

REGIONE PUGLIA
COMUNE DI MANFREDONIA (FG)
PROVINCIA DI FOGGIA



PROGETTO DEFINITIVO dell'impianto eolico
denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da
realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

Codice Impianto 29MIWU1

Cod. Id. Elaborato:	21_17_EO_GAM_AU_RE_33_00
Elaborato: RE_33	Titolo: 29MIWU1_DocumentazioneSpecialistica_40 Analisi Fattori Ambientali - Benefici e costi
Scala: /	
Data: Dicembre 2022	

Committente:

ENERGIA LEVANTE S.r.l.

Via Luca Guarico n. 9/11 - Regus Eur - 4° piano - 00143 Roma
P.IVA 10240591007 - REA RM1219825 - energielevantesrl@legalmail.it

SOCIETÀ DEL GRUPPO



For a better world of energy

PROJETTO engineering s.r.l.

società d'ingegneria

direttore tecnico
Ph.D. Ing. LEONARDO FILOTICO

Sede Legale: Via dei Mille, 5 74024 Manduria
Sede Operativa: Z.I. Lotto 31 74020 San Marzano di S.G. (TA)
tel. 099 9574694 Fax 099 2222834 cell. 349.1735914
studio@projetto.eu
web site: www.projetto.eu

P.IVA: 02658050733



N. REVISIONE	Data revisione	Elaborato	Controllato	Approvato	NOTE
00	Dicembre 2022	Dott. Maria Elisa Marinosci	Ing. Pietro Rodia	Ing. Leonardo Filotico	

È vietata la copia anche parziale del presente elaborato

INDICE

1	PREMESSA	2
2	FATTORE AMBIENTALE ATMOSFERA: ARIA E CLIMA	4
2.1	QUALITA' DELL' ARIA	4
2.2	CARATTERIZZAZIONE METEO – CLIMATICA	7
2.3	ANALISI DEGLI SCENARI	8
2.4	CARATTERIZZAZIONE DELLA VULNERABILITA' AI CAMBIAMENTI CLIMATICI.....	11
2.5	IDENTIFICAZIONE ELEMENTI VULNERABILI RICAVATI DALLA CARATTERIZZAZIONE DI TUTTI I FATTORI AMBIENTALI	13
2.6	IDENTIFICAZIONE DEGLI HAZARD CLIMATICI	13
2.7	IDENTIFICAZIONE DEGLI IMPATTI DOVUTI AGLI HAZARD CLIMATICI.....	17
2.8	EMISSIONI IN ATMOSFERA E IMPIANTI EOLICI	17
2.9	EMISSIONI IN FASE DI CANTIERE	18
2.9.1	CANTIERE FISSO	19
2.9.2	CANTIERE OPERATIVO	19
2.9.3	EMISSIONE DI POLVERE LEGATO AL TRANSITO DEI MEZZI SU VIABILITÀ NON ASFALTATA	21
2.10	EMISSIONI IN FASE DI ESERCIZIO.....	24
2.11	EMISSIONI IN FASE DI DISMISSIONE.....	25
2.12	CALCOLO EMISSIONI MATERIALI	25
2.13	MIX ENERGETICO ED EMISSIONI DI GAS SERRA.....	26
2.14	CO2EQ PER MIX ENERGETICO ITALIANO.....	29
3	POTENZIALI IMPATTI AMBIENTALI: L'IMPIANTO "FOGGIA"	30
3.1	ENERGY PAY – BACK TIME.....	30
4	SERVIZI ECOSISTEMICI	31
4.1	INTRODUZIONE	31
4.2	LA VALUTAZIONE BIOFISICA ED ECONOMICA DEI SERVIZI ECOSISTEMICI	33
5	LA VALUTAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI NELL'AREA DI PROGETTO	42
5.1	CALCOLO VARIAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI ANTE/POST OPERAM	47
5.2	BILANCIO TRA BENEFICI E COSTI AMBIENTALI	48

1 PREMESSA

L'intervento proposto vede la realizzazione di un impianto eolico destinato alla produzione industriale di energia elettrica da fonte rinnovabile Eolica, e delle opere elettriche accessorie così come definite all'art.1 – octies "Opere connesse agli impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili" del D.lgs. 8 luglio 2010 n.105 "Misure urgenti in materia di energia" così come modificato dalla L. 13 agosto 2010 n.129 e descritte nel preventivo di connessione rilasciato da TERNA Spa.

2

Il sito d'installazione ricade nel territorio amministrativo del Comune di Manfredonia (FG).

Il progetto prevede l'installazione di 12 aerogeneratori di tipo "SG 6.6-155" da 6.6 MW con una potenza complessiva di 79,20 MW. In particolare, verranno installati 8 aerogeneratori con altezza del mozzo pari a 90 m e 4 aerogeneratori con altezza del mozzo pari a 102,5 m.

Tabella 1 – informazioni generali

Denominazione	X (m)	Y (m)
WTG01	564377	4592529
WTG02	562884	4592473
WTG03	566595	4594186
WTG04	559995	4591890
WTG05	561316	4590877
WTG06	565864	4592470
WTG07	565624	4594347
WTG08	558846	4591788
WTG09	561770	4592109
WTG10	563768	4591339
WTG11	566896	4593281
WTG12	563048	4591201

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

Inquadramento intervento su base IGM - Scala 1:50.000

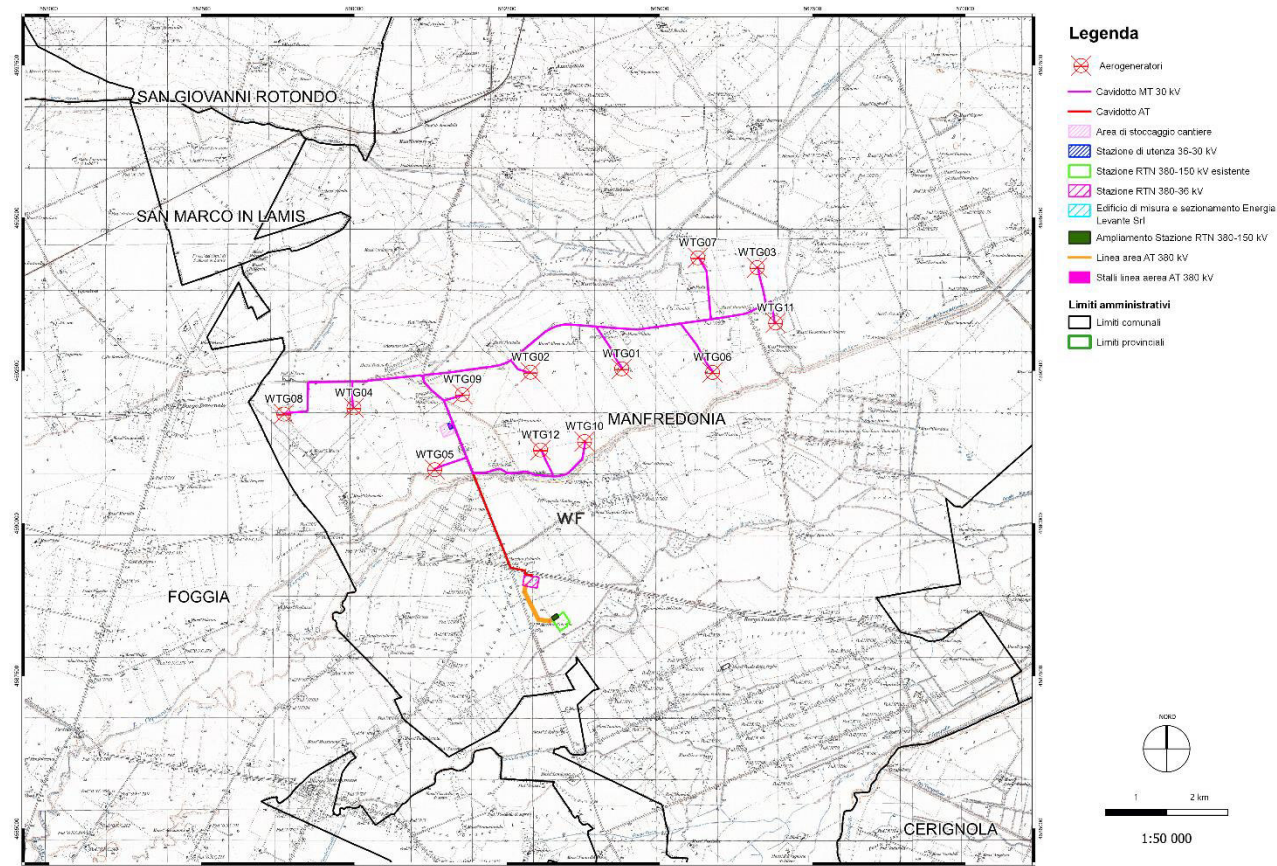


Figura 1 | Inquadramento intervento su IGM

2 FATTORE AMBIENTALE ATMOSFERA: ARIA E CLIMA

2.1 QUALITÀ DELL'ARIA

I fenomeni di inquinamento dell'ambiente atmosferico sono strettamente correlati alla presenza sul territorio di attività umane, produttive di tipo industriale, agricolo e di infrastrutture di collegamento.

Le sorgenti maggiormente responsabili dello stato di degrado atmosferico sono reperibili negli insediamenti industriali, negli insediamenti abitativi o assimilabili (consumo di combustibili per riscaldamento, etc.), nel settore agricolo (consumo di combustibili per la produzione di forza motrice) e nel settore dei trasporti. È opportuno però ricordare che esistono estese commistioni tra le emissioni di origine industriale e quelle di origine civile e da traffico: molto spesso, infatti, avvengono contemporaneamente e a breve distanza tra loro, mescolandosi in modo che la loro discriminazione sia impossibile.

Le sostanze immesse in atmosfera possono ritrovarsi direttamente nell'aria ambiente (inquinanti primari), oppure possono subire processi di trasformazione dando luogo a nuove sostanze inquinanti (inquinanti secondari). Gli agenti inquinanti tipicamente monitorati sono SO₂, CO, NO_x, O₃, polveri totali sospese e polveri sottili (PM₁₀ e PM_{2.5}).

L'art. 18, comma 3, del D. Lgs. 155/2010 stabilisce che *"le Regioni e le Province Autonome elaborano e mettono a disposizione del pubblico relazioni annuali aventi ad oggetto tutti gli inquinanti disciplinati dal presente decreto e contenenti una sintetica illustrazione circa i superamenti dei valori limite, dei valori obiettivo, degli obiettivi a lungo termine, delle soglie di informazione e delle soglie di allarme con riferimento ai periodi di mediazione previsti, con una sintetica valutazione degli effetti di tali superamenti [...]".*

Arpa Puglia e Regione Puglia monitorano la qualità dell'aria sull'intero territorio regionale.

Per la seguente analisi si fa riferimento alla *"Relazione annuale sulla Qualità dell'Aria in Puglia – Anno 2019"* disponibile sulla pagina ufficiale del sito Arpa Puglia (http://old.arpa.puglia.it/web/guest/rapporti_annuali_qa) e alle ultime rilevazioni disponibili da monitoraggio Arpa Puglia risalenti al 2021 (<http://old.arpa.puglia.it/web/guest/qariainq2>).

La Rete Regionale di Monitoraggio della Qualità dell'Aria (RRQA), approvata dalla Regione Puglia con DGR n. 2420/2013, è composta da 53 stazioni fisse (di cui 41 di proprietà pubblica e 12 privata); inoltre la Regione Puglia ha adottato anche la zonizzazione del territorio regionale come previsto dall'art. 3 del D.lgs. 155/2010, dividendo il territorio pugliese in quattro zone: zona collinare, zona di pianura, zona industriale e agglomerato di Bari.

L'area interessata dall'impianto eolico coinvolge il Comune di Manfredonia. Le centraline di rilevamento della qualità dell'aria più vicine alla zona di intervento sono quelle di Foggia e Manfredonia (Figura 2)

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

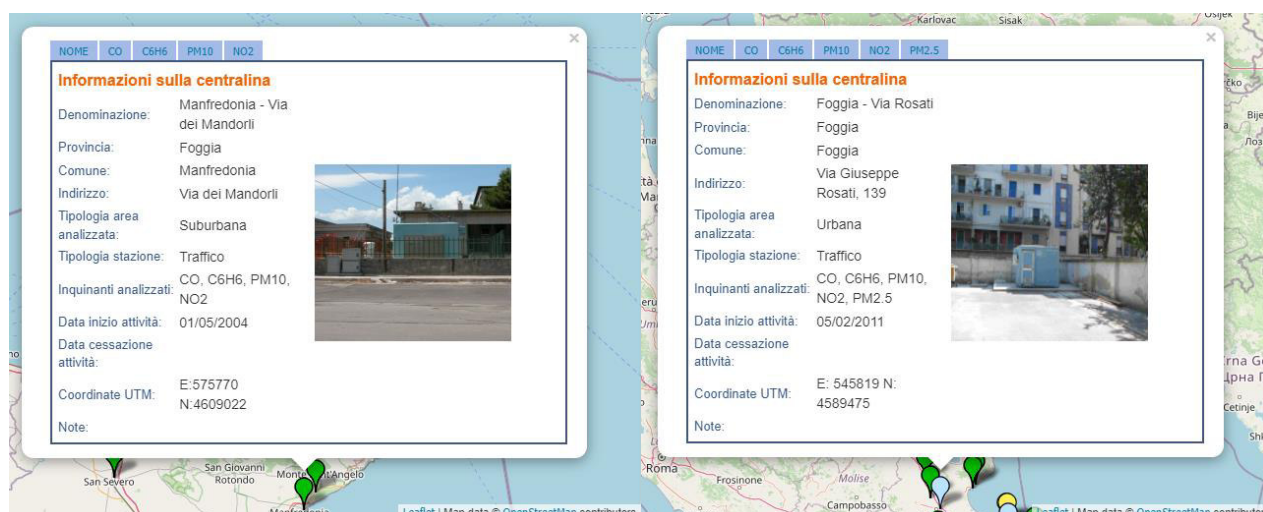


Figura 2 | Centraline di rilevamento qualità dell'aria a Foggia e Manfredonia (Fonte: <http://old.arpa.puglia.it/web/guest/qariainq2>).

Di seguito, sulla base dei dati del Report annuale 2019 sulla qualità dell'aria (http://old.arpa.puglia.it/web/guest/rapporti_annuali_qa), si riporta lo stato della qualità dell'aria nel territorio regionale, ponendo particolare attenzione alle stazioni di monitoraggio di Foggia e Manfredonia, e agli inquinanti PM10, PM2.5, NO2, O3, benzene, CO, SO2.

PM10: Il PM10 è l'insieme di particelle con diametro aerodinamico inferiore a 10 μm (10-6 m). Il PM10 può penetrare nell'apparato respiratorio, generando impatti sanitari la cui gravità dipende, oltre che dalla quantità, dalla tipologia delle particelle. Il PM10 si distingue in "primario", generato direttamente da una fonte emissiva (antropica o naturale), e "secondario", derivante cioè da altri inquinanti presenti in atmosfera attraverso reazioni chimiche. Il D.Lgs 155/10 fissa due valori limite per il PM10: la media annua di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e la media giornaliera di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare per più di 35 volte nel corso dell'anno solare. In entrambi i casi, non sono stati registrati superamenti dei valori limite e i valori più alti sono stati registrati nella stazione "Modugno - EN04".

PM2.5: Il PM2.5 è l'insieme di particelle solide e liquide con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 μm (10-6 m). Analogamente al PM10, il PM2.5 può avere origine naturale o antropica e può penetrare nell'apparato respiratorio raggiungendone il tratto inferiore (trachea e polmoni). A partire dal 2015 il D.Lgs 155/10 prevede un valore limite di 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nel 2019 il limite annuale di 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ non è stato superato in nessun sito. Come già in passato, il valore più elevato (18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) è stato registrato nel sito di "Torchiariolo - Don Minzoni".

NO2: Gli ossidi di azoto, indicati con il simbolo NOx si formano soprattutto nei processi di combustione ad alta temperatura e rappresentano un sottoprodotto dei processi industriali e degli scarichi dei motori a combustione interna. I limiti previsti dal D.Lgs 155/10 per l'NO2 sono la media oraria di 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte nel corso dell'anno e la media annua di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nel 2019 il limite annuale di

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

concentrazione (pari a 40 µg/m³) non è stato superato in nessuna stazione di monitoraggio. Il valore più elevato è stato registrato nella stazione di "Bari- Caldarola".

O₃: L'ozono è un inquinante secondario che si forma in atmosfera attraverso reazioni fotochimiche tra altre sostanze (tra cui gli ossidi di azoto e i composti organici volatili). Poiché il processo di formazione dell'ozono è catalizzato dalla radiazione solare, le concentrazioni più elevate si registrano nelle aree soggette a forte irraggiamento e nei mesi più caldi dell'anno. Il D.Lgs 155/10 fissa un valore bersaglio per la protezione della salute umana pari a 120 µg/m³ sulla media mobile delle 8 ore, da non superare più di 25 volte l'anno e un valore obiettivo a lungo termine, pari a 120 µg/m³. Come già in passato, anche nel 2019 valori elevati di ozono sono stati registrati sull'intero territorio regionale. Il valore obiettivo a lungo termine (pari a 120 µg/m³) è stato superato in tutte le province. Il numero più alto di superamenti (32) è stato registrato ad "Altamura", mentre il valore più elevato a "Taranto –Talsano" (160 µg/m³).

6

BENZENE: Il benzene è un idrocarburo aromatico che, a temperatura ambiente, si presenta come un liquido incolore, dall'odore dolciastro. È una sostanza dall'accertato potere cancerogeno. Il D.Lgs 155/2010 fissa un valore limite di concentrazione annuo di 5 µg/m³. Nel 2019, come negli anni precedenti, le concentrazioni di benzene sono risultate basse in tutti i siti di monitoraggio. Il valore più elevato (1,4 µg/m³) è stato registrato a "Bari – Cavour".

CO: Il monossido di carbonio è una sostanza gassosa che si forma per combustione incompleta di materiale organico, ad esempio nei motori degli autoveicoli e nei processi industriali. Il monossido di carbonio può risultare letale per la sua capacità di formare complessi con l'emoglobina più stabili di quelli formati da quest'ultima con l'ossigeno impedendo il trasporto nel sangue. Il D.Lgs 155/2010 fissa un valore limite di 10 mg/m³ calcolato come massimo sulla media mobile delle 8 ore. Nel 2019 il limite di concentrazione di 10 mg/m³ per il CO non è stato superato in nessuno dei siti di monitoraggio. Tuttavia, nel sito "Lecce - P.zza Libertini", caratterizzato da alto volume di traffico autoveicolare, è stata registrata una concentrazione massima di 3,9 mg/m³.

SO₂: Il biossido di zolfo deriva dalla combustione di combustibili fossili contenenti zolfo. In passato è stato un importante inquinante atmosferico poiché la sua ossidazione porta alla formazione di acido solforoso e solforico. Il biossido di zolfo è un gas incolore facilmente solubile in acqua. Le fonti naturali, come i vulcani, contribuiscono ai livelli ambientali di anidride solforosa. Le emissioni antropogeniche sono invece legate all'uso di combustibili fossili contenenti zolfo per il riscaldamento domestico, la generazione di energia e nei veicoli a motore. Nel tempo il contenuto di zolfo nei combustibili è sensibilmente diminuito, portando i livelli di SO₂ in area ambiente a livelli estremamente bassi. Nelle Province di Bari, BAT e Foggia l'SO₂ non viene monitorato nella RRQA. Nelle maggiori aree industriali della Puglia, a Taranto e Brindisi sono invece presenti diversi monitor per il monitoraggio dell'SO₂.

Nel 2019 non sono stati registrati superamenti del valore limite giornaliero, pari a 125 µg/m³, né della media oraria pari a 350 µg/m³. Le concentrazioni di biossido di zolfo rilevate sono di molto inferiori a tutti i limiti

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

previsti dall'attuale normativa e testimoniano una riduzione dell'impiego di combustibili fossili contenenti zolfo (gasolio e olio combustibile) sia negli impianti di riscaldamento che nelle caldaie industriali, sostituiti progressivamente da impianti a metano e dal teleriscaldamento. I valori medi annuali sono tutti inferiori a 6 µg/m³, con concentrazioni maggiori nelle stazioni di "Brindisi - Terminal Passeggeri" e "Surbo - Via Croce" e "Taranto - CIS".

In conclusione, nel 2019 la Rete Regionale di Monitoraggio della Qualità dell'Aria non ha registrato superamenti dei limiti di legge per nessun inquinante, ad eccezione dell'ozono. Per quest'ultimo, il valore obiettivo a lungo termine viene superato su tutto il territorio regionale, a conferma del fatto che la Puglia, per la propria collocazione geografica, è soggetta ad elevati valori di questo inquinante.

7

2.2 CARATTERIZZAZIONE METEO – CLIMATICA

Il clima della regione pugliese varia in relazione alla posizione geografica e alle quote sul livello medio marino delle sue zone. Nel complesso si tratta di un clima mediterraneo caratterizzato da estati abbastanza calde e poco piovose ed inverni non eccessivamente freddi e mediamente piovosi, con abbondanza di precipitazioni durante la stagione autunnale (<https://www.isprambiente.gov.it/>).

Temperatura e precipitazioni

- **MANFREDONIA**

La classificazione del clima della città di Manfredonia appartiene alla classe "Cfa", come stabilito da Köppen e Geiger. Con "Cf" si indicano i climi marittimi, umidi temperati con inverno mite, con temperatura tra -3°C e 18°C nel mese più freddo; non ci sono precipitazioni in tali climi: piove in tutte le stagioni. Con "a" si intende che la temperatura media del mese più caldo è superiore a 22 °C.

Manfredonia ricade in classe climatica D. La stagione fredda dura circa 4 mesi e il periodo in cui è possibile accendere il riscaldamento negli edifici (con un massimo di 10 ore giornaliere) va dal 1 novembre al 15 Aprile, salvo ampliamenti disposti dal Sindaco.

Il clima della città è caldo e temperato, con estati afose molto asciutte, mentre gli inverni sono freddi e ventosi. Come si evince dalla Figura 3 e 4, i mesi più caldi dell'anno sono luglio e agosto, con una temperatura media di 24.2 °C, mentre il mese più freddo è gennaio, con una temperatura media di 5.9°C. Da maggio ad agosto si riscontrano meno precipitazioni, con 31 mm nel mese di luglio, mentre a novembre si registra il maggior numero di precipitazioni, con una media di 83 mm. L'umidità relativa più alta si misura a dicembre (80%), mentre la più bassa a luglio (52%).

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

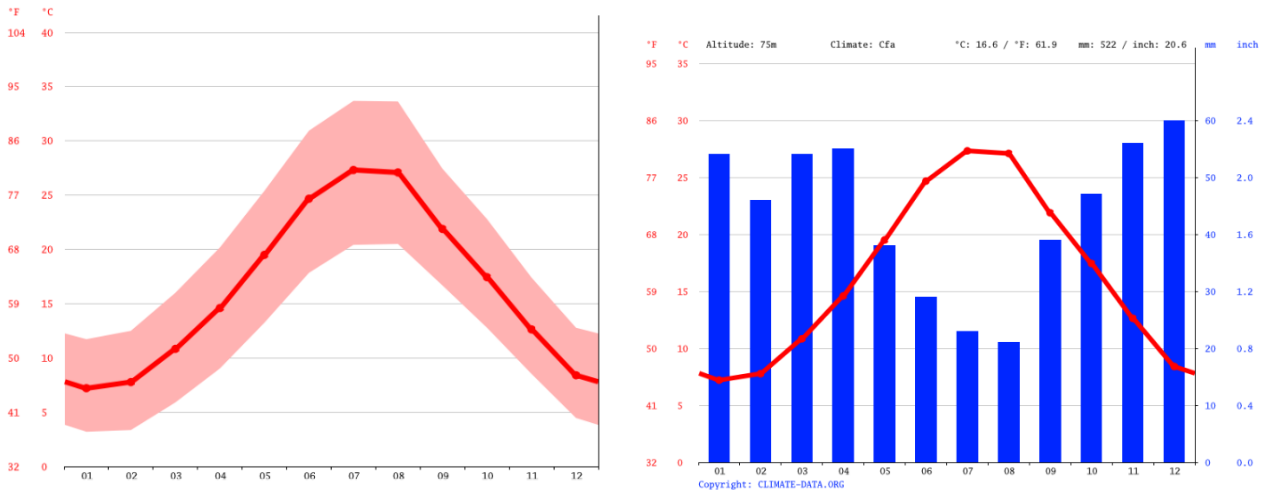


Figure 3 | Grafico della Temperatura e del clima, del Comune di Manfredonia (<https://it.climate-data.org/europa/italia/puglia/manfredonia-14046/>)

TABELLA CLIMATICA MANFREDONIA



	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Medie Temperatura (°C)	5.9	6.2	9	12.4	16.8	21.6	24.3	24.2	19.4	15.5	11.2	7.2
Temperatura minima (°C)	3.1	3.1	5.5	8.6	12.7	17.2	19.7	19.9	16.1	12.5	8.5	4.6
Temperatura massima (°C)	9	9.6	12.8	16.4	20.9	25.9	28.8	28.8	23.3	19.2	14.4	10.2
Precipitazioni (mm)	70	58	64	63	49	39	31	29	68	72	83	79
Umidità(%)	79%	76%	72%	69%	64%	57%	52%	55%	67%	76%	78%	80%
Giorni di pioggia (g.)	8	8	7	7	6	5	4	4	7	7	7	9
Ore di sole (ore)	6.1	6.8	8.5	10.1	11.8	12.8	12.7	11.9	9.6	7.8	6.7	6.0

Figura 4 | Tabella climatica del Comune di Manfredonia (<https://it.climate-data.org/europa/italia/puglia/manfredonia-14046/>)

2.3 ANALISI DEGLI SCENARI

Per il Quinto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (AR5), la comunità scientifica ha definito un set di quattro nuovi scenari, denominati Representative Concentration Pathways (RCP): RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, e RCP8.5 (corrispondente a più alte emissioni). Il numero associato a ciascun RCP si riferisce al forzante radiativo, che indica l'entità dei cambiamenti climatici antropogenici entro il 2100 rispetto al periodo preindustriale. Secondo quanto riportato nel Report *Analisi del Rischio. I cambiamenti climatici in Italia* (CMCC, 2019), per il periodo 2021-2050 relativo alla regione del bacino Mediterraneo e della penisola italiana, lo scenario RCP 4.5 produce un riscaldamento tra 1 e 1.5 gradi di temperatura su tutto il territorio nazionale (Figura 10) e una variazione nella distribuzione di precipitazione rispetto al periodo 1981 - 2010 su

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

gran parte del paese. Valori più alti di riscaldamento e estremi di precipitazioni più marcati si ottengono per scenari corrispondenti a più alte emissioni (RCP 8.5), come indicato nel report del CMCC.

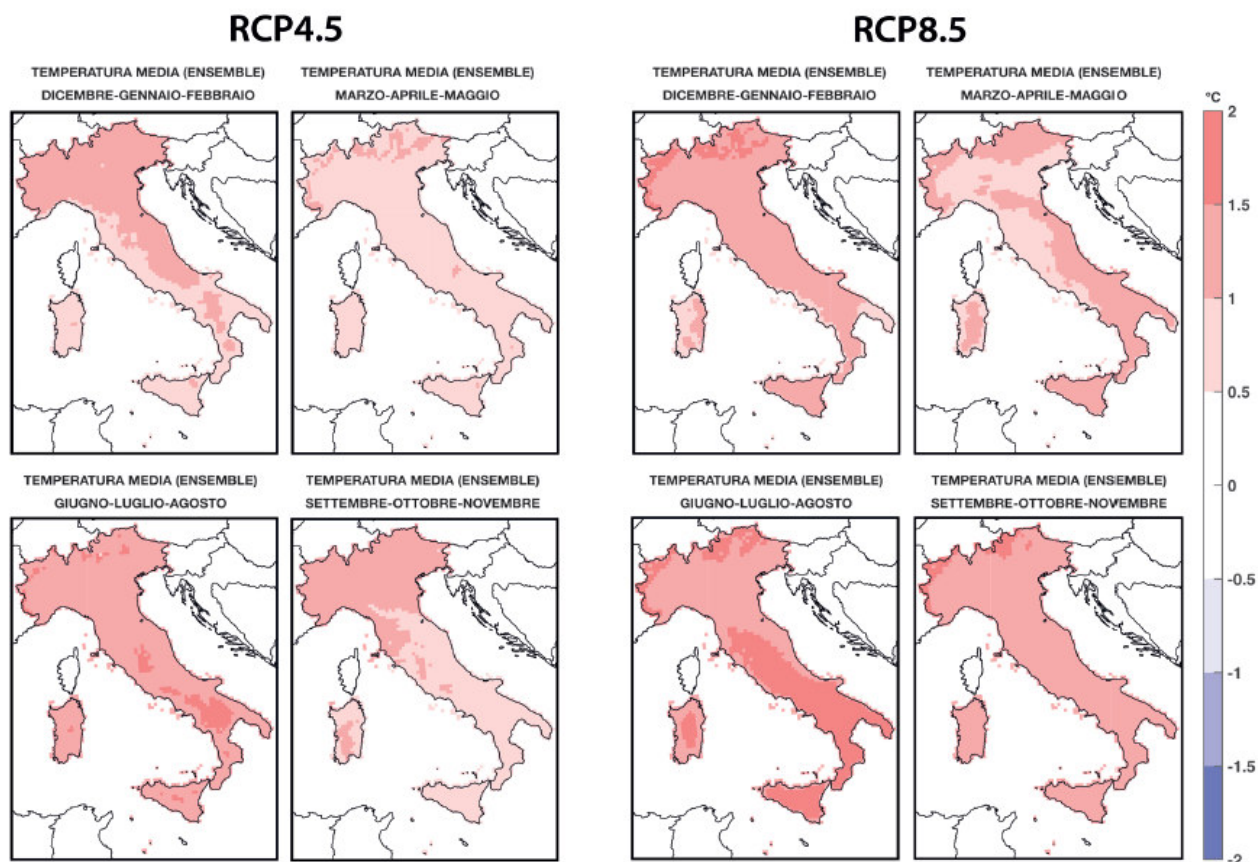


Figure 5 | Mappe di variazione della temperatura a due metri su scala stagionale sull'Italia dall'ensemble EURO-CORDEX secondo gli scenari RCP4.5 e RCP8.5 per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo di riferimento 1981-2010 (CMCC, 2019)

Le proiezioni di cambiamento climatico per l'Italia (RCP 8.5) mostrano aumenti della temperatura media stagionale complessivi con valori oltre 1.5°C, con incrementi più marcati durante il periodo estivo, specie nella parte meridionale della Penisola (Figura 6). Osservando la Figura 5, relativamente allo scenario RCP 8.5 si può notare un aumento delle precipitazioni nel Nord Italia durante il primo semestre, mentre è evidente la netta diminuzione dei quantitativi al centro-sud Italia, con un discostamento rilevante nel periodo estivo. Oltre ai cambiamenti nei valori medi, le proiezioni indicano alterazioni generali della variabilità delle temperature e delle precipitazioni sull'Italia.

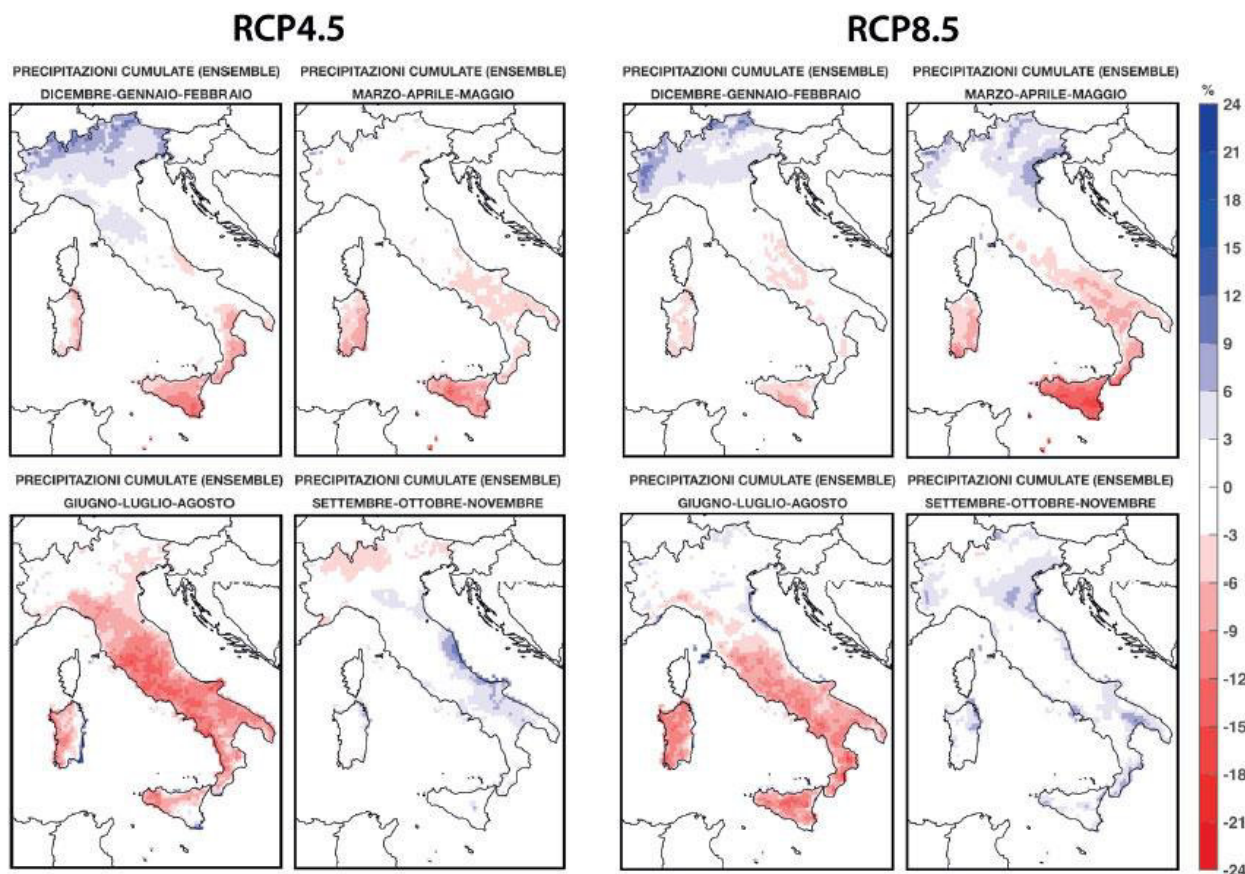


Figure 6 | Mappe stagionali di variazione della precipitazione sull'Italia dall'ensemble EURO-CORDEX secondo gli scenari RCP4.5 e RCP8.5 per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo di riferimento 1981- 2010 (CMCC, 2019)

In particolare, l'aumento della variabilità estiva della temperatura, accompagnato dall'aumento dei valori massimi indica un aumento considerevole della probabilità di occorrenza di ondate di calore. I cambiamenti di precipitazione associati a quelli di temperatura ed evaporazione provocano un significativo aumento degli eventi siccitosi su gran parte dell'Italia. Il punto 3.10 del citato Report, pubblicato dal Ministero dell'Ambiente, del Territorio e del Mare, è dedicato al settore energetico, in quanto rappresenta un settore economico particolarmente vulnerabile ai cambiamenti climatici come effetto dell'elevata sensibilità della produzione e del consumo di energia rispetto all'andamento delle temperature e dei fenomeni estremi, ma anche della severità dei requisiti ai quali devono rispondere i servizi energetici in termini quantitativi e qualitativi in particolare per la loro continuità. La produzione e l'offerta di energia saranno influenzate dai cambiamenti climatici nel caso in cui:

- Gli eventi meteorologici estremi diventino più intensi,
- Si debba far fronte a riduzioni nella disponibilità delle risorse idriche per la produzione idroelettrica o per il raffreddamento delle centrali termoelettriche,
- Vengano influenzate le decisioni sulla localizzazione degli impianti,

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

- Vengano influenzate positivamente o negativamente la produzione di energia eolica, solare e da biomassa.

I cambiamenti climatici vengono analizzati su una scala temporale di almeno 50 anni.

Tuttavia, per l'impianto eolico, ai fini della vulnerabilità ai cambiamenti climatici, si deve considerare un orizzonte temporale inferiore, corrispondente alla vita utile, stimata in circa 30 anni.

11

2.4 CARATTERIZZAZIONE DELLA VULNERABILITÀ AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Il cambiamento climatico è un fenomeno provocato dal riscaldamento globale che interessa la terra a lungo termine, impattando sulla temperatura, sui livelli del mare e sulle precipitazioni.

La principale causa dei cambiamenti climatici è la combustione di combustibili fossili come il petrolio, il carbone e il gas naturale, che emettono gas a effetto serra nell'atmosfera. Anche altre attività umane, come l'agricoltura e la deforestazione, contribuiscono alla loro proliferazione. Questi gas trattengono il calore nell'atmosfera: il cosiddetto effetto serra, che è responsabile dell'innalzamento della temperatura media del pianeta.

L'impatto principale dei cambiamenti climatici, infatti, consiste nell'incremento della temperatura globale del pianeta, che è aumentata di 1,1°C rispetto all'epoca preindustriale. Quello del 2010-2020 è stato un decennio di caldo eccezionale a livello mondiale, e il 2019 il secondo anno più caldo mai registrato. Se l'attuale tendenza al riscaldamento proseguisse, le temperature potrebbero aumentare di 3-5°C entro la fine di questo secolo con effetti potenzialmente disastrosi. Per fare un confronto, l'aumento della temperatura osservato negli ultimi 10.000 anni è di 5°C.

L'aumento delle temperature provoca lo scioglimento della massa di ghiaccio dei poli, che a sua volta causa un aumento dei livelli del mare, provocando inondazioni e mettendo a repentaglio gli ambienti costieri. I cambiamenti climatici contribuiscono anche a rendere i fenomeni meteorologici estremi, quali tempeste, siccità, ondate di calore e incendi boschivi, più frequenti e intensi. Tali modelli presentano forti disparità regionali e alcune parti del mondo sono più colpite di altre.

In linea con quanto proposto dall'UE, a livello nazionale e a quanto enunciato in occasione della COP 21 di Parigi circa la lotta ai cambiamenti climatici e alla riduzione delle emissioni di gas serra la Regione Puglia si è impegnata nell'avvio di politiche di decarbonizzazione e lotta ai Cambiamenti Climatici a partire da azioni che interessano alcuni contesti industriali fino a promuovere e supportare, in un'ottica di complementarità, un impegno "dal basso" delle comunità locali attraverso le proprie amministrazioni.

In attuazione del parere reso dalla Commissione Europea n. 773/2018, la Puglia ha redatto un parere denominato "Un pianeta pulito per tutti. Una visione strategica a lungo termine per un'economia prospera, moderna, competitiva e neutra dal punto di vista del clima" approvato ad unanimità in Commissione Ambiente (ENVE) del Comitato delle Regioni in sessione plenaria nelle date del 26 e 27 giugno 2019 a

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

Bruxelles (Belgio). Il parere, in sintesi, contempla quale principale obiettivo la lotta ai cambiamenti climatici, integrando ed armonizzando strategie ambientali, sociali ed economiche al fine di favorire la transizione dell'Unione Europea verso un'economia efficiente e sostenibile, in cui l'ambiente naturale dovrà essere protetto e potenziato, unitamente alla salute ed al benessere dei cittadini.

Con DGR n. 1154 del 13.07.2017, così come modificata con DGR n. 1965/2019, la Giunta regionale ha deliberato, in sintesi, la candidatura presso la Commissione Europea della Regione Puglia a Coordinatore del "*Patto dei Sindaci per il clima e l'energia*" e l'istituzione della Struttura di coordinamento Regionale con l'obiettivo di rilanciare l'iniziativa in parola e supportare gli Enti Locali nella pianificazione di azioni per affrontare, in modo coordinato e con una strategia comune, gli effetti potenziali dei cambiamenti climatici e le politiche di mitigazione oltre che di adattamento.

12

Ad Aprile 2018 la Puglia ha sottoscritto la dichiarazione di impegno dei Coordinatori territoriali al fine di sostenere la visione del Patto dei Sindaci per territori decarbonizzati e capaci di adattarsi ai cambiamenti climatici, dove garantire l'accesso a un'energia sicura, sostenibile e alla portata di tutti.

Inoltre, la Regione Puglia - Dipartimento Mobilità, Qualità Urbana, Opere Pubbliche, Ecologia e Paesaggio - è partner del progetto AdriaClim, ad oggi approvato dall'Autorità di Gestione del Programma di Cooperazione Interreg V-A Italia - Croazia 2014/2020. Detto progetto è finalizzato, nel caso specifico della Puglia, alla redazione di un piano di Adattamento ai Cambiamenti Climatici relativo all'area pilota costiera che include la Città Metropolitana di Bari e le province BAT, Brindisi e Lecce e riguarda gli impatti indotti dai Cambiamenti Climatici sull'industria dell'acquacoltura, sull'erosione costiera e sui flussi turistici.

Coerentemente a quanto proposto nel citato parere, la Regione Puglia nel 2019 ha avviato i lavori per la definizione della Strategia regionale di Sviluppo Sostenibile integrata con il percorso di elaborazione del documento di vision strategica (Piano Strategico Regionale) che ha prodotto l'aggiornamento del quadro delle conoscenze nel contesto regionale sulle politiche e progetti attuati correlati agli obiettivi di sviluppo dell'Agenda 2030. A tal proposito, l'adattamento ai Cambiamenti Climatici è parte di un processo di sviluppo sostenibile e pertanto interviene in modo diretto sia sull'obiettivo strategico SDGs 13 "*Lotta contro il cambiamento climatico*" dell'Agenda 2030 che su altri obiettivi come: SDGs 6 "*Acqua pulita*"; SDGs 7 "*Energia pulita e accessibile*"; SDGs 11 "*Città e comunità sostenibili*"; SDGs 12 "*Consumo e produzione responsabili*"; SDGs 14 "*Vita sott'acqua*"; SDGs 15 "*Vita sulla terra*". Pertanto, con riferimento alle attività relative alla definizione della Strategia regionale di Sviluppo Sostenibile, è stato avviato il Forum regionale di SvS con un primo incontro tenutosi il 23.01.2020 dal titolo "Agire per il Clima" che ha visto la presenza di diverse strutture regionali oltre che degli esponenti della società civile (associazioni, agenzie, enti di ricerca, studenti e docenti) (Fonte: <https://pugliacon.regione.puglia.it/web/sit-puglia-dipartimento/news-cambiamenti-climatici>).

2.5 IDENTIFICAZIONE ELEMENTI VULNERABILI RICAVATI DALLA CARATTERIZZAZIONE DI TUTTI I FATTORI AMBIENTALI

In considerazione della caratterizzazione ambientale dell'area di studio, si identificano nel seguito gli elementi vulnerabili correlati all'opera in progetto e associati agli impatti in corso e potenziali, in relazione ai cambiamenti climatici. L'impianto in progetto consiste nella realizzazione di un impianto eolico comprensivo di opere accessorie, quali viabilità, cavidotto di connessione, sottostazione utente e aree di cantiere. La realizzazione del cavidotto ha una incidenza molto bassa, quasi trascurabile, a fronte degli impatti dovuti agli hazard climatici, come anche la sottostazione, le aree di cantiere e l'utilizzo della viabilità esistente o la modifica della stessa. Gli elementi del progetto che possono divenire elementi vulnerabili rispetto agli impatti sono le pale eoliche. In considerazione della vita utile dell'impianto, di circa 30 anni, la vulnerabilità è potenzialmente legata al rischio idrogeomorfologico e agli eventi piovosi con relativo rischio di allagamenti/esondazione.

In base all'analisi svolta risulta che l'area non ricade in aree vincolate dal punto di vista idrogeomorfologico. L'unica parte progettuale ad essere interessata dalle perimetrazioni Alta, Media e Bassa Pericolosità Idraulica del PAI è il cavidotto MT interrato, ma l'attraversamento ed il posizionamento non comporteranno alcuna modifica dell'assetto idraulico delle aree. Si ritiene che l'incidenza delle opere a farsi sia trascurabile rispetto agli impatti dovuti agli hazard climatici.

2.6 IDENTIFICAZIONE DEGLI HAZARD CLIMATICI

Secondo il Report 96/2021 "Gli indicatori del clima in Italia nel 2020", pubblicazione a cura di Ispra, a livello globale il 2020 è stato l'anno più caldo della serie di temperatura media annuale sulla terraferma e il secondo più caldo della serie di temperatura media su terraferma e oceani insieme. Il 2020 è stato un anno più caldo della media in molte regioni. In Europa l'anomalia media annuale rispetto al 1981-2010 è stata per la prima volta di circa +2°C e gli ultimi sette anni sono stati i più caldi della serie.

La configurazione delle anomalie su larga scala ha posto l'Italia in un'area di circolazione più divergente della media e interessata da anomalie positive di geopotenziale, coerenti con quelle termiche rilevate. Sempre in coerenza con queste anomalie di larga scala, il 2020 è stato caratterizzato da una precipitazione annuale nazionale inferiore al clima 1961-1990, e da piovosità mensili altalenanti: nella prima parte dell'anno, fino a fine maggio sono prevalse su gran parte dell'Italia precipitazioni inferiori alle attese, mentre a partire da giugno sono state osservate condizioni di maggiore variabilità; in particolare a novembre nelle regioni centrosettrionali le precipitazioni sono state molto inferiori alla norma, mentre sono state molto abbondanti a dicembre, con anomalie areali fino a 2 volte i valori attesi al Nord. I valori più bassi sono stati registrati su gran parte della Sicilia e prevalentemente su ampie aree della Puglia.

Secondo quanto pubblicato sul Report "La vulnerabilità al cambiamento climatico dei territori Obiettivo Convergenza del MATTM" (2012), per quanto riguarda la Puglia l'elaborazione dell'indice e l'analisi dei

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

relativi indicatori per la regione ha messo in evidenza una distribuzione della vulnerabilità agli effetti del cambiamento climatico concentrata nelle zone costiere. In particolare, le zone costiere caratterizzate da un elevato livello di vulnerabilità sono localizzate sotto il promontorio del Gargano, dove si registrano alcuni importanti fenomeni di urbanizzazione, e nel tratto di costa compreso tra le città di Bari e Brindisi.

La distribuzione territoriale della vulnerabilità ai cambiamenti climatici, determinate tra l'altro dalla dipendenza dei sistemi economici locali dell'agricoltura, dalla pesca oltre che dal peso del turismo, sembra interessare meno le aree centrali della regione poste lungo l'asse longitudinale e il Salento, nonostante la presenza di fenomeni legati alla desertificazione. L'indice di vulnerabilità ai cambiamenti climatici determinato per la regione Puglia come media dei valori assunti nei singoli comuni è pari a 46,59 rispetto ad un valore pari a 51 stimato su scala regionale nell'ambito del report Regions 2020, collocando la regione nella seconda fascia PAI di vulnerabilità.

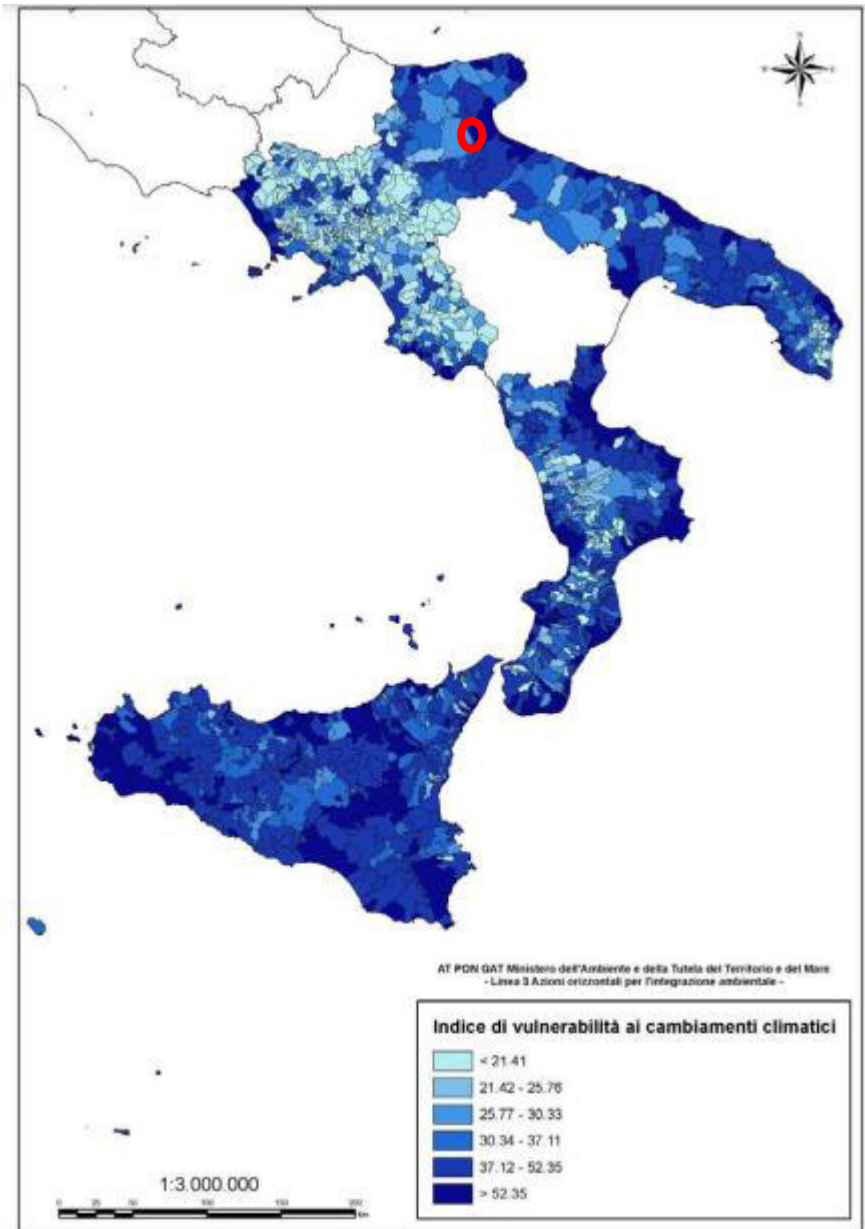


Figure 7 | Regione Puglia - Indice di vulnerabilità al cambiamento climatico (Fonte: La vulnerabilità al cambiamento climatico dei territori Obiettivo Convergenza del MATTM"(2012)) – Indicazione area di studio con poligono rosso

Come evidenziato dalla analisi della cartografia relativa all'indice di vulnerabilità, in tutte le province sono localizzati comuni che fanno registrare un alto valore dell'indice.

Il territorio della Provincia di Brindisi e Taranto, è caratterizzato da un valore di vulnerabilità intorno al 47,83 e 46,98, è secondo in Puglia, tra i territori che risultano maggiormente esposti al cambiamento climatico, dopo la provincia di Barletta-Andria-Trani (54,69); seguono quelli della provincia di Bari (46,98) e Foggia (52,46); meno vulnerabili sembrano essere i territori ricadenti nella provincia di Lecce (41,52) (Figura8)

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

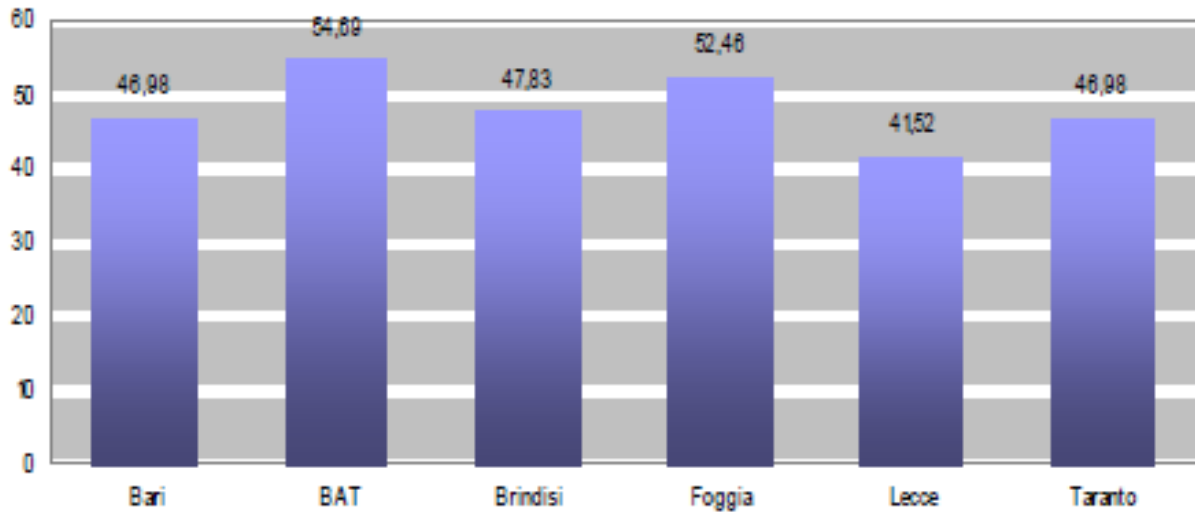


Figure 8 | Regione Puglia - Indice di vulnerabilità climatica per provincia (Fonte: La vulnerabilità al cambiamento climatico dei territori Obiettivo Convergenza del MATTM" (2012))

Il fenomeno che maggiormente sembra incidere sulla vulnerabilità del territorio regionale appare quello legato alla desertificazione seguito dalla dipendenza delle economie locali dall'agricoltura e dalla pesca. La variazione al 2050 della popolazione esposta alle esondazioni risulta essere il fenomeno che meno incide rispetto alla sfida del cambiamento climatico, interessando porzioni limitate di territorio.

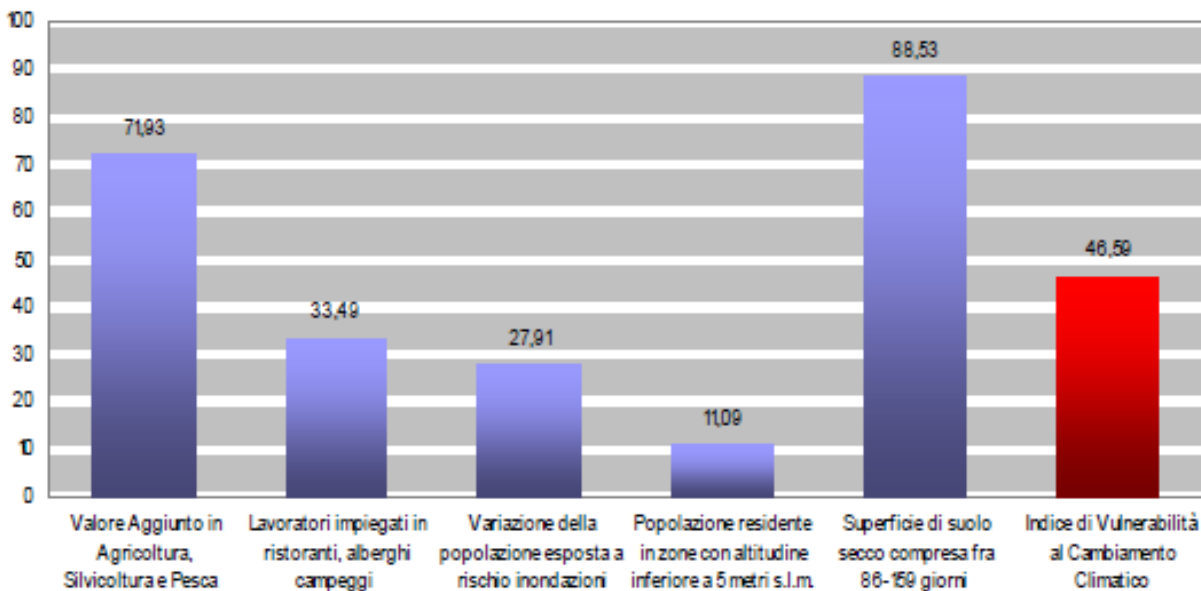


Figure 9 | Regione Puglia - Rilevanza dei fattori nel calcolo della vulnerabilità climatica (Fonte: La vulnerabilità al cambiamento climatico dei territori Obiettivo Convergenza del "MATTM" (2012))

2.7 IDENTIFICAZIONE DEGLI IMPATTI DOVUTI AGLI HAZARD CLIMATICI

Al fine di identificare gli impatti, in corso e potenziali, dovuti agli hazard climatici nell'aria di studio interessata dall'opera, si considerano gli hazard individuati, ossia: precipitazioni brevi di forte intensità alternate a ondate di calore. Tali hazard in generale, come anticipato al paragrafo "Identificazione degli Hazard Climatici", possono comportare da un lato allagamenti e fenomeni di dissesto idrogeologico e dall'altro depauperamento delle risorse idriche e desertificazione.

2.8 EMISSIONI IN ATMOSFERA E IMPIANTI EOLICI

È noto che la produzione di energia elettrica mediante combustibili fossili implica l'emissione di sostanze inquinanti e di gas serra. Tra i cosiddetti "gas serra" il più rilevante è la CO₂ (anidride carbonica), il cui progressivo incremento nell'atmosfera contribuisce potenzialmente ai fenomeni legati al riscaldamento globale.

Tra le altre tipologie di inquinanti, vanno identificate le emissioni di SO₂ (anidride solforosa) e di NO_x (ossidi di azoto) poiché ritenute estremamente dannose, sia per la salute dell'uomo, sia per il patrimonio storico e naturale.

I livelli soglia delle emissioni dipendono, naturalmente, dalla tipologia di combustibile, dalla tecnologia di combustione e dal controllo dei fumi della combustione. Si assumono come valori specifici delle principali emissioni associate alla generazione elettrica i limiti sotto indicati:

- **CO₂** 0,4648 kg/kWh
- **SO_x** 1,4 g/kWh
- **NO_x** 1,9 g/kWh

Gli impianti eolici durante il loro esercizio non producono emissioni in atmosfera. Non sono infatti impianti che generano energia elettrica sfruttando il principio della combustione.

Proprio il principio di funzionamento che prevede lo sfruttamento della sola "risorsa eolica", rende l'impianto a impatto zero, in ambito emissivo, soprattutto per quanto riguarda le emissioni di CO₂, responsabili dell'effetto serra.

L'energia eolica è una fonte di energia rinnovabile perché è inesauribile e presente ovunque, i benefici ambientali derivanti dall'operazione dell'impianto quindi, quantificabili in termini di mancate emissioni di inquinanti e di risparmio di combustibile, sono facilmente calcolabili moltiplicando la produzione di energia dall'impianto per i fattori di emissione specifici ed i fattori di consumo specifici riscontrati nell'attività di produzione di energia elettrica in Italia. I benefici ambientali attesi dell'impianto in progetto, valutati sulla base della stima di produzione annua di energia elettrica, pari a circa 166.070 MWh/y sono riportati di seguito:

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

Mancate emissioni di inquinanti			
Produzione (MWh/anno)	Inquinante	Fattore di emissione specifico (g/kWh)	Mancate emissioni (kg/anno)
166070	CO ₂	464,80	77189,336
	SO ₂	1,40	0,232
	NO _x	1,90	0,315

Tabella 2 | Stima delle emissioni di CO₂, SO_x ed NO_x evitate

2.9 EMISSIONI IN FASE DI CANTIERE

Le emissioni in atmosfera associate all'attività di cantiere possono essere ricondotte essenzialmente a due tipologia emissive, ovvero da processi di lavoro e dagli scarichi delle macchine operatrici.

Le prime sono legate principalmente alla formazione ed al risollevarimento di polveri a seguito delle movimentazioni meccaniche, mentre le seconde sono determinate da processi di combustione e di abrasione nei motori (diesel, benzina, gas).

Le principali sostanze emesse in questo caso sono: PTS, PM10, NO_x, COV, CO e CO₂.

In Tabella 3 è riportata, in riferimento alle attività sopra descritte, l'incidenza di tali inquinanti atmosferici per alcune lavorazioni tipiche associate alla costruzione di infrastrutture viarie (Fonte: Direttiva "Protezione dell'aria sui cantieri edili" dell'Ufficio Federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio di Berna in vigore dal 1/09/02).

Tipologia di lavorazione	Emissioni non di motori		Emissioni da motori
	Polveri	COV, gas	NO ₂
Installazioni generali di cantiere: segnatamente infrastrutture viarie	A	B	M
Demolizioni, smantellamento e rimozioni	A	B	M
Scavo generale	A	B	A
Opere idrauliche, sistemazione di corsi d'acqua	A	B	A
Strati di fondazione ed estrazione di materiale	A	B	A
Pavimentazioni	M	A	A
Calcestruzzo gettato in opera	B	B	M
Lavori sotterranei: scavi	A	M	A
Lavori di finitura per tracciati, segnatamente demarcazioni di superfici del traffico	B	A	B
Opere in calcestruzzo semplice e calcestruzzo armato (cfr. calcestruzzo gettato in opera in costruzioni a (o sotto il) livello del suolo)	B	B	M
Ripristino e protezione di strutture in calcestruzzo, carotaggio e lavori di fresatura	A	B	B

Legenda: A: alta, M: media, B: bassa

Tabella 3 | Tipologia di inquinamento atmosferico associato ad alcune lavorazioni

In generale, le fasi di lavorazione potenzialmente produttrici di polveri, ovvero dell'inquinante ritenuto potenzialmente più critico in riferimento all'attività di cantiere, possono essere riconducibili a: lavorazioni vere e proprie (attività di scavo, di costruzione, demolizione, pavimentazione ecc.), stoccaggio di inerti, impianti di betonaggio, produzione cls e frantumazione inerti.

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

Una ulteriore fonte non trascurabile è legata al transito dei veicoli pesanti lungo la viabilità di cantiere non asfaltate; in tale caso la tipologia di polveri ed il loro quantitativo immesso in atmosfera è strettamente legato alla tipologia del manto stradale in quanto, in presenza di strade asfaltate le polveri sono di origine exhaust (scarico) e non exhaust (perdite di carico, usura dei pneumatici, dei freni e del manto stradale), mentre per le strade "bianche" la fonte predominante, oltre alle precedenti, è legata al risollevarimento dovuto al passaggio dei mezzi ed al fenomeno di rotolamento dei pneumatici sulla superficie, nonché dal contenuto in limo della stessa.

19

Pertanto, per la stima dell'emissione in fase di cantiere sono state fatte valutazioni relativamente a:

- Cantiere fisso;
- Cantiere operativo;

Per quanto concerne i cantieri fissi vengono analizzate le principali emissioni associate alle attività presenti, individuando gli accorgimenti operativi e gestionali applicabili al fine di contenere al minimo tecnicamente possibile l'impatto sulla popolazione potenzialmente esposta a tali lavorazioni temporanee.

Per quanto riguarda il cantiere operativo, ovvero le emissioni generate dai mezzi operanti per la realizzazione dell'intervento, vengono riportate alcune considerazioni in merito al quantitativo di emissioni di polveri ed alle procedure operative gestionali per minimizzarle.

Infine, per il traffico indotto dai mezzi pesanti per il trasporto dei materiali, sono state fatte delle simulazioni con il modello gaussiano di dispersione da sorgente lineare CALINE 4 dell'EPA.

Come indicatori dello stato di qualità dell'aria ambiente sono stati considerati il Biossido di Azoto (NO₂), le Polveri Inalabili (PM10) ed il Monossido di Carbonio (CO).

2.9.1 CANTIERE FISSO

Nel cantiere logistico ubicato all'interno dell'area di lavoro non sono previste lavorazioni particolari quali impianti di betonaggio, frantumazione inerti, baracche adibite ad uso mensa e dormitorio maestranze, bensì unicamente attività logistiche di controllo e coordinamento.

Pertanto, sulla base di quanto sopra esposto, le emissioni in atmosfera legate al cantiere fisso si ritengono trascurabili

2.9.2 CANTIERE OPERATIVO

Per quanto concerne tale fase, ovvero le fasi operative connesse con la realizzazione dell'intervento di progetto, si segnala quanto segue.

Le principali attività a cui possono essere associate emissioni in atmosfera sono riconducibili essenzialmente a: aree di accumulo e deposito materiale, scavi, sbancamenti e movimentazioni dei mezzi operativi

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

(escavatori, apripista, autogrù, ...); non sono previste demolizioni in quanto non vi sono manufatti presenti all'interno dell'intera area oggetto di intervento.

Si ritiene che l'inquinante più significativo legato a tali tipologie di operazioni sia rappresentato dalla dispersione in atmosfera di polveri, ed in particolare della frazione respirabile denominata PM10.

Tuttavia, in relazione alle attività svolte, alla loro durata ed al carattere di temporaneità della fase di cantiere, si ritiene che le emissioni di polveri in atmosfera siano tali da non portare ad incrementi significativi delle concentrazioni, e comunque in ogni modo tali da non incidere in modo apprezzabile sulla qualità dell'aria ambiente esistente nell'area di intervento.

Pertanto, non vengono effettuate specifiche simulazioni in merito, bensì si riportano solo alcune considerazioni in riferimento ad eventuali accorgimenti procedurali/operativi che possono essere attuati, in particolar modo in condizioni meteorologiche sfavorevoli, al fine di ridurre al minimo le emissioni di polveri.

Di seguito si riportano alcune considerazioni in merito alle principali sorgenti di emissione di polveri; non si considerano quelle legate allo scarico dei mezzi operativi in quanto ritenute quelle meno significative.

Dispersione legata alla movimentazione ed allo stoccaggio di inerti: per una stima delle emissioni in riferimento alla *dispersione delle polveri legate allo stoccaggio degli inerti* su cumuli scoperti e soggetti a movimentazioni di carico e scarico, si è fatto riferimento al capitolo 13 del Volume I dell'AP-42 "Miscellaneous Sources"; in particolare la sezione 13.2.4 "Aggregate Handling and Storage Piles" e la sezione 13.2.5 "Industrial Wind Erosion".

La dispersione delle polveri da cumuli è legata sia operazioni di movimentazione del materiale sia all'azione erosiva del vento in corrispondenza di eventi sufficientemente intensi e clima secco (in particolare velocità del vento > 5.0 m/sec).

La quantità di polveri aerodisperse per kg di materiale movimentato è funzione dei seguenti parametri: velocità del vento e contenuto percentuale di umidità del materiale; in relazione al taglio dimensionale delle particelle sono infine assunti i seguenti coefficienti moltiplicativi k

Aerodynamic Particle Size Multiplier (k)				
< 30 μm	< 15 μm	< 10 μm (PM10)	< 5 μm	< 2,5 μm
74%	48%	35%	20%	11%

In dettaglio, per il calcolo dei fattori di emissione si considera la formula di seguito riportata (Update Of Fugitive Dust Emission Factors in AP-42 Section 11.2, EPA Contract No. 68-02- 3891, Midwest Research Institute, Kansas City, MO, July 1987), valida per le PTS.

$$E = k(0,0016) \frac{\left(\frac{U}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1,4}} \text{ (kg/megagram [Mg])}$$

k = particle size multiplier (dimensionless)
 U = mean wind speed, meters per second (m/s) (miles per hour [mph])
 M = material moisture content (%)

Grado di umidità [%]	Velocità del vento [m/s]					
	1	2	3	4	5	6
0,5	0,0014	0,0034	0,0058	0,0085	0,0113	0,0144
1	0,0005	0,0013	0,0022	0,0032	0,0043	0,0054
2	0,0002	0,0005	0,0008	0,0012	0,0016	0,0021
3	0,0001	0,0003	0,0005	0,0007	0,0009	0,0012

Tabella 4 | Fattori di emissione relativi alla movimentazione degli inerti nelle aree di stoccaggio [kg PM10/ tonnellata di materiale movimentato]

Pertanto, si evidenzia come la predisposizione di opportune procedure per la periodica umidificazione dei cumuli rappresenti un efficace strumento di contenimento delle polveri disperdibili.

Per quanto riguarda le emissioni legate all'azione erosiva del vento, ed in particolar modo a raffiche con velocità maggiore di 5,0 m/sec ad un'altezza di 15 cm sopra la superficie e maggiore di 10 m/sec a 7 m sopra la superficie, si segnala come tale contributo sia trascurabile, sia in riferimento alla bassa percentuale di accadimento di tali fenomeni, sia al contributo della frazione del PM10 (pari al 50% in peso). In altre parole, le velocità medie atmosferiche del vento non sono sufficienti a sostenere l'erosione da parte del vento di superfici piane del tipo in esame.

2.9.3 EMISSIONE DI POLVERE LEGATO AL TRANSITO DEI MEZZI SU VIABILITÀ NON ASFALTATA

Il transito di un veicolo su una strada non pavimentata provoca una polverizzazione del materiale superficiale, che viene alzato e fatto ricadere dal movimento delle ruote, generando moti turbolenti dell'aria in corrispondenza della superficie, che continua anche dopo il transito del mezzo.

Il quantitativo di emissioni di polveri e di traffico, il contenuto di limo presente sulla superficie, il peso dei mezzi, nonché dalle condizioni meteorologiche al contorno rappresentative dell'area di indagine. Per la stima della polverosità in fase di cantiere, occorre considerare che la viabilità principale interessata dal transito mezzi pesanti durante la fase di cantiere è estremamente limitata per quanto riguarda le strade non asfaltate.

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

L'area interessata dal presente progetto costeggia le strade provinciali SP N.73, SP N.72, SP N. 70, SP N.71.

Le aree d'impianto sono posizionate lungo strade esistenti asfaltate e saranno utilizzate per accedere all'impianto, sia durante la fase di esecuzione delle opere che nella successiva manutenzione dell'impianto eolico.

In sintesi, utilizzando la formula seguente per strade non asfaltate ubicate in aree non industriali (WRAP Fugitive Dust Handbook):

$$E = \frac{1.8 * \left(\frac{S}{12}\right)^{1.8} * \left(\frac{S}{30}\right)^{0.5}}{\left(\frac{M}{0.5}\right)^{0.2}} - C$$

dove:

- E = fattore di emissione (lb/VMT); 1 lb/VMT = 281.9 g/VKT
- s = percentuale di limo contenuto sulla superficie stradale, per il quale è previsto un range di valori nell'intervallo 1,8 ÷ 25,2: in tale caso è stato ritenuto significativo un valore pari al 14%;
- M = percentuale di umidità, percentuale contenuta sulla superficie stradale, per il quale è previsto un range di valori nell'intervallo 0.03 ÷ 13: in tale caso è stato ritenuto significativo un valore pari al 5%;
- S = velocità in miglia (nel caso in questione 5 km/h = 8.05 Mph)
- C = fattore di emissione per l'usura dei freni e l'usura dei pneumatici = 0.00047 lb/VMT per il PM10 (Countess Environmental 4001 Whitesail Circle – Westlake Village, CA 91361 (WGA Contract No. 30204-111) September 7, 2006)

Particle size	C, Emission factor for exhaust, brake wear, and tire wear (lb/VMT)
PM2.5	0.00036
PM10	0.00047

Tabella 5 | Emission Factors for 1980's Vehicle Exhaust, Brake wear and Tire Wear

Avremo il fattore di emissione pari a 0.773 lb/VMT per il PM10 = 217.9 g/VKT.

Il dato è ulteriormente ridotto in considerazione della limitazione sulla velocità dei veicoli circolanti sull'area interessata, come riportato nella tabella sottostante.

Control measure	PM10 control efficiency	References/Comments
Limit maximum speed on unpaved roads to 25 miles per hour	44%	Assumes linear relationship between PM10 emissions and vehicle speed and an uncontrolled speed of 45 mph.
Pave unpaved roads and unpaved parking areas	99%	Based on comparison of paved road and unpaved road PM10 emission factors.
Implement watering twice a day for industrial unpaved road	55%	MRI, April 2001
Apply dust suppressant annually to unpaved parking areas	84%	CARB April 2002

Tabella 6 | Control Efficiencies for Control Measures for Unpaved Roads

Pertanto, il fattore di emissione finale è pari a $217.9 \text{ g/VKT} * 0.44 = 95.8 \text{ g/VKT}$.

Ai fini di una stima sull'emissione, considerando un tratto di strada non asfaltata interessata pari a circa 5201 m, un numero di veicoli circolanti sul tratto interessato per ora pari a 1.5, ne deriva un valore di emissione pari a circa 6761.3kg.

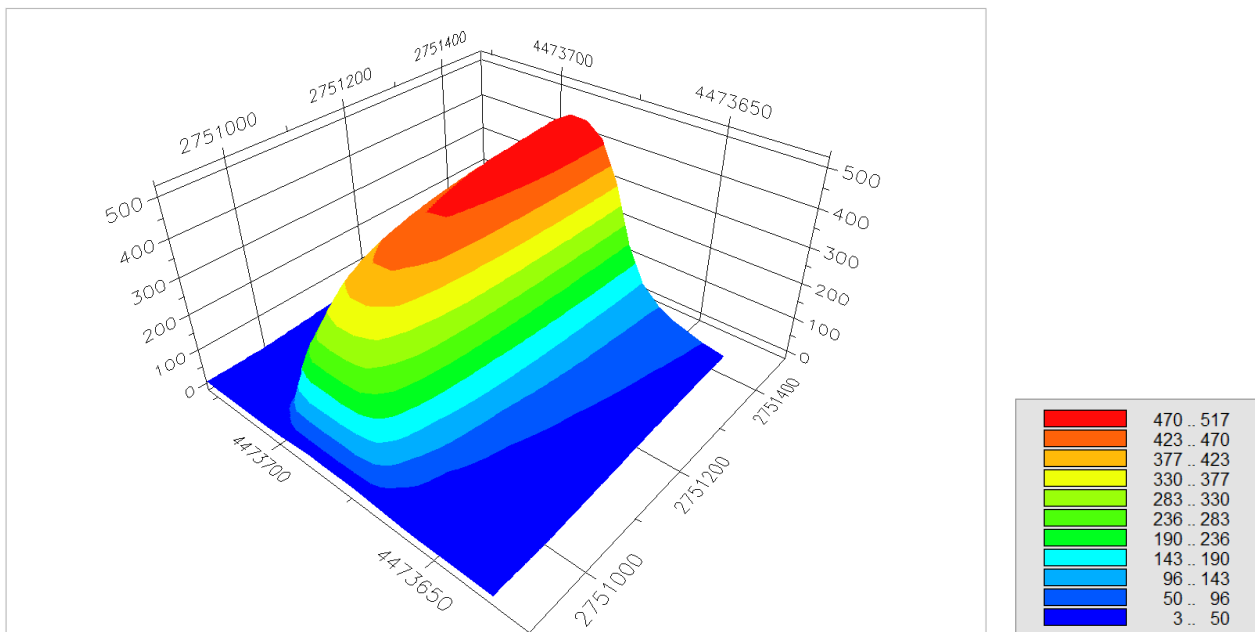


Figure 10 | Andamento del valore di emissione lungo il tratto di strada non asfaltata preso in esame.

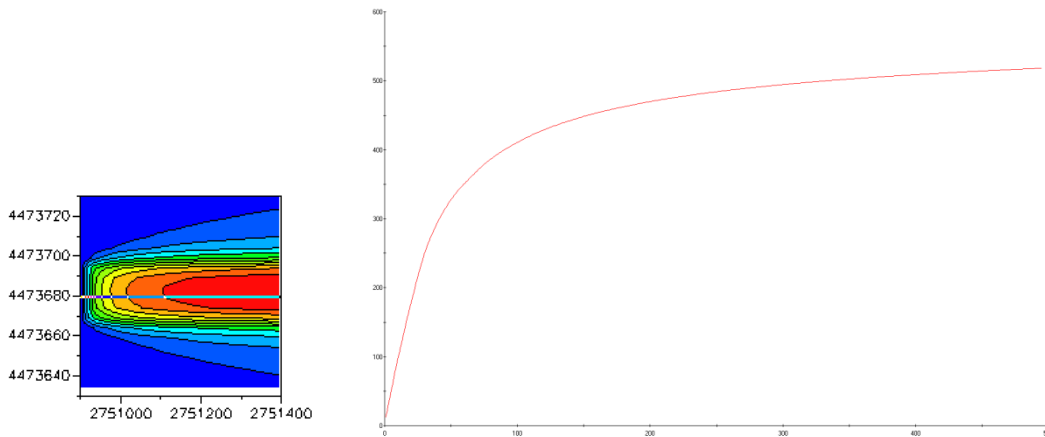


Figure 11 | Profilo longitudinale (Ovest-Est) dell'andamento del valore di emissione.

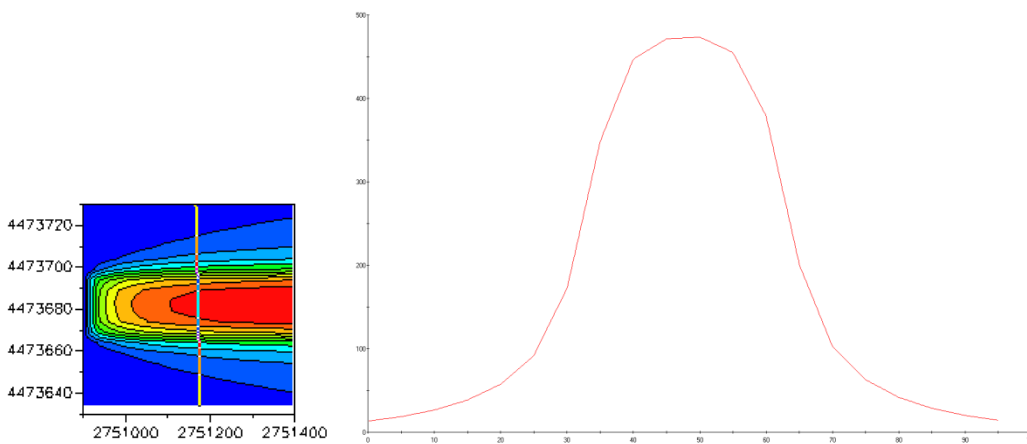


Figure 12 | Profilo trasversale (Nord-Sud) dell'andamento del valore di emissione.

Il valore è da intendersi puramente teorico, ricavato con alcune approssimazioni e conservativo in quanto non sono stati inseriti i periodi di pioggia e rappresenta in pratica la polvere potenzialmente sollevata dai mezzi pesanti circolanti all'interno dell'area di cantiere.

Si sottolinea inoltre che durante l'intera fase di cantierizzazione si provvederà a bagnare, periodicamente, le aree non asfaltate, al fine di garantire la minore volatilità possibile. Pertanto, si ritiene che il valore stimato sia da intendersi come una valutazione teorica dell'applicazione di una linea guida WRAP sulle valutazioni delle emissioni di polveri.

2.10 EMISSIONI IN FASE DI ESERCIZIO

Gli impianti eolici hanno una vita utile di almeno 30 anni, determinata dalla funzionalità delle pale. Tali strutture necessitano di manutenzione poiché il loro funzionamento dipende da organi in movimento.

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

In generale, si richiede un controllo delle strutture attinenti all'area di impianto con cadenza semestrale al fine di ottemperare alle attività di O&M ordinarie. Per l'intero impianto, dunque, si stimano circa 2 visite annuali.

Le visite semestrali riguarderanno il passaggio di mezzi ordinari su strade di tipo asfaltate, comportando un sollevamento polveri esiguo rispetto al parametro individuato in fase di cantiere.

Pertanto, l'incremento non è significativo rispetto all'analisi effettuata e comunque si garantirà l'ottimizzazione dei percorsi per il raggiungimento delle turbine al fine di ridurre il traffico veicolare.

25

2.11 EMISSIONI IN FASE DI DISMISSIONE

La fase di dismissione dell'impianto in progetto risulta del tutto simile a quella di cantiere.

L'impianto eolico è da considerarsi l'impianto di produzione di energia elettrica che più di ogni altro adotta materiali riciclabili e che durante il suo periodo di funzionamento minimizza l'inquinamento del sito di installazione, sia in termini di inquinamento atmosferico (nullo non generando fumi), di falda (nullo non generando scarichi).

Negli ultimi anni sono nate procedure analitiche per la valutazione del ciclo di vita (LCA) degli impianti eolici. Tali procedure sono riportate nelle ISO 14040-41-42-43.

Per quanto riguarda lo smaltimento delle pale eoliche montate, l'obiettivo è quello di riciclare pressoché totalmente i materiali impiegati.

Tutte le operazioni di dismissione sono studiate in modo tale da non arrecare danni o disturbi all'ambiente.

Infatti, in fase di dismissione definitiva dell'impianto, si provvederà a smaltire adeguatamente la totalità dei componenti nel rispetto della normativa vigente, senza dispersione nell'ambiente dei materiali e delle sostanze che li compongono.

2.12 CALCOLO EMISSIONI MATERIALI

Il Sistema europeo di scambio di quote di emissione di gas a effetto serra (**European Union Emissions Trading System - EU ETS**) è il principale strumento adottato dall'Unione europea per raggiungere gli obiettivi di riduzione della CO₂ nei principali settori industriali e nel comparto dell'aviazione. Il sistema è stato introdotto e disciplinato nella legislazione europea dalla Direttiva 2003/87/CE (Direttiva ETS).

La carbon footprint, o impronta di carbonio, rappresenta in CO₂ equivalenti la quantità di emissioni di gas a effetto serra associate direttamente o indirettamente a un prodotto, un'organizzazione o un servizio. Ciò in virtù del noto legame con il fenomeno del surriscaldamento globale del pianeta (Global Warming Potential) e dei suoi effetti sul cambiamento climatico del pianeta cui stiamo assistendo negli ultimi decenni.

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

La misurazione della carbon footprint richiede in particolare di individuare e quantificare i consumi di materie prime e di energia nelle fasi selezionate del ciclo di vita dello stesso.

La nuova norma UNI ISO/TS 14067 descrive i principi, i requisiti e le modalità per la quantificazione della carbon footprint dei prodotti (CFP), basandosi su normative già collaudate a livello internazionale in materia di gestione ambientale e di etichette e dichiarazioni ambientali (UNI EN ISO 14040- 14044- 14020- 14024 – 14025).

Di seguito si riporta una tabella di stima delle emissioni di CO₂ per ciascun materiale dell'impianto in esame per il suo ciclo di vita.

CALCOLO EMISSIONI CO ₂			
	Valore di emissione unitaria	Quantità (m ³ - kg)	ECO ₂ tot. (t)
Calcestruzzo	900 kg/t	37597.37	33837.633
Acciaio	6.8 kg/kg	175150	1191.02
Alluminio	35.7 kg per kg	10279980	411038.019
EMISSIONI TOTALI DI CO₂			446066.672

Tabella 7 | Prospetto delle emissioni di Co2 per ciascun materiale dell'impianto in esame

Tutte le componenti che si intende utilizzare per la realizzazione del progetto saranno prodotte nel rispetto della norma UNI EN ISO 14040, la quale descrive i principi ed il quadro di riferimento per la valutazione del ciclo di vita (LCA), comprendendo:

- a) la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dell'LCA;
- b) la fase di inventario del ciclo di vita (LCI);

2.13 MIX ENERGETICO ED EMISSIONI DI GAS SERRA

L'impiego di energia eolica comporta una diminuzione delle emissioni inquinanti legate al minor impiego di energia elettrica da fonte fossile. I potenziali impatti di un impianto eolico sono dovuti principalmente alla costruzione dell'impianto e alla realizzazione delle infrastrutture necessarie.

Il mix energetico è l'insieme di fonti energetiche primarie utilizzate per la produzione di energia elettrica fornita dall'impresa di vendita ai clienti finali. Come disciplinato dal *Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 31 luglio 2009* le imprese di vendita di energia elettrica sono tenute a fornire informazioni ai clienti finali:

- sulla composizione del mix di fonti energetiche primarie utilizzate per la produzione dell'energia elettrica fornita;
- sull'impatto ambientale della produzione di energia elettrica, utili al fine di risparmiare energia.

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

Le informazioni sulla composizione del mix energetico utilizzato per la fornitura di energia elettrica al cliente finale devono essere rese disponibili dalle imprese di vendita ai clienti finali nelle bollette, nel materiale informativo, sui propri siti internet e in fase precontrattuale.

Il GSE determina e pubblica annualmente il mix energetico medio nazionale, in Figura 24 si indicano i mix energetici medi per il 2019 (a consuntivo) e il mix energetico medio per l'anno 2020 (preconsuntivo)

Composizione del mix iniziale nazionale utilizzato per la produzione dell'energia elettrica immessa nel sistema elettrico italiano nel 2019*		Composizione del mix iniziale nazionale utilizzato per la produzione dell'energia elettrica immessa nel sistema elettrico italiano nel 2020**	
Fonti primarie utilizzate	%	Fonti primarie utilizzate	%
- Fonti rinnovabili	41,74%	- Fonti rinnovabili	45,04%
- Carbone	7,91%	- Carbone	6,34%
- Gas naturale	43,20%	- Gas naturale	42,28%
- Prodotti petroliferi	0,50%	- Prodotti petroliferi	0,48%
- Nucleare	3,55%	- Nucleare	3,22%
- Altre fonti	3,10%	- Altre fonti	2,64%
<i>*dato consuntivo</i>		<i>**dato pre-consuntivo</i>	

Figure 13 | Composizione del mix medio nazionale del 2019 e 2020 (Fonte: GSE).

Come si nota in Figura 13 si è verificato un progressivo aumento della quota parte di energie rinnovabili nel mix medio nazionale, a fronte di una progressiva riduzione dell'utilizzo di gas naturale e prodotti petroliferi.

In particolare tra il 2012 il 2021 l'apporto della fonte eolica alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili è cresciuto di quasi 2.87 GWh, di cui circa 0.12 GWh nel 2021.

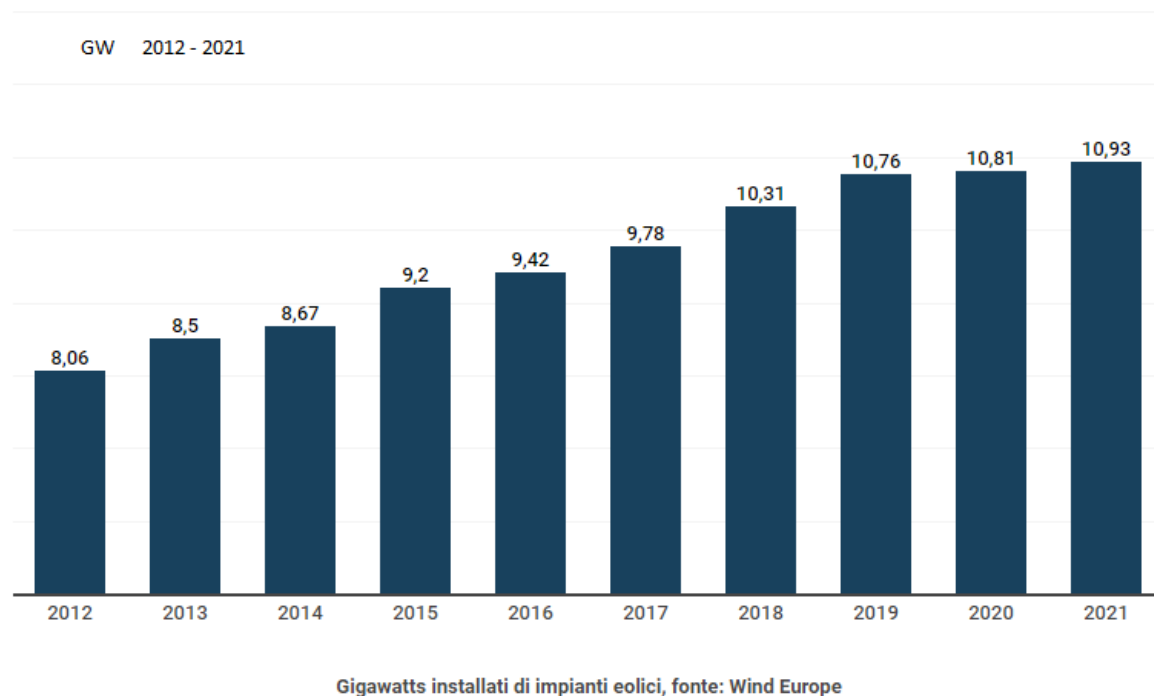


Figure 14 | Crescita della produzione di energia elettrica da fonte eolica (Fonte: Wind Europe)

Il controllo dei consumi energetici e l'utilizzo di risorse rinnovabili sono azioni fondamentali ai fini della riduzione delle emissioni di gas serra e del raggiungimento degli obiettivi del cosiddetto "pacchetto clima-energia 20-20-20" varato dall'Unione Europea (rif. Direttiva 2009/29/CE).

Le principali sostanze climalteranti sono:

- anidride carbonica (CO₂),
- metano (CH₄),
- protossido di azoto (N₂O).

Ognuno di questi gas contribuisce in maniera diversa al fenomeno del riscaldamento globale e tale contributo è dovuto essenzialmente a: la lunghezza d'onda delle radiazioni assorbite, la concentrazione in atmosfera e la capacità di assorbimento di ciascun gas.

Il contributo dei gas serra al potenziale impatto ambientale del riscaldamento globale è misurato in termini di chili (kg) (o grammi) di CO₂eq (anidride carbonica equivalente), attraverso un'operazione di standardizzazione basata sui potenziali di riscaldamento globale GWP (*Global Warming Potential*). In tal caso è stato preso in considerazione un orizzonte temporale pari a 100 anni (GWP 100).

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

Tali potenziali, adottati dall'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), sono calcolati per ciascun gas serra ed esprimono il rapporto fra il contributo all'assorbimento dato dal rilascio istantaneo di una sostanza GHG (*Greenhouse Gase*) e quello fornito dall'emissione di CO₂. Il potenziale GWP 100 della CO₂ è pari ad 1.

2.14 CO₂EQ PER MIX ENERGETICO ITALIANO

In base alla composizione del mix energetico italiano del 2021, modellizzato prendendo come riferimento dei dati la banca dati LCI Ecoinvent 2.2 (Tabella 7), si calcola la quantità di CO₂eq per 1 kWh di mix. Il calcolo viene effettuato sulla base dei fattori di caratterizzazione di GWP 100 dell'IPCC 2007 (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).

29

Electricity, hard coal, at power plant/IT	0,139286 kWh
Electricity, oil, at power plant/IT	0,011448 kWh
Electricity, natural gas, at power plant/IT	0,366432 kWh
Electricity, industrial gas, at power plant/IT	0,015174 kWh
Electricity, hydropower, at power plant/IT	0,268264 kWh
Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/IT	0,061694 kWh
Electricity, production mix fotovoltaic, at plant/IT	2,42E-05 kWh
Electricity, at wind power plant/RER	0,011163 kWh
Electricity, at cogen ORC 1400kWth, wood, allocation exergy/CH	0,001706 kWh
Electricity, at cogen with biogas engine, allocation exergy/CH	0,007272 kWh
Electricity, production mix AT/AT	0,002512 kWh
Electricity, production mix FR/FR	0,026552 kWh
Electricity, production mix GR/GR	0,002188 kWh
Electricity, production mix SI/SI	0,009493 kWh
Electricity, production mix CH/CH	0,030805 kWh

Tabella 8 | Modellizzazione del mix energetico italiano (fonte GSE) in base al database Ecoinvent 2.2 (dati al netto delle perdite di rete).

Dall'elaborazione del mix risulta che per 1 kWh di mix energetico italiano si emettono:

0,4902 kg di CO₂eq di cui:

- 0,4654 kg dovuti a CO₂ di origine fossile (94,93%),
- 0,02044 kg dovuti a CH₄ (4,19%),
- 0,003181 kg dovuti a N₂O (0,65%).

3 POTENZIALI IMPATTI AMBIENTALI: L'IMPIANTO "FOGGIA"

I potenziali impatti di un impianto eolico sono dovuti principalmente alla costruzione dell'impianto e alla realizzazione delle infrastrutture necessarie. La struttura è costituita essenzialmente dall'insieme delle pale installate su suolo e dall'impianto elettrico necessario al funzionamento delle stesse.

Non essendo disponibile uno studio specifico di LCA (*Life Cycle Assessment*) dell'impianto, il calcolo degli indicatori di impatto potenziale in termini di CO₂eq (kg) e consumo di risorse non rinnovabili (MJ) è effettuato mediante l'applicazione della metodologia LCA (ISO 14044:2006).

30

In Tabella 9 si indicano i risultati di impatto ambientale elaborati per la produzione di 1 kWh di energia elettrica da fonte eolica.

La quantità di CO₂eq viene calcolata con il metodo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) 2007, mentre il consumo di risorse non rinnovabili con il metodo CED (*Cumulative Energy Demand*) vs. 1.08.

kg CO ₂ /kWh en.solare	0,04648
kwh/kwh en. solare	0,11

Tabella 9 | Risultati elaborati per 1 kWh di energia elettrica da fonte eolica

3.1 ENERGY PAY – BACK TIME

Per la produzione di ogni kWh di energia elettrica dell'impianto "Foggia" sono necessari **0,11 kWh di energia da fonti non rinnovabili**.

Poiché la vita utile dell'impianto "Foggia" è stimata pari a 30 anni, si calcola che, per l'intero ciclo di vita dell'impianto, si consumano mediamente **548.031.000 kWh di risorse non rinnovabili**.

Inoltre la produzione di energia elettrica annuale è stimata pari a 166.070 MWh/anno, quindi **i tempi di payback relativi all'energia prodotta risultano di circa 3,3 anni** (=548.031.000 kWh/166.070.000 kWh).

Per la produzione di energia elettrica dell'impianto eolico vengono emesse **0,04648 kg di CO₂eq per ogni kWh, in un anno**, le emissioni risparmiate dall'impianto di CO₂eq sono pari a **7.718.933,6kg di CO₂eq**.

Dal confronto fra queste emissioni con quelle del mix energetico, si calcola che nei successivi anni di vita dell'impianto calcolati pari a 30: **le emissioni di CO₂eq evitate** grazie all'introduzione dell'impianto eolico, in sostituzione del mix di energia elettrica standard, siano pari a **231.568.008kg di CO₂eq**.

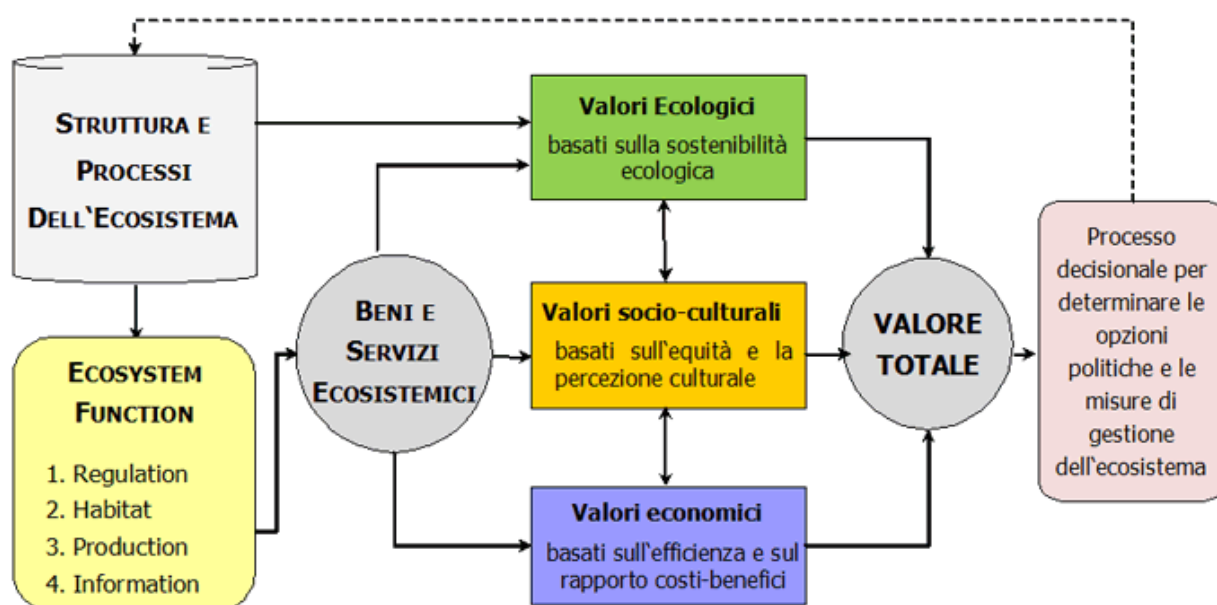
4 SERVIZI ECOSISTEMICI

4.1 INTRODUZIONE

Lo sviluppo di strumenti adeguati per una corretta gestione dell'ambiente passa necessariamente attraverso l'integrazione di elementi ecologici, economici e socio politici all'interno di un quadro interdisciplinare.

La struttura sottostante costituisce una cornice concettuale generale, all'interno della quale è possibile arrivare all'individuazione e alla quantificazione delle funzioni, dei beni e dei servizi ecosistemici (SE).

Si definiscono funzioni ecosistemiche: la capacità dei processi e dei componenti naturali di fornire beni e servizi che soddisfino, direttamente o indirettamente, le necessità dell'uomo e garantiscano la vita di tutte le specie.



modificato da De Groot, 1992

Il Millennium Ecosystem Assessment (2005), la più ampia e approfondita sistematizzazione delle conoscenze sino ad oggi acquisite sullo stato degli ecosistemi del mondo ha fornito una classificazione utile suddividendo le funzioni ecosistemiche in 4 categorie principali:

- **Supporto alla vita (Supporting):** queste funzioni raccolgono tutti quei servizi necessari per la produzione di tutti gli altri servizi ecosistemici e contribuisce alla conservazione (in situ) della diversità biologica e genetica e dei processi evolutivi.
- **Regolazione (Regulating):** oltre al mantenimento della salute e del funzionamento degli ecosistemi, le funzioni regolative raccolgono molti altri servizi che comportano benefici diretti e indiretti per l'uomo (come la stabilizzazione del clima, il riciclo dei rifiuti), solitamente non riconosciuti fino al momento in cui non vengono persi o degradati;
- **Approvvigionamento (Provisioning):** queste funzioni raccolgono tutti quei servizi di

fornitura di risorse che gli ecosistemi naturali e semi-naturali producono (ossigeno, acqua, cibo, ecc.).

- **Culturali (Cultural):** gli ecosistemi naturali forniscono una essenziale "funzione di consultazione" e contribuiscono al mantenimento della salute umana attraverso la fornitura di opportunità di riflessione, arricchimento spirituale, sviluppo cognitivo, esperienze ricreative ed estetiche.

Queste funzioni ecosistemiche racchiudono i beni e i servizi utilizzati dalla società umana per soddisfare il proprio benessere. Sulla base di tali funzioni, il Millennium Ecosystem Assessment ha individuato i (potenziali) aspetti utili degli ecosistemi naturali per il genere umano sotto forma di beni e servizi, definendoli con il termine generale di servizi ecosistemici (ecosystem services): i benefici multipli forniti dagli ecosistemi al genere umano.

I cambiamenti nell'uso del suolo determinati dalla realizzazione delle opere in progetto, influenzano i valori dei SE, sia biofisici che economici, che aumentano o diminuiscono sulla base delle trasformazioni territoriali i cui effetti sono valutabili nel breve e lungo periodo.

La descrizione e quantificazione di tali effetti, qui condotta attraverso l'uso del software SimulSoil, un'applicazione informatica che analizza le variazioni di valore derivate da trasformazioni d'uso del suolo, registrando la sensibilità dei servizi ambientali erogati ai cambiamenti del territorio e quantificando il costo complessivo di tali trasformazioni sul Capitale Naturale esistente. Il software costituisce uno dei prodotti "tangibili" del progetto europeo LIFE SAM4CP e consiste in un software di supporto analitico territoriale alla mappatura e valutazione dei Servizi Ecosistemici resi dal suolo.

La sua finalità è di favorire e facilitare processi virtuosi di pianificazione urbanistica, siano essi estesi all'intero territorio comunale o a porzioni di esso: SimulSoil è infatti nato dall'esigenza di rendere il processo di conoscenza dei Servizi Ecosistemici direttamente scalabile alle reali "pratiche" urbanistiche, ovvero quelle necessarie al rilascio dei titoli abilitativi, ma anche tutte le altre procedure che implicano trasformazioni degli usi del suolo, sia attraverso alterazioni che ne determinano il "consumo" o il "degrado", che nei casi in cui ne generano una "valorizzazione" sotto il profilo ambientale ed ecosistemico.

Partendo dal presupposto che il suolo è una risorsa in grado di generare contemporaneamente molteplici Servizi Ecosistemici la cui conoscenza è imprescindibile per i processi del buon governo del territorio, SimulSoil è, in breve, uno strumento di aiuto ai decisori pubblici per effettuare scelte consapevoli e sostenibili nello sfruttamento di una risorsa sostanzialmente limitata e non rinnovabile.

SimulSoil "automatizza" processi informatici complessi che normalmente vengono gestiti separatamente mediante l'utilizzo di differenti modelli del software InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs²) determinandone l'immediata e semplificata utilizzabilità.

Nello specifico sono stati automatizzati gli algoritmi di calcolo riferiti ai seguenti 8 differenti Servizi Ecosistemici offerti dal suolo libero e selezionati tra i molteplici che la natura fornisce:

- qualità degli Habitat,
- stoccaggio di carbonio,
- disponibilità idrica,
- trattenimento dei sedimenti,
- trattenimenti dei nutrienti,
- produzione agricola,
- impollinazione,
- produzione legnosa.

La mappatura dei Servizi Ecosistemici (SE) costituisce ad oggi il riferimento di base per pianificatori e amministratori locali per poter "intervenire" oltre che "valutare" o "misurare" le quantità (stock) e le variazioni (trend) dei valori ecosistemici riferiti al suolo.

4.2 LA VALUTAZIONE BIOFISICA ED ECONOMICA DEI SERVIZI ECOSISTEMICI

Come già evidenziato, SimulSoil è un'applicazione informatica che consente di eseguire bilanci delle funzioni ecosistemiche del territorio, automatizzando processi informatici complessi che dovrebbero essere gestiti separatamente mediante l'utilizzo di differenti modelli, alcuni dei quali proprietari del software InVEST. Esso produce una quantificazione biofisica della mappatura dei SE e, associando "costi" parametrici ai SE forniti dai suoli ne sviluppa la valutazione economica, secondo il seguente approccio: ai SE con valori biofisici assoluti è associato un prezzo unitario (per esempio, 1 tonnellata di carbonio sequestrato equivale a 100 euro del costo sociale evitato per il mancato rilascio in atmosfera), mentre per i SE con valori biofisici espressi da valori indice l'associazione del costo avviene ipotizzandone un mercato e definendone un valore derivato dalla "disponibilità a pagare" per il godimento del bene stesso.

È evidente, tuttavia, come l'associazione di un valore economico ad un indice presenti molti limiti e non sia da assumere come valore paradigmatico.

Si sottolinea, inoltre, che, indipendentemente dal modello di valutazione adottato, l'associazione di un valore economico ad un beneficio ambientale si riferisce sempre ad un valore "marginale" e non "totale" (poiché il valore complessivo del Capitale Naturale non è quantificabile). SimulSoil, pertanto, non determina il "prezzo" del Capitale Naturale, ma costituisce piuttosto la stima parametrica del possibile valore monetario di alcuni servizi ecosistemici.

Nello specifico, la valutazione ha ad oggetto i seguenti 8 SE:

1. STOCCAGGIO DI CARBONIO (Carbon Sequestration) - CS - servizio di regolazione secondo la classificazione TEEB CICES;
2. PRODUZIONE AGRICOLA (Crop Production) - CPR- servizio di approvvigionamento secondo la classificazione TEEB CICES;
3. PRODUZIONE LEGNOSA (Timber Production) - TP - servizio di approvvigionamento secondo la classificazione TEEB CICES;

4. QUALITÀ DEGLI HABITAT (Habitat Quality) - HQ - servizio di supporto secondo la classificazione TEEB CICES;
5. TRATTENIMENTO DEI NUTRIENTI (Nutrient Retention) - NR - servizio di regolazione secondo la classificazione TEEB CICES;
6. DISPONIBILITÀ IDRICA (Water Yield) - WY - servizio di regolazione secondo la classificazione TEEB CICES;
7. TRATTENIMENTO DEI SEDIMENTI (Sediment Retention) - SDR - servizio di regolazione secondo la classificazione TEEB CICES;
8. IMPOLLINAZIONE (Crop Pollination) - CPO - servizio di approvvigionamento secondo la classificazione TEEB CICES.

Di seguito si specificano le modalità di calcolo e di input di ogni uno degli otto SE utilizzati.

Stoccaggio di Carbonio (CS)

L'incremento di CO₂ in atmosfera è causato principalmente dalle attività antropiche: una volta che un terreno naturale viene impermeabilizzato o subisce altre forme di degrado, perde la capacità di trattenere il carbonio che, di conseguenza, viene emesso in atmosfera. Per valutare questo SE il simulatore utilizza il modello InVEST "Carbon Storage and Sequestration".

L'output fornito è costituito da mappe della quantità di carbonio immagazzinato dagli ecosistemi terrestri in termini biofisici (espresso in tonnellate di C per pixel) e da una valutazione dello stesso in termini economici espressa in euro/tonnellata. Il modello stima la quantità di carbonio in funzione della categoria di uso del suolo con riferimento ai quattro principali serbatoi (pools) presenti in natura: biomassa epigea, biomassa ipogea, suolo e sostanza organica morta.

I dati di input, oltre all'uso del suolo, sono i valori di stoccaggio del carbonio associati alle differenti classi d'uso del suolo divisi in suolo, lettiera, fitomassa ipogea e fitomassa epigea. Per le categorie forestali i valori di tutti i pool sono stati ricavati tramite l'utilizzo di apposite

metodologie e coefficienti di conversione, dai volumi di provvigione forniti dall'Inventario

Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC) per ogni regione; per le altre aree naturali e per le superfici agricole i valori di default del carbonio contenuto nella biomassa epigea, nella biomassa ipogea e nella sostanza organica morta sono quelli proposti da Sallustio et al. (2015), mentre per il carbonio contenuto nel suolo il valore inserito è stato stimato sulla base dei dati del progetto SIAS (Sviluppo Indicatori Ambientali sul Suolo), relativi al carbonio immagazzinato nei primi 30 cm di suolo.

Alle aree artificiali è stato assegnato un valore pari a zero per tutti i pool, assumendo una perdita completa del servizio.

A livello locale vi è stato un adattamento delle soglie di stoccaggio del carbonio del suolo e soprassuolo per considerare anche tutte le classi ad uso antropico, (macroclasse 1 Land Cover Puglia – aree artificiali) a partire dalle quantità segnalate per i prati e pascoli, con una

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

rimodulazione delle soglie sulla base dell'indice di permeabilità rilevato per ogni classe d'uso del suolo. Nello specifico: per le classi "SOIL" e "DEAD" sono stati rimodulati i valori corrispondenti ai prati rispetto all'indice di permeabilità espresso nella singola classe di copertura (le aree industriali impermeabilizzate al 99%, ed esempio, non hanno valore di stoccaggio), mentre per tutte le altre coperture si utilizzano i valori nazionali dell'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. Per le classi "ABOVE" and "BELOW" soil è stato adottato un procedimento di adeguamento dei valori a partire dalla biomassa legnosa iniziale. In particolare, la quantità di carbonio organico unitario (in ton/ha), corrispondenti alla biomassa iniziale, viene calcolata moltiplicando la biomassa legnosa complessiva per un opportuno coefficiente (0,17 per le conifere e 0,25 per le latifoglie). Successivamente tale quantità viene ripartita tra quella sviluppata soprassuolo (l'84%) e quella sviluppata nel sottosuolo (il 16%).

35

L'output generato dal simulatore è la spazializzazione dell'indicatore Carbon Sequestration nel territorio con valori biofisici assoluti di carbonio stoccato per pixel (ton/pixel).

Per la valutazione economica della funzione di stoccaggio del carbonio il simulatore si basa sulla quantificazione del costo sociale del carbonio (SCC) ovvero quello che contabilizza il danno marginale associato al rilascio di tonnellate di carbonio in atmosfera. Secondo questo approccio, ad ogni tonnellata di carbonio immagazzinata nel suolo viene associato un costo sociale evitato per il mancato rilascio del carbonio organico in atmosfera, e la conseguente produzione di CO₂ pari a 100 euro/ton.

Produzione agricola (CPR)

La produzione agricola è un servizio ecosistemico di approvvigionamento essenziale poiché è alla base della fornitura di materie prime per la sopravvivenza dell'uomo. Descrivere l'agricoltura e più in generale l'utilizzo del territorio agroforestale in termini di servizi ecosistemici forniti dal suolo è una operazione complessa. L'agricoltura, infatti, utilizza i servizi forniti dal capitale naturale e influisce a sua volta su di essi, ad esempio aumentando l'infiltrazione nel suolo di nutrienti contenuti nei fertilizzanti come azoto e fosforo, ma al contempo fornisce un servizio essenziale come principale fonte di cibo. La stima del valore della produzione agricola coinvolge, ovviamente, non solo i terreni propriamente agricoli, ma anche quelli destinati alla produzione di foraggio (prati) ed al pascolo.

Il consumo di suolo a fini edificatori annulla completamente il servizio di produzione agricola, rendendo impossibile qualsiasi possibilità di sfruttamento agricolo del terreno impermeabilizzato, sia nel breve che nel medio-lungo periodo, dato che il suolo è una risorsa che necessita di lunghi periodi per recuperare le sue funzioni e le sue caratteristiche biologiche originali. Per tutte le aree artificiali il simulatore ha dunque assunto un valore del servizio CPR pari a zero.

Il metodo di valutazione utilizzato nel simulatore si basa sulla spazializzazione dei Valori Agricoli Medi (VAM) proposti dall'Agenzia delle Entrate, suddivisi per regioni agrarie secondo lo schema di classificazione definito dall'Istat. Per condurre tale analisi a ciascuna classe di uso e copertura del suolo sono state associate la corrispondente regione agraria e il relativo VAM.

L'unità di misura dell'output è Euro per ettaro.

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

In questo caso l'indicatore considerato è solo biofisico; per la mancata Produzione Agricola, le perdite ecosistemiche sono di tipo reversibile e recuperabili con il ripristino delle attività agricole sui terreni, garantite dopo le attività di dismissione dell'impianto.

Produzione legnosa (TP)

La produzione di legname è un importante servizio di approvvigionamento. Anche in questo caso si tratta di un servizio complesso, poiché la gestione della produzione legnosa, in particolare la gestione dell'intensità e della velocità di raccolta, influenza il mantenimento dell'erogazione di molti altri servizi ecosistemici: la qualità degli habitat, la quantità di carbonio sequestrato, la prevenzione dell'erosione e la purificazione dell'acqua dai nutrienti, ma anche l'impollinazione, in quanto i boschi sono particolarmente adatti ad ospitare i nidi di impollinatori.

Nel simulatore è stata utilizzata la stessa metodologia di calcolo proposta per la valutazione della produzione agricola, cioè si è considerato il Valore Agricolo Medio come proxy del potenziale di produzione legnosa su larga scala. Anche in questo caso l'indicatore ottenuto è sia biofisico che economico: esso infatti esprime parametricamente il livello di servizio di produzione ottenuto, con un valore parametrico espresso in €/ha, e la redditività assoluta, costituita dalla moltiplicazione di tale valore per la superficie delle aree destinate a fini produttivi forestali.

Qualità degli habitat (HQ)

Gli habitat e la biodiversità che essi ospitano, forniscono tutto quello di cui le diverse specie animali e vegetali necessitano per la sopravvivenza, garantendo cioè le risorse per la nutrizione, la riproduzione e lo sviluppo. Gli impatti antropici, in particolare i cambiamenti di uso del suolo che determinano processi di artificializzazione, minacciano gravemente la biodiversità e la conservazione delle specie.

Il modello di InVEST per l'Habitat Quality utilizzato nel simulatore, si basa sull'ipotesi che le aree con una qualità degli habitat più alta ospitano una ricchezza maggiore di specie native mentre la diminuzione delle dimensioni di uno specifico habitat e della sua qualità portano al declino della persistenza delle specie.

Per funzionare, il modello utilizza come dati di input sia valori (da 0 a 1) di qualità dell'habitat in termini di compatibilità delle specie con ciascuna classe di uso e copertura del suolo, sia valori corrispondenti alle minacce. In particolare, il modello genera una carta raster per ogni minaccia, in cui è rappresentato il livello di minaccia in funzione della distanza dall'impatto, del tipo di decadimento e della pressione sugli habitat.

Le tipologie di habitat considerate dal simulatore sono 12 ed i valori dei relativi parametri a scala nazionale sono stati ricavati attraverso un approccio expert based, cioè sottoponendo un questionario a oltre 100 esperti nazionali con affiliazioni diverse nei settori della conservazione e della gestione della biodiversità. Per quanto riguarda le minacce e relativi valori di interferenza con gli habitat sono stati considerati: il sistema antropizzato, le aree agricole ed il reticolo infrastrutturale con classificazione di strade principali, secondarie e locali.

L'output generato è una spazializzazione dell'indicatore Habitat Quality nel territorio con valori relativi al contesto di analisi che variano da 0 a 1.

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

Per la valutazione economica della funzione di qualità degli habitat il modello utilizzato da SimulSoil si basa sulla valutazione di contingenza in grado di stimare, attraverso lo strumento dell'intervista, la disponibilità a pagare (DAP) dei singoli soggetti per la gestione di aree verdi naturali e semi-naturali con elevato valore ambientale ed è espresso in euro al mq (i valori spaziano da 1,70 a 3,87 euro/mq per il verde urbano, da 0,30 a 0,39 euro/mq per il verde agricolo e da 1,63 a 24,15 euro/mq per il verde naturale o seminaturale).

Trattenimento dei nutrienti (NR)

Si tratta di un SE di regolazione fornito dagli ecosistemi acquatici e terrestri che concorrono a filtrare e decomporre reflui organici che giungono nelle acque interne e negli ecosistemi costieri e marini, contribuendo così alla fornitura di acqua potabile. Le foreste naturali, in particolare, contribuiscono ad una qualità superiore delle acque, con meno sedimenti e filtrando gli inquinanti rispetto a sorgenti di inquinamento sia diffuse (fertilizzanti agricoli) che localizzate (presenza di impianti con produzione e diffusione di inquinanti nel suolo). Spesso si fa riferimento alla rimozione di nitrati e fosfati poiché sono gli elementi più diffusi nei reflui domestici e agricoli e particolarmente deleteri per la potabilità dell'acqua e l'eutrofizzazione dei laghi. L'impermeabilizzazione genera una perdita irreversibile della capacità di infiltrazione dell'acqua nel suolo e quindi rappresenta la maggiore minaccia a tale tipo di servizio. Il consumo di suolo, inoltre, generando una compromissione delle superfici naturali permeabili e impedendone la filtrazione dell'acqua pu anche portare, in particolari circostanze, a fornire un maggior carico di inquinanti ai corsi d'acqua, per via di un maggior scorrimento superficiale. Il simulatore utilizza il modello InVEST NDR, che restituisce in output mappe di capacità di purificazione dell'acqua da parte dell'attuale, o futura, configurazione d'uso del suolo.

I dati di input utilizzati, oltre alle mappe di uso del suolo, sono:

- Digital Elevation Model. Formato raster – Dtm passo 20 m.
- Mappa dei bacini idrografici. Formato vettoriale (sit.puglia.it - Bacini idrografici Bacini idrografici e morfologici dei principali fiumi pugliesi).
- Root restricting layer depth: la profondità del suolo dove la penetrazione delle radici è fortemente inibita per colpa delle caratteristiche fisiche o chimiche.
- Precipitazioni. Valore annuale medio delle precipitazioni in millimetri.
- Plant Available Water Content (PAWC): la frazione d'acqua che può essere immagazzinata nel suolo e disponibile per le piante.
- Average annual potential evapotranspiration (PET): la perdita potenziale di acqua dal suolo sia per evaporazione che per traspirazione dell'erba medica, nel caso in cui ci sia una quantità d'acqua sufficiente. Formato raster. (utilizzo dei valori nazionali nelle tabelle csv).
- Dati biofisici: tabella che associa, ad ogni classe di uso del suolo:
 - massima profondità delle radici delle piante
 - Kc, il coefficiente di evapotraspirazione delle piante, usato per ottenere l'evapotraspirazione potenziale della classe modificando quella di riferimento già inserita in formato raster

- load_n / load_p, carico annuale di azoto e fosforo
- eff_n / eff_p, valore tra 0 e 1 che indica la capacità di filtraggio della vegetazione
- Water purification threshold: tabella che esprime il carico massimo consentito di azoto e fosforo per ogni bacino idrografico.

Per la stima del carico di inquinanti è stata scelta come proxy una tipologia di coltivazione per ogni categoria agricola della carta di uso del suolo. Questo approccio, seppur semplificato, è stato ritenuto il più adatto, poiché altri approcci sarebbero stati insostenibili in termini di tempi di elaborazione, dimensioni della cartella di lavoro del software e interpretazione dei risultati.

L'output è la spazializzazione dell'indicatore Nutrient Retention nel territorio con valori assoluti di chilogrammi di nitrato annualmente confluito nel sistema delle acque correnti per pixel di riferimento.

Relativamente ai risultati che riguardano i modelli di trattenimento dei nutrienti, sottolineiamo che il loro "valore" biofisico è rappresentato dalla presenza di nutriente per pixel e pertanto all'aumentare del valore si ha una diminuzione del servizio ecosistemico reso.

Per tale motivo il loro valore è stato convertito dal simulatore al negativo nel caso di una valutazione comparativa tra scenari differenti.

Per la stima economica la valutazione associa al valore biofisico dei nitrati che confluiscono nei bacini idrici il costo di sostituzione evitato per un'equivalente depurazione artificiale. Nello specifico è stato scelto di associare il costo per la costruzione di fasce tampone boscate (64 euro/kg), poiché soluzioni in grado di attenuare naturalmente il carico di inquinanti provenienti da sorgenti diffuse, tra le più difficili da individuare e contenere. Si è scelto di non adottare il criterio di valutazione del costo evitato dell'equivalente depurazione ottenuta con mezzi meccanici e/o chimici poiché esso non considera il fenomeno delle sorgenti di inquinamento diffuso, oltre ad essere soggetto ad elevata variabilità dovuta all'elevata oscillazione dei costi dipendenti dal tipo di tecnologia adottata per la depurazione dell'acqua.

Disponibilità idrica (WY)

La disponibilità idrica è riconducibile alla funzione ecologica di filtraggio dell'acqua da parte del suolo a partire dal grado di impermeabilizzazione delle diverse tipologie d'uso.

L'individuazione delle aree maggiormente permeabili e che, per caratteristiche pedogenetiche (profondità, tessitura e capacità di assorbimento), contribuiscono maggiormente a trattenere l'acqua in seguito ad eventi piovosi costituiscono il servizio di "capacità idrica" inteso come il servizio regolativo del suolo di "stoccare" e rendere disponibile alla vegetazione superficiale notevoli quantità di acqua prima che queste scorrano superficialmente o si infiltrino per processi di ricarica degli acquiferi profondi.

Il servizio riduce la possibilità di inondazioni grazie al maggior drenaggio dei suoli. La metodologia di valutazione adottata assegna maggior valore ai suoli che maggiormente trattengono e restituiscono l'acqua in falda anziché permetterne il flusso superficiale. Il valore del servizio equivale dunque al costo del danno evitato a causa di fenomeni di piena, esondazioni e alluvioni ed è stabilito in 64 euro/mq.

I dati di input utilizzati, oltre alle mappe di uso del suolo, sono:

- Profondità media del suolo;

- Profondità media delle radici per tipologia vegetazionale;
- Precipitazioni nell'area di indagine;
- Plant Available Water Content fraction (frazione d'acqua stoccabile dal suolo – rispetto alla caratterizzazione pedogenetica – utilizzabile dalle piante);
- Evapotraspirazione di riferimento media nell'area di indagine;
- Bacino idrografico di riferimento;
- Coefficiente di evapotraspirazione potenziale per specie vegetazionali.

Trattenimento dei sedimenti (SDR)

È un SE di regolazione che considera la capacità di un suolo in buone condizioni di mitigare l'asportazione della parte superficiale del terreno (la parte più ricca di sostanza organica) a seguito dell'azione delle acque di ruscellamento superficiale e delle piogge. Per quanto il fenomeno dell'erosione idrica sia un processo naturale, questo pu subire un'accelerazione a causa di alcune attività antropiche (prevalentemente agricole, ma anche dovute ad altri processi di degrado del suolo). Ciò comporta danni alla funzionalità del suolo, alla produzione agricola e, in generale, all'ambiente. La rimozione della parte superficiale del suolo, ricca di sostanza organica, ne riduce, anche in modo rilevante, la produttività e può portare a una perdita irreversibile di terreni coltivabili nel caso di suoli poco profondi.

Il simulatore utilizza il modello di InVEST SDR (Sediment Delivery Ratio Model), che restituisce in output le mappe della capacità dei diversi usi del suolo, attuali e futuri, di evitare l'asportazione di suolo ed il suo accumulo all'interno dei corsi d'acqua. Il modello utilizza informazioni relative alla geomorfologia, clima, vegetazione e pratiche di gestione e stima la perdita annuale di suolo partendo dall'equazione matematica RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) ovvero la revisione dell'equazione USLE (Universal Soil Loss Equation) adattata ad ambiente topografici complessi:

$$V = R_i * K_i * L S_i * C_i * P_i^{25}$$

con:

V = stima del tasso di perdita di suolo medio

R_i = fattore di erosività della pioggia (MJ * mm/(ha * hr)),

K_i = fattore di erodibilità del suolo (ton * ha * hr/(MJ * ha * mm))

L S_i = fattore di pendenza

c_i = copertura del suolo

p_i = fattore di influenza del controllo artificiale

La perdita di suolo così calcolata, moltiplicata per un coefficiente di trasporto dei sedimenti (SDR) che rappresenta la quota parte di sedimenti che effettivamente raggiunge i corpi idrici, costituisce l'output del modello. Relativamente ai risultati che riguardano i modelli di trattenimento dei sedimenti, sottolineiamo che il loro "valore" biofisico è rappresentato dalla presenza di erosione per pixel e pertanto all'aumentare del valore si ha una diminuzione del servizio ecosistemico reso. Per tale motivo il loro valore è stato convertito dal simulatore al negativo nel caso di una valutazione comparativa tra scenari differenti. La carta esprime i quantitativi in termini di tonnellate di suolo eroso/pixel.

I dati di input utilizzati, oltre alle mappe di uso del suolo, sono:

- Indice di erosività della pioggia (parametro che definisce l'energia erosiva della pioggia);
- Indice di erodibilità associato alla composizione pedogenetica del suolo (parametro che dà conto della facilità con cui il suolo può venire eroso);
- Bacino idrografico di riferimento;
- Modello digitale del terreno;
- Fattore di coltivazione "c" (incidenza del tipo di lavorazione del suolo ai fini produttivi sull'erosione totale) e al fattore di erosività derivato dalla pratica colturale "p" (incidenza del tipo di pratica antierosiva associata alle tipologie colturali).

Dal momento che il modello biofisico adottato produce una mappatura di erosione potenziale dei suoli, espressa in tonnellate per pixel, si è scelto di adottare un modello di valutazione economica che associ alla qualità dei suoli soluzioni di protezione artificiali che abbiano equivalente funzionalità, come ad esempio il "costo di ripristino" della fertilità dei suoli funzionale alla protezione dall'erosione e pari a 150 euro/tonnellata.

Impollinazione (CPO)

È un SE di regolazione e approvvigionamento fondamentale per la produttività di moltissime colture dipendenti da processi naturali di impollinazione entomofila. La fecondazione delle piante e, conseguentemente, la produzione di cibo, dipendono in parte dalle specie impollinatrici selvatiche.

Quasi il 10% delle specie di api europee sono attualmente minacciate dall'estinzione: senza di esse molte specie di piante si estinguerebbero e gli attuali livelli di produttività colturale potrebbero essere mantenuti solamente ad altissimi costi attraverso processi di impollinazione artificiale. Fenomeni antropici quali l'espansione urbana, l'aumento delle infrastrutture e l'applicazione in agricoltura di pratiche non sostenibili come l'utilizzo intensivo di insetticidi e fertilizzanti, incidono fortemente sulla salute delle specie impollinatrici. Il modello Pollinator Abundance - Crop Pollination di InVEST che viene ripreso nel simulatore restituisce come output mappe relative al contributo degli impollinatori selvatici alla produzione agricola in funzione dell'attuale configurazione del paesaggio e degli usi del suolo.

I dati inseriti oltre alle mappe dell'uso del suolo sono:

- Caratteristiche delle specie impollinatrici in relazione alle classi di copertura del suolo e possibile presenza/assenza di particolari essenze vegetali
- Caratteristiche delle classi di copertura del suolo relativamente alla disponibilità di luoghi ospitali ai vari impollinatori.

Sono richieste diverse caratteristiche per ciascuna specie di impollinatori considerata: la tipologia di nidificazione, il periodo di attività di impollinazione e il range di volo poiché influenza il servizio offerto alle colture. Ad ogni categoria di uso del suolo viene inoltre associato un valore che indica l'abbondanza di fiori nei vari periodi dell'anno (con valori compresi fra 0 e 1) e un altro che indica la disponibilità ad ospitare le varie specie in base alla tipologia di nidificazione.

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

Le elaborazioni partono dalla stima dell'abbondanza delle specie impollinatrici nelle varie celle del raster di uso e copertura del suolo, basata sulla disponibilità di luoghi adatti alla nidificazione e al cibo (fiori) nelle celle adiacenti. Il risultato è una mappa di abbondanza con valori compresi tra 0 e 1 per ciascuna specie, che rappresenta la potenziale disponibilità di impollinatori per un'area agricola da impollinare. Il modello utilizza per le aree ad uso agricolo un calcolo dell'abbondanza delle specie a partire dal dato sul range di volo.

Il servizio è inteso come surplus al valore di produttività agricola garantito dalla presenza di specie impollinatrici. L'output è costituito dalla spazializzazione dell'indicatore crop pollination nel territorio con valori assoluti di presenza di specie impollinatrici nelle aree agricole oggetto del servizio di impollinazione (N.api/pixel). La valutazione economica (226 euro/ha) è derivata dal grado di dipendenza delle coltivazioni dall'impollinazione: si valuta il fattore percentuale di vulnerabilità del valore complessivo delle colture rispetto ai benefici dovuti dall'impollinazione e lo si moltiplica per la presenza di api per singolo habitat.

5 LA VALUTAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI NELL'AREA DI PROGETTO

Attraverso la simulazione SimulSoil descritta precedentemente, è stato calcolato il valore ecologico ante operam in corrispondenza progetto eolico denominato "Foggia" ricadente nel comune di Manfredonia (FG) usando come repertori di input la carta dell'uso del suolo della Regione Puglia, riferita all'anno 2011 e quindi più conservativa rispetto allo stato attuale dell'utilizzo dei suoli, inoltre le destinazioni d'uso, per disponibilità di scelta del programma sono state assegnate come aree impermeabili, generando quindi un'analisi molto cautelativa.

Ciò premesso, a seguire si determina la perdita economica specifica (espressa in €/mq) per il parco eolico, come differenza tra lo stato ante e quello post operam.

Simulazione del valore Ecologico ante operam del sito di installazione

SIMULAZIONI	Valori attuali [T0]		Valori previsti [T2]	
	Biofisico	Economico	Biofisico	Economico
CS - Stoccaggio di carbonio [t]	535,92	53.591,92 €	489,21	48.921,07 €
CPO - Impollinazione [0-1]	0,17	1.588,38 €	0,15	1.452,79 €
HQ - Qualità degli habitat [0-1]	0,30	2.526,69 €	0,28	2.379,88 €
NR - Trattenimento dei nutrienti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
SDR - Trattenimento dei sedimenti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
WY - Disponibilità idrica [l]	448,87	5,66 €	409,82	5,16 €
CPR - Produzione agricola [€]	214.145,76	214.145,76 €	195.476,24	195.476,24 €
TP - Produzione legnosa [€]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €

SIMULAZIONI	Valori attuali [T0]		Valori previsti [T2]	
	Biofisico	Economico	Biofisico	Economico
CS - Stoccaggio di carbonio [t]	437,59	43.758,54 €	395,79	39.579,36 €
CPO - Impollinazione [0-1]	0,16	1.283,97 €	0,15	1.163,81 €
HQ - Qualità degli habitat [0-1]	0,30	2.063,07 €	0,28	1.931,72 €
NR - Trattenimento dei nutrienti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
SDR - Trattenimento dei sedimenti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
WY - Disponibilità idrica [l]	484,12	6,10 €	438,83	5,53 €
CPR - Produzione agricola [€]	174.852,96	174.852,96 €	158.149,44	158.149,44 €
TP - Produzione legnosa [€]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

SIMULAZIONI	Valori attuali [T0]		Valori previsti [T2]	
	Biofisico	Economico	Biofisico	Economico
CS - Stoccaggio di carbonio [t]	481,84	48.183,57 €	442,50	44.250,21 €
CPO - Impollinazione [0-1]	0,17	1.440,10 €	0,15	1.325,04 €
HQ - Qualità degli habitat [0-1]	0,30	2.271,70 €	0,28	2.148,07 €
NR - Trattenimento dei nutrienti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
SDR - Trattenimento dei sedimenti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
WY - Disponibilità idrica [l]	498,58	6,28 €	457,95	5,77 €
CPR - Produzione agricola [€]	192.534,72	192.534,72 €	176.815,52	176.815,52 €
TP - Produzione legnosa [€]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €

SIMULAZIONI	Valori attuali [T0]		Valori previsti [T2]	
	Biofisico	Economico	Biofisico	Economico
CS - Stoccaggio di carbonio [t]	346,63	34.662,67 €	302,38	30.237,65 €
CPO - Impollinazione [0-1]	0,15	951,82 €	0,13	831,95 €
HQ - Qualità degli habitat [0-1]	0,30	1.634,23 €	0,27	1.495,15 €
NR - Trattenimento dei nutrienti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
SDR - Trattenimento dei sedimenti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
WY - Disponibilità idrica [l]	479,77	6,05 €	418,52	5,27 €
CPR - Produzione agricola [€]	138.507,12	138.507,12 €	120.820,08	120.820,08 €
TP - Produzione legnosa [€]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €

SIMULAZIONI	Valori attuali [T0]		Valori previsti [T2]	
	Biofisico	Economico	Biofisico	Economico
CS - Stoccaggio di carbonio [t]	358,92	35.891,84 €	307,29	30.729,31 €
CPO - Impollinazione [0-1]	0,16	1.027,75 €	0,14	882,22 €
HQ - Qualità degli habitat [0-1]	0,30	1.692,18 €	0,27	1.529,92 €
NR - Trattenimento dei nutrienti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
SDR - Trattenimento dei sedimenti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
WY - Disponibilità idrica [l]	475,95	6,00 €	405,64	5,11 €
CPR - Produzione agricola [€]	143.418,72	143.418,72 €	122.786,00	122.786,00 €
TP - Produzione legnosa [€]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

SIMULAZIONI	Valori attuali [T0]		Valori previsti [T2]	
	Biofisico	Economico	Biofisico	Economico
CS - Stoccaggio di carbonio [t]	698,17	69.817,00 €	649,00	64.900,31 €
CPO - Impollinazione [0-1]	0,16	2.068,04 €	0,15	1.925,98 €
HQ - Qualità degli habitat [0-1]	0,30	3.291,65 €	0,29	3.137,11 €
NR - Trattenimento dei nutrienti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
SDR - Trattenimento dei sedimenti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
WY - Disponibilità idrica [l]	453,23	5,71 €	420,17	5,29 €
CPR - Produzione agricola [€]	278.978,88	278.978,88 €	259.326,08	259.326,08 €
TP - Produzione legnosa [€]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €

SIMULAZIONI	Valori attuali [T0]		Valori previsti [T2]	
	Biofisico	Economico	Biofisico	Economico
CS - Stoccaggio di carbonio [t]	383,50	38.350,18 €	334,33	33.433,49 €
CPO - Impollinazione [0-1]	0,17	1.152,11 €	0,15	1.006,35 €
HQ - Qualità degli habitat [0-1]	0,30	1.808,09 €	0,27	1.653,55 €
NR - Trattenimento dei nutrienti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
SDR - Trattenimento dei sedimenti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
WY - Disponibilità idrica [l]	502,56	6,33 €	438,13	5,52 €
CPR - Produzione agricola [€]	153.241,92	153.241,92 €	133.592,16	133.592,16 €
TP - Produzione legnosa [€]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €

SIMULAZIONI	Valori attuali [T0]		Valori previsti [T2]	
	Biofisico	Economico	Biofisico	Economico
CS - Stoccaggio di carbonio [t]	186,83	18.683,42 €	142,58	14.258,40 €
CPO - Impollinazione [0-1]	0,14	482,39 €	0,11	368,53 €
HQ - Qualità degli habitat [0-1]	0,30	880,86 €	0,25	741,78 €
NR - Trattenimento dei nutrienti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
SDR - Trattenimento dei sedimenti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
WY - Disponibilità idrica [l]	243,09	3,06 €	174,53	2,20 €
CPR - Produzione agricola [€]	74.656,32	74.656,32 €	56.972,64	56.972,64 €
TP - Produzione legnosa [€]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

SIMULAZIONI	Valori attuali [T0]		Valori previsti [T2]	
	Biofisico	Economico	Biofisico	Economico
CS - Stoccaggio di carbonio [t]	309,75	30.975,15 €	260,58	26.058,46 €
CPO - Impollinazione [0-1]	0,16	892,97 €	0,14	753,44 €
HQ - Qualità degli habitat [0-1]	0,30	1.460,38 €	0,27	1.305,84 €
NR - Trattenimento dei nutrienti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
SDR - Trattenimento dei sedimenti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
WY - Disponibilità idrica [l]	473,81	5,97 €	404,18	5,09 €
CPR - Produzione agricola [€]	123.772,32	123.772,32 €	104.121,36	104.121,36 €
TP - Produzione legnosa [€]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €

SIMULAZIONI	Valori attuali [T0]		Valori previsti [T2]	
	Biofisico	Economico	Biofisico	Economico
CS - Stoccaggio di carbonio [t]	435,13	43.512,71 €	390,88	39.087,69 €
CPO - Impollinazione [0-1]	0,16	1.276,46 €	0,15	1.149,44 €
HQ - Qualità degli habitat [0-1]	0,30	2.051,48 €	0,28	1.912,40 €
NR - Trattenimento dei nutrienti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
SDR - Trattenimento dei sedimenti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
WY - Disponibilità idrica [l]	471,17	5,94 €	422,64	5,33 €
CPR - Produzione agricola [€]	173.870,64	173.870,64 €	156.184,80	156.184,80 €
TP - Produzione legnosa [€]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €

SIMULAZIONI	Valori attuali [T0]		Valori previsti [T2]	
	Biofisico	Economico	Biofisico	Economico
CS - Stoccaggio di carbonio [t]	496,59	49.658,57 €	457,25	45.725,22 €
CPO - Impollinazione [0-1]	0,17	1.474,10 €	0,15	1.359,75 €
HQ - Qualità degli habitat [0-1]	0,30	2.341,24 €	0,28	2.217,61 €
NR - Trattenimento dei nutrienti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
SDR - Trattenimento dei sedimenti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
WY - Disponibilità idrica [l]	497,20	6,26 €	457,79	5,77 €
CPR - Produzione agricola [€]	198.428,64	198.428,64 €	182.704,96	182.704,96 €
TP - Produzione legnosa [€]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

SIMULAZIONI	Valori attuali [T0]		Valori previsti [T2]	
	Biofisico	Economico	Biofisico	Economico
CS - Stoccaggio di carbonio [t]	376,13	37.612,68 €	331,88	33.187,66 €
CPO - Impollinazione [0-1]	0,16	1.098,36 €	0,14	971,67 €
HQ - Qualità degli habitat [0-1]	0,30	1.773,32 €	0,28	1.634,23 €
NR - Trattenimento dei nutrienti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
SDR - Trattenimento dei sedimenti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
WY - Disponibilità idrica [l]	443,66	5,59 €	391,13	4,93 €
CPR - Produzione agricola [€]	150.294,96	150.294,96 €	132.608,16	132.608,16 €
TP - Produzione legnosa [€]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €

46

Figure 15 | Simulazione WTG da 1 a 12

SIMULAZIONI	Valori attuali [T0]		Valori previsti [T2]	
	Biofisico	Economico	Biofisico	Economico
CS - Stoccaggio di carbonio [t]	968,59	96.858,80 €	921,88	92.187,94 €
CPO - Impollinazione [0-1]	0,16	2.780,50 €	0,15	2.654,12 €
HQ - Qualità degli habitat [0-1]	0,30	4.566,58 €	0,29	4.419,77 €
NR - Trattenimento dei nutrienti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
SDR - Trattenimento dei sedimenti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
WY - Disponibilità idrica [l]	479,59	6,04 €	456,45	5,75 €
CPR - Produzione agricola [€]	387.034,08	387.034,08 €	368.358,48	368.358,48 €
TP - Produzione legnosa [€]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €

Figure 16 | Simulazione Stazione 36/30 kV

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

SIMULAZIONI	Valori attuali [T0]		Valori previsti [T2]	
	Biofisico	Economico	Biofisico	Economico
CS - Stoccaggio di carbonio [t]	621,96	62.196,13 €	226,17	22.616,78 €
CPO - Impollinazione [0-1]	0,16	1.824,11 €	0,06	674,99 €
HQ - Qualità degli habitat [0-1]	0,30	2.932,35 €	0,17	1.688,32 €
NR - Trattenimento dei nutrienti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
SDR - Trattenimento dei sedimenti [t]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €
WY - Disponibilità idrica [l]	482,95	6,09 €	161,64	2,04 €
CPR - Produzione agricola [€]	248.526,96	248.526,96 €	90.371,60	90.371,60 €
TP - Produzione legnosa [€]	0,00	0,00 €	0,00	0,00 €

Figure 17 | Simulazione Stazione 380/36 kV

Data la natura dell'opera e della sua localizzazione non si è considerata la Produzione Agricola, poiché le perdite ecosistemiche sono di tipo reversibile e recuperabili con l'attività agricola sui terreni, garantite dopo le attività di dismissione dell'impianto.

5.1 CALCOLO VARIAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI ANTE/POST OPERAM

Il simulatore SimulSoil attribuisce alla trasformazione del suolo in proposta un valore di perdita del parco eolico pari a **4.40 €/mq y**, con un'incidenza maggiore ricoperta dalla produzione agricola (CPR).

Moltiplicando la perdita specifica (€/mq) per le superfici del parco eolico (7.200 mq/WTG x 13 WTG = 93.600 mq), si calcola che la realizzazione dell'opera comporterà una perdita annua di servizi ecosistemici **pari a 411.840,00 €/y**.

L'impianto eolico produrrà circa 166070 MWh/y di energia e sarà realizzato in un unico lotto.

Sulla base della producibilità annua si stimano le seguenti quantità di emissione evitate suddivise per tipologia di inquinante (Anidride carbonica CO₂, Anidride Solforosa SiO₂ e ossidi di azoto NO_x).

Mancate emissioni di inquinanti			
Produzione (MWh/anno)	Inquinante	Fattore di emissione specifico (g/kWh)	Mancate emissioni (t/anno)
166070	CO ₂	464,80	77189,336
	SO ₂	1,40	0,232
	NO _x	1,90	0,315

Tabella 10 | Mancate emissioni di inquinanti

Volendo attribuire un valore economico marginale a tale contributo, si considera il valore medio dei titoli di CO₂ scambiati nel sistema europeo delle emissioni EU ETS (European Emissions Trading Scheme) nel corso del 2019, pari a 24,75 €/ton CO₂; pertanto, il beneficio ambientale determinato dalle mancate emissioni di CO₂ è pertanto stimato pari a **1.910.436,07 €/y**.

Progetto dell'impianto eolico denominato "Foggia" della potenza complessiva di 79,20 MW da realizzarsi nel Comune di Manfredonia (FG).

5.2 BILANCIO TRA BENEFICI E COSTI AMBIENTALI

Il beneficio ambientale determinato dalle mancate emissioni di CO₂ di **+1.910.436,07 €/anno**, compensa le perdite dovute alla contrazione dei sistemi ecosistemici, pari a **-411.840,000 €/anno**.

La stima economica dei benefici ambientali del resto è ampiamente sottostimata, là dove non considera i costi sanitari, soprattutto, dovuti alle morti premature e all'insorgere di determinate malattie cardiovascolari e respiratorie provocate dall'inquinamento atmosferico delle centrali termoelettriche, oltre ai costi ecologici per contrastare gli effetti più rovinosi dei cambiamenti climatici, attraverso bonifiche ambientali, ripristino di ecosistemi danneggiati, eccetera.

Come dimostrato, il decremento dei costi ecologici delle opere in progetto è attribuibile alla riduzione della capacità di assorbimento del Carbonio (CS) che è compensata ampiamente dalle emissioni evitate e per la restante parte attribuibile alle perdite della produzione agricola (Cpr).

In una lettura ecosistemica del progetto pertanto è corretto compensare i costi ambientali con il valore delle emissioni evitate di CO₂ dovute alla produzione di energia elettrica rinnovabile.

Se si considera che gli spazi utilizzati per l'installazione non sono né "consumati" e nemmeno "impermeabilizzati", per ciò che riguarda la mancata Produzione Agricola in fase di simulazione, e posto che le perdite ecosistemiche sono di tipo reversibile e recuperabili con l'utilizzo delle attività agricole sui terreni, garantite dopo le attività di dismissione dell'impianto.

Inoltre, in un territorio altamente sovrasfruttato dal punto di vista dell'utilizzo del suolo, delle acque superficiali e sotterranee, un ipotetico riposo di parte del terreno per circa 25 - 30 anni non può che favorire un recupero delle funzionalità del suolo e generare un minor impatto dovuto all'utilizzo di prodotti fitosanitari in agricoltura.

Premettendo che, l'associazione di un valore economico ad un beneficio ambientale si riferisce sempre ad un valore "marginale" e non "totale", poiché il valore complessivo del Capitale Naturale non è quantificabile e che le voci economiche utilizzate nel bilancio non sono da considerare il "prezzo" del Capitale Naturale, ma piuttosto la stima parametrica del possibile valore monetario di alcuni servizi ecosistemici, l'analisi condotta ha consentito di confrontare scenari e conseguenze dovute alla realizzazione delle opere in progetto, concludendo con un bilancio ecologico certamente positivo. Le perdite ecosistemiche sono ampiamente ripagate dai vantaggi ambientali generati in termini di mancate emissioni di CO₂.