
3	L'ATTIVITA'	4
3.1	La metodologia	4
3.1.1	La valutazione finanziaria ed economica	7
3.1.2	La valutazione del rischio.....	10
4	ALTERNATIVE PROGETTUALI	12
4.1	Definizione “momento zero”	12
4.2	Alternative esaminate	12
4.3	Alternative tecnologiche.....	13
5	ANALISI DELLA REMUNERAZIONE DA VENDITA DELL'ENERGIA	17
5.1	Decreto Ministeriale 4 luglio 2019	17
5.1.1	Ambito di applicazione.....	17
6	ANALISI FINANZIARIA.....	19
6.1	Valore Attuale Netto (VAN).....	19
6.2	Risultati analisi finanziaria.....	22
6.3	Analisi della sensitività del progetto	24
6.4	Analisi di probabilità del rischio progetto in proposta.....	26
7	ANALISI SOCIO-ECONOMICA E AMBIENTALE.....	28
7.1	Impatto sull'uso del suolo e sui servizi ecosistemici	28
7.1.1	Sequestro e stoccaggio di Carbonio	29
7.1.2	Qualità degli habitat	31
7.1.3	Produzione agricola	33
7.1.4	Impollinazione.....	35
7.1.5	Regolazione del microclima	36
7.1.6	Rimozione di particolato e ozono	39
7.1.7	Protezione dall'erosione	40

7.1.8	Regolazione del regime idrico (infiltrazione)	42
7.1.9	Regolazione del regime idrico (Disponibilità di acqua).....	44
7.1.10	Purificazione dell'acqua dai contaminanti	45
7.2	Impatto visivo e costo della disponibilità a pagare	47
7.3	Investimenti compensativi a favore del territorio	49
7.4	Emissioni evitate.....	51
7.5	Sintesi dei risultati.....	52
8	ANALISI DEI RISULTATI COSTI-BENEFICI.....	54

1 PREMESSA

Il presente studio riguarda il progetto definitivo per la realizzazione di una centrale per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile fotovoltaica da immettere nella Rete Elettrica Nazionale.

La proposta progettuale prevede la realizzazione di un impianto agro-voltaico di potenza pari a 45,9 MW con un sistema di accumulo elettrochimico a batterie, con capacità pari a 167,5 MWh e potenza nominale di 30 MW denominato "Gadau". L'impianto è suddiviso in due lotti distanti tra loro poco meno di 2 km, e aventi una superficie complessiva di circa 70 ha.

Il presente documento riporta la descrizione delle attività proposte per la realizzazione dell'analisi costi-benefici relativa all'intervento sopra indicato.

2 OGGETTO E OBIETTIVI

È oggetto dell'intervento la realizzazione di un impianto agro-voltaico.

Gli obiettivi del progetto sono i seguenti:

- Sviluppare nuova capacità energetica per soddisfare una domanda crescente;
- Sviluppare nuova capacità energetica per ridurre la dipendenza dalle importazioni;
- Ampliare la rete energetica per raggiungere aree non ancora servite;
- Diversificare le fonti energetiche e i mercati di approvvigionamento;
- Integrare meglio il mercato nazionale dell'energia con quello degli altri Paesi, in modo da un favorire l'allineamento dei prezzi al consumo nell'UE;
- Migliorare l'affidabilità tecnica e la sicurezza dell'approvvigionamento energetico, evitando le interruzioni di energia;
- Accrescere l'efficienza e la qualità del sistema, migliorando la trasmissione e/o la distribuzione di energia dal punto di vista tecnico e/o operativo;
- Ridurre le emissioni di gas serra e inquinanti prodotti dal settore dell'energia, sostituendo i combustibili fossili con fonti energetiche sostenibili.

L'obiettivo della presente relazione di analisi costi benefici è quello di misurare le esternalità positive e negative previste dall'investimento al fine di valutarne la convenienza globale.

3 L'ATTIVITA'

3.1 La metodologia

L'analisi economico-sociale all'interno dello studio di fattibilità di un'opera pubblica o privata ha lo scopo di verificare il grado di utilità dell'opera per la collettività.

L'analisi economica si concentra sullo studio dei costi e dei benefici attesi interni ed esterni al progetto mediante l'impostazione teorica propria dell'analisi costi e benefici (Cost-Benefit Analysis)

L'Analisi Costi-Benefici (di seguito ACB) è la metodologia più diffusa al fine di razionalizzare i processi decisionali in tema di allocazione delle risorse, in sintesi permette di valutare se il progetto è economicamente conveniente e socialmente desiderabile, condizione che si verifica quando il totale dei benefici ad esso associati supera il totale dei costi:

$$(B - C) > 0$$

È considerazione diffusa che, sebbene l'energia da fonte fotovoltaica e le altre energie rinnovabili degli indubbi benefici ambientali al confronto con le altre fonti tradizionali di produzione di energia elettrica, tali benefici non si riflettano pienamente nel prezzo di mercato dell'energia elettrica. In realtà i notevoli miglioramenti tecnologici intercorsi negli ultimi anni sia a livello di prestazioni energetiche che di processi produttivi, hanno permesso il raggiungimento di un costo dell'energia elettrica prodotta estremamente minore rispetto al recente passato, condizione che, di fatto, permette di annoverare tale tipologia di impianti tra quelle più efficienti dal punto di vista energetico.

Tale circostanza si riflette di conseguenza sul costo della bolletta elettrica.

L' ACB è un metodo sistematico per la valutazione dell'impatto globale dell'azione delle imprese, del settore pubblico, del settore no profit, ai fini di un'analisi di medio-lungo periodo degli effetti diretti, indiretti e collaterali.

Lo studio considera l'istante iniziale (anno zero) coincidente con l'inizio del funzionamento dell'impianto ed una vita utile dell'impianto di 35 anni (20 anni ai fini dell'analisi di confronto).

Il progetto sarà considerato "utile socialmente" quando il valore aggiunto prodotto (V_a) sommato alle economie esterne prodotte (E_e) e al maggior benessere sociale (B_s) avrà

un valore superiore ai costi di produzione del servizio (C_s) sommato alle diseconomie esterne (D_e) e al disagio sociale (D_s), in formula:

$$Va + Ee + Bs > Cs + De + Ds$$

La corretta valutazione dei risultati di un progetto di investimento, realizzato in un'ottica collettivistica presuppone la considerazione di tutti gli effetti da esso prodotti quindi anche di quelli che, seppure di natura involontaria, ricadono su individui o imprese esterne rispetto alla sfera di interessi di chi realizza il progetto, si parla a questo proposito di esternalità, le quali possono essere positive o negative, facendo riferimento ai benefici o costi apportati verso l'esterno all'effettiva attività svolta.

Inoltre la presente ACB è stata eseguita in conformità con le indicazioni e le prescrizioni indicate nelle più recenti linee guida a livello europeo e nazionale. In particolare, i principali riferimenti metodologici utilizzati nella elaborazione della presente analisi costi – benefici sono i seguenti:

- Metodo di esecuzione dell'analisi costi-benefici, Allegato III Regolamento di Esecuzione (UE) 2015/207 della Commissione, G.U.E. legge 38/2015
- Guide to Cost-Benefits Analysis of Investment Projects – Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020, Commissione Europea – de. 2014;
- Mappatura e valutazione dell'impatto del consumo di suolo sui servizi ecosistemici: proposte metodologiche per il Rapporto sul consumo di suolo, ISPRA – 2018;
- The Value of EU Agricultural Landscape, Publications Office of the European Union – 2011

Il processo di valutazione di un progetto, secondo la Guida Europea (Guida all'analisi costi-benefici dei progetti d'investimento – Strumento di valutazione economica per la politica di coesione 2014-2020, p.25,26) si articola tipicamente in sette fasi:

1. Descrizione del contesto: La prima fase di valutazione del progetto mira a definire il contesto sociale, economico, politico e istituzionale in cui si prevede di realizzare gli interventi;
2. Definizione degli obiettivi: Individuati in stretta relazione con i fabbisogni. In altre parole, l'analisi dei fabbisogni si fonda sulla descrizione del contesto e costituisce la base per una corretta definizione degli obiettivi del progetto;
3. Identificazione del progetto: definizione delle attività del progetto, dell'organismo responsabile della sua esecuzione e dei confini dell'analisi. (informazioni già presenti nella documentazione tecnica del progetto presentata);

4. Analisi della fattibilità tecnica e delle sostenibilità ambientale (informazioni già presenti nella documentazione tecnica del progetto presentata);
5. Analisi finanziaria
6. Analisi economica.

Le fasi così descritte sono di seguito sintetizzate in un diagramma di flusso.

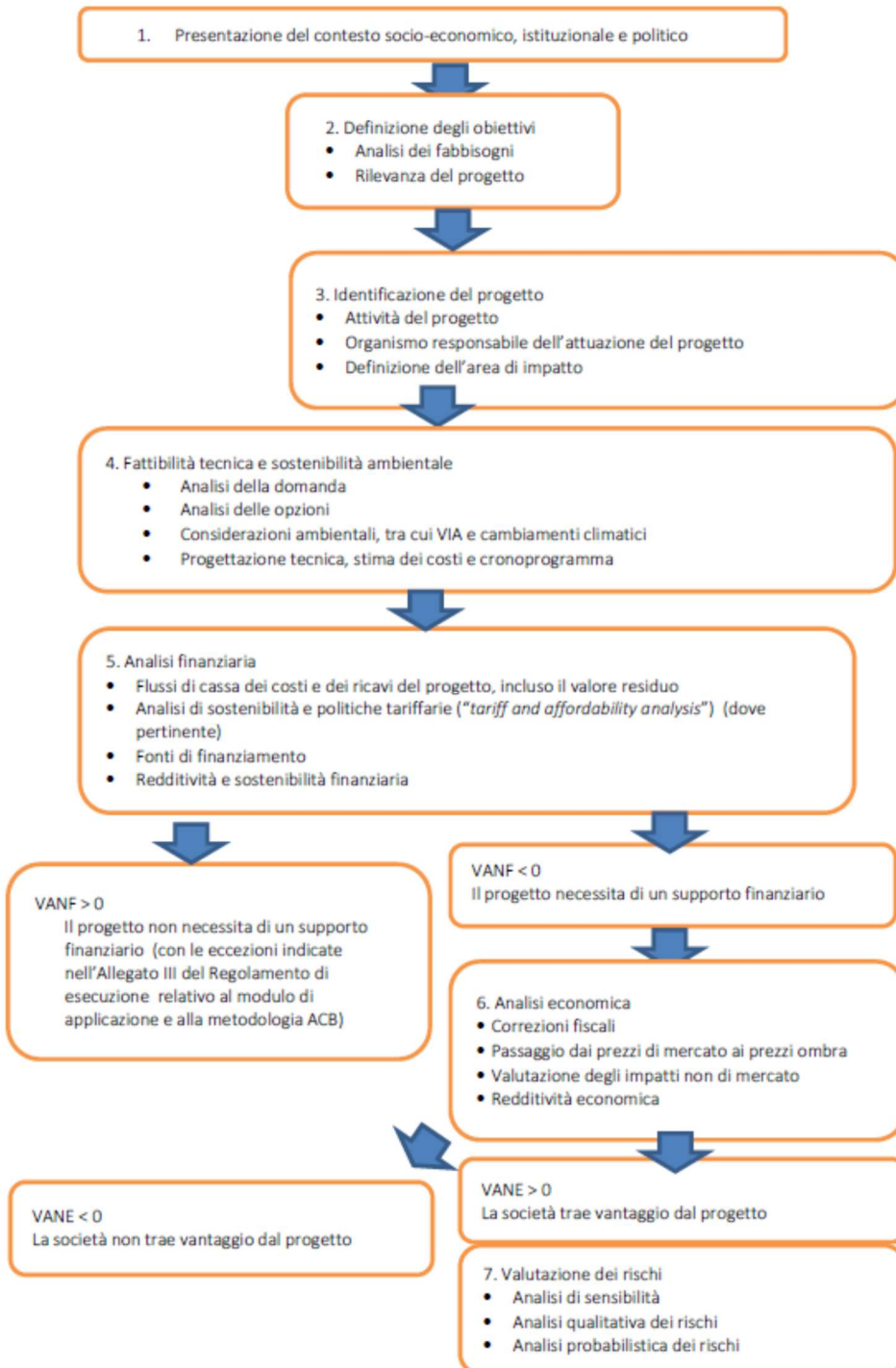


Figura 1 - Fasi di valutazione di un progetto

3.1.1 La valutazione finanziaria ed economica

3.1.1.1 *L'analisi finanziaria*

L'analisi finanziaria condotta si basa sul metodo dei flussi di cassa attualizzati o *Discounted cash flow (DCF)* ed è basato sulla determinazione del valore dei flussi di cassa attesi da una specifica attività. La valutazione basata sui flussi di cassa attualizzati è funzione di tre elementi fondamentali: l'entità del flusso di cassa, la distribuzione nel tempo dei flussi e il tasso di attualizzazione.

L'analisi finanziaria consente di:

- Valutare la redditività del progetto nel suo complesso;
- Valutare la redditività del progetto per il promotore e per i principali stakeholder;
- Verificare la sostenibilità finanziaria del progetto, una condizione chiave per la fattibilità di qualunque progetto;
- Delineare i flussi di cassa che sottendono al calcolo dei costi e dei benefici socio-economici.

Scopo dell'analisi è, pertanto, quello di prospettare un valido piano di finanziamento dell'opera e di verificare e valutare quella che sarà la situazione finanziaria per la gestione e manutenzione dell'opera.

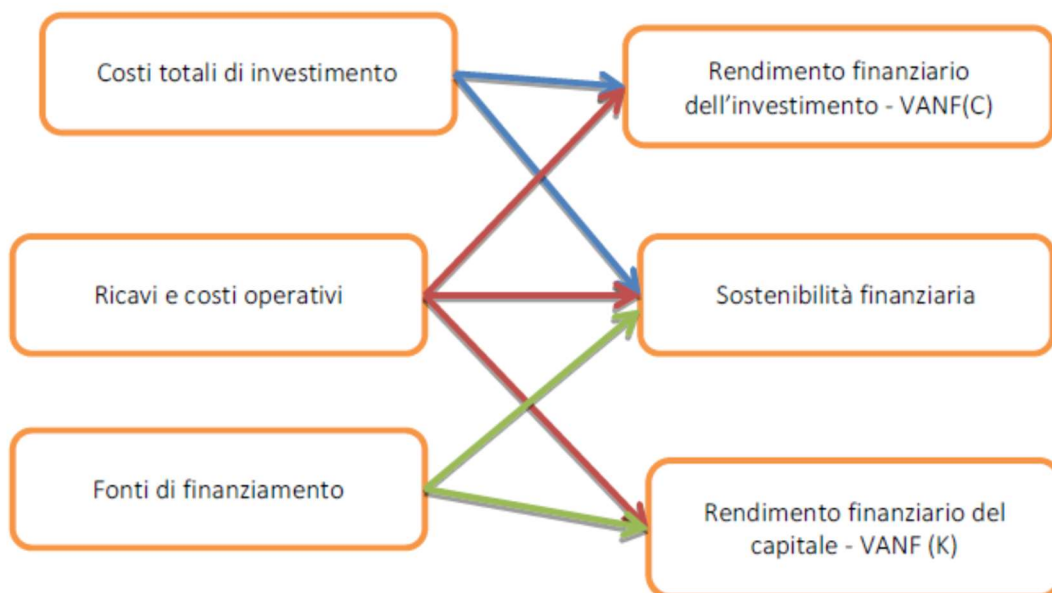


Figura 2 - Struttura dell'analisi finanziaria

Nell'analisi finanziaria si individuano le seguenti variabili:

1. **Costi di investimento, costi di sostituzione e valore residuo:** il primo passo dell'analisi finanziaria consiste nella definizione dell'ammontare dei costi totali di investimento e nella loro ripartizione negli anni. Tali costi sono così classificabili: investimento iniziale, costi di rimpiazzo, valore residuo.
2. **Ricavi e costi operativi:** costi operativi comprendono tutti i costi d'esercizio e manutenzione (O&M - Operation and Maintenance) connessi al funzionamento delle infrastrutture/servizi realizzati dal progetto e si distinguono in costi fissi e costi variabili. Le entrate del progetto sono definite come i "flussi finanziari in entrata pagati direttamente dagli utenti per i beni o i servizi forniti dall'operazione, quali le tariffe direttamente a carico degli utenti per l'utilizzo dell'infrastruttura, la vendita o la locazione di terreni o immobili o i pagamenti per i servizi".
3. **Fonti di finanziamento:** vengono quindi individuate le diverse fonti di finanziamento a copertura dei costi di investimento (fondi europei, contributi pubblici nazionali, capitale del soggetto proponente, prestiti, etc.).
4. **Redditività finanziaria:** La definizione dei costi di investimento, dei costi operativi, delle entrate e delle fonti di finanziamento consente di valutare la redditività finanziaria del progetto, misurata dai seguenti indicatori chiave:
 - a. valore attuale netto finanziario – VAN(C) – e tasso interno di rendimento finanziario – TIR(C) – dell'investimento; Il VAN(C) e il TIR(C), sono espressi rispettivamente in Euro e in % e confrontano i costi di investimento con le entrate nette e misurano la capacità delle entrate nette generate dal progetto di ripagare l'investimento iniziale, indipendentemente dalle fonti o dai metodi con cui è finanziato.
 - b. valore attuale netto finanziario – VAN(K) – e tasso interno di rendimento finanziario – TIR(K) – del capitale nazionale.
Nel calcolo del VAN(K) e del TRF(K) vengono prese in considerazione tutte le fonti di finanziamento, tranne i contributi dell'UE. Queste fonti sono considerate come flussi in uscita (mentre sono flussi in entrata nel computo della sostenibilità finanziaria), al posto dei costi di investimento (in quanto fanno parte del rendimento finanziario nel calcolo dell'investimento).

Un progetto è finanziariamente sostenibile quando si prevede che il rischio di esaurire la liquidità, sia nelle fasi operative sia durante l'investimento, è pari a zero.

Nella valutazione finanziaria, però, non vengono considerate le variabili e i benefici dal punto di vista ambientale poiché i beni ambientali sfuggono alla logica di mercato e, pertanto, il loro valore non può essere determinato attraverso l'analisi tradizionale delle curve di domanda ed offerta.

È evidente, quindi, come la definizione del valore economico di una risorsa ambientale, ossia l'attribuzione di un corrispettivo monetario ad essa, debba superare i limiti del valore di scambio ed abbracciare una nozione di valore più ampia che consideri tutte le ragioni per le quali la risorsa ambientale è fonte di utilità per la collettività. Pertanto, all'analisi finanziaria aziendale si deve certamente affiancare l'analisi economico-sociale dell'investimento.

3.1.1.2 ***L'analisi socio-economica e ambientale***

L'art. 101 del Regolamento (UE) n. 1303/2013 prevede, al fine valutare il contributo del progetto al benessere sociale, la predisposizione di un'analisi economica.

Il concetto chiave su cui si basa l'analisi economica di un investimento è rappresentato dal "prezzo ombra", ovvero il prezzo che riflette il costo opportunità di beni e servizi.

L'approccio adottato, coerente con la pratica internazionale, prevede che l'analisi economica venga elaborata a partire dall'analisi finanziaria, attraverso alcuni piccoli adeguamenti da applicare alle grandezze finanziarie così come sviluppate nell'analisi del rendimento sull'investimento:

- correzioni fiscali;
- conversione dei prezzi di mercato in prezzi ombra;
- valutazione degli impatti non di mercato e correzione per le esternalità

Una volta adeguati i prezzi di mercato e valutati gli impatti non di mercato, è possibile attualizzare costi e benefici, che si manifestano in tempi diversi. Il tasso di sconto utilizzato nell'analisi economica è il Tasso di Sconto Sociale (TSS), che riflette il punto di vista sociale circa il grado di preferenza dei costi e dei benefici futuri rispetto a quelli presenti.

Una volta impiegato il TSS appropriato, quantificati e valutati in termini monetari tutti i costi e i benefici del progetto, è possibile misurarne la performance economica attraverso i seguenti indicatori:

- Valore Attuale Netto Economico (VANE): consente la valutazione della convenienza e rappresenta la somma dei flussi economici attualizzati. Il VANE, a differenza del VAN, utilizza prezzi contabili o il costo opportunità di beni e servizi

anziché prezzi di mercato imperfetti, e include - per quanto possibile - ogni externalità sociale e ambientale, perché l'analisi è svolta dal punto di vista della società e non solo da quello del promotore del progetto. Dato che sono presi in considerazione externalità e prezzi ombra, quindi, progetti con VAN(C) negativo possono mostrare un VANE positivo. Un VANE positivo definisce quindi la convenienza di esecuzione di un intervento.

- Tasso di Rendimento Economico (TIRE): tasso di attualizzazione che rende nulla la somma algebrica dei flussi economici attualizzati del progetto. Considerando la distribuzione temporale dei flussi economici, questo indicatore ne esprime, in media, il loro tasso di rendimento. Inoltre, potendo essere espresso in valori percentuali, è un indicatore di impatto immediato, che mette in condizione di percepire facilmente il rendimento economico dell'investimento rendendo, quindi, più agevole il processo decisionale.

In linea di principio, ogni progetto caratterizzato da un TIRE inferiore al tasso di sconto sociale o da un VANE negativo andrebbe respinto. Un progetto con un rendimento economico negativo impiega troppe risorse socialmente utili per ottenere benefici troppo modesti per la società nel suo complesso.

3.1.2 La valutazione del rischio

L'analisi di rischio consente di affrontare l'incertezza insita nei progetti d'investimento e ha lo scopo di identificare gli eventi sfavorevoli che possono incidere sulle condizioni di fattibilità dell'opera (realizzazione e gestione). Il fine è poi quello di valutare entro quali limiti i rischi insiti nel progetto possano, eventualmente, influenzare i risultati economici e finanziari dell'opera.

La valutazione del rischio si divide nei seguenti passaggi:

- Analisi di sensitività;
- Analisi qualitativa del rischio;

3.1.2.1 *Analisi di sensitività*

L'analisi di sensitività (o sensitività) consente di identificare le variabili 'critiche' del progetto ovvero quelle fra tutte le variabili del progetto, le cui variazioni, positive o negative, hanno il maggiore impatto sulle sue performance finanziarie e/o economiche. L'analisi viene condotta modificando i valori associati a ciascuna singola variabile e valutando l'effetto di tale cambiamento, nel caso oggetto di studio, sul VAN e sul TIR dell'investimento.

Le variazioni contemporanee di più variabili comportano una maggiore complessità computazionale ma allo stesso tempo una validazione più completa e strutturata nel caso di esiti positivi dei parametri economici.

Una componente particolarmente rilevante dell'analisi di sensibilità è il calcolo dei valori soglia (o "di rovesciamento"). Si tratta del valore che la variabile analizzata dovrebbe assumere affinché il VAN del progetto diventi pari a zero o, più in generale, il risultato del progetto scenda al di sotto del livello minimo di accettabilità.

3.1.2.2 *Analisi qualitativa del rischio*

L'analisi di sensitività non fornisce alcuna indicazione circa la probabilità che i parametri raggiungano tali soglie critiche, il che costituisce invece l'oggetto di valutazione dell'analisi del rischio. Una volta individuate le variabili critiche, per effettuare l'analisi del rischio occorre associare a ciascuna di essa una distribuzione di probabilità, definita in un preciso intervallo di valori nell'intorno della migliore stima, utilizzata nel caso base, per il calcolo degli indici di valutazione. Per quanto riguarda la distribuzione di probabilità, sono stati considerate curve gaussiane discrete derivanti da valori medi reperiti in rete. Stabilita la distribuzione di probabilità delle variabili critiche è possibile procedere al calcolo della distribuzione di probabilità del TIR e del VAN del progetto.

4 ALTERNATIVE PROGETTUALI

4.1 Definizione “momento zero”

Il “momento zero” è inteso come condizione temporale di partenza dei sistemi ambientale, infrastrutturale, insediativo, economico e sociale, sulla quale si innestano i successivi eventi di trasformazione e gli effetti conseguenti alla realizzazione dell’opera.

Lo Studio di Impatto Ambientale e la Relazione Paesaggistica forniscono una descrizione di tale momento.

4.2 Alternative esaminate

Le alternative rappresentano le situazioni verso la quale evolverebbe l’area in oggetto con la realizzazione del progetto, che diversamente rimarrebbe legata all’attuale destinazione d’uso agricolo. L’alternativa “0” di non realizzazione dell’impianto viene considerata in questa analisi partendo dal presupposto che i benefici di carattere sociale e ambientale nel caso di non realizzazione dell’opera sono poco lontani dallo zero. Infatti come risulta dalle relazioni botanica ed agronomica allegate allo Studio di Impatto Ambientale, il pregio agronomico complessivo dell’area di intervento è basso così come pure il grado di naturalità dell’area risulta piuttosto basso per il fatto che le caratteristiche botaniche dell’area interessata dal progetto sono fortemente determinate dall’uso del territorio, come pascolo, per l’agricoltura e per la silvicoltura e dalle pratiche tradizionalmente associate a questa attività.

Sono state individuate due possibili evoluzioni del contesto legate all’ipotesi “zero” e “do nothing”:

- La meno probabile ovvero la rinaturalizzazione dell’area (passaggio da uso antropico agricolo ad abbandono o gestione naturalistica);
- La più probabile ovvero l’uso agricolo-forestale, in continuità al momento attuale, senza quindi l’attività di coltivazione e l’attività di pastorizia prevista dall’impianto in progetto, che porterebbe a benefici, come quello ecologico, agronomico ed economico.

È stata esclusa l’evoluzione dell’area in zona industriale.

Si ritiene che entrambi gli scenari “zero” di cui sopra rilevino una capacità di confronto quasi nulla rispetto alla ipotesi di impianti di produzione di elettricità da fotovoltaico per le seguenti ragioni:

- a) per quanto riguarda la riduzione delle emissioni di CO₂ e altri gas serra che, come esposto più oltre, rappresentano la maggiore voce di beneficio ambientale (o costo negativo), sia la rinaturalizzazione che l'uso agricolo presentano bilanci di CO₂ praticamente in pareggio o come nel caso di agricoltura intensiva meccanizzata bilanci negativi (Vd. "Come calcolare le emissioni di gas serra del settore agricolo? Emanuele Blasi, Nicolò Passeri, Università degli Studi della Tuscia, Dipartimento Economia e Impresa") soprattutto a causa dell'uso di fertilizzanti e di combustibili per macchinari;
- b) per quanto riguarda le voci relative all'occupazione lavorativa e alle ricadute economiche sul sistema collettivo, pur di minor rilevanza rispetto alla riduzione dei gas inquinanti, si tratta comunque di valori di due ordini di grandezza inferiori rispetto all'ipotesi in progetto.

Pertanto, pur volendo considerare nulli gli altri benefici secondari e ambientali dell'ipotesi di progetto e volendo considerare nulli tutti i costi ambientali dell'ipotesi "zero", quest'ultima risulta dal confronto non conveniente in modo evidente ed inequivocabile.

4.3 Alternative tecnologiche

Infine sono state prese in considerazione le possibili soluzioni impiantistiche principali nel campo dello sfruttamento dell'energia solare: fotovoltaico classico e agro-voltaico. A parità di estensione dell'area progettuale e localizzazione delle due tipologie impiantistiche sono state analizzate alcune caratteristiche per entrambe le soluzioni, assegnando un valore positivo (verde) o negativo (rosso) a seconda di quale impianto sia più vantaggioso o svantaggioso in relazione ad ogni criterio.

	FOTOVOLTAICO	AGRO-VOLTAICO
CRITERI		
Producibilità elettrica	MAGGIORE	MINORE
Costi d'investimento	MINORI	MAGGIORI
Consumo suolo	MAGGIORE	MINORE
Manutenzione	MINORE	MAGGIORE
Sostenibilità ambientale	MINORE	MAGGIORE
Qualità dei suoli	PEGGIORATA	MIGLIORATA
Biodiversità	PEGGIORATA	MIGLIORATA
Colture	ELIMINATE	CONSERVATE
Redditività	ANNULLATA	AUMENTATA

Dall'analisi dei suddetti criteri si evince che la scelta di installare un impianto agro-voltaico ha sicuramente dei vantaggi maggiori, in particolare dal punto di vista ambientale, ma presenta anche degli svantaggi sotto il piano puramente economico della società proponente:

- **Producibilità elettrica:** a parità di superficie utilizzata un impianto fotovoltaico tradizionale presenta una densità di pannelli maggiore con minore distanza tra le file, ne consegue una producibilità elettrica complessiva maggiore. Questo aumento di producibilità si accompagna tuttavia alla possibilità di creare il cosiddetto effetto lago con rischi potenzialmente alti per l'avifauna locale;
- **Costi di investimento:** i sistemi agro-voltaici hanno tendenzialmente dei costi di investimento maggiori rispetto agli impianti fotovoltaici tradizionali, per le maggiori dimensioni delle strutture utilizzate. Tali costi sottintendono in ogni caso un guadagno in termini ambientali e di produzione agricola; pertanto, si tratta di un investimento cui seguono dei benefici considerevoli;
- **Manutenzione:** gli impianti agro-voltaici, per via delle attività agricole frequenti, possono essere soggetti a deposito di polveri generate dalla lavorazione dei terreni o prodotti agricoli liquidi sulla superficie dei moduli, che causano una diminuzione dell'efficienza del pannello. Questi fattori sono da tenere presenti nel momento in cui si effettuano le stime dei costi di manutenzione, per cui è doveroso prevedere un controllo delle superfici dei pannelli e assicurarsi che la loro producibilità non venga alterata in maniera significativa. In generale, i pannelli sono sottoposti a usura e sono soggetti a rischi derivanti dai lavori agricoli, tuttavia questo genere di situazioni si può verificare, in misura minore, anche nel caso di impianti fotovoltaici classici.

Agli svantaggi appena elencati si contrappongono i notevoli vantaggi dal punto di vista ambientale ed ecologico legati alla scelta di un impianto agro-voltaico.

- **Consumo di suolo:** un impianto fotovoltaico fisso non lascia spazio ad altri usi, per questo motivo la totalità dell'area interessata dalla presenza dell'impianto rientra nella categoria di suolo consumato. Con l'impianto agrivoltaico si ha un consumo di suolo decisamente minore legato principalmente alla presenza dell'attività agricola, oltre all'attività energetica prevista dal progetto;
- **Sostenibilità ambientale:** la riduzione del suolo consumato dall'impianto, la coesistenza di produzione energetica e attività agricola e la conservazione delle aree naturali oltre alla creazione di nuove aree naturali con la creazione di nuove fasce di mitigazione e compensazione candidate e diventare rifugi per la micro e

meso-fauna, fanno sì che l'inserimento di un parco agro-voltaico in contesto agricolo comprometta in misura minore gli equilibri ecosistemici e quindi una maggiore sostenibilità dal punto di vista ambientale;

- **Miglioramento della qualità dei suoli e della biodiversità:** la qualità biologica del suolo può essere definita come la “capacità del suolo di mantenere la propria funzionalità per sostenere la produttività biologica, di mantenere la qualità dell'ecosistema e di promuovere la salute di piante ed animali”. I sistemi agro-voltaici possono contribuire a favorire l'orientamento produttivo alla qualità del prodotto e al miglioramento ecologico del paesaggio agrario attraverso l'adozione dell'agricoltura di precisione o della conversione delle coltivazioni a biologico. A questo proposito, l'impiego della tecnologia agro-voltaica può generare un miglioramento della qualità ecologica del suolo e della biodiversità attraverso pratiche di riduzione o eliminazione di pesticidi e il controllo delle specie animali e vegetali presenti;
- **Vantaggio a livello colturale:** i sistemi agro-voltaici, in confronto ad altre tipologie di sfruttamento dell'energia fotovoltaica, presentano dei vantaggi relativi agli effetti che producono su alcune colture. Recenti studi condotti in Germania dal *Fraunhofer Institute* hanno riportato una prima valutazione del comportamento di differenti colture sottoposte alla riduzione della radiazione luminosa, indicando i tipi di coltivazioni più adatte per un sistema agro-voltaico, ovvero colture per le quali l'ombreggiatura ha effetti positivi sulle rese. In alcuni casi l'ombreggiamento fornito dai moduli può costituire un beneficio per le colture sottostanti e allo stesso tempo i moduli possono limitare l'evaporazione dell'acqua nel terreno con la possibilità di ottimizzare l'utilizzo della risorsa idrica. Nell'agricoltura tradizionale la qualità del raccolto o il rischio di perdita del raccolto dipende fortemente dalle condizioni meteorologiche. Il sistema agro-voltaico permette inoltre di proteggere le colture dagli agenti atmosferici estremi e di creare un microclima più fresco in estate e più temperato in inverno con benefici per le colture e l'allevamento. I pannelli fotovoltaici proteggono le colture da alte temperature, eventi climatici estremi e scarsità d'acqua, riducendo così l'impronta idrica dell'agricoltura. Dagli studi condotti dal For Solar Energy Systems del Fraunhofer Institute (nell'ambito del progetto *Agrophotovoltaics – Resource Efficient Land Use*) si evidenzia inoltre, che i sistemi agro-voltaici aumentano la produttività del terreno fino al 60%.
- **Aumento redditività agricola e autonomia energetica:** gli investimenti da parte delle imprese agricole dedicati alla produzione di energie rinnovabili, se

opportunamente dimensionati, si traducono in un abbattimento dei costi operativi in grado di innalzare la redditività agricola e migliorare la competitività. L'autoconsumo dell'energia prodotta tramite l'impianto agro-voltaico si configura pertanto come uno strumento di efficienza aziendale. Lo stesso PNRR prevede che la misura di investimento dedicata allo sviluppo degli impianti agro-voltaici contribuisca alla sostenibilità non solo ambientale, ma anche economica delle aziende coinvolte, miglioramento della competitività delle aziende agricole riducendone fortemente i costi energetici, raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione.

5 ANALISI DELLA REMUNERAZIONE DA VENDITA DELL'ENERGIA

La remunerazione economica del settore fotovoltaico è rappresentato dalla remunerazione da vendita dell'energia prodotta attraverso cessione alla rete dei kWh prodotti secondo quanto previsto dal DM 04/07/2019 in continuità con i precedenti Decreti Ministeriali D.M. 06/07/2012 e il D.M. 23/06/2016, da cui eredita parte della struttura (meccanismo gestito dal GSE).

5.1 Decreto Ministeriale 4 luglio 2019

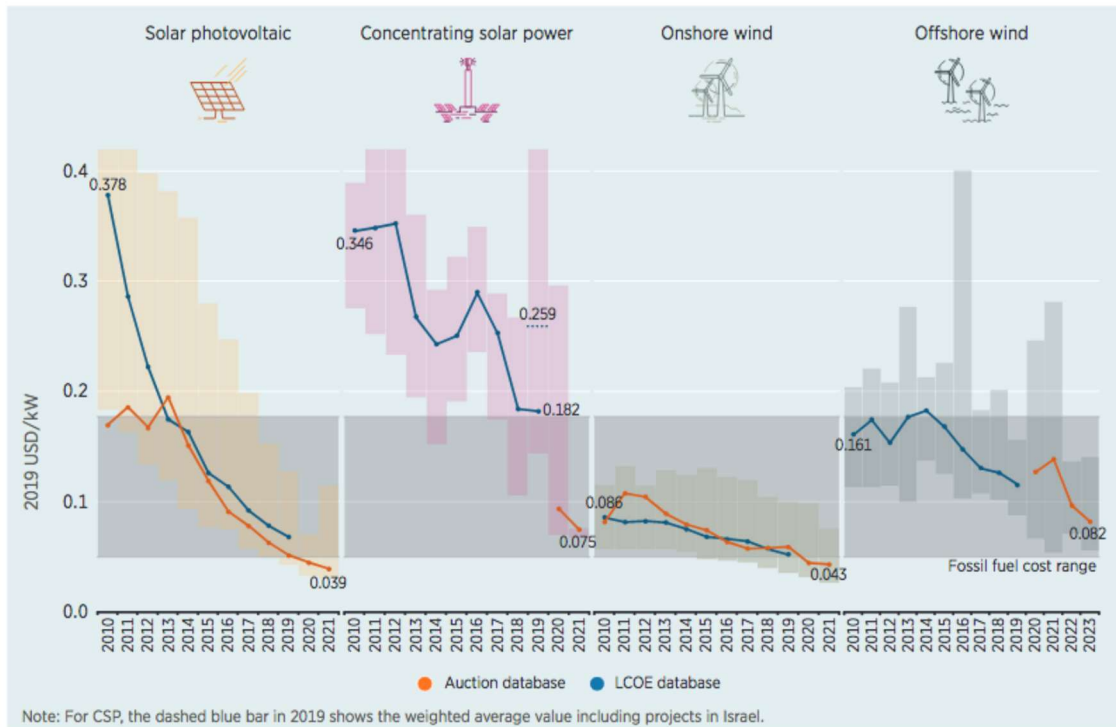
5.1.1 Ambito di applicazione

il D.M. 04/07/2019 ha il fine di promuovere, attraverso un sostegno economico, la diffusione di impianti di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili di piccola, media e grande taglia.

Gli impianti che possono beneficiare degli incentivi previsti dal Decreto sono quelli fotovoltaici di nuova costruzione, eolici onshore, idroelettrici e infine quelli a gas di depurazione.

Per l'impianto proposto, essendo locato su terreno agricolo vale quanto disposto nell'Art.2 comma 5.b.2 del DM 04/07/2019, ossia il "*divieto di accesso agli incentivi statali per impianti con moduli collocati a terra in aree agricole*".

L'impianto proposto pertanto entrerà nel mercato libero, in modalità Grid parity. Per gli impianti fotovoltaici secondo quanto riporta il rapporto IRENA "Renewable Power Generation costs 2019" il LCOE (*costo livellato dell'elettricità - Levelized cost of energy*) nel 2021, con ogni probabilità scenderà a 0,039 \$/kWh, ossia il 42% in meno in confronto al valore medio LCOE del fotovoltaico nel 2019.



Note: For CSP, the dashed blue bar in 2019 shows the weighted average value including projects in Israel.
 Note: The thick lines are the global weighted average LCOE, or auction values, by year. The grey bands that vary by year are cost/price range for the 5th and 95th percentiles of projects.. For the LCOE data, the real WACC is 7.5% for OECD countries and China, and 10% for the rest of the world. The band that crosses the entire chart represents the fossil fuel-fired power generation cost range.

Figura 3 - LCOE (costo livellato dell'elettricità) - Rapporto IRENA "Renewable Power Generation costs 2019"

Si ipotizza nel presente studio una vendita dell'energia con contratto PPA (Power Purchase Agreement) pari a 65 €/MWh.

6 ANALISI FINANZIARIA

6.1 Valore Attuale Netto (VAN)

Fatte le premesse introdotte al capitolo precedente, si possono introdurre i concetti di analisi finanziaria e Valore Attuale Netto. Da questa analisi è possibile, mediante cash flow (i flussi di cassa) dei costi-benefici, calcolare il Valore Attuale Netto (VAN) che calcola appunto il valore odierno di una serie di flussi di cassa generati in periodi futuri attraverso l'utilizzo di un tasso di sconto (o tasso di attualizzazione). Verrà considerato, tra più alternative, l'investimento con il VAN maggiore o comunque con $VAN > 0$.

I costi e i benefici annui legati alle alternative progettuali vengono attualizzati attraverso le regole della matematica finanziaria all'anno di riferimento calcolandone il valore attuale attraverso il tasso di sconto:

$$VA_k = \frac{FC_k}{(1+i)^k}$$
$$VAN = \sum_{k=0}^n \frac{FC_k}{(1+i)^k}$$

Il tasso di attualizzazione o più semplicemente tasso di sconto (discount rate) è indispensabile in quanto nell'Analisi Costi-Benefici si mettono a confronto costi e benefici che maturano in tempi diversi: esprime la condizione alle quali gli individui sono disposti a privarsi della disponibilità del denaro e di rinviarla nel futuro.

Ai fini della presente analisi è stato utilizzato un saggio di attualizzazione al 4.64% ipotizzando una vita utile di 31 anni (30 anni di funzionamento e 1 anno di costruzione/smantellamento).

I costi sono dati da tutti gli esborsi richiesti per la connessione alla rete, la costruzione dell'impianto, le opere di mitigazione, la gestione manutenzione ordinaria e straordinaria dell'impianto, gli studi ingegneria e di consulenza e la dismissione dell'impianto.

L'analisi finanziaria è stata effettuata in linea con quanto suggerito dal Metodo di esecuzione dell'analisi costi-benefici, Allegato III Regolamento di Esecuzione (UE) 2015/207 della Commissione, G.U.E. L38 del 13.2.2015; Guida all'analisi costi-benefici dei progetti d'investimento, Strumento di valutazione economica per la politica di coesione 2014-2020

Alla base dell'analisi finanziaria proposta sono state considerate le seguenti ipotesi:

- L'arco temporale della valutazione si estende dal 2023 al 2053, considerando 30 anni di esercizio dell'impianto. Lungo tale arco temporale è possibile distinguere la fase di progettazione e realizzazione (fino al 2023) e la fase di esercizio in cui si sviluppano in modo pieno gli effetti del progetto;
- L'anno base per l'attualizzazione dei flussi è il 2023;
- Il Ministero delle Imprese e del Made in Italy, con il decreto 25 maggio 2023, ha stabilito che il tasso da applicare per le operazioni di attualizzazione e rivalutazione ai fini della concessione ed erogazione delle agevolazioni in favore delle imprese, con decorrenza 1° giugno 2023, è pari al 4,64%.

Nella tabella che segue vengono riportati i parametri fiscali e finanziari utilizzati nel presente studio. Si evidenzia che per i casi in studio si è deciso di ipotizzare il caso ideale di investimento coperto interamente dal proponente.

Assunzioni parametri finanziari		
A) Generale		
Tasso inflazione	%	2,90%
Tasso di attualizzazione (discount rate)	%	4,64%
Tasso ammortamento fiscale	%	9,00%
Tasse su profitto - IRES	%	24,00%
Tasse su profitto - IRAP	%	2,90%
Vita progetto	anni	30
B) Finanziamento		
Incentivi e sovvenzioni		0
Rapporto di indebitamento	%	0%

Figura 4 – Assunzioni parametri finanziari e fiscali

Nelle figure seguenti vengono invece presentati i principali dati dell'impianto, i costi iniziali e operativi dovuti alla manutenzione dell'impianto nell'arco della sua vita utile e i ricavi dovuti alla sola vendita dell'energia.

Come anticipato, si è ipotizzata anche la possibilità di “non azione” considerando in fase di analisi delle alternative la cosiddetta alternativa “zero” che prevede la possibilità di non realizzare l'opera e conservare lo stato dei luoghi, con conseguente assenza di benefici di carattere sociale, ambientale ed economico rispetto alla situazione vigente.

Di conseguenza, se il progetto analizzato risulta avere un VAN e un TIR positivi, tale intervento sarà da considerarsi più vantaggioso e quindi preferibile rispetto alla cosiddetta alternativa zero.

	IPOTESI 1 (progetto) progetto FV proposto	IPOTESI 2 "Do nothing"
Costi progetto e riepilogo economie e reddito		
A) COSTO DEI LAVORI		
Interventi previsti	38.425.632,41 €	-
Oneri di sicurezza	110.000,00 €	-
Opere di mitigazione	160.500,00 €	-
Spese previste da Studio di Impatto Ambientale, Studio Preliminare Ambientale e Progetto di Monitoraggio Ambientale	50.000,00 €	50.000,00 €
Opere connesse	50.000,00 €	-
TOTALE COSTO DEI LAVORI	38.796.132,41 €	50.000,00 €
B) SPESE GENERALI		
Spese tecniche relative alla progettazione, ivi inclusa la redazione dello studio di impatto ambientale o dello studio preliminare ambientale e del progetto di monitoraggio ambientale, alle necessarie attività preliminari, al coordinamento della sicurezza in fase di progettazione	250.000,00 €	180.000,00 €
Spese consulenza e supporto tecnico	50.000,00 €	20.000,00 €
Collaudo tecnico e amministrativo	50.000,00 €	-
Spese per Rilievi, accertamenti, prove di laboratorio, indagini	50.000,00 €	-
Oneri di legge su spese tecniche	80.000,00 €	30.000,00 €
Imprevisti	100.000,00 €	-
Spese varie	50.000,00 €	-
TOTALE SPESE GENERALI	630.000,00 €	230.000,00 €
C) COSTI ANNUALI E PAGAMENTO DEBITI		
gestione e manutenzione	161.010,97 €	113.000,00 €
Pagamento debiti	-	-
TOTALE COSTI ANNUALI E PAGAMENTO DEBITI	161.010,97 €	113.000,00 €
D) RICAVO ENERGIA ELETTRICA		
Ricavo cessione energia elettrica	6.803.550,00 €	25.000,00 €
Reddito per produzione EP - 20 anni	-	-
TOTALE ANNUALE RICAVO ENERGIA ELETTRICA	6.803.550,00 €	25.000,00 €

Figura 5 - Riepilogo Costi, economie e redditi

Costi di Gestione e Manutenzioni	Unità	Quantità	Costo unitario	Importo	Costi a MW
Premi assicurativi	progetto	45,9	1.500,00 €	68.850,00 €	1.500,00 €
Benefici per la comunità	progetto	1	1.750,00 €	1.750,00 €	38,13 €
Spese generali e amministrative	%	3,00%	278.464,96 €	8.353,95 €	182,00 €
Manutenzione ordinaria	costo	45,9	1.500,00 €	68.850,00 €	1.500,00 €
Contingenze	%	3,00%	440.234,00 €	13.207,02 €	287,73 €
Totale parziale				161.010,97 €	3.507,86 €

Figura 6 - Riepilogo Costi e economie di gestione e manutenzione per anno totali e per MW

Costi periodici e fine vita	Unità	Anno	Costo unitario	Importo	Costi e MW
Manutenzione straordinaria 1	Costo	10	30.000,00 €	30.000,00 €	653,59 €
Manutenzione straordinaria 2	Costo	20	50.000,00 €	50.000,00 €	1.089,32 €
Fine vita progetto	Costo	1	161.010,97 €	161.010,97 €	3.507,86 €

Figura 7 - Riepilogo Costi di manutenzione periodica straordinaria e di dismissione totali e per MW

6.2 Risultati analisi finanziaria

IPOTESI 1 (progetto) progetto FV proposto										
FLUSSO MONETARIO ANNUO ATTUALIZZATO			Rendimento	Producibilità	Incasso da vendite	Costi di esercizio	Margine operativo lordo	Ammortamento Opera	Tasse	UTILE LORDO (EBIT-RA)
Anno	Post-tasse	Cumulativo	Impianto	con decadimento	en. Elettrica (65€/MWh)					
#	€	€	-	MWh	€	€	€	€	€	€
0	-39.426.132,4	-39.426.132,4	-							
1	5.970.903,90	-33.455.228,51	1	104.670,0	7.483.905,0	241.010,97	7.242.894,03	3.548.351,92	994.940,19	6.247.953,84
2	5.676.037,07	-27.779.191,44	0,995	104.146,7	7.446.485,5	248.699,22	7.197.786,26	3.548.351,92	982.792,67	6.214.993,59
3	5.395.423,76	-22.383.767,68	0,99	103.623,3	7.409.066,0	256.632,72	7.152.433,23	3.548.351,92	970.579,10	6.181.854,13
4	5.128.381,85	-17.255.385,83	0,985	103.100,0	7.371.646,4	264.819,31	7.106.827,12	3.548.351,92	958.297,37	6.148.529,75
5	4.874.261,66	-12.381.124,18	0,98	102.576,6	7.334.226,9	273.267,04	7.060.959,86	3.548.351,92	945.945,32	6.115.014,54
6	4.632.444,40	-7.748.679,78	0,975	102.053,3	7.296.807,4	281.984,26	7.014.823,11	3.548.351,92	933.520,69	6.081.302,42
7	4.402.340,73	-3.346.339,05	0,97	101.529,9	7.259.387,9	290.979,56	6.968.408,29	3.548.351,92	921.021,18	6.047.387,11
8	4.183.389,36	837.050,31	0,965	101.006,6	7.221.968,3	300.261,81	6.921.706,52	3.548.351,92	908.444,39	6.013.262,12
9	3.975.055,71	4.812.106,03	0,96	100.483,2	7.184.548,8	309.840,16	6.874.708,64	3.548.351,92	895.787,87	5.978.920,77
10	3.776.830,66	8.588.936,69	0,955	99.959,9	7.147.129,3	319.724,06	6.827.405,21	3.548.351,92	883.049,05	5.944.356,16
11	3.588.229,32	12.177.166,01	0,95	99.436,5	7.109.709,8	329.923,26	6.779.786,49	3.548.351,92	870.225,33	5.909.561,16
12	2.915.913,84	15.093.079,85	0,945	98.913,2	7.072.290,2	340.447,81	6.731.842,41	394.261,32	1.706.710,59	5.025.131,83
13	2.708.174,38	17.801.254,23	0,94	98.389,8	7.034.870,7	351.308,10	6.683.562,60	0,00	1.799.883,41	4.883.679,20
14	2.569.257,51	20.370.511,74	0,935	97.866,5	6.997.451,2	362.514,82	6.634.936,35	0,00	1.786.788,36	4.848.147,99
15	2.437.203,22	22.807.714,96	0,93	97.343,1	6.960.031,7	374.079,05	6.585.952,60	0,00	1.773.597,04	4.812.355,57
16	2.311.677,89	25.119.392,85	0,925	96.819,8	6.922.612,1	386.012,17	6.536.939,96	0,00	1.760.306,37	4.776.293,59
17	2.192.363,94	27.311.756,79	0,92	96.296,4	6.885.192,6	398.325,96	6.486.866,64	0,00	1.746.913,19	4.739.953,46
18	2.078.959,13	29.390.715,92	0,915	95.773,1	6.847.773,1	411.032,55	6.436.740,52	0,00	1.733.414,22	4.703.326,30
19	1.971.175,76	31.361.891,68	0,91	95.249,7	6.810.353,6	424.144,49	6.386.209,06	0,00	1.719.806,10	4.666.402,96
20	1.868.740,01	33.230.631,69	0,905	94.726,4	6.772.934,0	437.674,70	6.335.259,32	0,00	1.706.085,34	4.629.173,99
21	1.771.391,27	35.002.022,96	0,9	94.203,0	6.735.514,5	451.636,53	6.283.877,97	0,00	1.692.248,34	4.591.629,64
22	1.678.881,49	36.680.904,45	0,895	93.679,7	6.698.095,0	466.043,73	6.232.051,24	0,00	1.678.291,40	4.553.759,84
23	1.590.974,61	38.271.879,07	0,89	93.156,3	6.660.675,5	480.910,53	6.179.764,92	0,00	1.664.210,69	4.515.554,23
24	1.507.445,96	39.779.325,03	0,885	92.633,0	6.623.255,9	496.251,57	6.127.004,35	0,00	1.650.002,27	4.477.002,08
25	1.428.081,72	41.207.406,75	0,88	92.109,6	6.585.836,4	512.082,00	6.073.754,40	0,00	1.635.662,06	4.438.092,34
26	1.352.678,40	42.560.085,14	0,875	91.586,3	6.548.416,9	528.417,41	6.019.999,46	0,00	1.621.185,86	4.398.813,61
27	1.281.042,35	43.841.127,49	0,87	91.062,9	6.510.997,4	545.273,93	5.965.723,42	0,00	1.606.569,32	4.359.154,10
28	1.212.989,28	45.054.116,77	0,865	90.539,6	6.473.577,8	562.668,17	5.910.909,66	0,00	1.591.807,97	4.319.101,69
29	1.148.343,82	46.202.460,59	0,86	90.016,2	6.436.158,3	580.617,28	5.855.541,02	0,00	1.576.897,20	4.278.643,82
30	1.086.939,08	47.289.399,67	0,855	89.492,9	6.398.738,8	599.138,97	5.799.599,80	0,00	1.561.832,23	4.237.767,58
			MEDIA :	97.081,4	6.941.321,9	394.190,74	6.547.131,15	1.314.204,41	1.409.227,17	5.137.903,98
			CUMULATA	2.912.442,8	208.239.656,6	11.825.722,13	196.413.934,49	39.426.132,41	42.276.815,10	154.137.119,39

Figura 8 - Flusso di cassa, producibilità con decadimento, MOL, tasse e utile lordo

Il flusso monetario si può rappresentare anche in forma cumulativa grafica, come rappresentato nella seguente figura, con evidenziato il punto di pareggio in termini di tempo.

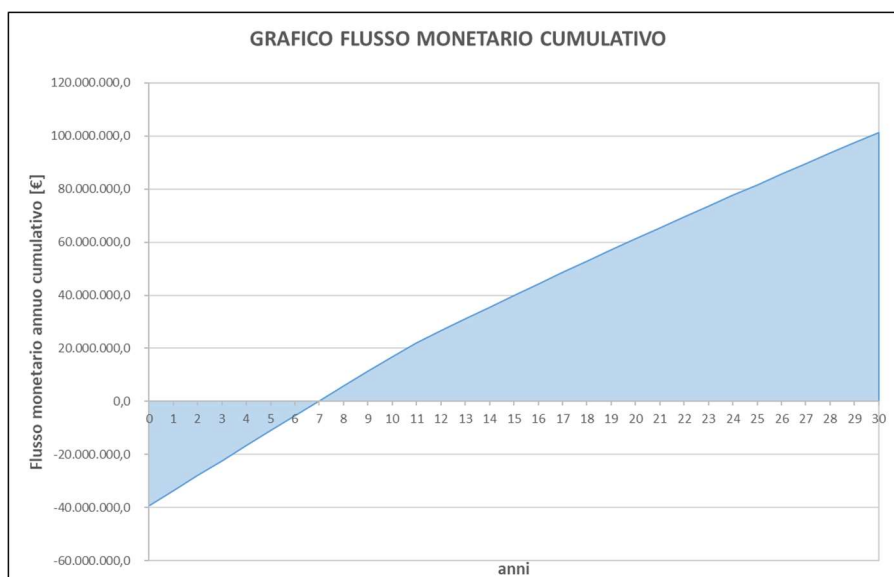


Figura 9 - Cash flow cumulativo

La figura 7 riporta un confronto su base annuale dell'andamento della producibilità, del flusso monetario, degli incassi da vendita dell'energia, oltre che del valore economico legato alla CO2 risparmiata negli anni, in rapporto al decadimento del rendimento di produzione dell'impianto.

Successivamente, applicando il tasso di attualizzazione ai flussi di cassa futuri si è ottenuto il seguente risultato

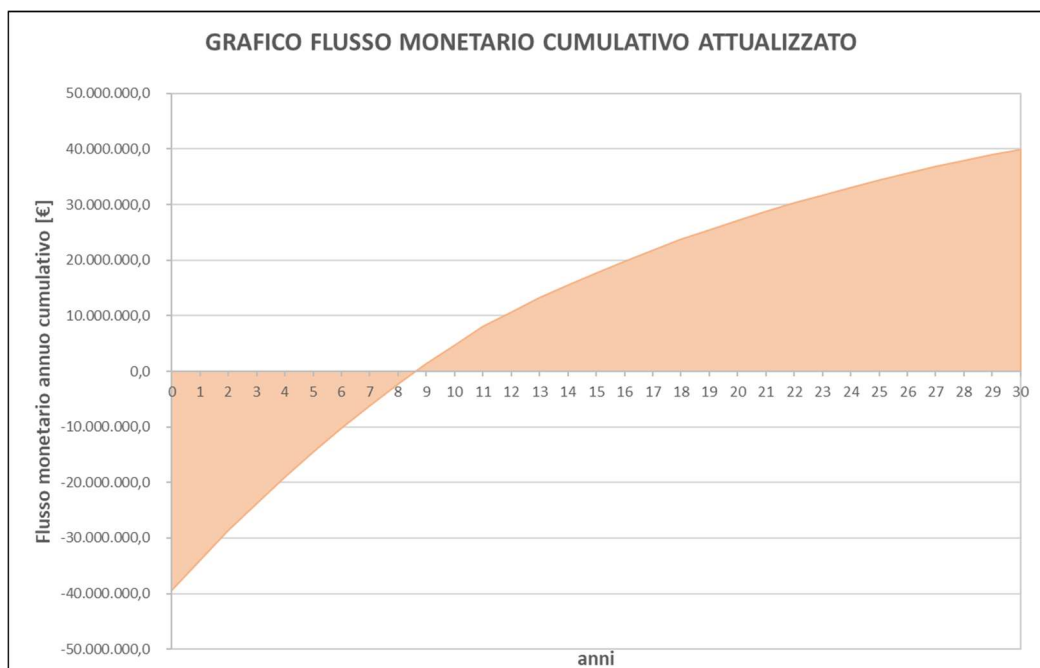


Figura 10 - Cash flow cumulativo attualizzato

In Figura 11 sono riassunti i risultati dell'analisi finanziaria. Si verifica facilmente come il Valore Attuale Netto del progetto proposto sia positivo, con un TIR positivo e ampiamente superiore al tasso di attualizzazione utilizzato. Infine, il tempo di ritorno dell'investimento previsto è di circa 6 anni, dopo i quali i flussi cumulati di cassa cumulati attualizzati risulteranno positivi.

		IPOTESI 1 (progetto) progetto FV proposto	IPOTESI 2 "Do nothing"
Fattibilità finanziaria			
TIR pre-tasse - capitale proprio investito	%	15,81%	15,81%
TIR ante imposte - attività	%	15,81%	15,81%
TIR al netto imposte - capitale proprio	%	13,15%	13,15%
TIR al netto imposte - attività	%	13,15%	13,15%
Ritorno semplice dell'investimento	anno	9,00	5
Ritorno del capitale investito	anno	8,60	4,80
Valore Attuale Netto (VAN)	€	39.922.751,12	314.000,00

Figura 11 - Risultati analisi finanziaria

6.3 Analisi della sensitività del progetto

Al fine di quantificare gli effetti sui risultati forniti dall'analisi dell'investimento, indotti da una modifica dei parametri con i quali sono calcolati gli indicatori di sostenibilità economica e finanziaria del progetto si è proceduto al calcolo di una analisi della sensitività. Essa viene effettuata alterando il peso di alcuni parametri ritenuti critici (il prezzo cessione energia elettrica, i costi iniziali e di manutenzione, il tasso debitorio, il rapporto di indebitamento ecc.) e osservando le conseguenze in termini di risultati finanziari ed economici.

Stabilendo, pertanto, i margini di variabilità massima tollerati per gli indicatori economici e finanziari a fronte di una variazione percentuale prestabilita per ciascun parametro (20%), si desumono informazioni utili per valutarne l'incertezza, nonché la possibile perdita di sostenibilità dell'investimento.

Con riferimento al Tasso di Rendimento Interno TIR (saggio di attualizzazione che azzerava il VAN) ad esempio, abbiamo il seguente risultato:

Analisi di sensitività						
Effettuare analisi su	TIR al netto imposte - attività					
Gamma sensitività	10%					
Limite	8		%			
			Costi iniziali [€]			
Prezzo cessione energia elettrica			35.483.519,2	37.454.825,8	39.426.132,4	41.397.439,0
€/MWh			-10%	-5%	0%	5%
58,50	-10%		13,42%	12,47%	11,70%	11,00%
61,75	-5%		14,15%	13,23%	12,43%	11,70%
65,00	0%		14,88%	13,97%	13,15%	12,39%
68,25	5%		15,65%	14,71%	13,85%	13,07%
71,50	10%		16,42%	15,44%	14,85%	13,75%
			Tasso di inflazione [%]			
Costi iniziali			2,61%	2,76%	2,90%	3,05%
€			-10%	-5%	0%	5%
35.483.519,2	-10%		14,90%	14,89%	14,88%	14,88%
37.454.825,8	-5%		13,99%	13,98%	13,97%	13,97%
39.426.132,4	0%		13,16%	13,15%	13,15%	13,14%
41.397.439,0	5%		12,41%	12,40%	12,39%	12,39%
43.368.745,7	10%		11,72%	11,71%	11,70%	11,70%
			Prezzo cessione energia elettrica [€/MWh]			
Tasso di inflazione			58,50	61,75	65,00	68,25
%			-10%	-5%	0%	5%
2,61%	-10%		11,72%	12,45%	13,16%	13,87%
2,76%	-5%		11,71%	12,44%	13,15%	13,86%
2,90%	0%		11,70%	12,43%	13,15%	13,85%
3,05%	5%		11,70%	12,42%	13,14%	13,85%
3,19%	10%		11,69%	12,41%	13,13%	13,84%

Figura 12 - Analisi sensitività del TIR

Dall'analisi della sensitività, fissando il valore del TIR limite pari al 8%, si vede come anche con variazioni del 10% dei parametri in gioco il valore minimo risulta garantito a

meno di improbabili variazioni prezzo di cessione dell'energia elettrica che come detto rimane invariato nei contratti PPA. Medesimo risultato si ha analizzando il tempo di ritorno del capitale investito:

Analisi di sensitività							
Effettuare analisi su	Ritorno del capitale investito						
Gamma sensitività	10%						
Limite	15	anni					
			Costi iniziali [€]				
Prezzo cessione energia elettrica			35.483.519,2	37.454.825,8	39.426.132,4	41.397.439,0	43.368.745,7
€/MWh			-10%	-5%	0%	5%	10%
58,50	-10%		8,4	9,0	9,7	10,3	11,0
61,75	-5%		7,9	8,5	9,1	9,7	10,3
65,00	0%		7,5	8,0	8,6	9,2	9,8
68,25	5%		7,1	7,6	8,2	8,7	9,2
71,50	10%		6,8	7,2	7,8	8,3	8,8
			Tasso di inflazione [%]				
Costi iniziali			2,61%	2,76%	2,90%	3,05%	3,19%
€			-10%	-5%	0%	5%	10%
35.483.519,2	-10%		7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
37.454.825,8	-5%		8,1	8,1	8,1	8,1	8,1
39.426.132,4	0%		8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
41.397.439,0	5%		9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
43.368.745,7	10%		9,8	9,8	9,8	9,8	9,8
			Prezzo cessione energia elettrica [€/MWh]				
Tasso di inflazione			58,50	61,75	65,00	68,25	71,50
%			-10%	-5%	0%	5%	10%
2,61%	-10%		9,7	9,1	8,6	8,2	7,8
2,76%	-5%		9,7	9,1	8,6	8,2	7,8
2,90%	0%		9,7	9,1	8,6	8,2	7,8
3,05%	5%		9,7	9,1	8,6	8,2	7,8
3,19%	10%		9,7	9,1	8,6	8,2	7,8

Figura 13 - Analisi sensitività del tempo di ritorno del capitale investito

La seguente è la situazione per il VAN, che risulta ampiamente positivo anche con forti variazioni dei parametri in gioco, a parte il caso estremamente improbabile di un aumento dei costi iniziali del 20% ed una contemporanea e improbabile forte riduzione del prezzo di cessione dell'energia elettrica.

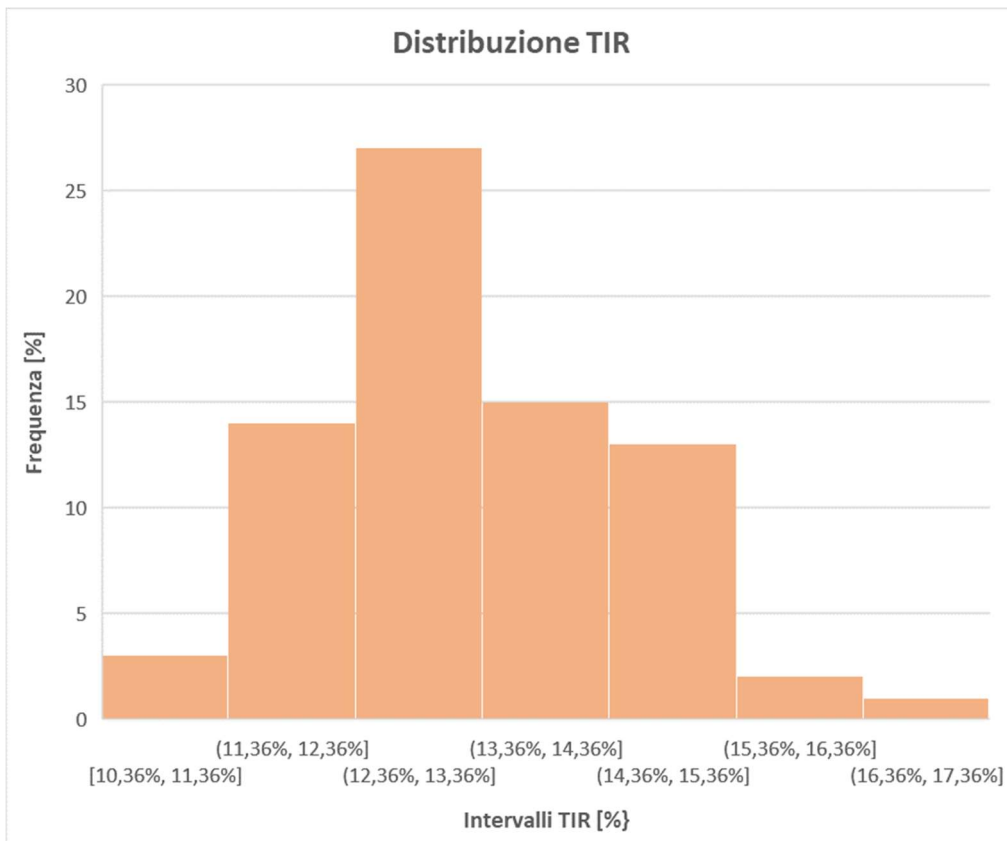
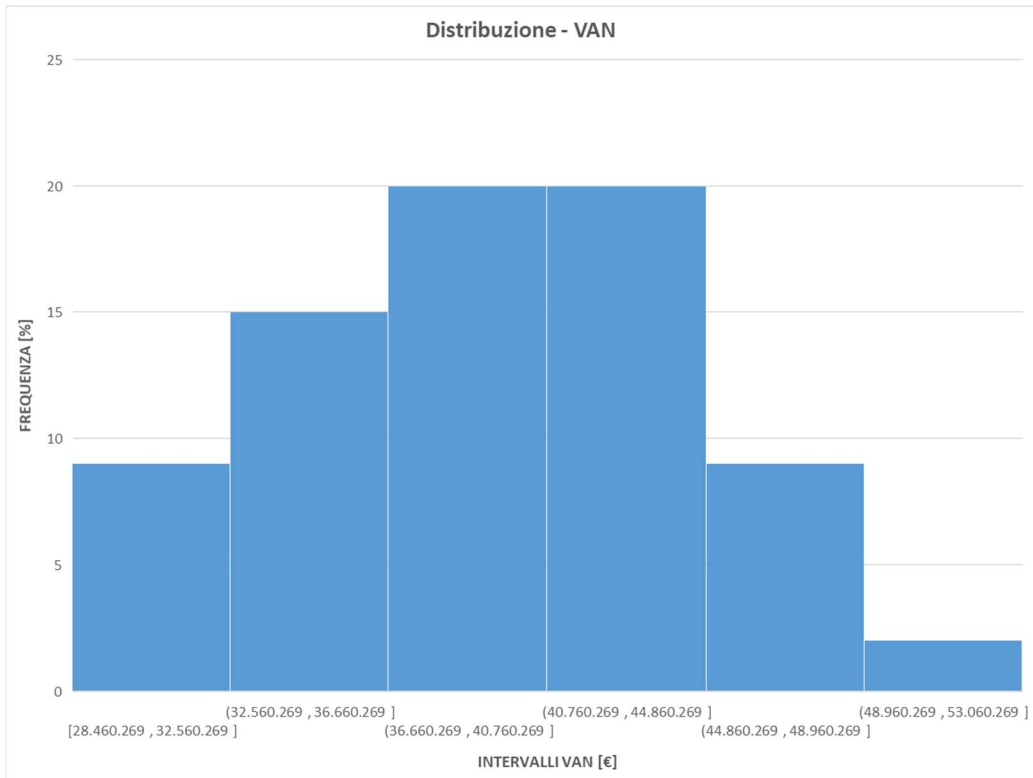
Analisi di sensitività						
Effettuare analisi su	VAN					
Gamma sensitività	10%					
Limite	0	€				
			Costi iniziali [€]			
Prezzo cessione energia elettrica			35.483.519,2	37.454.825,8	39.426.132,4	41.397.439,0
€/MWh			-10%	-5%	0%	5%
58,50	-10%		36.578.457	34.607.151	32.402.883	30.431.576
61,75	-5%		40.349.414	38.378.107	36.162.817	34.191.510
65,00	0%		44.120.370	42.149.063	39.922.751	37.951.445
68,25	5%		47.891.326	45.920.020	43.682.685	41.711.379
71,50	10%		51.662.283	49.690.976	47.442.620	45.471.313
			Tasso di inflazione [%]			
Costi iniziali			2,61%	2,76%	2,90%	3,05%
€			-10%	-5%	0%	5%
35.483.519,2	-10%		44.011.074	43.939.132	43.865.364	43.789.719
37.454.825,8	-5%		42.039.768	41.967.826	41.894.058	41.818.413
39.426.132,4	0%		40.068.461	39.996.519	39.922.751	39.847.106
41.397.439,0	5%		38.097.154	38.025.212	37.951.445	37.875.800
43.368.745,7	10%		36.125.848	36.053.906	35.980.138	35.904.493
			Prezzo cessione energia elettrica [€/MWh]			
Tasso di inflazione			58,50	61,75	65,00	68,25
%			-10%	-5%	0%	5%
2,61%	-10%		32.548.592	36.308.527	40.068.461	43.828.395
2,76%	-5%		32.476.650	36.236.585	39.996.519	43.756.453
2,90%	0%		32.402.883	36.162.817	39.922.751	43.682.685
3,05%	5%		32.327.238	36.087.172	39.847.106	43.607.040
3,19%	10%		32.249.663	36.009.597	39.769.531	43.529.465

Figura 14 - Analisi sensitività del VAN

6.4 Analisi di probabilità del rischio progetto in proposta

L'analisi di sensitività non fornisce alcuna indicazione circa la probabilità che i parametri raggiungano tali soglie critiche, il che costituisce invece l'oggetto di valutazione dell'analisi del rischio. Una volta individuate le variabili critiche, per effettuare l'analisi del rischio occorre associare a ciascuna di essa una distribuzione di probabilità, definita in un preciso intervallo di valori nell'intorno della migliore stima, utilizzata nel caso base, per il calcolo degli indici di valutazione. Per quanto riguarda la distribuzione di probabilità, sono state considerate curve gaussiane discrete derivanti da valori medi reperiti in rete. Stabilita la distribuzione di probabilità delle variabili critiche è possibile procedere al calcolo della distribuzione di probabilità del TIR e del VAN del progetto. I risultati sono esposti nelle figure seguenti.

Analisi del rischio					
Parametro		valore	gamma	min	max
costi iniziali		39.426.132,4	10%	35.483.519,2	43.368.745,7
Tasso di inflazione		2,90%	10,00%	2,61%	3,19%
prezzo cessione energia elettrica		65,00	10%	58,50	71,50



Come è possibile osservare, anche a seguito di variazioni del $\pm 10\%$ delle variabili considerate per l'analisi di sensitività il valore del TIR e del VAN risultano concentrarsi in un intervallo di valori accettabile che conferma la fattibilità finanziaria del progetto.

7 ANALISI SOCIO-ECONOMICA E AMBIENTALE

Al fine della formazione del prezzo del chilowattora oltre considerare i costi suddetti (costi di investimento, gestione, spese assicurative, ecc..) si riportano in analisi anche i costi ambientali e sociali conseguenti dalla produzione di energia elettrica, tali costi sono definiti “esterni” in quanto gli stessi risultano pagati da terzi e dalle future generazioni.

A tale proposito si possono riportare alcune considerazioni sulle tecnologie in alternativa:

- in generale alla realizzazione di impianti da fonti rinnovabili sono associati dei dividendi multipli (coinvolgimento delle piccole imprese, sviluppo locale, esternalità ambientali positive, sicurezza delle fonti di approvvigionamento). Ricadute queste che si trasformano anche in opportunità occupazionali. Infatti, gli investimenti per il loro sviluppo possono essere una reale occasione di crescita economica diffusa sul territorio e di presidio di comparti industriali ad alto tasso di crescita e alto contenuto di innovazione.
- l'installazione di un impianto fotovoltaico può provocare anche esternalità negative, tra cui: la creazione di campi elettromagnetici e l'impatto paesaggistico (seppur limitato alle immediate vicinanze dell'area di impianto). Questi aspetti sono stati dettagliatamente analizzati in fase di progetto, e minimizzati mediante un attento studio delle scelte progettuali.

Inoltre, la costruzione di un parco fotovoltaico provoca esternalità negative su alcune componenti della matrice ambientale; in particolare il consumo di suolo dovuto all'impianto ha delle conseguenze sui cosiddetti servizi ecosistemici.

7.1 Impatto sull'uso del suolo e sui servizi ecosistemici

Facendo riferimento al documento dell'ISPRA “Mappatura e valutazione dell'impatto del consumo di suolo sui servizi ecosistemici: proposte metodologiche per il Rapporto sul consumo di suolo dl 2018”, sono definiti i costi esterni relativi all'uso di suolo necessario per la realizzazione dell'impianto. I costi esterni sono stimati in relazione ai servizi ecosistemici (SE): il consumo di suolo genera una variazione (negativa) dei servizi ecosistemici. La quantificazione monetaria del mancato servizio ecosistemico permette di valutare il costo esterno e quindi economico e sociale correlato al consumo di suolo.

Per quanto attiene al progetto in esame, la superficie complessiva recintata è pari a 70,00 Ha, mentre la superficie effettivamente impermeabilizzata o semi

impermeabilizzata utilizzata per strade, cabine elettriche, vasche trasformatori è complessivamente pari a 5,35 ha.

I fattori presi in considerazione correlati ad altrettanti servizi ecosistemici sono:

- Stoccaggio e sequestro di carbonio;
- Qualità degli habitat;
- Produzione agricola;
- Impollinazione;
- Regolazione del microclima;
- Rimozione particolato ed ozono
- Protezione dall'erosione;
- Disponibilità di acqua;
- Regolazione del regime idrologico;
- Purificazione dell'acqua.

Per i Servizi ecosistemici potenzialmente impattati dall'impianto sarà data:

- Una descrizione secondo quanto indicato nel rapporto 2018;
- Una valutazione economica generale ripresa dal rapporto 2018;
- Una valutazione specifica per le aree di progetto, imputabile al consumo di suolo introdotto dalla realizzazione dell'impianto agro-voltaico. (ISPRA, 2018 p.1-4)

7.1.1 Sequestro e stoccaggio di Carbonio

Il sequestro e lo stoccaggio di carbonio costituiscono un servizio di regolazione assicurato dai diversi ecosistemi terrestri e marini grazie alla loro capacità di fissare gas serra, seppur con diversa entità, secondo modalità incrementalmente rispetto alla naturalità dell'ecosistema considerato (tale regola vale in generale e nel contesto mediterraneo e del nostro Paese). Questo servizio contribuisce alla regolazione del clima a livello globale e gioca un ruolo fondamentale nell'ambito delle strategie di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici. Fra tutti gli ecosistemi, quelli forestali naturali e seminaturali presentano il più alto potenziale di sequestro di carbonio. Il danno peggiore è pertanto il consumo di suolo nelle aree a copertura naturale e seminaturale o, più in generale, nei contesti territoriali connotati da un elevato grado di naturalità. La valutazione di questo servizio di regolazione viene effettuata sia rispetto al valore di stock sia al valore del flusso di servizio. Per quanto riguarda il valore di stock, la valutazione viene fatta con riferimento alla stima del quantitativo di carbonio stoccato a seconda della tipologia d'uso/copertura del suolo. Poiché si tratta di stime funzionali a rappresentare le

variazioni di copertura del suolo, lo schema adottato tende a semplificare il complesso ciclo del carbonio; in particolare considera costante il quantitativo di carbonio nel tempo (avendo come unico fattore di variazione quello relativo alla copertura del suolo) rappresentato e non prende in considerazione i trasferimenti di carbonio tra un pool e un altro.

Per la determinazione dei valori del carbonio contenuto nel suolo vengono utilizzate stime da letteratura: i valori dei pool per le aree artificiali sono stati lasciati tutti a zero mentre per le altre aree naturali e per le superfici agricole vengono utilizzati valori di letteratura riportati nella

<i>Classe d'uso del suolo</i>	<i>Epigeo (Mg C ha⁻¹)</i>	<i>Ipogeo (Mg C ha⁻¹)</i>	<i>Sostanza organica morta (Mg C ha⁻¹)</i>	<i>Suolo (Mg C ha⁻¹)</i>	<i>Totale (Mg C ha⁻¹)</i>
<i>Foreste</i>	50.5 (Gasparini & Tabacchi, 2011)	11.525 (Est. ISPRA, 2014)	5.295 (Gasparini & Tabacchi, 2011)	76.1 (Gasparini & Tabacchi, 2011)	143.42
<i>Aree agricole</i>	5 (ISPRA, 2014)	/	/	53.1 (Chiti et al., 2012)	58.1
<i>Arboricoltura da frutto</i>	10 (ISPRA, 2014)	/	/	52.1 (Chiti et al., 2012)	62.1
<i>Arboricoltura da legno</i>	28.55 (Gasparini & Tabacchi, 2011)	5.25 (Est. ISPRA, 2014)	1.75 (Gasparini & Tabacchi, 2011)	63.9 (Gasparini & Tabacchi, 2011)	99.45
<i>Prati e pascoli</i>	/	/	/	78.9 (ISPRA, 2014)	78.9
<i>Altre terre boscate</i>	3.05 (IPCC, 2003)	/	/	66.9 (ISPRA, 2014; Alberti et al. 2011)	69.95
<i>Urbano</i>	*	*	*	*	*
<i>Aree con vegetazione rada o assente</i>	**	**	**	**	**

Figura 15 - Valori di contenuto di carbonio per classe d'uso del suolo (Sallustio ET AL. 2015)

7.1.1.1 **Valutazione economica**

Per la valutazione economica del servizio ecosistemico di stoccaggio e sequestro di carbonio, non esiste un unico valore monetario corretto. In letteratura sono disponibili un rilevante numero di stime, che tuttavia differiscono per diversi ordini di grandezza, creando confusione su quale sia la più opportuna da utilizzare.

Tuttavia, due sono quelli più utilizzati: uno basato sul costo sociale, l'altro sul valore di mercato dei permessi di emissione.

Il Rapporto 2018 fa riferimento ad entrambi i costi:

- Il costo del flusso di servizio è fissato per il 2018 al valore di 121,45 €/tC
- Il costo del mercato è fissato sempre per il 2018 in 23,00 €/tC (ISPRA, 2018 p.5-9)

Utilizzando in coefficiente di rivalutazione calcolato sul sito <https://rivaluta.istat.it/> è stato possibile aggiornare il dato del 2018 ad ottobre 2023.

Il costo del flusso di servizio aggiornato al 2023 è: **121,45 €/tC x 1,175 = 142,70 €/tC**

Il costo di mercato aggiornato al 2023 è: **23,00 €/tC x 1,175 = 27,025 €/tC**

7.1.1.2 **Valutazione economica per il progetto in esame**

Come riportato in Tabella 1 nelle aree classificate come prati e pascoli il valore di carbonio contenuto nel terreno è pari a 78,9 Mg/Ha. Considerando che un Mg corrisponde ad una tonnellata è possibile ottenere facilmente il valore espresso in €/Ha moltiplicando il valore riportato in tabella per il costo del servizio ecosistemico calcolato precedentemente, ottenendo così

$$78,9 \text{ Mg/Ha} \times 142,70 \text{ €/tC} = 11.259,03 \text{ €/Ha}$$

Considerando ora la superficie dell'impianto effettivamente impermeabilizzata o semi impermeabilizzata di 5,35 Ha otteniamo il costo esterno relativo al mancato servizio di stoccaggio e sequestro di carbonio:

$$11.259,03 \text{ €/Ha} \times 5,35 \text{ Ha} = 60.235,81 \text{ €/anno}$$

7.1.2 **Qualità degli habitat**

Il servizio ecosistemico relativo alla qualità degli habitat, anche denominato nelle diverse classificazioni come habitat per gli organismi o tutela della biodiversità, consiste nella fornitura di diversi tipi di habitat essenziali per la vita di qualsiasi specie e il mantenimento della biodiversità stessa, e rappresenta uno dei principali valori di riferimento nella valutazione dello stato ecosistemico dei suoli. Gli habitat, a causa dei diversi fattori di impatto che gravano su di essi (cambiamenti di uso del suolo, impermeabilizzazione,

urbanizzazione, compattazione, salinizzazione, specie aliene invasive, etc.), sono soggetti a fenomeni di degrado, distrofia e alterazione del funzionamento dei processi eco-biologici, oltre che alla complessiva riduzione della resilienza ecologica e frammentazione ecosistemica. Il parametro *Habitat Suitability* è in questo caso riferito all'ecosistema in generale, e indica la capacità di sostenere specie vegetali e comunità animali che concorrono al mantenimento e alla conservazione della biodiversità. Sempre all'uso e copertura del suolo è collegato il parametro della sensibilità degli habitat alle minacce. Le minacce sono state classificate per l'Italia in otto categorie: gli edifici, insieme alle altre aree artificiali, le diverse tipologie di infrastrutture e le aree agricole, suddivise in agricoltura intensiva ed estensiva. Non tutti gli ecosistemi vengono influenzati allo stesso modo da medesime minacce e le diverse minacce hanno differenti distanze di influenza, pertanto, è necessario un parametro di vulnerabilità. Questi parametri sono stati valutati attraverso un approccio expert based, attraverso un questionario a oltre 100 esperti nazionali con affiliazioni diverse nei settori della conservazione e della gestione della biodiversità, i cui risultati sono descritti nelle tabelle che seguono.

7.1.2.1 **Valutazione economica**

Uno studio internazionale condotto da Costanza (*Costanza et al., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature 387*) ha definito i valori economici di tre ecosistemi (zone umide, praterie e foreste). Nel *Rapporto 2018* questi valori sono stati estesi ad altri ecosistemi, non presenti nello studio di Costanza. I valori sono riportati nella Tabella 2 e sono suddivisi per tipologia di habitat. Per le zone umide e le praterie e per le foreste viene utilizzato il valore originale definito dallo studio di Costanza (ISPRA, 2018 p. 9-14).

Classe	Tipologie di habitat	Suitability	Valore id\$ 2007/ha	Valore €/ha 2017
1	Spiagge, dune e sabbie	0,74	794,4	740,6
2	Corpi idrici permanenti	0,83	891	830,7
3	Zone umide	0,96	12452	11609,1
4	Praterie	0,86	1214	1131,8
5	Cespuglieti	0,81	869,6	810,7
6	Foreste di latifoglie	0,93	862	803,6
7	Foreste di conifere	0,82	862	803,6
8	Aree interne con vegetazione scarsa o assente	0,55	590,4	550,4
9	Superfici agricole a uso intensivo	0,26	279,1	260,2
10	Superfici agricole a uso estensivo	0,52	558,2	520,4
11	Edifici e altre aree artificiali	0,09	96,6	90,1
12	Aree aperte urbane	0,27	289,9	270,3
	Media pesata sulle superfici	0,58	633,2	590,4

Figura 16 - Valori economici per tipologia di habitat (ISPRA 2018)

7.1.2.2 **Valutazione economica per il progetto in esame**

Per il progetto in questione consideriamo il valore delle superfici agricole ad uso estensivo indicato nella Figura 2 e attualizzato ad ottobre 2023 tramite il coefficiente di rivalutazione ISTAT (<https://rivaluta.istat.it/>):

250,40 €/Ha x 1,175 = 611,47 €/Ha per anno

Per calcolare il costo esterno riferito al valore del servizio ecosistemico relativo alla perdita di habitat, moltiplichiamo quest'ultimo per la superficie complessiva progettuale che ha subito impermeabilizzazione o parziale impermeabilizzazione:

611,47 €/Ha x 5,35 Ha = 3.247,27 €/anno

7.1.3 **Produzione agricola**

Le attività produttive di una azienda agricola sono costituite da diversi tipi di coltivazioni e/o allevamenti; per una qualsiasi classificazione di tipo economico è, quindi, necessario scegliere un denominatore comune ad entrambi i tipi di attività idoneo a rappresentare non soltanto la dimensione economica di ogni azienda ma anche ad evidenziare

l'importanza economica delle singole produzioni agricole, al fine di attribuire a ciascuna azienda i caratteri di specializzazione produttiva (orientamento produttivo) e di redditività economica (dimensione economica). In pratica, per poter determinare la dimensione economica di un'azienda occorre poter sommare tutte le produzioni aziendali, che essendo espresse in unità di misura diverse, devono essere ricondotte ad un unico denominatore comune.

Per la determinazione sia dell'indirizzo produttivo che della dimensione economica, il criterio ritenuto più idoneo fino al 2009 era quello del Reddito Lordo Standard (RLS). Il concetto di RLS è legato a quello di produzione lorda e di costi specifici. A partire dal 2010 è stata introdotta una valutazione basata sulle Produzioni Standard (PS) che sono basate su valori medi rilevati durante un periodo di riferimento quinquennale. Le produzioni standard, tuttavia, devono essere attualizzate periodicamente per tener conto dell'evoluzione economica, in modo che la tipologia conservi la sua validità. L'attuale versione della tipologia comunitaria è stata istituita con il Reg. CE n. 1242/2008 e s.m.i.

Lo scopo della tipologia comunitaria consiste nel fornire uno schema di classificazione che consenta un'analisi della situazione delle aziende agricole a livello comunitario fondata su criteri di natura economica, nonché permetta raffronti tra aziende appartenenti a varie classi e tra i risultati economici ottenuti nel tempo e nei diversi Stati membri e loro regioni.

Nel presente studio si è tenuto conto del dettaglio informativo sulla Produzione Standard Totale PST della Sardegna. (Fonte: <https://rica.crea.gov.it/produzioni-standard-ps-210.php>)

A seguire i risultati scaturenti dall'analisi delle **Produzioni Standard**

STATO ANTE - INTERVENTO

TIPOLOGIA	SUPERFICIE [Ha]	PRODUZIONE STANDARD [€/Ha]	PRODUZIONE STANDARD TOTALE [€]
Coltivazioni foraggere avvicendate	18,94	222,00 €	4.204,68 €
Pascoli magri	50	132,00 €	6.600,00 €
PRODUZIONE STANDARD PRE INTERVENTO			10.804,68 €

Figura 17 - Calcolo della P.S.T. ante relativa all'area di progetto

STATO POST – INTERVENTO

TIPOLOGIA	SUPERFICIE [Ha]	PRODUZIONE STANDARD [€/Ha]	PRODUZIONE STANDARD TOTALE [€]
Prato pascolo permanente	63,75	360,00 €	22.950,00 €
PRODUZIONE STANDARD PRE INTERVENTO			22.950,00 €

Figura 18 - Calcolo della P.S.T. post intervento relativa all'area di progetto

Dai valori sopra riportati è possibile evincere un incremento percentuale dell'indice relativo alla Produzione Standard PS dell'212% circa, ovvero 12.145,32 €/anno.

7.1.4 Impollinazione

L'impollinazione è un servizio ecosistemico di fondamentale importanza poiché costituisce uno dei fattori di produzione della agricoltura. Secondo una stima in ambito Europeo, il valore economico di questo servizio ecosistemico è intorno ai 14 miliardi di euro annui, pari al 10% del valore della produzione agricola per l'alimentazione umana. Poiché dall'impollinazione dipende la fecondazione e la produttività di moltissime colture, nonché di piante spontanee, ed è fornito da molti organismi animali, tra cui api e bombi, il suo valore è, insieme ad altri, un indicatore non solo di utilità per il settore agricolo ma anche di benessere dell'intero ecosistema. L'impollinazione è uno dei servizi ecosistemici maggiormente a rischio a causa dei fenomeni di degrado del suolo, in primo luogo l'urbanizzazione e infrastrutturazione del territorio a scapito delle aree naturali, ma anche l'intensificazione dell'agricoltura e l'utilizzo massiccio di insetticidi, erbicidi e fertilizzanti.

7.1.4.1 **Valutazione economica**

La valutazione economica di questo servizio si basa sul valore economico complessivo di impollinazione (EVIP) disponibile anche per l'Italia dal 1991 al 2009, che si basa a sua volta sulla quantificazione del valore globale del servizio di impollinazione in funzione del valore della produzione agricola, che pone il servizio al 9,5% del valore della produzione agricola mondiale utilizzata per l'alimentazione (valore al 2005). Nel *Rapporto 2018* dell'ISPRA viene utilizzato il valore di riferimento compreso tra 15.430 e 20.602 €/Km² (2009), già utilizzato nelle precedenti edizioni (ISPRA, 2018 p. 17-19) Questi valori, espressi in €/km², vengono convertiti in €/ha dividendoli per 100 (1 km² = 100 ha),

successivamente vengono anche aggiornati al 2023 attraverso il coefficiente di rivalutazione monetaria (<https://rivaluta.istat.it/>):

$$15.430 \text{ €/km}^2 / 100 = 154,30 \text{ €/Ha}; 154,30 \text{ €/Ha} \times 1,175 = 181,30 \text{ €/Ha}$$

$$20.602 \text{ €/km}^2 / 100 = 206,02 \text{ €/Ha}; 206,02 \text{ €/Ha} \times 1,175 = 242,54 \text{ €/Ha}$$

7.1.4.2 **Valutazione economica per il progetto in esame**

Nel progetto è prevista la piantumazione di specie mellifere nel mix di sementi previsti nel prato stabile di leguminose. In relazione all'inserimento delle specie vegetali mellifere si può supporre che, con la realizzazione del progetto, il valore del servizio ecosistemico considerato rimanga invariato (240,43 €/Ha).

Considerando una perdita di suolo pari a 5,35 Ha, che corrisponde alla superficie sottratta alla produzione agricola a causa della presenza di aree impermeabilizzate o semi-impermeabilizzate, si può considerare una perdita di valore economico legato all'impollinazione per cui il calcolo si considera cautelativamente il valore massimo di valorizzazione economica:

$$240,43 \text{ €/Ha} \times 5,35 \text{ Ha} = 1.286,30 \text{ € per anno}$$

7.1.5 **Regolazione del microclima**

Alcuni studi hanno dimostrato che la realizzazione di un impianto fotovoltaico in un'area genera una variazione stagionale del microclima tra le aree al di sotto dei moduli fotovoltaici e le aree tra le stringhe dei moduli fotovoltaici. In particolare, uno studio molto interessante sull'argomento è quello pubblicato su Environmental Research Letters, Volume 11, Numero 7 del 13 luglio 2016: "Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling" (Armstrong, Ostle, & Whitaker, 2016). Lo studio è stato condotto su un impianto fotovoltaico, il Westmill Solar Park situato nel sud del Regno Unito vicino a Watchfield, al confine tra Wiltshire e Oxfordshire, appena fuori dalla A420. Il sito ha una capacità elettrica di 5 MW con 36 stringhe (per un totale di più di 20000 pannelli fotovoltaici) che coprono 12,1 ha, con ingombro dell'area sotto i pannelli fotovoltaici di 2,9 ettari. L'area prima della costruzione dell'impianto fotovoltaico era coltivata a seminativo.

Al fine di investigare gli effetti di un parco solare sul microclima e sui processi dell'ecosistema, sono state misurate la temperatura del suolo e dell'aria, la vegetazione

e le emissioni di gas serra al di sotto, tra i moduli fotovoltaici e in un'area di controllo per un intero anno. I risultati dello studio mostrano come la presenza delle stringhe PV abbia causato variazioni stagionali e diurne nel microclima dell'aria e del suolo.

In particolare, durante l'estate si è osservato un raffreddamento fino a un massimo di -5,2 °C (media giornaliera) con valori massimi e minimi di diminuzione (media giornaliera) compresi tra 3,5°C e 7,6°C, rispetto agli spazi vuoti e alle aree di controllo. Inoltre, la variazione giornaliera della temperatura dell'aria era inferiore sotto i pannelli, pertanto, sono state registrate temperature minime più alte (fino a +2,4°C) e massime più basse (fino a -6°C). Queste tendenze opposte, tuttavia, non hanno prodotto differenze significative nella temperatura media giornaliera dell'aria, anche se ovviamente nel periodo caldo (aprile-settembre) l'aria era costantemente più fresca sotto i pannelli durante il giorno e più calda la notte.

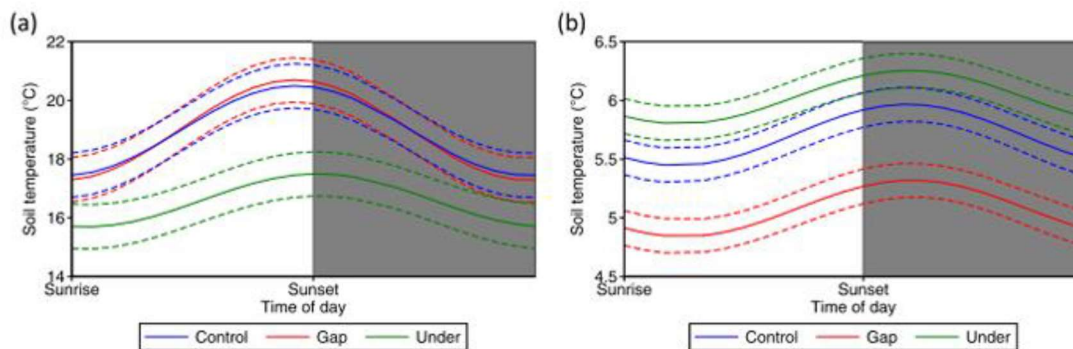


Figura 19 - Temperatura del suolo durante il periodo estivo (A) e invernale (B)

Al contrario, durante il periodo invernale il suolo nelle aree vuote era, in media, più freddo di 1,7 °C rispetto alle aree di controllo e alle aree con presenza di pannelli, lungo l'intero ciclo giornaliero.

Anche la temperatura dell'aria nelle aree vuote era significativamente più fresca (fino a 2,5 °C) durante il giorno, ma non durante la notte, rispetto alle aree di controllo e alle aree trattate. Inoltre, la variazione diurna sia della temperatura che dell'umidità durante l'estate si dimostra essere ridotta sotto gli array PV. Si è così scoperto che la gestione del microclima spiegava le differenze nella biomassa delle piante sopra il suolo e nella diversità delle specie, entrambe inferiori sotto gli array PV. Anche la fotosintesi e lo scambio netto di ecosistemi in primavera e inverno si sono rivelati essere inferiori sotto gli array PV, quindi dipendenti da metriche di microclima, suolo e vegetazione. Questi dati non sono certamente applicabili al clima in cui si sviluppa l'impianto oggetto dello Studio d'Impatto Ambientale, ma possono rappresentare un punto di partenza per comprendere gli effetti dei parchi solari in altri climi e fornire evidenze per supportare

l'ottimizzazione della progettazione e della gestione dei parchi solari in modo da massimizzare i servizi ecosistemici forniti dall'installazione degli impianti Agrovoltaici.

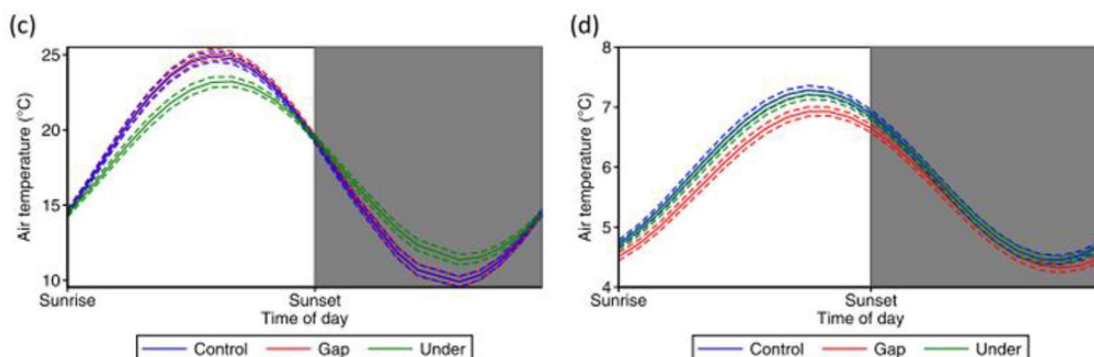


Figura 20 - Temperatura del suolo durante il periodo estivo (C) e invernale (D)

In definitiva, lo studio dimostra, per la prima volta, la validità dell'ipotesi di variazione climatica stagionale che si registra nelle aree tra e sotto i pannelli. Le variazioni di temperatura aria/soilo evidenziati avranno, inoltre, sicuramente degli impatti diretti e indiretti sui processi pianta/soilo con relative conseguenze sulla crescita (anche positive) ma, per quanto riguarda le variazioni del microclima e il potenziale impatto sulla salute umana derivante dal progetto in esame possiamo concludere quanto segue:

- come sottolineato nello Studio sopra richiamato la temperatura media giornaliera dell'aria non subisce variazioni significative e quindi gli effetti microclimatici non possono avere conseguenze sulla temperatura dell'aria nell'intorno dell'impianto fotovoltaico. In altri termini le variazioni di temperatura restano confinate all'interno dell'aria di impianto.
- benché l'area di impianto sia relativamente estesa (circa 70 ha), è evidente che su scala territoriale resta comunque un'area di piccola estensione e quindi non può in alcun modo influenzare il clima di un'intera area geografica, considerando anche il fatto che l'intera estensione dell'impianto è in realtà frammentata in più lotti;
- L'area di impianto si colloca in una zona esposta ai venti durante l'intero anno solare. Il vento produce effetti di "miscelazione" di aria più calda ed aria più fredda, mitigando di fatto le differenze di temperatura;
- L'area in cui è prevista la realizzazione dell'impianto è un'area rurale in cui si riscontra la presenza di abitazioni, ma eventualmente di aziende agricole e in cui,

quindi, la presenza dell'uomo è saltuaria; pertanto, l'attesa variazione del microclima non genera effetti sulle attività e la salute dell'uomo.

In definitiva possiamo concludere che gli effetti delle variazioni di temperatura dell'aria al di sotto dei moduli e quelle al di sopra o tra i moduli, è un effetto che ha conseguenze che restano comunque confinate all'area di impianto, non ha effetti territoriali più estesi e non ha effetti sulle attività e sulla salute dell'uomo. L'impatto si può considerare, pertanto, ridotto ed assolutamente reversibile a fine vita utile dell'impianto.

7.1.6 Rimozione di particolato e ozono

Tra i servizi ecosistemici di regolazione un ruolo importante riguarda il miglioramento della qualità dell'aria. Attualmente, l'esposizione a inquinanti atmosferici è il principale fattore di rischio ambientale in Europa (EEA, 2014). In tale contesto, per l'Italia si stima il maggior numero di morti premature da inquinanti atmosferici (8.440; EEA, 2015). Il servizio ecosistemico è stimato attraverso la rimozione di due inquinanti atmosferici, particolato atmosferico (PM10) e ozono troposferico (O3), da parte degli ecosistemi forestali per l'intero territorio nazionale. Gli ecosistemi forestali, per l'elevato rapporto superficie fogliare/volume, contribuiscono in modo rilevante al processo di rimozione di inquinanti dall'atmosfera, in particolare grazie alla capacità di assorbimento fogliare di O3 e di adsorbimento di PM10.

7.1.6.1 *Valutazione economica*

La valutazione monetaria considera i valori di esternalità (costo per tonnellata) dell'inquinamento da PM10 e da O3. Tali valori corrispondono al costo per la società del danno causato dall'inquinamento alla salute umana e all'ambiente. Applicando le esternalità stimate per il territorio italiano, in termini di anni di vita persa (VOLY), più conservativo, e in termini del valore statistico di una vita (VSL), è possibile calcolare l'ammontare monetario relativo alla mancata rimozione dei due inquinanti.

Il Report 2018 stima valori compresi tra 284,9 e 910 €/ha per il PM10 e tra i 234,9 e 693,7 €/ha per O3 (ISPRA, 2018 p. 21).

7.1.6.2 Valutazione economica per il progetto in esame

Considerando l'area geografica riferita al progetto in esame (es. Sardegna), questa non è sicuramente tra le aree più inquinate del paese, possiamo quindi attestarci sui valori più bassi per entrambi i parametri e moltiplicarli per gli ettari di terreno privi di vegetazione naturale a seguito della realizzazione del progetto (aree impermeabilizzate o semi impermeabilizzate).

285 €/Ha anno x 5,35 Ha = 1.524,75 €/anno per il PM10

235 €/Ha anno x 5,35 Ha = 1.257,25 €/anno per l'O3

Complessivamente 2.782 €/anno

7.1.7 Protezione dall'erosione

L'erosione del suolo è un fenomeno naturale che, attraverso l'asportazione della parte superficiale del terreno ricca di sostanza organica, contribuisce al modellamento della superficie terrestre. L'entità di questo fenomeno dipende da vari fattori, tra cui le caratteristiche geologiche, pedologiche, morfologiche e vegetazionali specifiche del territorio, dalle condizioni climatiche alle quali esso è soggetto.

Per quanto il fenomeno dell'erosione sia un processo naturale, questo può subire un'accelerazione a causa di alcune attività antropiche, prevalentemente agricole, e dei processi di degrado del suolo, che asportano la copertura vegetale ed espongono il suolo all'azione degli agenti erosivi, rappresentati, alle nostre latitudini, principalmente dalle precipitazioni meteoriche e dalle acque di scorrimento superficiale. L'erosione della parte superficiale del suolo comporta la perdita della parte più ricca di sostanza organica, con una riduzione anche rilevante della produttività e nei casi di suoli poco profondi anche la perdita irreversibile dell'intero strato coltivabile.

Secondo le stime effettuate dal Joint Research Centre della Commissione Europea, la superficie interessata dal fenomeno nell'UE-27 risulta pari a 1,3 milioni di km², il 20% dei quali subisce una perdita di suolo superiore a 10 t/ha/anno. Tra i 28 Stati Membri, l'Italia presenta il tasso di perdita di suolo più alto con valori medi di 8,46 t/ha/anno, spiegabili con le elevate pendenze del nostro territorio associate ad alti valori nell'erosività delle piogge, conseguenza di precipitazioni intense e concentrate in particolare a seguito di lunghi periodi siccitosi. Altri modelli indicano che il 30% del territorio nazionale presenta una perdita di suolo superiore a 10 tonnellate ad ettaro l'anno.

Ci sono diverse stime del valore di tonnellate di perdita di suolo per ettaro riferite al territorio italiano:

- 6,50-7 ton/ettaro per anno (progetto SIAS)
- 8,77 ton/ettaro per anno (progetto RUSLE della UE)
- 10 ton/ettaro per anno (ISPRA 2013)

Nonostante l'area di progetto sia collocata in un territorio prevalentemente sub-pianeggiante, per la limitazione delle aree effettivamente impermeabilizzate o semi impermeabilizzate, in maniera cautelativa consideriamo il valore più alto di perdita di suolo per erosione 10 t/ha/anno.

7.1.7.1 Valutazione economica

Per quanto riguarda la valutazione economica del servizio ecosistemico vi sono diverse opzioni disponibili. L'analisi degli studi in letteratura sull'erosione, mostra che i valori economici considerati sono molto variabili per entità e tipologia. Per l'edizione del 2018, sulla base delle considerazioni sopra esposte, la valutazione economica riporta un aggiornamento del costo di riferimento da dati di letteratura di 8.94 - 95.53 €/t al 2003, che rivalutato al 2023, tramite il coefficiente di rivalutazione ISTAT (<https://rivaluta.istat.it/>), porta a valori compresi tra 10,50 e 112,24 €/t (ISPRA, 2018 p. 24-30).

Per il progetto in esame andremo a considerare, in maniera cautelativa, un valore medio alto di 90 €/t. Tale valore riportato alla superficie è pari a:

80 €/t x 10 t/Ha = 800 €/Ha per anno

7.1.7.2 Valutazione economica per il progetto in esame

Con riferimento alle caratteristiche progettuali, considerando dal punto di vista vegetazionale la coltivazione di un prato polifita nella fase di esercizio che contribuirà a mantenere in buone condizioni lo strato di terreno vegetale e preservarlo dall'erosione e la realizzazione di strade e cabine con l'asportazione della parte superficiale costituita da terreno vegetale e la successiva impermeabilizzazione anche parziale (in corrispondenza delle strade) che costituisce l'attività antropica che comporta processi di degrado del suolo. Sulla base di queste osservazioni possiamo sicuramente affermare che confrontando le condizioni ante operam e post operam nel Progetto in esame, la perdita del servizio ecosistemico, che dipende come detto dalla capacità protettiva del

terreno vegetale, è limitata alle aree interessate dalle cabine elettriche, dalle strade interne, dalle piazzole. Nel complesso l'area può essere considerata semi-impermeabilizzata per una superficie pari a 5,35 Ha.

800 €/Ha per anno x 5,35 Ha = 4.280 €/anno

7.1.8 Regolazione del regime idrico (infiltrazione)

L'infiltrazione dell'acqua nel suolo e nel sottosuolo è uno degli elementi base dell'offerta del servizio di regolazione del deflusso superficiale e del servizio di approvvigionamento di acqua dolce, esso riguarda la disponibilità di acqua nel suolo e la ricarica delle falde e quindi la costituzione di una riserva di acqua dolce per piante ed esseri umani.

La riserva di acqua nello strato superficiale del suolo, considerato come costituito dai primi 100 cm, è funzione di diverse caratteristiche, come ad esempio la tessitura, il contenuto di carbonio organico, la densità apparente, la porosità, la frazione volumetrica di materiale solido, mentre l'infiltrazione profonda dipende anche dalle condizioni di umidità iniziale, dalla durata e dall'intensità della pioggia, oltre che dalle caratteristiche del suolo, essenzialmente, conducibilità idraulica a saturazione, capillarità e condizioni di saturazione del terreno.

Il valore di questi parametri è fortemente dipendente dalle condizioni locali, e non è disponibile un dato per l'intero territorio nazionale. Anche l'associazione di valori medi, per tipologia di copertura del suolo, per tipologia di complesso idrogeologico e di condizioni di uso, è piuttosto complessa.

7.1.8.1 *Valutazione economica*

Nel Rapporto 2018 viene utilizzato un modello idrologico in grado di fornire, in maniera distribuita, i valori delle principali grandezze del bilancio idrologico sul territorio nazionale, per verificare gli effetti prodotti dall'incremento di consumo di suolo nel periodo 2012-2017 in termini di aumento del deflusso superficiale e relativa diminuzione dell'infiltrazione. Il modello di bilancio denominato BIGBANG – Bilancio Idrologico GIS BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare (versione Bigbang 1.0) è sviluppato da ISPRA e fornisce la stima delle grandezze idrologiche precipitazione totale, evapotraspirazione reale, ricarica degli acquiferi o infiltrazione e ruscellamento superficiale, su una maglia di risoluzione di 1 km che ricopre l'intero territorio nazionale

e per ciascun mese. Attualmente sono disponibili le stime delle grandezze idrologiche per un ventennio a partire dal 1996 al 2015.

L'equazione generale su cui si basa il BIGBANG è la seguente:

$$P - E = R + G + \Delta V$$

dove P è la precipitazione totale, E è l'evapotraspirazione reale, R è il deflusso superficiale, G è la ricarica nelle acque sotterranee e ΔV è la variazione del contenuto d'acqua nel suolo.

La valutazione qualitativa della formula sopra riporta dimostra in sintesi che il servizio ecosistemico dell'infiltrazione dipende dalle precipitazioni al netto di:

- Evapotraspirazione (che a sua volta dipende dalle temperature medie locali);
- Deflusso superficiale

È evidente che aree impermeabilizzate o semi impermeabilizzate favoriscono il deflusso superficiale delle acque e quindi diminuiscono il valore di questo servizio ecosistemico. Pertanto, ancora una volta il costo esterno sarà legato alla quantità di superfici impermeabilizzate post operam.

I valori economici di questo servizio ecosistemico sono riferiti ai costi del servizio di regolazione, determinato a sua volta dalla valutazione delle opere di difesa idraulica in Italia, dovuti al deflusso superficiale causato dalla impermeabilizzazione dei terreni. Per il 2018 l'intervallo di valori è considerato tra 7,5 e 8,74 €/m³/anno. Tali valori attualizzati ad ottobre 2023 determinano valori compresi tra 8,81 e 10,26 €/m³ per anno (coefficiente di rivalutazione ISTAT pari a 1,167) (ISPRA, 2018 p. 30- 32).

7.1.8.2 Valutazione economica per il progetto in esame

Considerando che le precipitazioni medie annue nell'area di progetto sono comprese tra 450 e 550 mm (fonte Climatologia della Sardegna per il trentennio 1981-2010 - ARPAS, ISPRA 2020), abbiamo i seguenti valori riportati all'unità di superficie.

$$450 \text{ mm} \times 10.000 \text{ m}^2 = 0,45 \text{ m} \times 10.000 \text{ m}^2 = 4.500 \text{ m}^3$$

$$550 \text{ mm} \times 10.000 \text{ m}^2 = 0,55 \text{ m} \times 10.000 \text{ m}^2 = 5.500 \text{ m}^3$$

Ovvero su un ettaro di terreno nelle aree di progetto "piovono" ogni anno 4.500-5.500 m³ di acqua.

La quota di infiltrazione al netto di evapotraspirazione e deflusso superficiale, si può stimare in maniera largamente conservativa nel 70% dell'acqua proveniente dalle

precipitazioni. Pertanto, per ogni ettaro di terreno la quantità di acqua infiltrata varia tra 3.150-3.850 m³.

La perdita del servizio ecosistemico, che dipende come detto dalla capacità di infiltrazione del terreno, è limitata, per il progetto in esame, alle aree impermeabilizzate che hanno superficie complessiva di 5,35 ha.

Dal momento che tra tali aree quelle destinate a viabilità e piazzali, di fatto la maggior parte, saranno realizzate in terra battuta e stabilizzato e dunque non totalmente impermeabilizzate, possiamo considerare la valutazione economica minima proposta da ISPRA di 8,75 €/m³. Il costo esterno correlato alla perdita di servizio ecosistemico capacità di infiltrazione del terreno per l'impianto in progetto è pertanto pari a:

$$3.850 \text{ m}^3/\text{Ha per anno} \times 5,35 \text{ Ha} \times 8,75 \text{ €/m}^3 = 180.228,125 \text{ €/anno}$$

7.1.9 Regolazione del regime idrico (Disponibilità di acqua)

La disponibilità di acqua a fini idropotabili, agricoli e produttivi è uno dei principali fattori di benessere e si appresta a diventare un elemento di criticità anche per alcune parti dell'Europa, in particolare il sud del Mediterraneo a causa degli effetti dei cambiamenti climatici e del degrado del suolo. Alcuni autori fanno riferimento al water retention index (dimensionless, between 0-10) come indicatore della capacità di regolazione delle acque, che tiene conto della capacità di stoccaggio e ritenzione dell'acqua da parte del suolo e del sottosuolo, nonché della influenza del grado di permeabilità e di pendenza. Secondo queste analisi la capacità di ritenzione europea è rimasta sostanzialmente costante tra il 2000 e il 2010, mentre l'estrazione di acqua, sempre a scala europea, per industria agricoltura e usi civili, è diminuita del 5.6 % tra il 2000 al 2010, passando a 184 miliardi di m³ per anno.

Il servizio ecosistemico di regolazione del regime idrologico dipende essenzialmente dalla capacità dei bacini di resilienza agli eventi estremi ed alla siccità, che dipende a sua volta nella capacità di ritenzione dell'acqua e di riduzione del deflusso dei terreni non artificializzati.

Il *Rapporto 2018* per la definizione del servizio ecosistemico di approvvigionamento di acqua dolce fa proprio riferimento alla diminuzione della capacità di ricarica delle falde determinata dal consumo e relativa impermeabilizzazione del suolo.

7.1.9.1 **Valutazione economica**

La valutazione economica, considera i costi ambientali generati dal degrado delle funzionalità ecosistemiche, e si basa sulla valutazione del costo di realizzazione delle opere idrauliche di accumulo o di ingegneria idraulica finalizzati a proteggere o aumentare la ricarica della falda (ISPRA, 2018 p. 32- 35)

Per il Rapporto 2018 la valutazione economica al 2015 è compresa tra 0,03-0,07 €/m³, attualizzati ad ottobre 2023 a 0,036 - 0,084 €/m³ (coefficiente di rivalutazione ISTAT pari a 1,200).

7.1.9.2 **Valutazione economica per il progetto in esame**

Considerando che le precipitazioni medie annue nell'area di progetto sono comprese tra 450 e 550 mm (fonte Climatologia della Sardegna per il trentennio 1981-2010 - ARPAS, ISPRA 2020), abbiamo i seguenti valori riportati all'unità di superficie.

$$50 \text{ mm} \times 10.000 \text{ m}^2 = 0,45 \text{ m} \times 10.000 \text{ m}^2 = 4.500 \text{ m}^3$$

$$550 \text{ mm} \times 10.000 \text{ m}^2 = 0,55 \text{ m} \times 10.000 \text{ m}^2 = 5.500 \text{ m}^3$$

Ovvero su un ettaro di terreno nelle aree di progetto "piovono" ogni anno 4.500-5.500 m³ di acqua.

La quota di infiltrazione al netto di evapotraspirazione e deflusso superficiale, si può stimare in maniera largamente conservativa nel 70% dell'acqua proveniente dalle precipitazioni. Pertanto, per ogni ettaro di terreno la quantità di acqua infiltrata varia tra 3.150-3.850 m³.

Per quanto attiene la valutazione economica faremo riferimento al valore medio stimato dal Rapporto 2018 (media aritmetica tra valore massimo e valore minimo, pari a 0,05 €/m³). Pertanto, avremo:

$$3.850 \text{ m}^3/\text{Ha per anno} \times 5,35 \text{ Ha} \times 0,06 \text{ €/m}^3 = 1.235,85 \text{ €/anno}$$

7.1.10 **Purificazione dell'acqua dai contaminanti**

L'acqua che si infiltra nel suolo subisce un processo di "purificazione" attraverso processi bio-chimici svolti dalla parte minerale del suolo, e ancor più dalla sua componente biologica. La capacità depurativa è funzione non solo delle proprietà del suolo, quali la capacità di scambio cationico del suolo (cioè la sua "attività" fisico-chimica), il suo

contenuto in sostanza organica, la reazione (pH) e la sua profondità, ma è legata anche al clima, alle pratiche di gestione, e agli input in termini di carico di nutrienti e inquinanti presenti nell'acqua, quali, ad esempio, i fertilizzanti.

Ecosistemi come le foreste e le zone umide contribuiscono considerevolmente a migliorare la qualità delle risorse idriche. La vegetazione e il suolo, infatti, hanno la capacità di assorbire e quindi rimuovere inquinanti e nutrienti dell'acqua e di ridurne la velocità al fine di regolarne l'infiltrazione nel suolo. Di conseguenza la sottrazione di superfici permeabili e l'alterazione delle capacità depurative determinate dalla artificializzazione dei suoli, produce una diminuzione del servizio ecosistemico di regolazione offerto dal suolo. Il principale fattore è l'impermeabilizzazione, che costituisce una perdita irreversibile della capacità di infiltrazione dell'acqua nel suolo nelle aree impermeabili con la conseguenza che il carico di inquinanti già presente nelle acque non viene ridotto dall'infiltrazione e finisce nei corsi d'acqua superficiali

L'impermeabilizzazione, pertanto, rappresenta il danno più estremo anche per il servizio di purificazione. A ciò si aggiunge la riduzione della capacità di depurazione nei suoli degradati da altre forme di consumo di suolo, quali la compattazione, il degrado delle caratteristiche strutturali, i danni alla biodiversità del suolo. Il servizio offerto dal suolo, in termini quantitativi di rimozione di contaminanti, dipende anche dal tipo di carico che viene apportato alle superfici di ciascun bacino, anche se fino ad un certo punto.

Poiché la principale fonte di contaminazione nelle acque è rappresentata da azoto e fosforo provenienti dalla fertilizzazione delle aree agricole, la maggior parte delle valutazioni del servizio ecosistemico si basano sulla quantificazione dell'azoto e fosforo rimossi dalle acque

7.1.10.1 Valutazione economica

Per quanto riguarda i parametri economici, la maggior parte degli studi considera il costo di sostituzione, come spesso accade per i servizi di regolazione.

La valutazione economica definita nel Rapporto 2018 prende in considerazione la capacità naturale di attenuazione dei suoli, intendendo con questo la quantità di azoto rimosso per filtraggio e decontaminazione. la valutazione economica farà riferimento ad una meta analisi recente (ISPRA, 2018 p. 35-38) I valori economici corrispondono a 18,31 – 4.884,7 €/ha per anno al 2015, che attualizzati ad a ottobre 2023 sono 21,97 – 5.861,64 €/ha per anno (coefficiente di rivalutazione ISTAT pari a 1,200).

7.1.10.2 **Valutazione economica per il progetto in esame**

Dal momento che il carico di azoto presente nelle aree di progetto non presenta valori fuori dalla norma e non sono presenti zone “ZVN” (Zone Vulnerabili ai Nitrati di origine agricola) si può assumere un valore del servizio ecosistemico di purificazione medio che, in maniera cautelativa considereremo medio alto, pari a 3.000 €/ha per anno, rispetto al valore massimo e minimo del Rapporto 2018.

Il costo esterno generato dalla mancanza di tale servizio ecosistemico è ovviamente riferito alle superfici impermeabilizzate o semi impermeabilizzate (strade interne) in cui si ha perdita di naturalità del terreno, e quindi:

$$3.000 \text{ €/Ha per anno} \times 5,35 \text{ Ha} = 16.050 \text{ €/anno}$$

7.2 **Impatto visivo e costo della disponibilità a pagare**

Tra le diverse metodologie sviluppate per determinare il valore monetario (€/ha) di un paesaggio, quello scelto è il CVM (*Contingent Valuation Method*) il metodo della valutazione contingente. Il CVM è ragionevolmente il metodo più attendibile per quantificare in denaro il danno arrecato ad alcune categorie di beni ambientali. Essendo il paesaggio un bene non commerciabile, il suo valore monetario non può essere osservato e quindi non è disponibile da fonti statistiche tradizionali. La letteratura, quindi, applica molto spesso un approccio di preferenza dichiarata SP (*Stated Preference*), utilizzando metodi basati su sondaggi per scoprire la disponibilità a pagare (WTP - *Willingness To Pay*) della società. Il principio alla base della SP si basa sulla creazione di un'ipotetica situazione di mercato per il paesaggio. Agli individui intervistati viene chiesto di rendere pubblica la loro WTP per il paesaggio in quella ipotetica situazione di mercato. Esistono due tipi di valutazione per preferenza dichiarata, la CE (*choise experiments*) e la CVM (*Contingent Valuation Method*). La differenza sostanziale tra i due approcci è che la CVM valorizza un particolare bene pubblico nella sua interezza e tende a fornire informazioni sulle preferenze dell'intero bene piuttosto che su uno specifico aspetto o caratteristica. Al contrario, la CE scompone il bene in attributi e fornisce valori di preferenza sugli attributi stessi. Dallo studio europeo “*The Value of EU agricultural Landscape*” è stato possibile ricavare la tabella relativa al costo medio per ettaro riferito all'Italia per l'anno 2009 (Ciaian, et al., 2011).

Table 7: The estimated value per hectare WTP for grassland and permanent crops and arable land (€/ha/year in 2009 prices)

	Grassland and permanent crops									Arable land								
	1991			2000			2009			1991			2000			2009		
	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
Belgium	427	497	706	546	677	1097	620	786	1322	275	312	378	380	422	523	434	489	630
Bulgaria	0.1	1	3	1	3	8	5	11	20	0.04	1	2	0.4	2	6	2	7	15
Czech R.	3	9	19	18	30	49	74	87	114	1	6	14	9	20	36	39	56	85
Denmark	163	194	328	219	281	541	236	306	600	109	121	156	153	174	258	165	189	286
Germany	326	386	590	385	471	772	377	456	734	215	241	281	265	293	368	256	285	350
Estonia	2	6	12	6	11	20	23	30	42	1	4	9	3	7	15	11	19	31
Ireland	25	28	33	77	91	158	106	129	234	15	18	25	51	57	75	73	80	111
Greece	40	48	65	60	69	85	148	164	210	20	31	48	34	44	64	89	104	133
Spain	46	52	62	70	78	93	116	130	177	28	33	46	42	49	66	71	82	101
France	122	139	203	152	175	276	141	164	265	77	87	103	98	109	131	92	102	126
Italy	212	241	351	240	273	398	287	331	482	134	151	180	151	171	204	184	207	247
Cyprus	82	97	130	173	195	228	343	382	497	41	62	97	104	124	170	209	241	308
Latvia	2	5	10	4	9	17	12	19	29	1	3	7	2	6	13	6	12	22
Lithuania	1	4	8	2	6	11	11	18	28	1	3	6	1	4	8	5	11	21
Luxembourg	317	407	761	582	892	2238	884	1510	4317	222	252	363	407	543	1066	623	910	2057
Hungary	3	8	16	9	17	29	22	31	46	1	5	12	4	11	22	11	20	34
Malta	320	441	663	913	1059	1398	1094	1259	1619	152	284	495	472	676	1044	587	802	1209
Netherlands	453	528	750	648	824	1394	764	1003	1795	292	331	402	453	512	664	534	622	855
Austria	155	177	268	200	239	399	238	291	502	99	111	129	134	149	190	164	181	239
Poland	2	6	13	10	20	34	24	36	56	1	4	10	5	13	25	11	23	42
Portugal	40	50	70	79	91	113	94	108	131	19	32	52	44	58	84	54	68	97
Romania	0	2	6	1	4	9	6	13	24	0	1	4	0	2	6	3	9	18
Slovenia	20	31	49	96	112	147	168	190	222	9	20	36	50	72	110	101	120	166
Slovakia	2	6	13	7	16	30	59	70	95	1	4	10	3	11	22	28	45	71
Finland	158	185	302	193	229	379	201	243	413	104	116	144	129	143	181	137	151	197
Sweden	248	312	569	285	362	668	249	301	504	173	193	271	199	225	318	170	187	240
UK	180	200	267	321	399	688	243	279	407	109	126	158	225	248	328	155	175	208
EU	114	128	180	160	188	296	173	200	304	68	77	93	94	106	127	104	117	137

Figura 21 - Valore di prati, colture permanenti e terreni arabili (€/Ha/anno) al 2009

Per ottenere il valore monetario espresso in €/ha è stato sufficiente considerare la WTP pro capite annua (€/persona/anno), che varia per tipologia di terreno (prati, colture permanenti e seminativi) e Stato Membro (a causa della variazione del PIL pro capite) e moltiplicarla per la densità di popolazione (persone/ha) comprendendo gli individui dai 15 ai 75 anni di età. Attraverso il coefficiente di rivalutazione ISTAT (disponibile al link <https://rivaluta.istat.it/>) è stato possibile aggiornare il dato del 2009 ad ottobre 2023. Il coefficiente è pari a 1,307.

WTP ITALIA 2009 [€/ha]					
GRASSLAND and PERMANENT CROPS			ARABLE LAND		
Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
287,00	331,00	482,00	184,00	207,00	247,00

Codice di Rivalutazione ISTAT: 1,307

WTP ITALIA 2023 [€/ha]					
GRASSLAND and PERMANENT CROPS			ARABLE LAND		
Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
375,10	432,61	629,97	240,48	270,54	322,82

Per il progetto in esame si considera il valore massimo, in maniera cautelativa, attualizzato al 2023 per colture permanenti e pascoli. Viene considerato in questo modo anche l'impatto cumulativo degli altri impianti presenti nel territorio sia in fase di autorizzazione, sia per quelli autorizzati. Il valore considerato è pari 476,31 €/Ha. Infine l'area considerata è quella relativa a tutto il progetto, in quanto la percezione visiva dell'areale cambierà; risulta quindi:

476,31 €/ha per anno x 70 Ha = 33.341,7 €/anno

7.3 Investimenti compensativi a favore del territorio

A fronte dei benefici globali prodotti dalla realizzazione di un impianto di produzione di energia da fonte rinnovabile (vedi paragrafi precedenti e relazioni specialistiche) bisogna considerare, d'altra parte, che i costi esterni sono sopportati soprattutto dalla Comunità e dall'area in cui sorge l'impianto, dal momento che gli impatti prodotti dall'impianto agrovoltaico sono esclusivamente locali.

Si presentano quindi le contropartite economiche del territorio a fronte dei costi esterni sostenuti:

- 1) Il Comune di Sassari, in cui prevista l'installazione dell'impianto, percepirà in termini di IMU un introito annuale stimabile in circa (valori medi) 2.000,00 € per ogni ettaro occupato dall'impianto e quindi complessivamente:

70 Ha x 2.000,00 €/Ha = 140.000,00 €/anno

- 2) I proprietari dei terreni percepiranno mediamente 2.500 € per ogni ettaro occupato dall'impianto per la cessione del diritto di superficie, e quindi

70 Ha x 2.500,00 €/Ha = 175.000 €/anno

- 3) L'attività di gestione e manutenzione dell'impianto è stimata essere di 3.500 €/MWp ogni anno. Assumendo che sarà tutto appannaggio di imprese locali

(videosorveglianza, tagli del verde, opere di manutenzione) si stima cautelativamente un ulteriore vantaggio economico per il territorio di:

$$45,9 \text{ MWp} \times 3.500 \text{ €/MWp} = 160.650,00 \text{ €/anno}$$

- 4) Per quanto concerne i costi di costruzione dell'impianto e delle relative opere di connessione si stima un costo di **38.796.132,41 €**. Come illustrato nella documentazione tecnica "DTG_111_Computo metrico estimativo dei lavori". Tale importo viene allocato al cosiddetto anno zero, ovvero prima che l'impianto entri in esercizio.
- 5) Emissioni di CO2 evitate per la generazione di energia elettrica, grazie alla costruzione dell'impianto agro-voltaico, per maggiori dettagli fare riferimento al capitolo successivo.
- 6) Incremento della produzione agricola dovuta alla realizzazione dell'impianto agro-voltaico rispetto alle condizioni ante operam:
 $22.950,00 \text{ €/anno} - 10.804,68 \text{ €/anno} = 12.145,32 \text{ €/anno}$
- 7) Misure di compensazione – Sistemazione del Nuraghe Rumanedda sito nel Comune di Sassari, località Tottubella del valore di circa 200.000 €.

In definitiva risulta la seguente quantificazione prudentiale dei benefici locali:

ESTERNALITA' POSITIVE ("RICAVI")	FLUSSO DI CASSA ANNUALE	VALORE SPECIFICO	UdM
	€/anno		
1.IMU	140.000,00 €	2.000,00 €	€/Ha
2. DDS	175.000,00 €	2.500,00 €	€/Ha
3.O&M	160.650,00 €	3.500,00 €	€/MWp
4. Costi investimento aziende locali	38.796.132,41 €	38.796.132,41 €	€
5. Mancate emissioni CO2	3.451.694,48 €	Vedi sotto	€
6. Incremento produzione agricola	12.145,32 €		€
7 Misure di compensazione	200.000 €		€

Figura 22 - Riassunto esternalità positive impianto agro-voltaico

7.4 Emissioni evitate

Per quanto riguarda le emissioni di CO2 evitate risultano, nell'arco dei 30 anni, i seguenti valori sia a livello quantitativo che a livello economico.

- Il fattore di conversione considerato è pari a 0,45 kgCO₂/kWh;
- Il prezzo della CO₂ considerato è pari a 85,71 €/ton

ANNO	PRODUCIBILITA' ATTESA [MWh]	EMISSIONI EVITATE [Tonn] CO ₂	VALORE in euro (85,71 euro/tonn)
1	104.670,00	47.101,50	4.037.069,57
2	103.623,30	46.630,49	3.996.698,87
3	102.576,60	46.159,47	3.956.328,17
4	101.529,90	45.688,46	3.915.957,48
5	100.483,20	45.217,44	3.875.586,78
6	99.436,50	44.746,43	3.835.216,09
7	98.389,80	44.275,41	3.794.845,39
8	97.343,10	43.804,40	3.754.474,70
9	96.296,40	43.333,38	3.714.104,00
10	95.249,70	42.862,37	3.673.733,30
11	94.203,00	42.391,35	3.633.362,61
12	93.156,30	41.920,34	3.592.991,91
13	92.109,60	41.449,32	3.552.621,22
14	91.062,90	40.978,31	3.512.250,52
15	90.016,20	40.507,29	3.471.879,83
16	88.969,50	40.036,28	3.431.509,13
17	87.922,80	39.565,26	3.391.138,43
18	86.876,10	39.094,25	3.350.767,74
19	85.829,40	38.623,23	3.310.397,04
20	84.782,70	38.152,22	3.270.026,35
21	83.736,00	37.681,20	3.229.655,65
22	82.689,30	37.210,19	3.189.284,96
23	81.642,60	36.739,17	3.148.914,26
24	80.595,90	36.268,16	3.108.543,57
25	79.549,20	35.797,14	3.068.172,87
26	78.502,50	35.326,13	3.027.802,17
27	77.455,80	34.855,11	2.987.431,48
28	76.409,10	34.384,10	2.947.060,78
29	75.362,40	33.913,08	2.906.690,09
30	74.315,70	33.442,07	2.866.319,39
TOTALE	2.684.785,50	1.208.153,48	103.550.834,34

7.5 Sintesi dei risultati

Tutti i valori associati ai mancati servizi ecosistemici e all'impatto visivo sono riassunti nella seguente tabella. Vengono indicati come esternalità negative perché percepite come tali dall'ambiente e dal punto di vista della popolazione locale.

ESTERNALITA' NEGATIVE ("COSTI")	FLUSSO DI CASSA ANNUALE	VALORE SPECIFICO
	€/anno	€/Ha
1. Stoccaggio e sequestro di carbonio	60.235,81 €	11.259,03 €
2. Qualità degli habitat	3.247,27 €	611,47 €
3. Produzione di legname	- €	- €
4. Impollinazione	1.286,30 €	240,43 €
5. Regolazione del microclima	- €	- €
6. Rimozione particolato ed ozono	2.782,00 €	520,00 €
7. Protezione dall'erosione	4.280,00 €	800,00 €
8. Disponibilità di acqua	180.228,13 €	33.687,50 €
9. Regolazione del regime idrologico	1.235,85 €	231,00 €
10. Purificazione dell'acqua	16.050,00 €	3.000,00 €
11. WTP	33.341,70 €	476,31 €
TOTALE	302.687,06 €	50.825,74 €

Figura 23 - Elenco mancati servizi ecosistemici - valorizzazione economica

Mentre di seguito si riportano tutte le esternalità positive legate al progetto.

ESTERNALITA' POSITIVE ("RICAVI")	FLUSSO DI CASSA ANNUALE	VALORE SPECIFICO	UdM
	€/anno		
1.IMU	140.000,00 €	2.000,00 €	€/Ha
2. DDS	175.000,00 €	2.500,00 €	€/Ha
3.O&M	160.650,00 €	3.500,00 €	€/MWp
4. Costi investimento aziende locali	38.796.132,41 €	38.796.132,41 €	-€
5. Mancate emissioni CO2	3.451.694,48 €	Media sui 30 anni	
6. Incremento produzione agricola	12.145,32 €		
7 Misure di compensazione	200.000 €		
TOTALE	42.935.622,21 €		

Figura 24 - Elenco esternalità positive - Valorizzazione economica

8 ANALISI DEI RISULTATI COSTI-BENEFICI

Nella tabella seguente vengono riassunte tutte le voci presentate nei capitoli precedenti: in particolare sono riportate le cosiddette esternalità positive, che generano un beneficio quantificabile come un flusso di cassa positivo (ricavo) e le esternalità negative legate al consumo di suolo e ai mancati servizi ecosistemici, che generano un costo quantificabile come un flusso di cassa negativo.

- Le esternalità negative annuali sono aumentate ogni anno dal valore di inflazione considerato (+2,9%)
- Per quanto riguarda le esternalità positive, solo i valori di IMU e O&M annuali vengono aumentati della stessa quantità, mentre si ipotizza in maniera conservativa (e a sfavore della proponente) di mantenere costanti i valori dei canoni di DDS, del prezzo della CO2 e di avere tutti gli investimenti a favore delle aziende locali nell'anno di costruzione dell'impianto (anno 0)
- Il tasso di attualizzazione considerato è pari al 4,64%

Applicando ai flussi di cassa risultanti le formule e la metodologia riguardanti il VAN presentate nel capitolo 3.2, è possibile trarre le seguenti conclusioni.

ANNO	PRODUCIBILITA' ATTESA [MWh]	EMISSIONI EVITATE [Tonn] CO2	ESTERNALITA' POSITIVE ("BENEFICI")	ESTERNALITA' NEGATIVE ("COSTI")	RAPPORTO BENEFICI/ COSTI	FLUSSO DI CASSA	FLUSSO DI CASSA CUMULATO
	MWh	tonn	€	€	-	€	€
0	0,00	0,00	40.096.132,41 €	302.687,06 €	132,47	39.793.445,35 €	39.793.445,35 €
1	104.670,00	47.101,50	4.524.864,89 €	311.767,67 €	14,51	4.213.097,21 €	44.006.542,56 €
2	103.623,30	46.630,49	4.493.213,04 €	321.120,70 €	13,99	4.172.092,34 €	48.178.634,90 €
3	102.576,60	46.159,47	4.461.814,04 €	330.754,32 €	13,49	4.131.059,72 €	52.309.694,62 €
4	101.529,90	45.688,46	4.430.675,22 €	340.676,95 €	13,01	4.089.998,27 €	56.399.692,89 €
5	100.483,20	45.217,44	4.399.804,13 €	350.897,26 €	12,54	4.048.906,86 €	60.448.599,75 €
6	99.436,50	44.746,43	4.369.208,52 €	361.424,18 €	12,09	4.007.784,34 €	64.456.384,09 €
7	98.389,80	44.275,41	4.338.896,39 €	372.266,90 €	11,66	3.966.629,48 €	68.423.013,57 €
8	97.343,10	43.804,40	4.308.875,96 €	383.434,91 €	11,24	3.925.441,05 €	72.348.454,62 €
9	96.296,40	43.333,38	4.279.155,68 €	394.937,96 €	10,84	3.884.217,73 €	76.232.672,34 €
10	95.249,70	42.862,37	4.249.744,27 €	406.786,10 €	10,45	3.842.958,18 €	80.075.630,52 €
11	94.203,00	42.391,35	4.220.650,68 €	418.989,68 €	10,07	3.801.661,00 €	83.877.291,52 €
12	93.156,30	41.920,34	4.191.884,13 €	431.559,37 €	9,71	3.760.324,75 €	87.637.616,28 €
13	92.109,60	41.449,32	4.163.454,09 €	444.506,15 €	9,37	3.718.947,94 €	91.356.564,21 €
14	91.062,90	40.978,31	4.135.370,33 €	457.841,34 €	9,03	3.677.529,00 €	95.034.093,21 €
15	90.016,20	40.507,29	4.107.642,90 €	471.576,58 €	8,71	3.636.066,32 €	98.670.159,53 €
16	88.969,50	40.036,28	4.080.282,12 €	485.723,87 €	8,40	3.594.558,24 €	102.264.717,77 €
17	87.922,80	39.565,26	4.053.298,62 €	500.295,59 €	8,10	3.553.003,03 €	105.817.720,81 €
18	86.876,10	39.094,25	4.026.703,36 €	515.304,46 €	7,81	3.511.398,90 €	109.329.119,71 €
19	85.829,40	38.623,23	4.000.507,58 €	530.763,59 €	7,54	3.469.743,99 €	112.798.863,70 €
20	84.782,70	38.152,22	3.974.722,88 €	546.686,50 €	7,27	3.428.036,38 €	116.226.900,08 €
21	83.736,00	37.681,20	3.949.361,17 €	563.087,09 €	7,01	3.386.274,07 €	119.613.174,15 €
22	82.689,30	37.210,19	3.924.434,72 €	579.979,71 €	6,77	3.344.455,01 €	122.957.629,16 €
23	81.642,60	36.739,17	3.899.956,15 €	597.379,10 €	6,53	3.302.577,05 €	126.260.206,21 €
24	80.595,90	36.268,16	3.875.938,46 €	615.300,47 €	6,30	3.260.637,98 €	129.520.844,20 €
25	79.549,20	35.797,14	3.852.395,00 €	633.759,49 €	6,08	3.218.635,51 €	132.739.479,71 €
26	78.502,50	35.326,13	3.829.339,53 €	652.772,27 €	5,87	3.176.567,26 €	135.916.046,97 €
27	77.455,80	34.855,11	3.806.786,20 €	672.355,44 €	5,66	3.134.430,76 €	139.050.477,73 €
28	76.409,10	34.384,10	3.784.749,58 €	692.526,10 €	5,47	3.092.223,48 €	142.142.701,21 €
29	75.362,40	33.913,08	3.763.244,64 €	713.301,88 €	5,28	3.049.942,76 €	145.192.643,97 €
30	74.315,70	33.442,07	3.742.286,82 €	734.700,94 €	5,09	3.007.585,88 €	148.200.229,85 €
TOTALE	2.684.785,50	1.208.153,48					

Figura 25 - Analisi flussi economici esternalità positive e negative e valori cumulati

Come anticipato in precedenza, l'alternativa "zero" prevede la possibilità di non realizzare l'opera e conservare lo stato dei luoghi, con conseguente assenza di benefici di carattere sociale, ambientale ed economico rispetto alla situazione vigente. Di conseguenza, se il progetto analizzato risulta avere un VAN positivo, tale intervento sarà da considerarsi più vantaggioso e quindi preferibile rispetto alla cosiddetta alternativa zero.

Come facile osservare, i flussi di cassa anno per anno risultano essere positivi.

VANE
99.890.513,79 €

Il VANE risultante dal flusso di cassa economico appena presentato risulta essere pari a 99.890.513,79 €, valore ampiamente positivo che giustifica anche dal punto di vista della comunità locale l'intervento proposto.

Non è invece possibile, né utile, calcolare il TIRE perché l'investimento genera flussi di cassa positivi per la collettività già all'anno 0, di conseguenza non è possibile computare questo parametro economico in quanto non sono presenti flussi negativi dal punto di vista socio-economico da cui rientrare. Infatti, gli impatti negativi generati dall'investimento sui servizi ecosistemici o sul consumo di suolo, per esempio, vengono compensati e superati dalle esternalità positive legate al progetto.

Riepilogando le analisi svolte finora, sia dal punto finanziario, sia dal punto di vista socio-economico e ambientale, appare evidente come l'investimento previsto per l'impianto agro-voltaico restituisca valori complessivamente positivi e quindi superiori rispetto all'alternativa "zero" o di "non azione".