

REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI FOGGIA

PROGETTO PRELIMINARE PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE
DI ENERGIA ELETTRICA OFFSHORE DA FONTE EOLICA

Sezione 5:

RELAZIONI ED ELABORATI SPECIALISTICI

Titolo elaborato:

RELAZIONE SULLA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO DELL'IMPIANTO

N. Elaborato: **5.6**

Scala: -

Committente

WIND ENERGY MANFREDONIA S.r.l.

Viale Città d'Europa n° 780 Roma (RM)

P.IVA 16873531004

Pec: windenergymanfredonia@pec.it

Progettazione



sede legale e operativa

San Martino Sannita (BN) Località Chianarile snc, Area industriale

sede operativa

Lucera (FG) via Alfonso La Cava 114

P.IVA 01465940623

Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873

Legale rappresentante

Nando Zaccagnini



Progettista

Dott. Ing. Massimo Lepore

Esperto in Acustica, iscritto nell'Elenco Nazionale dei Tecnici Competenti in Acustica "ENTECA" al n.8866, riconosciuto con **DDR Regione Campania 1396/2007, (rif. n°653/07)** in accordo alla legge 447/95 e DPCM 31/03/98, iscritto all'**Ordine degli Ingegneri della Provincia di Benevento al n°1394**.




Rev.	Data	Elaborazione	Approvazione	Emissione	DESCRIZIONE
00	Giugno 2023	PI sigla	ML sigla	ML sigla	Progetto preliminare

Nome File sorgente	PP.OW.MFD01.5.6.R00.doc	Nome file stampa	PP.OW.MFD01.5.6.R00.pdf	Formato di stampa	A4
--------------------	-------------------------	------------------	-------------------------	-------------------	----

INDICE

1	PREMESSA	8
2	IMPATTO ACUSTICO AEREO	9
2.1	MECCANISMI DI GENERAZIONE DEL RUMORE DELLE TURBINE EOLICHE	9
2.1.1	RUMORI DI ORIGINE MECCANICA	9
2.1.2	RUMORE AERODINAMICO	9
2.1.3	GLI INFRASUONI	10
2.2	RUMORE RESIDUO E VELOCITÀ DEL VENTO	11
2.3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	12
2.3.1	DPCM 1 MARZO 1991	12
2.3.2	LEGGE QUADRO 447/1995	14
2.3.3	DPCM 14/11/1997	15
2.4	IL CASO STUDIO	16
2.4.1	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	16
2.4.2	DESCRIZIONE GENERALE	16
2.4.3	CARATTERISTICHE DELLE SORGENTI IN ESAME	18
2.5	METODOLOGIA DI CARATTERIZZAZIONE DEL CLIMA ACUSTICO	20
2.5.1	DATI DI INPUT	20
2.5.2	MAPPA DI PROPAGAZIONE DEL RUMORE	21
3	IMPATTO ACUSTICO SOTTOMARINO	22
3.1	LINEE GUIDA E STANDARD DI RIFERIMENTO	22
3.2	FONDAMENTI DI ACUSTICA SUBACQUEA	23
3.3	CARATTERISTICHE DEL RUMORE SUBACQUEO E SPECIE MARINE	26
3.4	FASI DI UN PROGETTO EOLICO OFFSHORE	27
3.4.1	PIANIFICAZIONE	27
3.4.2	INSTALLAZIONE	28
3.4.3	FUNZIONAMENTO	31
3.4.4	SMANTELLAMENTO	31
3.5	METODOLOGIA DI ANALISI	32
3.5.1	SORGENTI E LIVELLI DI RUMORE	32
3.5.2	MODELLO DI PROPAGAZIONE DEL SUONO	32
3.5.3	METODO PER LA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI	35
3.5.4	MAMMIFERI E TARTARUGHE MARINE	36
3.6	STRATEGIE DI MITIGAZIONE	39

	RELAZIONE SULLA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO DELL'IMPIANTO	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	PP.OW.MFD01.5.6.R00 00 01/02/2023 3 di 44
---	--	--	--

3.7	RISULTATI	41
4	CONCLUSIONI	42
	BIBLIOGRAFIA	44

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Flussi di aria intorno al profilo alare di una turbina eolica.....	10
Figura 2: Confronto tra l'andamento reale del rumore residuo in funzione della velocità del vento e la curva logaritmica che teoricamente descrive meglio tale dipendenza.....	11
Figura 1: Inquadramento geografico dell'area di impianto su ortofoto.....	16
Figura 4: Schema generale del parco eolico galleggiante.....	17
Figura 5: Layout di impianto su ortofoto.....	17
Figura 6: Caratteristiche emissive delle sorgenti sonore ad altezza mozzo.....	19
Figura 7: Definizione dell'area a rugosità 0 intorno all'impianto.....	20
Figura 8: Mappa di propagazione del rumore nell'area circostante quella di impianto.....	21
Figura 9: Elenco dei Paesi o delle Organizzazioni che dispongono di normative e/o linee guida sul rumore sottomarino.....	23
Figura 10: Livelli sonori tipici dei rumori del fondo del mare a diverse frequenze.....	24
Figura 11: Strumenti di indagine dei rilievi geofisici.....	27
Figura 12: Livelli di pressione sonora e intervalli di frequenza operativa per varie apparecchiature utilizzate per rilievi geofisici.....	28
Figura 13: Spettrogramma della forma d'onda (a) e dei segnali impulsivi (b) – Rhode Island. Propagazione del rumore di un monopalo (c) – Mar Baltico.....	30

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Limiti massimi dei livelli sonori equivalenti fissati in relazione alla diversa destinazione d'uso del territorio (DCPM 01/03/91)	13
Tabella 2: Classificazione del territorio in relazione alla sua diversa destinazione d'uso	13
Tabella 3: Limiti di accettabilità	13
Tabella 4: - Valori limite, di qualità e di attenzione introdotti dalla legge 447/95	14
Tabella 5: valori limite del DPCM 14/11/97 - Leq in dB(A).....	15
Tabella 6: Coordinate, tipologia e caratteristiche principali dell'aerogeneratore di progetto	18
Tabella 7: Distribuzione delle specie di cetacei nel Mare Adriatico	36
Tabella 8: Distribuzione e stato di conservazione delle tartarughe marine nel Mar Mediterraneo	37
Tabella 9: Capacità uditive funzionali dei cetacei [14].	37
Tabella 10: Valori soglia per mammiferi marini – rumore in grado di causare le prime risposte significative	38
Tabella 11: Valori soglia per mammiferi marini – rumore in grado di causare PTS e TTS	38
Tabella 12: Misure di mitigazione comunemente utilizzate per fondazioni fisse offshore.	39
Tabella 13: Misure di mitigazione dei segnali acustici emessi da imbarcazioni a motore.	40
Tabella 14: Misure di mitigazione dei segnali acustici emessi da imbarcazioni a motore.	41

ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

AT	Alta tensione
BESS	Battery Energy Storage Systems
BT	Bassa Tensione
MT	Media tensione
RTN	Rete Trasmissione Nazionale
DPCM	Decreto Presidente del Consiglio dei Ministri
DC	Direct Current
MPPT	Maximum Power Point Tracker
PWT	Pulse Width Modulation
BMS	Battery Management System
PCS	Power Conversion unit
BPU	Battery Protection Unit
EMS	Energy Management System
HVAC	Heating Ventilation and Air Conditioning
DGM	Digital Ground Model
ACCOBAMS	Agreement on the Conservation of Cetaceans of the Black Sea, Mediterranean Sea and Contiguous Atlantic Area
ASCOBAMS	Agreement on the Conservation of Small Cetaceans of the Baltic, North East Atlantic, Irish and North Seas
CCAMLR	Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources
HELCOM	Baltic Marine Environment Protection Commission
IMO	International Maritime Organization
NATO	North Atlantic Treaty Organization
OSPAR	<u>Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic</u>
SPL	Sound Pressure Level
TTS	Transient Threshold Shift
PTS	Permanent Threshold Shift
SEL	Single Event Level
CPU	Central processing Unit
RAM	Random Acces Memory
PE	Equazione parabolica standard di Fourier
VHF	Very High Frequencies
HF	High Frequencies
LF	Low Frequencies
IUCN	International Union for Conservation of Nature



**RELAZIONE SULLA VALUTAZIONE
DELL'IMPATTO ACUSTICO
DELL'IMPIANTO**

Codice
Revisione
Data di creazione
Data revisione
Pagina

PP.OW.MFD01.5.6.R00
00
01/02/2023
7 di 44

CTVA	Commissione Tecnica di Valutazione Ambientale
MATTM	Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
MEPC	Marine Environment Protection Committee

1 PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di effettuare una stima previsionale di impatto acustico generato dalla realizzazione di un impianto eolico offshore. L'analisi sarà effettuata sia dal punto di vista del rumore aereo generato dalle turbine e dalle apparecchiature che compongono l'impianto, sia dal punto di vista del rumore subacqueo che le attività di installazione comportano, in particolar modo per le strutture a fondazione fissa (sottostazione offshore).

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico offshore con tecnologia floating dislocato oltre le 12 miglia, circa 37 km ad est dalle coste del Comune di Vieste nella porzione di mare ricadente all'interno della ZEE (Zona Economica Esclusiva) italiana.

Proponente dell'iniziativa è la società Wind Energy Manfredonia S.r.l. con sede in Viale Città d'Europa n°780, Roma.

L'impianto è costituito da 55 aerogeneratori modello Vestas V236 di potenza unitaria pari a 15 MW, diametro del rotore di 236 m e altezza al mozzo 150 m, per una potenza totale di impianto di 825 MW. Gli aerogeneratori sono collegati tra loro e alla stazione di trasformazione offshore, che in questa prima fase viene prevista con fondazione fissa (struttura tipo Jacket), attraverso cavi marini inter-array in alta tensione a 66 kV. Dalla stazione di trasformazione offshore 66/220 kV l'energia elettrica viene trasferita mediante l'elettrodotto marino 220 kV fino al punto di approdo dove sarà realizzata la giunzione cavo marino-terrestre.

L'elettrodotto terrestre 220 kV raggiunge, poi, la stazione di trasformazione di utenza onshore 220/380 kV che sarà realizzata in prossimità della stazione elettrica Terna "Manfredonia".

Dalla stazione di utenza parte l'elettrodotto 380 kV che consente il collegamento in antenna sull'ampliamento della SE RTN 380/150 kV di "Manfredonia".

2 IMPATTO ACUSTICO AEREO

L'impatto acustico "tradizionale", ovvero quello generato dalle sorgenti di progetto e trasmissibile per via aerea, recepito da recettori sensibili quali abitazioni, luoghi di frequentazione pubblica o similari non costituiscono un reale problema in quanto, sebbene le sorgenti abbiano un'emissione elevata, eventuali recettori sono posti a notevoli distanze. È comunque opportuno illustrare il clima acustico risultante.

2.1 Meccanismi di generazione del rumore delle turbine eoliche

Le fonti di rumore degli aerogeneratori possono essere divise in due categorie:

1. rumori di origine meccanica, generati dai componenti in movimento della turbina.
2. rumori aerodinamici, prodotti dal flusso di aria sulle pale.

2.1.1 Rumori di origine meccanica

I rumori di natura meccanica sono causati dall'interazione di tutte le parti meccaniche in movimento relativo. Le fonti di tali rumori sono:

- moltiplicatore di giri;
- generatore;
- azionamenti del meccanismo di imbardata (yaw control);
- ventilatori;
- apparecchiature ausiliarie (per esempio, la parte idraulica).

Il rumore meccanico emesso dalla rotazione di parti meccaniche ed elettriche tende ad essere di tipo tonale, anche se può contenere una componente a banda larga. Ad esempio, nel caso di alberi di rotazione si possono riscontrare i toni puri proprio alla frequenza di rotazione. Inoltre, il mozzo, il rotore e la torre possono fungere da altoparlanti, trasmettendo ed irradiando il rumore. La trasmissione del rumore può essere di tipo "airborne", nel caso sia direttamente propagato nell'aria oppure di tipo "structure-borne" se il rumore è trasmesso lungo altri componenti strutturali prima di essere irradiato nell'aria.

Si noti che la fonte principale dei rumori meccanici in questo esempio è il moltiplicatore di giri, che irradia dalle superfici della navicella e dal carter del dispositivo.

2.1.2 Rumore aerodinamico

Il rumore a banda larga aerodinamico è la componente più importante delle emissioni acustiche di un aerogeneratore ed è generato dall'interazione del flusso d'aria con le pale. L'interazione del flusso d'aria con le pale genera complessi fenomeni aerodinamici ciascuno dei quali è in grado di generare uno specifico rumore. Il rumore aerodinamico aumenta generalmente con la velocità del rotore. I vari meccanismi aerodinamici di generazione dei rumori sono divisi in tre gruppi:

- 1. Rumore a bassa frequenza:** Il rumore aerodinamico nella parte a bassa frequenza dello spettro è generato dalla perdita di portanza delle pale per separazione del flusso dalle superfici aerodinamiche a causa della turbolenza di scia delle altre pale o delle torri, nel caso di rotore sottovento, o per repentini cambiamenti della velocità.
- 2. Rumore generato dalle turbolenze:** dipende dalla turbolenza atmosferica che provoca fluttuazioni localizzate di pressione intorno alla pala.
- 3. Rumore generato dal profilo alare:** la corrente d'aria che fluisce lungo il profilo aerodinamico delle pale genera un rumore che tipicamente è a banda larga ma può presentare componenti tonali dovute alla presenza di spigoli smussati, fessure o fori.

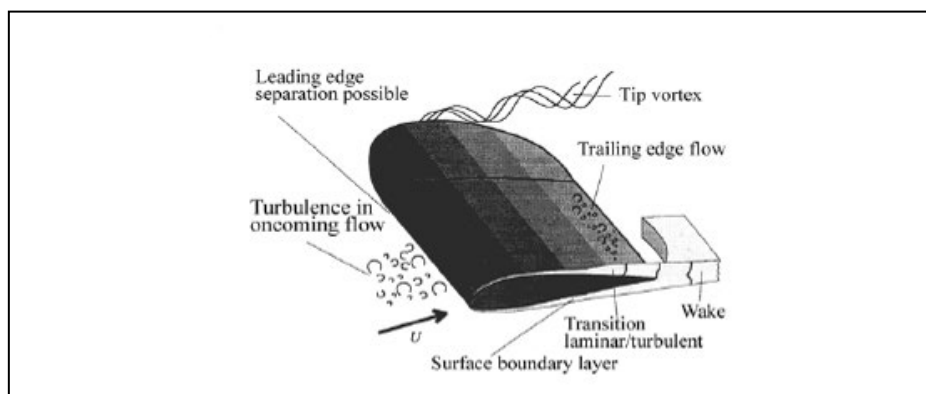


Figura 1: Flussi di aria intorno al profilo alare di una turbina eolica.

2.1.3 Gli infrasuoni

Gli infrasuoni sono presenti solo con i rotori sottovento, configurazione in disuso in quanto la soluzione del rotore sopravento si è rivelata molto più vantaggiosa per diversi aspetti. I moderni rotori sopravento emettono un rumore essenzialmente in banda larga, caratterizzato maggiormente da basse frequenze e un ridotto contenuto di infrasuoni. Il caratteristico rumore di "swishing" non contiene basse frequenze, come potrebbe sembrare, in quanto è causato da una modulazione di ampiezza delle alte frequenze generate dai vortici di estremità palare.

Per minimizzare il rumore meccanico vengono adottati una serie di accorgimenti costruttivi alcuni dei quali sono elencati di seguito:

- rifinitura speciale dei denti degli ingranaggi;
- minimizzare la possibilità di trasmissione del rumore lungo la torre;
- utilizzare ventilatori a bassa velocità;
- installare componenti meccanici nella navicella anziché al livello del suolo;
- isolare acusticamente la navicella per mezzo di smorzatori.

2.2 Rumore residuo e velocità del vento

La capacità di percepire il rumore di un aerogeneratore in una data installazione dipende dal livello sonoro del rumore residuo presente nell'ambiente. Infatti, quando il rumore generato dalla turbina e quello residuo sono dello stesso ordine di grandezza, il rumore della turbina tende a perdersi in quello residuo. Fonti del rumore residuo sono sia l'interazione del vento con l'orografia, la vegetazione e le costruzioni, sia la presenza di attività umane quali traffico, industrie, agricoltura e simili. Il suo livello sonoro dipende dunque da velocità e direzione del vento e dalla quantità di attività umana e quindi dall'ora del giorno in cui le attività sono più o meno concentrate. In generale il contributo del rumore del vento al rumore residuo aumenta all'aumentare della sua velocità. Ad esempio, la misura del livello del rumore residuo eseguita il 10 marzo 1992 nelle vicinanze della High School in Massachusetts, mostra un livello di rumore variabile da 42 a 48 dB(A) corrispondente ad una variazione della velocità del vento da 5 a 9 mph (2 - 4 m/s). Anche il livello di emissione del rumore della turbina aumenta con la velocità del vento. Quindi il superamento del livello sonoro residuo da parte di quello della turbina dipende da come ciascuno di questi varia con la velocità del vento. La pressione sonora a banda larga pesata A, generata dall'impatto del vento sull'ambiente rurale, è stata indicata essere approssimativamente proporzionale al logaritmo in base 10 della velocità del vento:

$$L_{A,eq} \propto \log_{10}(U)$$

Il contributo del vento al rumore residuo tende ad aumentare rapidamente con la velocità del vento. Per esempio, durante una valutazione acustica per il progetto Madison (NY) Windpower, in una tranquilla area rurale, il rumore residuo misurato è stato di 25 dB(A) durante gli stati di calma del vento e 42 dB(A) quando il vento era 12 mph (5,4 m/s). Come mostrato nel grafico seguente, l'emissione sonora aumenta con la velocità del vento.

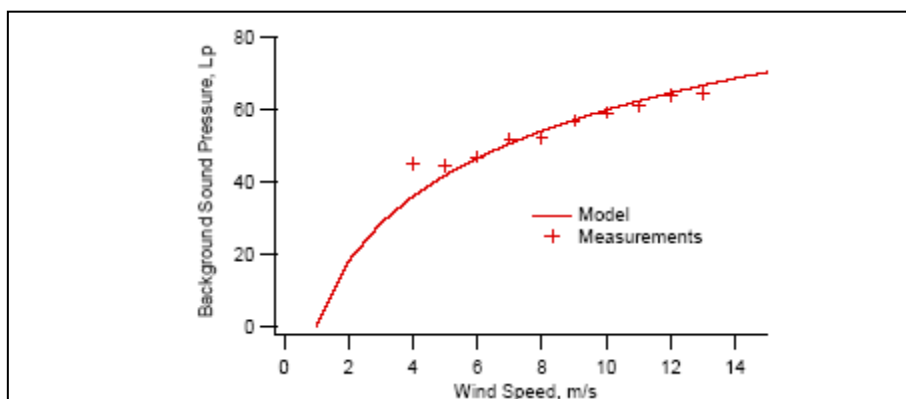



Figura 2: Confronto tra l'andamento reale del rumore residuo in funzione della velocità del vento e la curva logaritmica che teoricamente descrive meglio tale dipendenza.

Le macchine più recenti sono attualmente caratterizzate da livelli di potenza sonora dell'ordine di 100 - 120 dB(A). In relazione alle specifiche caratteristiche del sito, è possibile ottimizzare la macchina al fine

	RELAZIONE SULLA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO DELL'IMPIANTO	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	PP.OW.MFD01.5.6.R00 00 01/02/2023 12 di 44
---	--	--	---

di ottenere un basso livello di emissione sonora, con penalizzazioni molto modeste sul fronte delle prestazioni.

2.3 Normativa di riferimento

Come già anticipato, il presente progetto riguarda un impianto eolico offshore le cui fonti di rumore si a notevole distanza dalla costa e quindi non risultano essere impattanti, dal punto di vista del rumore ambientale, rispetto ad eventuali recettori antropici. Si è scelto quindi di fornire dei brevi cenni ai criteri per la valutazione del rumore ambientale, e alle principali normative introdotte negli anni su base nazionale che fissano i limiti di accettabilità.

Per la valutazione e/o la previsione del rumore ambientale esistono due criteri di riferimento:

- il criterio assoluto;
- il criterio differenziale.

Il primo criterio è basato sulla descrizione del territorio in base alle caratteristiche urbanistiche e abitative. Per ogni zona individuata, vengono definiti i limiti massimi ammissibili per il periodo diurno e notturno da non superare. L'applicazione di tale criterio riguarda l'ambiente aperto.

Il criterio differenziale invece comporta la definizione di due diverse condizioni di rumore: il rumore ambientale, ossia quello dipendente da una sorgente specifica di rumore, ed il rumore residuo, che descrive la rumorosità complessiva, con l'esclusione della sorgente specifica. La situazione viene definita tollerabile, se la differenza dei rumori corrispondenti alle due condizioni non supera un determinato valore numerico espresso in decibel, con ponderazione A, in genere differente per il periodo diurno e notturno. Questo criterio trova applicazione, in genere, negli ambienti abitativi.

2.3.1 DPCM 1 Marzo 1991

Il primo atto legislativo a livello nazionale, in attesa della successiva legge quadro, relativo all'inquinamento acustico negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno è stato il DPCM 01/03/1991. Costituito da 6 articoli, esso detta apposite definizioni tecniche per l'applicazione del decreto stesso, stabilisce i limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno e determina le modalità e la strumentazione da impiegare per la misura del rumore. Inoltre tale decreto opera una classificazione del territorio in 6 zone in base alla diversa destinazione d'uso e alla rumorosità intrinseca e per ciascuna zona fissa i limiti massimi dei livelli sonori equivalenti. Tale classificazione deve essere adottata dai comuni per la redazione del piano di zonizzazione acustica. L'art. 6 del decreto fissa i limiti di accettabilità da rispettare in attesa della zonizzazione del territorio comunale.


	RELAZIONE SULLA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO DELL'IMPIANTO	Codice	PP.OW.MFD01.5.6.R00
		Revisione	00
		Data di creazione	01/02/2023
		Data revisione	
		Pagina	13 di 44

Tabella 1: Limiti massimi dei livelli sonori equivalenti fissati in relazione alla diversa destinazione d'uso del territorio (DCPM 01/03/91)

Classi di destinazione d'uso del territorio	diurno (6:00-22:00)	notturno (22:00-6:00)
I. Aree particolarmente protette	50	40
II. Aree destinate ad uso prevalentemente residenziale	55	45
III. Aree di tipo misto	60	50
IV. Aree di intensa attività umana	65	55
V. Aree prevalentemente industriali	70	60
VI. Aree esclusivamente industriali	70	70

Tabella 2: Classificazione del territorio in relazione alla sua diversa destinazione d'uso

<p><u>Classe I. Aree particolarmente protette</u> Rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo ed allo svago ,aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.</p>
<p><u>Classe II. Aree destinate ad uso prevalentemente residenziale</u> Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali ed artigianali</p>
<p><u>Classe III. Aree di tipo misto</u> Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale o di attraversamento, con media densità di popolazione, con presenza di attività commerciali, uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali ; aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici</p>
<p><u>Classe IV. Aree di intensa attività umana</u> Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali, uffici, con presenza di attività artigianali ; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie ; le aree portuali, le aree con limitata presenza di piccole industrie</p>
<p><u>Classe V. Aree prevalentemente industriali</u> Rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.</p>
<p><u>Classe VI. Aree esclusivamente industriali</u> Rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi</p>

Tabella 3: Limiti di accettabilità

Zonizzazione	Limite diurno Leq (A)	Limite notturno Leq (A)
Tutto il territorio nazionale	70	60
Zona A (decreto ministeriale n. 1444/68) (*)	65	55
Zona B (decreto ministeriale n. 1444/68) (*)	60	50
Zona esclusivamente industriale	70	70
(*) Zone di cui all'art. 2 del decreto ministeriale 2 aprile 1968.		

2.3.2 Legge Quadro 447/1995

La legge 447 del 26/10/95 "**Legge quadro sull'inquinamento acustico**" si compone di 17 articoli e stabilisce i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico..

Il carattere onnicomprensivo della legge è evidenziato dalla definizione stessa di "inquinamento acustico" che amplia la definizione di rumore del DPCM 01/03/91 dilatando il settore di tutela. La legge dà anche la definizione di ambiente abitativo, limitandolo agli ambienti interni di un edificio destinati alla permanenza di persone, che di fatto è una definizione sovrapponibile con quella del DPCM 01/03/91. La legge individua anche una nuova figura professionale: il Tecnico Competente che ha il compito di svolgere le attività tecniche connesse alla misurazione dell'inquinamento acustico, alla verifica del rispetto o del superamento dei limiti e alla predisposizione degli interventi di riduzione dell'inquinamento acustico. Prima della legge quadro, il DPCM 01/03/91 fissava i soli limiti di immissione, assoluti e differenziali. La legge quadro, oltre ai limiti di immissione, introduce anche i limiti di emissione ed i valori di attenzione e di qualità.

Tabella 4: - Valori limite, di qualità e di attenzione introdotti dalla legge 447/95

Limite di emissione: valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente.
Limite di immissione: è suddiviso in assoluto e differenziale. Valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno .Superare i limiti comporta sanzioni amministrative
Valore di attenzione: rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l'ambiente. Superare il valore di attenzione comporta piano di risanamento
Valore di qualità: obiettivo da conseguire nel breve, medio, lungo periodo. La classificazione in zone è fatta per l'applicazione dei valori di qualità.

2.3.3 DPCM 14/11/1997

Il DPCM 14/11/1997, entrato in vigore il 1° gennaio 1998, fissa i limiti di immissione ed emissione e i valori di attenzione e qualità introdotti dalla legge quadro 447/95 (tab.5).

Tale decreto conferma l'impostazione del DPCM 01/03/91 che fissava limiti di immissione assoluti per l'ambiente esterno validi per tutte le tipologie di sorgenti e per ciascuna delle sei zone di destinazione d'uso.

Tabella 5: valori limite del DPCM 14/11/97 - Leq in dB(A)

Classi di destinazione d'uso del territorio	Emissione		Immissione		Qualità	
	diurno (06.00- 22.00)	notturno (22.00- 06.00)	diurno (06.00- 22.00)	notturno (22.00- 06.00)	diurno (06.00- 22.00)	notturno (22.00- 06.00)
I aree particolarmente protette	45	35	50	40	47	37
II aree prevalentemente residenziali	50	40	55	45	52	42
III aree di tipo misto	55	45	60	50	57	47
IV aree ad intensa attività umana	60	50	65	55	62	52
V aree prevalentemente industriali	65	55	70	60	67	57
VI aree esclusivamente industriali	65	65	70	70	70	70

- **Valori limite di emissione:** il valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della sorgente stessa;
- **Valore limite di immissione:** il valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo nell'ambiente esterno, misurato in prossimità dei recettori;
- **Valori di qualità:** i valori di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla legge.

2.4 Il caso studio

Come anticipato, il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico galleggiante costituito da 55 WTG di potenza nominale di 15 MW, diametro del rotore 236 m e altezza al mozzo 150 m, per una potenza totale di impianto di 825 MW.

2.4.1 Inquadramento territoriale

L'area di studio prevista per l'installazione dell'impianto fotovoltaico di tipo "floating" copre un'area di circa 316 km² e si colloca a circa 37 km a est del promontorio del Gargano oltre le 12 miglia nautiche nell'area della Zona Economica Esclusiva (ZEE) italiana.

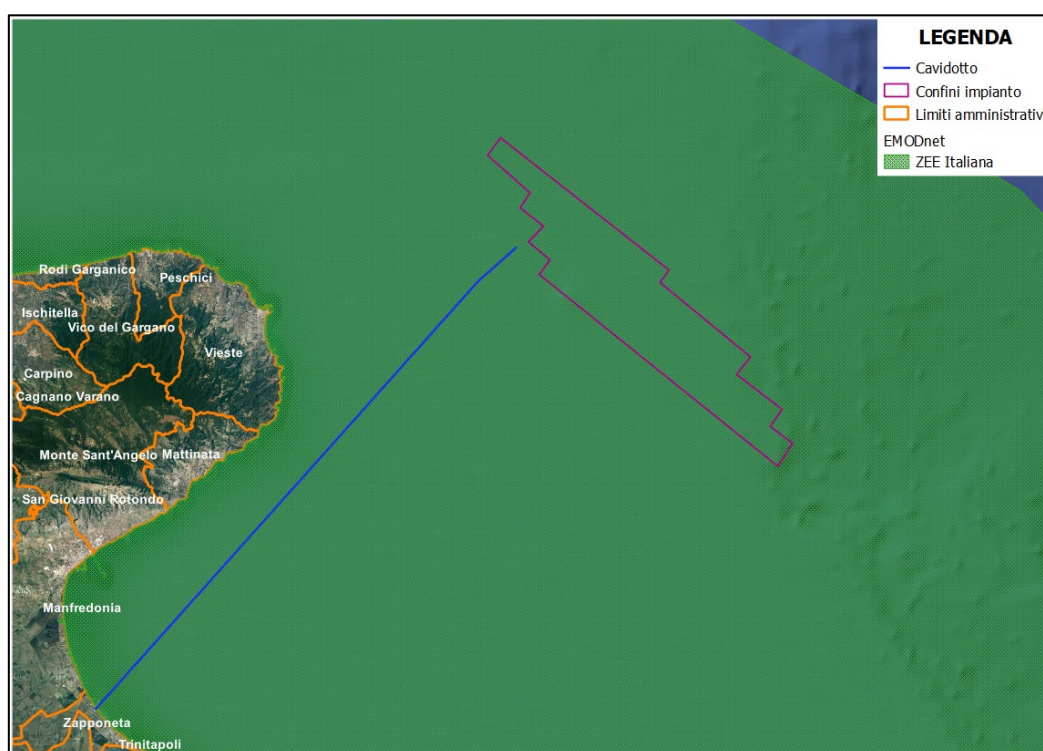


Figura 3: Inquadramento geografico dell'area di impianto su ortofoto.

2.4.2 Descrizione generale

L'impianto comprende un totale di 55 WTG modello Vestas V236 aventi una potenza elettrica nominale di 15 MW. Gli aerogeneratori sono collegati tra loro e alla stazione di trasformazione offshore a fondazione fissa (struttura tipo Jacket), attraverso cavi marini inter-array in alta tensione a 66 kV. Dalla stazione di trasformazione offshore 66/220 kV l'energia elettrica viene trasferita mediante l'elettrodotto marino 220 kV fino al punto di approdo dove sarà realizzata la giunzione cavo marino-terrestre.

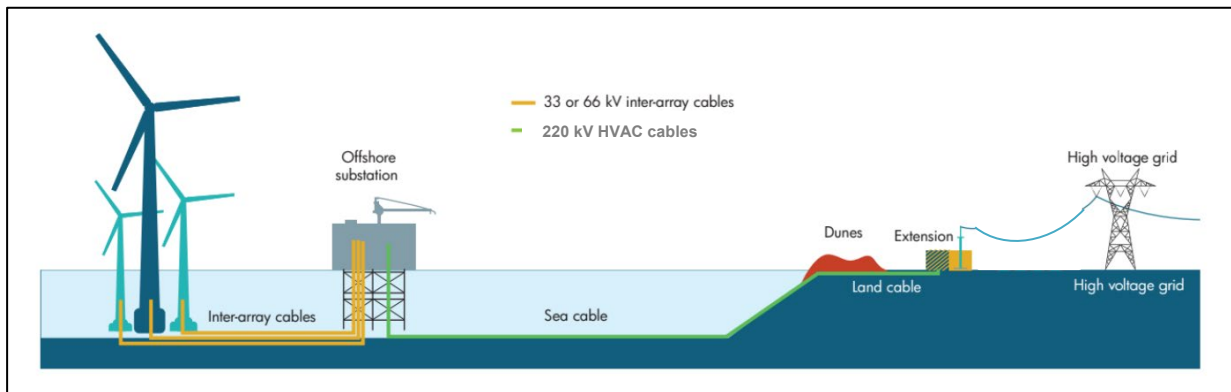


Figura 4: Schema generale del parco eolico galleggiante.

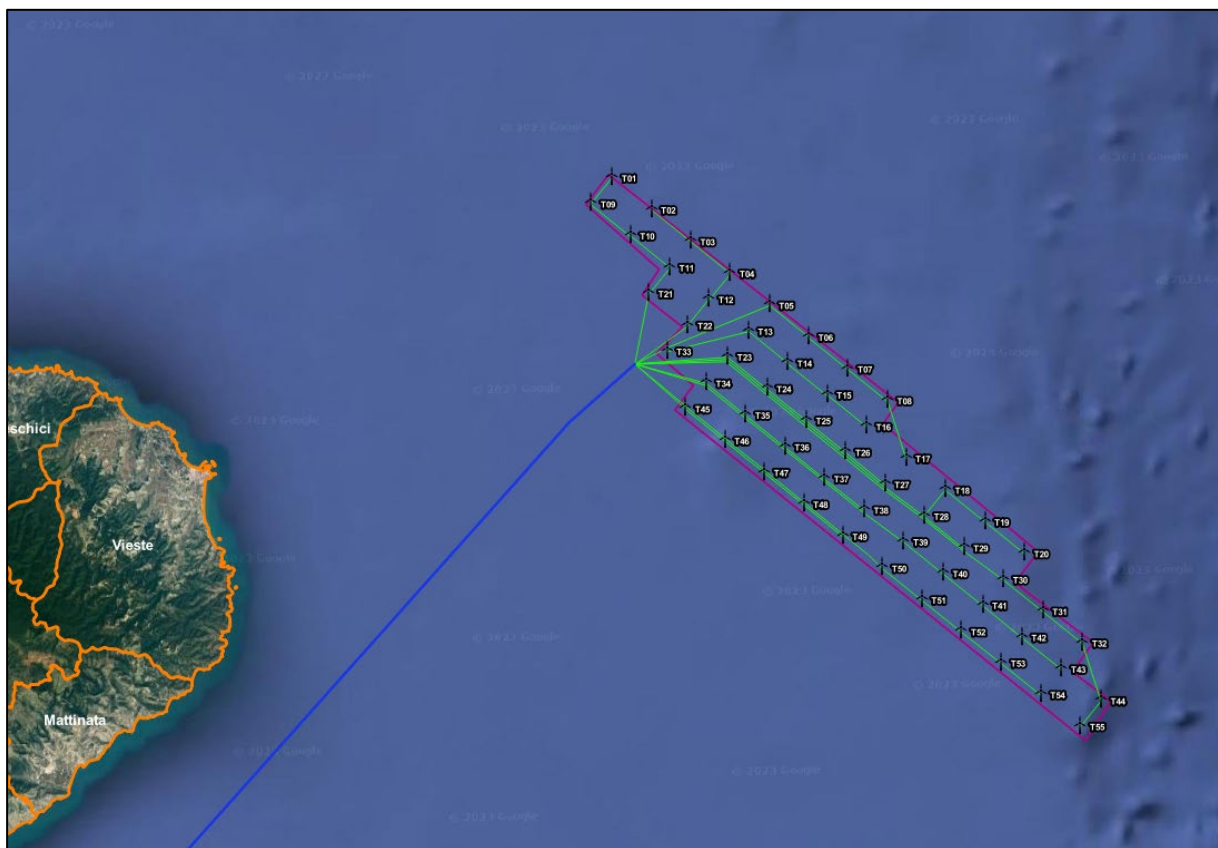


Figura 5: Layout di impianto su ortofoto.

2.4.3 Caratteristiche delle sorgenti in esame

Come anticipato nei paragrafi precedenti, le sorgenti sonore in esame (turbine eoliche) hanno proprietà di emissione acustica abbastanza complesse in virtù delle caratteristiche geometriche e dimensionali delle componenti. Tuttavia, tali sorgenti vengono in genere schematizzate come sorgenti puntiformi poste ad altezza del mozzo, con modelli di propagazione del suono emisferica.

È importante sottolineare che tale modello di aerogeneratore oggi è fornito dalla casa madre con profili alari dotati di STE ("serrated trailing edge") che abbattano le emissioni acustiche di diversi decibel portando ad una emissione massima di 118 dB(A) ed un profilo di emissioni molto contenuto.

I valori emissivi delle turbine in oggetto sono disponibili per diverse velocità del vento e sono proposti a seguire. Nelle tabelle sono evidenziati i valori emissivi della turbina per le differenti velocità del vento ad altezza mozzo, in accordo alla ISO 61400 – 11 ed. 3 2012-11 (Maximum turbulence at 10 m height 16%, inflow angle (vertical): 0+-2°; air density: 1.225 kg/m³) necessari come dati di input nel software per l'elaborazione della stima previsionale del rumore atteso ai recettori. Gli stessi valori emissivi sono anche esplicitati all'altezza di riferimento di 10 m per le diverse configurazioni della torre.

Si riportano di seguito le tabelle per l'individuazione geografica delle sorgenti emissive e la curva di emissione utilizzata.

Tabella 6: Coordinate, tipologia e caratteristiche principali dell'aerogeneratore di progetto

ID WTG	UTM WGS 84 Long. Est [m]	UTM WGS 84 Lat. Nord [m]	Batimetria [m]	Modello aerogeneratore WTG Type	Potenza [KW]	Altezza mozzo s.l.t. [m]
T01	624598	4657011	-131	VESTAS V236	15,000	150.0
T02	627196	4654908	-131	VESTAS V236	15,000	150.0
T03	629796	4652806	-133	VESTAS V236	15,000	150.0
T04	632398	4650704	-136	VESTAS V236	15,000	150.0
T05	635001	4648604	-140	VESTAS V236	15,000	150.0
T06	637603	4646501	-143	VESTAS V236	15,000	150.0
T07	640209	4644402	-144	VESTAS V236	15,000	150.0
T08	642816	4642304	-152	VESTAS V236	15,000	150.0
T09	623207	4655298	-126	VESTAS V236	15,000	150.0
T10	625805	4653194	-127	VESTAS V236	15,000	150.0
T11	628405	4651091	-126	VESTAS V236	15,000	150.0
T12	631007	4648989	-128	VESTAS V236	15,000	150.0
T13	633610	4646888	-130	VESTAS V236	15,000	150.0
T14	636212	4644785	-135	VESTAS V236	15,000	150.0
T15	638819	4642685	-140	VESTAS V236	15,000	150.0
T16	641426	4640587	-144	VESTAS V236	15,000	150.0
T17	644036	4638490	-148	VESTAS V236	15,000	150.0
T18	646647	4636393	-157	VESTAS V236	15,000	150.0
T19	649259	4634298	-173	VESTAS V236	15,000	150.0
T20	651873	4632203	-190	VESTAS V236	15,000	150.0
T21	627014	4649376	-122	VESTAS V236	15,000	150.0
T22	629616	4647274	-123	VESTAS V236	15,000	150.0
T23	632239	4645197	-123	VESTAS V236	15,000	150.0
T24	634842	4643094	-126	VESTAS V236	15,000	150.0
T25	637448	4640994	-133	VESTAS V236	15,000	150.0
T26	640056	4638895	-140	VESTAS V236	15,000	150.0
T27	642645	4636772	-143	VESTAS V236	15,000	150.0
T28	645256	4634675	-147	VESTAS V236	15,000	150.0

ID WTG	UTM WGS 84 Long. Est [m]	UTM WGS 84 Lat. Nord [m]	Batimetria [m]	Modello aerogeneratore WTG Type	Potenza [KW]	Altezza mozzo s.l.t. [m]
T29	647869	4632579	-155	VESTAS V236	15,000	150.0
T30	650483	4630484	-169	VESTAS V236	15,000	150.0
T31	653099	4628390	-187	VESTAS V236	15,000	150.0
T32	655716	4626297	-208	VESTAS V236	15,000	150.0
T33	628224	4645559	-116	VESTAS V236	15,000	150.0
T34	630827	4643457	-117	VESTAS V236	15,000	150.0
T35	633430	4641353	-120	VESTAS V236	15,000	150.0
T36	636036	4639253	-125	VESTAS V236	15,000	150.0
T37	638644	4637153	-133	VESTAS V236	15,000	150.0
T38	641274	4635080	-136	VESTAS V236	15,000	150.0
T39	643886	4632983	-141	VESTAS V236	15,000	150.0
T40	646498	4630886	-145	VESTAS V236	15,000	150.0
T41	649113	4628790	-152	VESTAS V236	15,000	150.0
T42	651708	4626671	-165	VESTAS V236	15,000	150.0
T43	654325	4624577	-187	VESTAS V236	15,000	150.0
T44	656944	4622484	-218	VESTAS V236	15,000	150.0
T45	629455	4641767	-111	VESTAS V236	15,000	150.0
T46	632058	4639662	-114	VESTAS V236	15,000	150.0
T47	634664	4637562	-115	VESTAS V236	15,000	150.0
T48	637273	4635462	-113	VESTAS V236	15,000	150.0
T49	639862	4633338	-114	VESTAS V236	15,000	150.0
T50	642474	4631240	-134	VESTAS V236	15,000	150.0
T51	645087	4629143	-139	VESTAS V236	15,000	150.0
T52	647701	4627047	-143	VESTAS V236	15,000	150.0
T53	650337	4624977	-148	VESTAS V236	15,000	150.0
T54	652955	4622882	-156	VESTAS V236	15,000	150.0
T55	655574	4620789	-170	VESTAS V236	15,000	150.0

Sound power level at hub height	
Hub Height wind speed [m/s]	LwA [dBA]
4	103.0
5	104.0
6	106.0
7	109.5
8	113.0
9	116.0
10	117.5
11	118.0
12	118.0
13	118.0
14	118.0
15	118.0
>15	118.0

Figura 6: Caratteristiche emmissive delle sorgenti sonore ad altezza mozzo.

2.5 Metodologia di caratterizzazione del clima acustico

Conoscendo ed inputando i valori di emissione delle sorgenti, si è proceduto ad una stima del clima acustico al fine di valutare, in via previsionale, la propagazione del rumore aereo nell'area circostante a quella di impianto. Il calcolo del rumore immesso dalle sorgenti è stato elaborato attraverso il modulo DECIBEL del software Wind Pro vers. 3.6.355, specifico per la valutazione dell'impatto acustico secondo quanto prescritto dalle normative di settore.

2.5.1 Dati di input

I dati di input sono:

- modello DTM del terreno;
- sound curve della turbina considerata nell'analisi;

Trattandosi di impianto offshore è stato costruito un modello digitale del terreno con quota uniforme pari a 0 m s.l.m.. Allo stesso modo è stata inserita una rugosità con classe 0 attorno al parco, in quanto la distanza dalla costa (superiore a 20 km) è tale da poter trascurare gli effetti del terreno sulla variabilità della velocità del vento all'altezza del mozzo degli aerogeneratori.

Ai fini della simulazione, trattandosi di uno scenario offshore è stato scelto un coefficiente di attenuazione del terreno (*ground factor*) che rispecchiasse quello di una superficie molto porosa pari a 0,8.

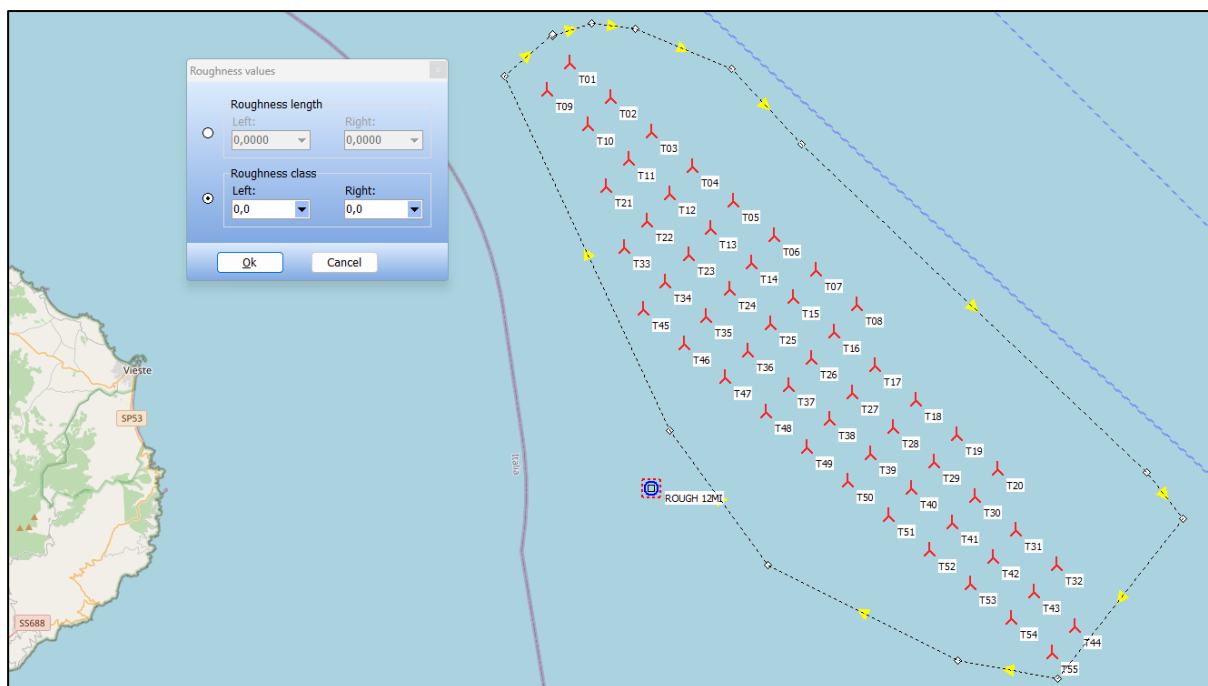


Figura 7: Definizione dell'area a rugosità 0 intorno all'impianto.

2.5.2 Mappa di propagazione del rumore

Di seguito la mappa di propagazione del rumore calcolata tramite il software Wind Pro e inserita su ortofoto satellitare Google Satellite.

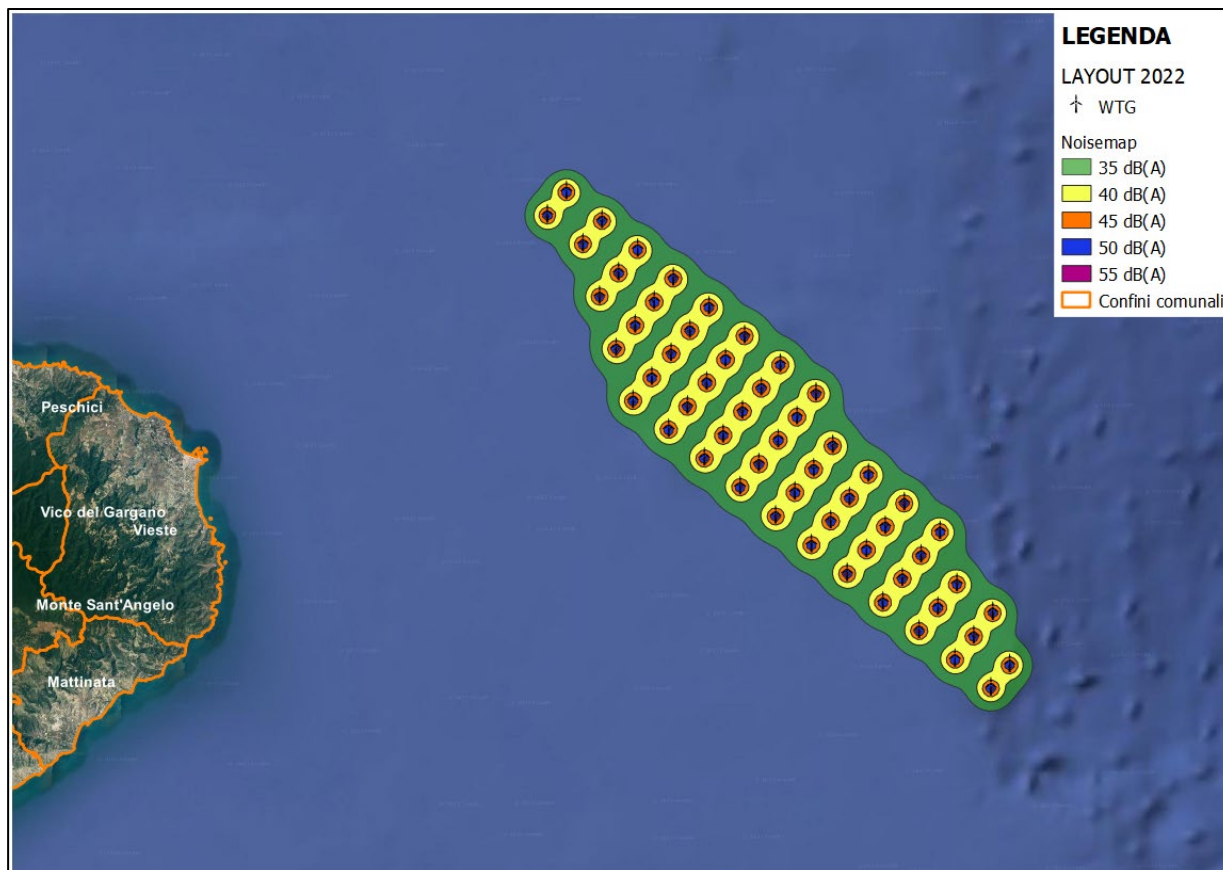


Figura 8: Mappa di propagazione del rumore nell'area circostante quella di impianto.

Come è possibile notare dall'immagine il rumore generato dalle turbine di futura installazione non genera alcuna problematica sull'ambiente circostante con la curva dei 35 dB(A) che degrada a circa 2 km dall'area che circonda l'impianto.

Di conseguenza si può affermare che, considerata la distanza dell'impianto dalla costa, dal punto di vista acustico nessun recettore sarà interessato da problematiche legate al rumore delle apparecchiature in funzionamento.

3 IMPATTO ACUSTICO SOTTOMARINO


Durante l'intero ciclo di vita di un impianto offshore, molte attività coinvolte generano impatti sull'ambiente marino e sulle comunità costiere, tra cui: le indagini sul sito di progetto, il processo di installazione, il funzionamento dell'impianto e il suo smantellamento. Per questo motivo, è importante comprendere, valutare, mitigare e gestire questi impatti, soprattutto quelli legati alla pesca e all'ecosistema. A destare maggiore preoccupazione sono le attività che producono rumori subacquei che hanno il potenziale di influire negativamente sulla vita marina a causa degli elevati livelli di pressione sonora e del rumore antropico persistente. Tra i potenziali effetti sull'ecosistema marino, la maggior parte dell'attenzione è stata posta sugli impatti ambientali legati alle emissioni di rumore subacqueo durante le fasi di installazione e di funzionamento. I livelli di pressione sonora generati sono notevolmente elevati durante la fase di installazione, con particolare attenzione all'attività realizzazione delle fondazioni delle strutture non flottanti (ad esempio piattaforme per sottostazione o catenarie), mentre durante la fase di esercizio, sebbene si tratti di una fase con livelli sonori molto più bassi, il rumore generato sarà presente per tutta la vita utile dell'impianto. Ci sono anche importanti attività da considerare nella fase di pianificazione, come gli studi dei fondali marini che prevedono l'uso di apparecchiature sismiche a riflessione e le operazioni di rimozione delle strutture offshore durante la fase di smantellamento. Pertanto, i potenziali impatti del rumore sottomarino derivanti da un progetto offshore devono essere valutati alla luce sia dei principi che descrivono la propagazione del suono nell'acqua sia della capacità uditiva dei gruppi più sensibili dell'ambiente marino, ossia i mammiferi marini e i pesci [1].

Di seguito verrà proposto un quadro preliminare per la valutazione dell'impatto acustico dovuto alle attività svolte durante il ciclo di vita di un impianto offshore sui gruppi faunistici più sensibili al rumore subacqueo.

È importante notare che solo in una fase più avanzata del progetto sarà possibile fare una previsione completa dei livelli di rumore prodotti e del loro profilo di propagazione, in base alla tecnologia scelta, alle aree coinvolte e agli strumenti necessari per l'installazione e il funzionamento dell'impianto.

3.1 Linee guida e standard di riferimento

Non esistono leggi o norme nazionali o internazionali che stabiliscano limiti obbligatori per i livelli di emissione sonora nell'ambiente marino. Tuttavia, molti studi sono sfociati in linee guida e regolamenti adottati dai governi o dalle organizzazioni per la protezione dell'ambiente, come mostrato nella figura seguente [2]:

	RELAZIONE SULLA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO DELL'IMPIANTO	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	PP.OW.MFD01.5.6.R00 00 01/02/2023 23 di 44
---	--	--	---

Existing <i>national</i> regulations: <ul style="list-style-type: none"> • Australia • Belgium • Brazil • Canada • Denmark • European Union • Germany • Ireland • Mexico • New Zealand • Taiwan • The Netherlands • United Kingdom • United States of America 	Existing <i>regional</i> regulations: <ul style="list-style-type: none"> • ACCOMBAMS • ASCOBANS • CBD • CCAMLR • European Union • HELCOM • IMO • IWC • NATO • OSPAR 	Regulations in development/ Initiatives: <ul style="list-style-type: none"> • Chile • China Noise considered: <ul style="list-style-type: none"> • Saudi Arabia • Qatar
--	--	--

Figura 9: Elenco dei Paesi o delle Organizzazioni che dispongono di normative e/o linee guida sul rumore sottomarino.

3.2 Fondamenti di acustica subacquea

In questa sezione viene fornita una panoramica dei termini utilizzati in acustica e dei concetti che dovrebbero aiutare a comprendere i temi trattati di seguito.

Il *suono* è il termine comune per indicare una perturbazione della pressione acustica caratterizzata da molecole che si muovono avanti e indietro nella direzione di propagazione dell'onda, dando luogo a regioni alternative di rarefazione e compressione. Questo movimento è tipicamente percepito dagli animali e dalla strumentazione come una deviazione dalla pressione dell'ambiente. A sua volta, il termine *rumore* è spesso usato per descrivere suoni indesiderati che sono considerati sgradevoli, rumorosi, dannosi per la salute e per l'udito o che possono interrompere i comportamenti abituali, avere un impatto sulla fisiologia o mascherare il rilevamento di un determinato segnale [3]. In alcuni casi, i termini *rumore ambientale* o *rumore di fondo* possono essere utilizzati anche per descrivere il suono generato da fonti naturali e antropiche, soprattutto quelle che possono interferire con la rilevazione di segnali biologicamente rilevanti [3].

Il *rumore ambientale marino* è un suono sempre presente che non può essere attribuito a una fonte localizzata identificabile. Esempi di sorgenti di *rumore ambientale* sono il *rumore della pioggia* che cade nel mare, il *frangersi delle onde*, le *perturbazioni sismiche del fondale marino* e il *rumore emesso dalla fauna marina*. Il *rumore* proviene da tutte le direzioni, ma varia sia in *magnitudo* che in *frequenza* con la *direzione*, la *profondità*, la *posizione* e il *tempo*. È quindi difficile prevedere le proprietà del *rumore ambientale*, il che ha portato all'uso di modelli statistici ed empirici per caratterizzarlo.

Oltre al *rumore ambientale* (che comprende il *traffico marino distante*), nelle zone costiere poco profonde esistono altre fonti di *rumore subacqueo*, come il *traffico marino locale*, le *imbarcazioni turistiche* e da diporto, le *piattaforme petrolifere* e di gas, altri impianti meccanici, che contribuiscono all'aumento del livello di *rumore* che potrebbe essere misurato da un *idrofono*. La combinazione del

rumore ambientale, che non può essere attribuito a una fonte specifica, e di queste fonti locali facilmente identificabili è definita rumore di fondo. Si tratta di tutto il rumore ricevuto in un determinato momento e in un luogo diverso dalla sorgente di interesse.

Nell'ambito della divisione per intervalli di frequenza, i suoni di fondo nel mare possono essere riassunti in un grafico, detto *curva di Wenz*, che mostra i livelli sonori tipici a diverse frequenze. I livelli di energia acustica in questo grafico sono espressi in dB re 1 μPa su una gamma di frequenza di 1 Hz, che di solito si indica con dB re 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ [4].

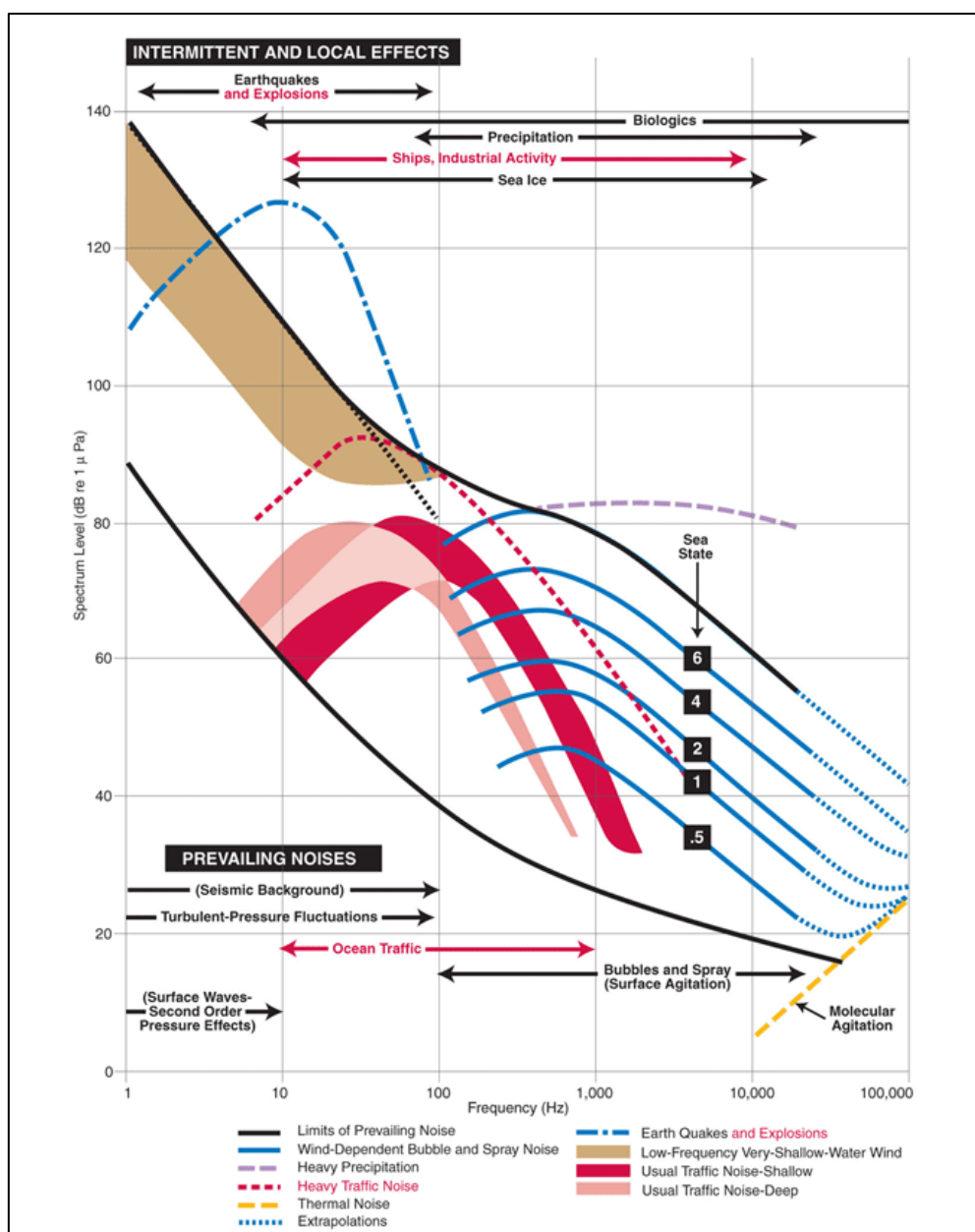


Figura 10: Livelli sonori tipici dei rumori del fondo del mare a diverse frequenze.

La caratterizzazione del rumore di fondo è essenziale per una valutazione valida del potenziale effetto dell'introduzione di un impianto offshore (eolico o fotovoltaico), poiché il rumore di fondo potrebbe mascherare il suono prodotto dalle attività di installazione e di funzionamento. Tuttavia, data la variabilità del rumore di fondo, esso può mascherare la sorgente in alcuni luoghi e orari, ma essere ben al di sotto in altri. Un modo per gestire questa variabilità è quello di caratterizzare il rumore di fondo in termini di media e intervallo di valori, adottando un approccio statistico. La misura più comunemente utilizzata per caratterizzare un segnale sonoro è il Livello di Pressione Sonora (SPL), misurato in decibel con riferimento a 1 microPascal (dB re 1 μ Pa) nell'ambiente marino. Il livello di pressione sonora si basa su una media della pressione in un breve intervallo di tempo ma può dare luogo a errori nei casi in cui la pressione sonora varia rapidamente nel tempo, ad esempio per i suoni impulsivi. Per questa classe di segnali, il livello di pressione sonora di picco (SPL_{peak}) è una misura migliore ed è definito come il livello massimo di pressione sonora durante un evento o un breve intervallo di tempo.

Tuttavia, il livello di pressione sonora non è sempre un buon indicatore dell'effetto ambientale e altre misure possono fornire una stima migliore.

Il tempo in cui un organismo marino è esposto alle influenze del rumore può portare a danni fisici e all'udito, come il Transient Threshold Shift (TTS) e il Permanent Threshold Shift (PTS). Per valutare questo potenziale danno, esiste una metrica chiamata Livello Sonoro del Singolo Evento (SEL). Il SEL è definito come il livello di rumore continuo, della durata di un secondo, che possiede lo stesso contenuto energetico dell'evento considerato, ovvero il livello sonoro che avrebbe il singolo evento se la sua energia sonora fosse concentrata nella durata di un secondo.

La metrica SEL consente di integrare l'energia sonora per determinare l'esposizione da più fonti. Se non diversamente indicato, i livelli di esposizione sonora per le sorgenti di rumore pulsato (come le fondazioni di tipo monopalo utilizzate per le piattaforme della sottostazione) presentati in questa relazione si riferiscono a un singolo impulso.

Un altro aspetto da considerare è la frequenza dei segnali sonori emessi. Per questo motivo, la modellazione acustica viene solitamente eseguita separando i livelli spettrali in bande di frequenza, come le bande di ottava o i terzi di ottava che sono una serie di filtri elettronici utilizzati per separare il suono in bande di frequenza discrete, rendendo possibile conoscere la distribuzione dell'energia sonora in funzione della frequenza. I corrispondenti livelli sonori dBL a banda larga sono derivati dalla somma totale dell'energia distribuita sull'intera banda di frequenza.

Le metriche presentate sono state utilizzate per descrivere quantitativamente l'ambiente sonoro in funzione dei valori di frequenza relativi agli eventi e alle attività specifiche delle diverse fasi del progetto. Il vantaggio di una modellazione basata sui terzi d'ottava è che può risolvere le caratteristiche di propagazione dipendenti dalla frequenza di un ambiente specifico e può essere utilizzata per calcolare in modo efficiente il livello complessivo di pressione sonora a banda larga per qualsiasi posizione del ricevitore all'interno della colonna d'acqua.

3.3 Caratteristiche del rumore subacqueo e specie marine

La velocità di propagazione di un'onda acustica può essere espressa in funzione del modulo di comprimibilità del mezzo, che in termini semplici è una misura della sua comprimibilità. Pertanto, i livelli di pressione sonora sono generalmente più elevati nell'ambiente marino rispetto all'aria, poiché l'acqua è meno comprimibile dell'aria. Questo è uno dei motivi principali per cui i vertebrati marini, in particolare i cetacei, utilizzano il suono per comunicare, orientarsi o nutrirsi e quindi questi gruppi, così come i pesci, possono essere disturbati dal rumore antropogenico prodotto durante le attività intraprese in tutte le fasi di vita del progetto.

Gli impatti causati dal rumore subacqueo possono essere generalmente classificati in categorie spesso sovrapposte, tra cui le lesioni fisiche e le influenze fisiologiche e comportamentali. Sia i suoni intensi e impulsivi che le esposizioni prolungate possono indurre danni fisici, in particolare alle cellule del tessuto uditivo e risposte fisiologiche da stress. Inoltre, il rumore antropico può mascherare il rilevamento di segnali biologicamente importanti utilizzati per la comunicazione, l'elusione dei predatori e l'individuazione delle prede, influenzando così il comportamento. Ad esempio, gli animali possono abbandonare un'area con livelli di rumore più elevati, interrompendo potenzialmente il loro nutrimento o la riproduzione.

Quando si affrontano gli impatti acustici, è fondamentale comprendere la sensibilità dei vari gruppi potenzialmente interessati. Tutti i pesci e un numero significativo di invertebrati rilevano e utilizzano il movimento delle particelle, non la pressione sonora, per rilevare i suoni, in particolare a frequenze inferiori a diverse centinaia di hertz. Le specie ittiche che rilevano le variazioni di pressione sonora nell'acqua hanno in genere una cavità comprimibile, come una bolla d'aria o una vescica natatoria. Alcuni di loro si sono evoluti con bolle d'aria situate sotto le cellule ciliate esterne o con una varietà di estensioni della vescica natatoria verso le orecchie interne, adattamenti che aumentano la loro sensibilità per rilevare le variazioni del livello di pressione.

Per quanto riguarda i mammiferi marini, questo gruppo è particolarmente sensibile ai rumori subacquei perché i loro comportamenti sono strettamente legati ai modelli di vocalizzazione, ad esempio l'ecolocalizzazione, la comunicazione tra membri dello stesso gruppo, la riproduzione e il nutrimento. Pertanto, rappresentano le principali specie su cui valutare e monitorare gli impatti durante le fasi di sviluppo, installazione, funzionamento e smantellamento degli impianti offshore.

3.4 Fasi di un progetto eolico offshore

Il ciclo di vita di un impianto eolico offshore può essere suddiviso in quattro fasi:

- Pianificazione
- Installazione
- Funzionamento
- Smantellamento

3.4.1 Pianificazione

Questa fase comprende indagini geofisiche/sismiche per valutare le caratteristiche dell'area di studio e comporta anche l'aumento del traffico delle imbarcazioni nell'area. I rilievi geofisici dei parchi offshore sono tipicamente effettuati con profilatori sismici denominati *boomers* e *sparkers*, ma si sa poco del livello di rumore subacqueo che emettono. Il numero di imbarcazioni aumenterà nelle vicinanze dell'impianto prima della sua installazione e continuerà fino alla fase di smantellamento. Esistono misurazioni limitate dei livelli di pressione sonora prodotti dalle piccole imbarcazioni che potrebbero essere utilizzate durante l'indagine. Ad esempio, un rimorchiatore di 25 metri che traina una chiatte vuota, uno scenario che potrebbe verificarsi durante la costruzione, ha un SPL di 170 dB re 1 μ Pa 1 m [5].

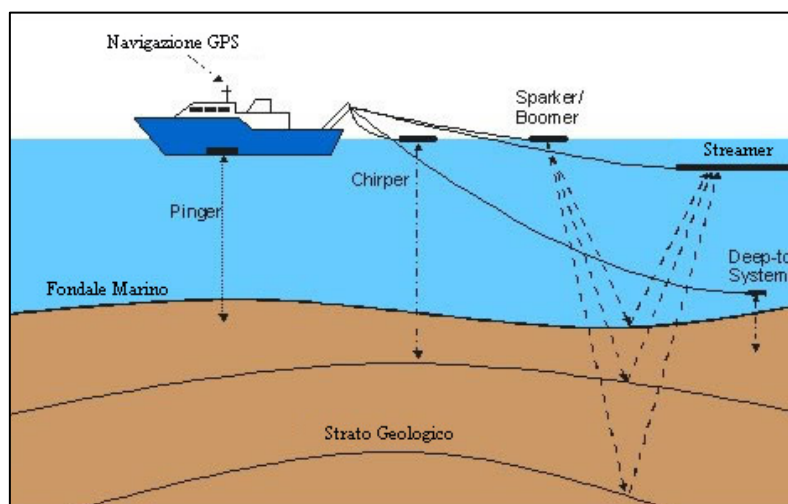


Figura 11: Strumenti di indagine dei rilievi geofisici

Altre tipologie di rilievi sono quelli *sonar multibeam* e a *scansione laterale*. Queste tecniche di imaging tendono a utilizzare frequenze più elevate rispetto ai sistemi acustici di uso comune, come i cannoni ad aria compressa utilizzati nell'attività di prospezione dell'industria petrolifera e del gas, perché mirano a caratterizzare il fondale marino e il suo substrato solo a una profondità di pochi metri. Un'altra caratteristica di questa apparecchiatura è l'ampiezza di scansione che viene limitata durante ogni passaggio per concentrare l'energia in una regione limitata e ottenere così una maggiore risoluzione.

Pertanto, date le aree relativamente ampie da rilevare, tale mappatura acustica richiede solitamente molti passaggi per coprire completamente l'area di studio.

Sono relativamente pochi gli studi che hanno esaminato gli effetti di ecoscandagli, sonar chirp e tecnologie correlate su pesci e invertebrati. Pertanto, gli impatti di queste sorgenti di rumore subacqueo su questi gruppi sono, allo stesso modo di boomers e sparkers, scarsi e ancora poco conosciuti. Inoltre, i sonar e gli ecoscandagli sono termini generali in cui i parametri del sistema possono variare ampiamente; pertanto, l'estrapolazione tra gli studi deve essere fatta con cautela. Molti sistemi sonar operano generalmente in intervalli di frequenza non rilevabili da pesci e invertebrati, suggerendo effetti limitati [6] [3]. In generale, sono state condotte numerose ricerche sugli effetti dei sonar attivi a media frequenza MFA (termine utilizzato per i sonar navali tra 1 kHz e 7 kHz). I sonar MFA in genere variano sostanzialmente dagli ecoscandagli e dai sonar chirp (ad esempio, questi ultimi possono avere frequenze di ripetizione più elevate, durate più brevi e, come già detto, intervalli di frequenza operativa diversi), mentre alcuni parametri, come i tempi di salita brevi e i livelli di sorgente, possono essere simili. La tabella seguente elenca i diversi tipi di sorgenti di emissione comunemente utilizzati per le indagini geofisiche [7].

SEISMIC SOURCE	FREQUENCY RANGE	SOURCE LEVELS (Representative examples, re 1 μ Pa)	VERTICAL RESOLUTION	TYPICAL DEPTH OF SIGNAL PENETRATION (Atlantic Outer Continental Shelf)
Multibeam	100–400 kHz	200–220 dB	<1 cm	N/A
Echosounder	2–22 kHz	240–250 dB	5–15 cm	<2–20 m depending on silt/clay vs. gravel/sand
Chirp sonar	400 Hz to 24 kHz	212 dB	2 cm to 1 m	<2–20 m depending on silt/clay vs. gravel/sand
Pinger	3.5–7 kHz	214 dB	5–20 cm	<3–30 m depending on silt/clay vs. gravel/sand
Boomer	300 Hz to 6 kHz	215 dB	10 cm to 1 m	25 m to 200 m
Sparker	40 Hz to 1.5 kHz	222 dB	20 cm to 10 m	100 m to 1 km

Figura 12: Livelli di pressione sonora e intervalli di frequenza operativa per varie apparecchiature utilizzate per rilievi geofisici.

3.4.2 Installazione

Probabilmente la fase più impattante, che può includere l'infissione di singoli pali, la perforazione, lo scavo con esplosivi, il dragaggio, il trascinarsi di ancore, la posa di cavi e le operazioni continue con navi e chiatte. La più rilevante di queste attività è l'installazione di fondazioni di tipo monopalo (sottostazione elettrica offshore).

La palificazione monopalo è particolarmente preoccupante per gli organismi marini perché genera segnali di pressione sonora con livelli molto elevati e un'ampia larghezza di banda. Pertanto, sebbene esistano altre attività che introducono rumore antropico nell'ambiente marino (installazione di cavi, posizionamento di materiale di riporto, traffico navale), l'installazione di fondazioni monopalo rappresenta lo scenario peggiore dell'analisi.

Nella maggior parte dei casi, le fondazioni offshore sono costituite da pali singoli conficcati nel fondale marino con martelli idraulici. Il contatto della fondazione con l'acqua e il colpo del martello creano onde acustiche che si irradiano attraverso la fondazione, la colonna d'acqua e il substrato attraverso percorsi multipli, dando luogo a suoni impulsivi ad alta intensità e ad alta energia con tempi di risalita ripidi [8]. I livelli sonori subacquei (sia il movimento delle particelle che la pressione sonora) e le distanze di rilevamento variano sostanzialmente da un sito all'altro e dipendono da molti fattori, tra cui le caratteristiche del substrato, la profondità, il diametro del monopalo e le dimensioni del martello perforatore.

L'energia acustica risultante dall'impatto del martello con il monopalo viaggia nell'acqua lungo percorsi diversi:

1. dalla sommità della fondazione dove il martello colpisce, attraverso l'aria, fino all'acqua;
2. dalla sommità della fondazione verso il basso, irradiandosi nell'aria mentre attraversa il cumulo, dall'aria verso l'acqua;
3. dalla sommità della fondazione verso il basso, con irradiazione diretta nell'acqua lungo la lunghezza del monopalo al di sotto della linea di galleggiamento;
4. al di sotto della pila che si irradia verso il fondale marino, lo attraversa e si irradia nuovamente nell'acqua.

In prossimità della fondazione, l'energia acustica arriva da percorsi diversi e con differenze di fase e ritardi temporali che creano un modello di interferenza. Il rumore subacqueo generato dall'impatto del martello dipende principalmente dai seguenti fattori:

- Energia d'impatto e tipo di martello idraulico
- La dimensione e il tipo di monopalo
- Profondità dell'acqua
- Durezza del sottosuolo in cui viene conficcato il monopalo.

L'energia acustica irradiata nell'ambiente acquatico dal monopalo è direttamente correlata all'energia cinetica che il martello perforatore gli trasmette. Considerazioni ingegneristiche sulla profondità di penetrazione del monopalo e sulla resistenza al carico determinano l'energia dell'impatto che deve essere applicata per superare la resistenza del substrato sottostante. In termini di livelli di pressione, per valori di energia d'impatto di 5000kJ e dimensioni del monopalo di 8m, sono stati osservati valori di picco (SPL_{peak}) di 245 dB re 1μPa a 1m [9].

Per quanto riguarda l'intervallo di frequenza in cui si distribuisce l'energia, esso è prevalentemente inferiore a 500 Hz, con una certa energia che si estende fino a 1 kHz, e con tempi di salita ripidi fino all'energia massima [7].

La componente del movimento delle particelle e la trasmissione del substrato sono state monitorate e riportate in misura molto minore, quindi non ci sono così tanti riferimenti come nel caso delle misurazioni della pressione sonora e dell'energia acustica. Tuttavia, la componente del movimento delle particelle è probabilmente molto più rilevante per pesci e invertebrati.

Studi di monitoraggio durante l'installazione e il funzionamento del parco eolico offshore di Block Island, negli Stati Uniti, hanno effettuato misurazioni del livello di pressione lungo la colonna d'acqua e nei sedimenti e hanno ricavato i valori di accelerazione delle particelle. I risultati hanno mostrato che l'energia acustica è concentrata nelle gamme di frequenza più basse (principalmente fino a 100Hz) per la propagazione lungo il fondale marino, mentre è distribuita fino a 300Hz per la propagazione nell'ambiente acquatico. Pertanto, i pesci demersali tendono a essere maggiormente influenzati dal movimento di particelle derivante dall'installazione di fondazioni di tipo monopalo, mentre i pesci pelagici che vivono più in superficie possono essere maggiormente influenzati dai livelli di pressione [10].

La figura a seguire mostra lo spettrogramma della forma d'onda (a) e dei segnali impulsivi (b) di azionamento del monopalo registrati durante la costruzione del parco eolico di Block Island, Rhode Island, USA. Le tre linee verticali più chiare riflettono i colpi del martello che colpisce il monopalo per tre volte consecutive. Il segnale di pressione per un singolo colpo è mostrato nel grafico (a). Si noti nei grafici (a) e (b) il picchietto e la continuazione dell'energia sonora per un certo periodo di tempo dopo l'impatto iniziale. La sezione (c) mostra la propagazione del rumore di un monopalo a colpo singolo nel Mar Baltico meridionale modellata con un livello di esposizione sonora (SEL) equivalente della sorgente di 226 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$ in funzione della direzione e della distanza, modificato da [8]. Sebbene i livelli sonori più elevati scendano rapidamente in prossimità della sorgente e siano difficili da distinguere in questo caso, si noti che a grande distanza i livelli sonori (140-170 dB) rimangono elevati.

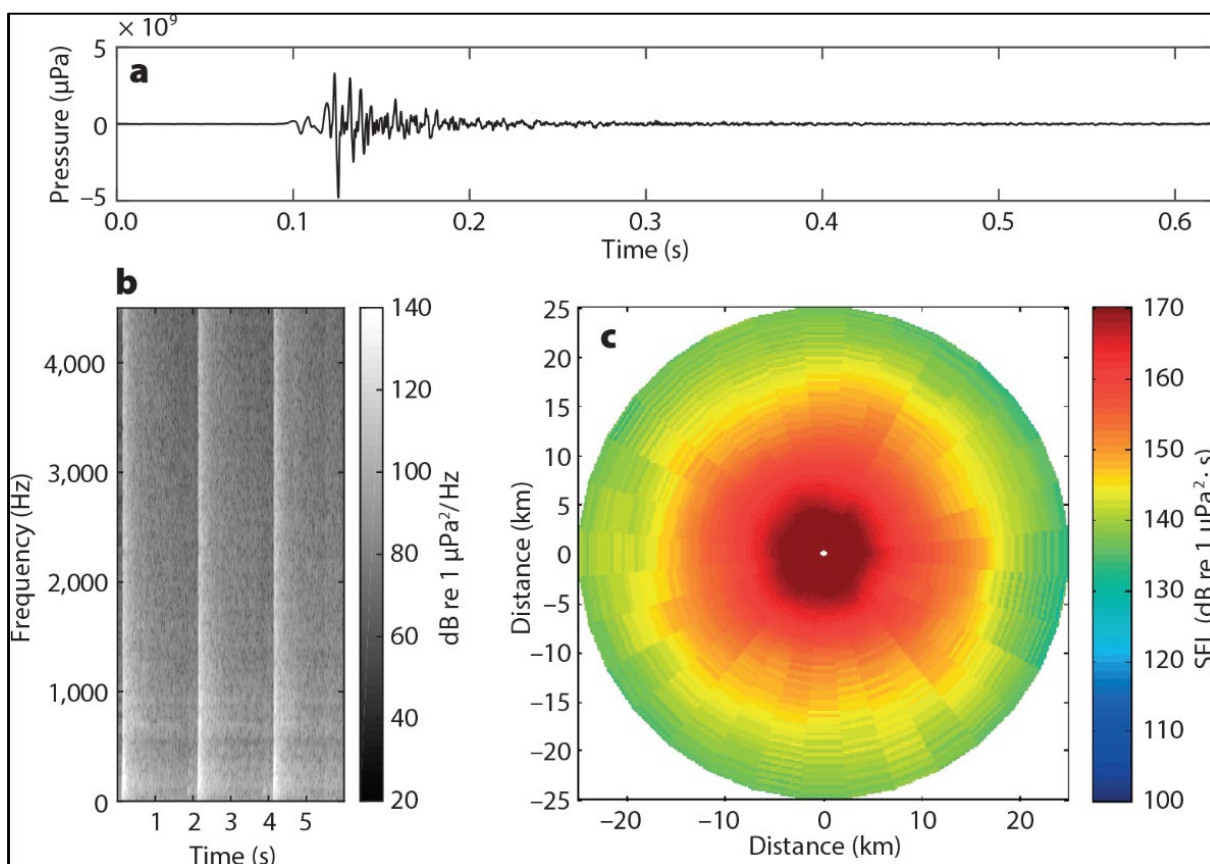


Figura 13: Spettrogramma della forma d'onda (a) e dei segnali impulsivi (b) – Rhode Island. Propagazione del rumore di un monopalo (c) – Mar Baltico.

Altre attività in questa fase comprendono la posa dei cavi, l'installazione delle strutture accessorie e l'eventuale trascinarsi delle catenarie per le WTG di tipo floating.

Verranno utilizzate imbarcazioni specializzate, appositamente progettate per la posa e l'interramento dei cavi sul fondale marino. Il cavo sarà interrato lungo il percorso grazie all'uso di un'idro-fresa.

Durante l'intero processo di installazione del cavo sottomarino, l'imbarcazione con capacità di posizionamento dinamico mantiene la propria posizione (posizione fissa o raggio d'azione predeterminato) per mezzo delle eliche e dei propulsori utilizzando un sistema di posizionamento che descrive la posizione dell'imbarcazione inviando informazioni a un computer di bordo che controlla i propulsori. Il sistema di posizionamento dinamico è in grado di raggiungere la precisione necessaria per attività di interrimento dei cavi sicure e affidabili senza la necessità di ancore, rimorchiatori o linee di ormeggio. Pertanto, la principale fonte di rumore subacqueo prodotta durante questa operazione è rappresentata dai propulsori che agiscono sulla nave di installazione.

I livelli sonori delle eliche possono variare in parte a causa delle tecnologie impiegate e non dipendono necessariamente dalle dimensioni dell'imbarcazione, dalla potenza del motore o dall'attività svolta.

Il livello della sorgente sonora è dell'ordine di 171 dB re 1 μ Pa a 1 metro [9] per il posizionamento della sorgente da 2,5 metri di profondità. Ai fini dell'analisi di modellazione acustica subacquea, si ipotizza che le attività di posa dei cavi siano continue e possano svolgersi in un orario di 24 ore.

3.4.3 Funzionamento

È la fase più lunga del ciclo di vita di un parco eolico e può includere il rumore subacqueo persistente associato alle vibrazioni meccaniche delle apparecchiature elettriche e al traffico delle imbarcazioni per la manutenzione, che si estende per un periodo di 20-25 anni. Sono disponibili diverse misurazioni dei livelli di rumore emessi dalle apparecchiature e i valori osservati sono di natura tonale e di entità molto inferiore rispetto alla fase di installazione. Nonostante i bassi valori di livello e di frequenza associati ai suoni prodotti, a causa del lungo periodo di esposizione, questi rumori possono provocare reazioni comportamentali in alcune specie ed è quindi importante che vengano valutati e monitorati.

3.4.4 Smantellamento

È la fase finale del ciclo di vita di un impianto, che può includere tagli meccanici e un aumento del traffico navale motorizzato. Essendo l'ultima fase non sono ancora stati condotti molti studi sul livello di suono generato o sui potenziali impatti associati alla vita marina. I processi coinvolti nella disattivazione comprendono lo smantellamento delle componenti, fondazioni e cavi sottomarini. Inoltre, per queste attività saranno necessarie imbarcazioni simili a quelle utilizzate nella fase di installazione. Queste attività introducono un rumore continuo di bassa o media frequenza, che dipende dal tipo, dalla potenza e dalle caratteristiche operative dello strumento utilizzato. Un esempio è dato da [11], che hanno misurato i livelli di pressione sonora dei getti d'acqua utilizzati per tagliare una fondazione di tipo

monopalo su cui era stata installata una stazione anemometrica. I livelli massimi di pressione sonora registrati erano di circa (198 -199 dB re 1 μ Pa) a distanze da 10 a 50 m dalla sorgente emittente e la maggior parte di questa energia acustica era compresa tra 250 Hz e 1.000 Hz.

3.5 Metodologia di analisi

La valutazione proposta di seguito riguarderà i seguenti punti:

1. Revisione della letteratura e dei documenti scientifici più aggiornati sugli impatti del rumore subacqueo sui recettori marini.
2. Identificazione dei livelli sonori per ciascuna delle attività da effettuare.
3. Descrizione dei potenziali modelli di propagazione per le sorgenti che possono causare disturbi o lesioni ai recettori marini.
4. Scelta dei descrittori e dei valori soglia corretti per la valutazione dello stress con riferimento ai più recenti studi di esperti sulla validità dei descrittori di impatto e in base alle specie marine considerate sensibili per l'area di progetto.

3.5.1 Sorgenti e livelli di rumore

In base agli articoli più recenti e ai dati reperiti, nel prossimo capitolo verrà stilata una tabella con una gamma di livelli divisi per fonti per le attività a più alto impatto in ogni fase del progetto.

3.5.2 Modello di propagazione del suono

Come già accennato, un'efficace modellazione della propagazione sonora può essere eseguita solo in una fase successiva del progetto, a seguito di una conoscenza più dettagliata dell'ambiente marino, in particolare della composizione specifica degli strati del fondale, e delle sorgenti effettive che determinano i parametri dell'analisi numerica.

In generale, la modellazione della propagazione può essere eseguita su base empirica o utilizzando un modello di propagazione avanzato, quando tutti i dati di ingresso sono disponibili. Nella fase successiva del progetto, entrambe le procedure saranno testate e confrontate per migliorare la previsione.

3.5.2.1 Modellazione empirica

Per fornire una valutazione oggettiva e quantitativa del grado di impatto ambientale legato al rumore subacqueo di origine antropica, è necessario stimare il livello sonoro a varie distanze dalla sorgente emittente. In questo senso, per conoscere il profilo del livello di pressione sonora in funzione della distanza dalla sorgente e quindi l'intervallo entro il quale si può avere un effetto del suono, è necessario

conoscere il livello di suono generato dalla sorgente e la velocità di decadimento di questo livello sonoro. Questi due parametri sono:

1. Livello della sorgente (SL), definito come il livello sonoro effettivo a una distanza nominale di un metro, espresso in dB re 1 μ Pa 1 m;
2. Perdita di trasmissione (TL), ovvero la velocità di attenuazione del suono della sorgente durante la sua propagazione.

La conoscenza di questi due parametri consente di modellare il livello di pressione sonora in funzione della distanza del ricevitore dalla sorgente di emissione. Il valore in dB viene calcolato con la seguente equazione:

$$RL = SL - TL$$

Dove RL è il livello di pressione sonora in dB al ricevitore (ad esempio, mammifero marino), SL è il livello della sorgente in dB a 1 m e TL è la perdita di trasmissione in dB, definita come:

$$TL = 20 \text{Log}_{10} \left(\frac{P_0}{P_r} \right)$$

Dove P_0 è nominalmente la pressione in un punto a un metro dalla sorgente e P_r è la pressione a una distanza r dalla sorgente emittente. Tuttavia, il metodo abituale per modellare la perdita di trasmissione nell'area vicina alla sorgente è dato dall'espressione:


$$TL = N \text{Log}_{10}(r) + \alpha r$$

I coefficienti N e α (dB m⁻¹) si riferiscono rispettivamente alla dispersione geometrica e all'assorbimento del suono. Valori elevati di N e α si riferiscono alla rapida attenuazione del suono.

Due modelli classici, la propagazione sferica e quella cilindrica, rappresentano due casi estremi. La prima ha un valore associato di $N=20$, corrispondente alla propagazione sferica del suono e viene spesso assunta in prossimità di una sorgente in acque profonde, dove si verifica una rapida attenuazione del segnale man mano che si allontana dalla sorgente.

Un valore di $N=10$ rappresenta la propagazione cilindrica che può verificarsi nei canali di acque profonde e nelle colonne di acque poco profonde. Per la trasmissione subacquea in acque poco profonde, dove la profondità dell'acqua è maggiore di cinque volte la lunghezza d'onda del suono, il fattore di perdita di propagazione nell'equazione sopra riportata tende a un valore intermedio e può essere assunto pari a 15.

Inoltre, il modello SL-TL può essere applicato a qualsiasi misura logaritmica del suono, compreso il SEL. Con questo approccio è possibile stimare l'intervallo in cui il valore supererà una determinata soglia, utile per valutare la risposta comportamentale degli animali a distanze diverse. In generale, il modello

	RELAZIONE SULLA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO DELL'IMPIANTO	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	PP.OW.MFD01.5.6.R00 00 01/02/2023 34 di 44
---	--	--	---

SL-TL dipende dalla frequenza, con alcune frequenze più attenuate di altre in funzione della distanza. Attualmente, il modo più utilizzato per determinare questi parametri è quello di effettuare misurazioni direttamente nell'ambiente marino, con livelli e distanze sonore note, anche se è possibile, in linea di principio, stimare la perdita di trasmissione utilizzando modelli numerici. Una volta determinati, la pratica comune è quella di estrapolarli a distanze superiori a quelle in cui è stato misurato il rumore.

3.5.2.2 Modello di propagazione avanzato

I modelli avanzati di propagazione acustica oceanica sono stati ampiamente utilizzati per diversi decenni per supportare un'ampia gamma di applicazioni. Più di recente, i progressi in diverse discipline scientifiche hanno fornito una maggiore fiducia nella capacità di prevedere il campo acustico per una determinata sorgente, e gran parte dei progressi si sono basati sui progressi in [12]:

1. Acustica computazionale - che ha fornito una soluzione all'equazione d'onda e che permette di calcolare il campo acustico per un determinato ambiente;
2. Telerilevamento batimetrico - che ha fornito dati sulla profondità dell'acqua da inserire in problemi su piccola e grande scala;
3. Dinamica oceanografica e modellazione: è stata caratterizzata la complessità del campo di temperatura e salinità (che determina la velocità del suono) e i metodi di osservazione e modellazione hanno contribuito a quantificare questi campi;
4. Velocità dell'hardware del computer - molte delle capacità della moderna modellazione acustica hanno beneficiato del rapido aumento della velocità di elaborazione dei computer (CPU) e dell'efficienza di accesso alla memoria (RAM).

Esiste un'ampia varietà di modelli disponibili, comunemente classificati in base al metodo sottostante nei seguenti gruppi [13], che descrivono i metodi più comunemente utilizzati:

- Tracciamento del raggio
- Modalità normale
- Equazione parabolica
- Integrazione del numero d'onda
- Flusso di energia
- Differenze finite, modelli agli elementi finiti.

Sulla base del nostro attuale know-how, la modellazione acustica sarà eseguita con il modello acustico dipendente dal raggio d'azione (GeoRAM), ampiamente utilizzato, che si basa sull'equazione parabolica di Fourier standard (PE) della Marina degli Stati Uniti. Questa metodologia consiste in una serie di algoritmi che calcolano la perdita di trasmissione in base a una serie di fattori, tra cui la distanza tra la sorgente e il ricevitore, insieme a parametri oceanografici di base (ad esempio, profondità, batimetria,

proprietà acustiche del tipo di sedimento e il profilo di velocità del suono in funzione della profondità e della temperatura lungo la colonna d'acqua).

L'accuratezza dei risultati della modellazione del rumore subacqueo dipende in larga misura dai dati di ingresso delle sorgenti sonore e dai dati intrinsecamente dinamici utilizzati per descrivere il mezzo tra il percorso e il ricevitore, comprese le condizioni della superficie del mare, della colonna d'acqua e del fondale. Tuttavia, questo approccio presenta alcune limitazioni dovute al fatto che le incertezze dei dati di input del modello aumentano con l'aumentare delle distanze di propagazione della sorgente.

Per le acque poco profonde, la propagazione del suono è dominata da effetti limite e i dati batimetrici, che rappresentano la natura tridimensionale della superficie del fondo marino, svolgono un ruolo importante nella modellazione. Il tipo di sedimento (ad esempio, roccioso, sabbioso, fangoso) influisce direttamente sulla velocità del suono, poiché fa parte del mezzo in cui il suono si propaga. L'efficienza di propagazione del fondale marino è molto più bassa di quella della colonna d'acqua, perché l'assorbimento del fondo è tipicamente circa 1.000 volte superiore a quello dell'acqua di mare. A causa delle variazioni della profondità dell'acqua e delle proprietà del fondo oceanico, il rumore in acque poco profonde può essere molto variabile da una località all'altra.

Il modello numerico di propagazione del suono, una volta in possesso di dati di input più precisi come la composizione degli strati di terreno, la progettazione esecutiva delle fondazioni delle piattaforme, la definizione delle attrezzature di installazione e l'energia di impatto del martello idraulico, tra gli altri, servirà come strumento importante per delineare le misure di mitigazione più appropriate per gli impatti previsti durante la fase di installazione del campo eolico offshore di Manfredonia.

3.5.3 Metodo per la valutazione degli impatti

La previsione dell'impatto sui mammiferi marini si baserà sulle soglie proposte per i danni all'udito e sulla metodologia proposta per valutare tale impatto. I valori ottenuti dalla modellazione saranno confrontati con le soglie di perdita dell'udito permanente (PTS) e temporanea (TTS) presentate nella pubblicazione [14] per i mammiferi marini e in [15] per pesci, tartarughe marine e larve.

Il rischio di lesioni si baserà su due criteri simultanei:

- Livello di esposizione sonora cumulativa (SELcum);
- Livello di pressione sonora di picco (SPLpeak).

Per valutare il criterio SELcum, le previsioni modellate del livello di rumore cumulativo nell'arco delle 24 ore sono ponderate in base alla frequenza in cui si verifica il segnale per riflettere la sensibilità uditiva di ciascun gruppo, al fine di identificare le bande in cui vi è il maggior rischio di impatto, mentre il criterio SPLpeak utilizza il valore massimo del livello sonoro istantaneo non ponderato.

3.5.4 Mammiferi e tartarughe marine

I mammiferi marini in generale possono essere suddivisi, in base alla loro capacità uditiva [14], in tre categorie:

1. Frequenza molto alta (VHF);
2. Alta frequenza (HF)
3. Bassa frequenza (LF)

Queste caratteristiche uditive sono importanti per valutare il livello di impatto che questi animali subiscono a causa delle attività antropiche che generano rumore sottomarino, come le indagini sismiche (VHF), i sonar e il pilotaggio di pali (HF) e le emissioni acustiche delle navi e del funzionamento delle apparecchiature elettriche (LF).

Secondo le indicazioni di ACCOBAMS il tursiopo comune (*Tursiops truncatus*) è la specie più frequente nello Stretto di Sicilia. Le balenottere (*Balaenoptera musculus*) sono presenti durante l'inverno e i capodogli (*Physeter macrocephalus*) sono visti occasionalmente, forse durante i loro spostamenti da est a ovest attraverso il Mediterraneo. Le foche monache (*Monachus monachus*) sono oggi assenti, ad eccezione di occasionali avvistamenti. In tabella sono riportati il numero di avvistamenti per specie [16]:

Tabella 7: Distribuzione delle specie di cetacei nel Mare Adriatico

Nome comune	Nome scientifico	Stato di conservazione	Distribuzione
Tursiopo	<i>Tursiops tursiops</i>	A rischio minimo	Avvistamenti comuni nell'Adriatico settentrionale e meridionale
Balenottera comune	<i>Balaenoptera physalus</i>	Minacciata	Avvistamenti rari
Risso Grampo	<i>Grampus griseus</i>	A rischio minimo	Visitatore occasionale
Capodoglio	<i>Physeter macrocephalus</i>	Vulnerabile	Visitatore occasionale
Zifio	<i>Ziphius cavirostris</i>	A rischio minimo	Avvistamenti frequenti
Megattera	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A rischio minimo	Un solo avvistamento di una coppia nel 1989
Stenella striata	<i>Stenella coeruleoalba</i>	A rischio minimo	Nell'Adriatico meridionale, avvistamenti limitati nell'Adriatico settentrionale

Per quanto riguarda le tartarughe marine, nel Mar Adriatico sono state individuate 3 specie di tartarughe, precisamente la tartaruga marina comune (*Caretta caretta*), la tartaruga verde (*Chelonia mydas*) e la tartaruga a liuto (*Dermochelys coriacea*). Mentre le tartarughe verdi e le tartarughe comuni nidificano all'interno del bacino del Mediterraneo, la tartaruga a liuto è considerata un visitatore raro [17].

La tabella riporta inoltre una sintesi sulla distribuzione e sullo stato di conservazione delle specie di tartarughe marine nel Mar Adriatico secondo la lista rossa redatta dal IUCN (International Union for Conservation of Nature).


	RELAZIONE SULLA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO DELL'IMPIANTO	Codice	PP.OW.MFD01.5.6.R00
		Revisione	00
		Data di creazione	01/02/2023
		Data revisione	
		Pagina	37 di 44

Tabella 8: Distribuzione e stato di conservazione delle tartarughe marine nel Mar Mediterraneo

Nome comune	Nome scientifico	Stato di conservazione
Tartaruga marina comune	<i>Caretta caretta</i>	Minacciata
Tartaruga verde	<i>Chelonia mydas</i>	Minacciata
Tartaruga a liuto	<i>Dermochelys coriacea</i>	Gravemente minacciata

Con riferimento ai soli cetacei, nella tabella seguente sono riportati, per ciascuna categoria sopra citata, le bande uditive stimate e i generi rappresentati per ciascun gruppo. Nella tabella sono evidenziate le specie più comuni del Mar Mediterraneo.

Tabella 9: Capacità uditive funzionali dei cetacei [14].

Gruppo Uditivo Funzionale	Ampiezza di Banda Stimata	Generi rappresentati (Numero di specie/ sottospecie)
Cetacei sensibili alle basse frequenze (Mlf)	7 Hz - 22 kHz	<i>Balaena, Caperea, Eschrichtius, Megaptera, Balaenoptera</i> (13 specie/sottospecie)
Cetacei sensibili alle medie frequenze (Mmf)	150 Hz - 160 kHz	<i>Steno, Sousa, Sotalia, Tursiops, Stenella, Delphinus, Lagenodelphis, Lagenorhynchus, Lissodelphis, Grampus, Peponocephala, Feresa, Pseudorca, Orcinus, Globicephala, Orcaella, Physeter, Delphinapterus, Monodon, Ziphius, Berardius, Tasmacetus, Hyperoodon, Mesoplodon</i> (57 specie/sottospecie)
Cetacei sensibili alle alte frequenze (Mhf)	200 Hz - 180 kHz	<i>Phocoena, Neophocaena, Phocoenoides, Platanista, Inia, Kogia, Lipotes, Pontoporia, Cephalorhynchus</i> (20 specie/sottospecie)

In base a quanto definito dagli studi condotti da [14], il livello di soglia minimo di esposizione che può comportare un danno è il livello per il quale si stima che una singola esposizione possa provocare una perdita uditiva permanente (PTS) o temporanea (TTS). Nelle seguenti tabelle sono riportati i livelli di rumore che inducono reazioni comportamentali [14] ed i livelli di soglia proposti per categorie di cetacei esposti a eventi di rumore discreti (esposizione sia singole che multiple in un periodo di 24 h). Si precisa che tali valori sono stati oggetto di integrazione nell'ambito del rapporto tecnico redatto da ISPRA, nel Maggio 2012, intitolato "Valutazione e mitigazione dell'impatto acustico dovuto alle prospezioni geofisiche nei mari italiani". Tale documento è stato elaborato in seguito ad una specifica richiesta della Commissione Tecnica di Valutazione Ambientale (CTVA) del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) con lo scopo di costituire uno strumento di riferimento per la pianificazione, il modus operandi e la valutazione del rischio associato, in particolare, alle prospezioni geofisiche, con l'obiettivo di minimizzare l'impatto acustico causato da tali attività sull'ambiente marino. I valori soglia indicati nella tabella seguente sono espressi come Livello di Pressione Sonora (SPL), intensità di pressione misurata al ricevitore (RL) o Livello di Esposizione Sonora (SEL) e sono suddivisi per i diversi tipi di suono che originano le prime significative risposte comportamentali nei diversi gruppi di cetacei [14] [18].


	RELAZIONE SULLA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO DELL'IMPIANTO	Codice	PP.OW.MFD01.5.6.R00
		Revisione	00
		Data di creazione	01/02/2023
		Data revisione	
		Pagina	38 di 44

Tabella 10: Valori soglia per mammiferi marini – rumore in grado di causare le prime risposte significative.

Valori Soglia per Diversi Tipi di Rumore Capaci di Causare le Prime Significative Risposte Comportamentali in Diverse Specie di Mammiferi Marini
Valori soglia per Impulsi singoli (tipo battipali):
Sound exposure levels SEL: 183 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$
Valori soglia per Impulsi multipli (tipo survey geosismici):
Cetacei bassa frequenza: 120 dB re: 1 μPa RL (RMS/pulse duration)
Cetacei media frequenza: 90-180 dB re: 1 μPa RL (RMS/pulse duration)
Cetacei alta frequenza: non applicabile
Valori soglia per rumori non impulsivi (tipo perforazione, navi etc):
Cetacei bassa frequenza: 100-110 dB re: 1 μPa RMS SPL
Cetacei media frequenza: 110-120 dB re: 1 μPa RMS SPL
Cetacei alta frequenza: 140-150 dB re: 1 μPa RMS SPL

Nella tabella seguente si riportano i valori soglia elaborati per la perdita permanente (PTS) e temporanea (TTS) di sensibilità uditiva e sono evidenziati i valori di interesse [14] [18]. In corsivo i valori proposti dall'ISPRA ad integrazione dei valori di [14] con il chiarimento “*dato variabile in funzione della categoria di cetacei, della tipologia di sorgente e della risposta comportamentale degli individui osservati*”.

Tabella 11: Valori soglia per mammiferi marini – rumore in grado di causare PTS e TTS.

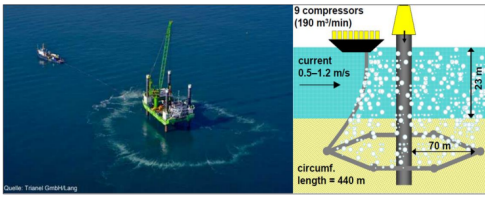
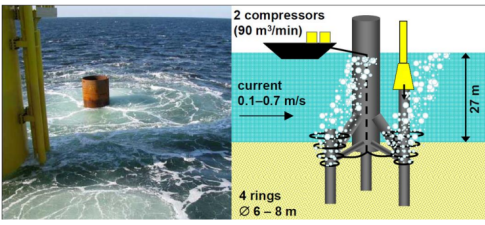
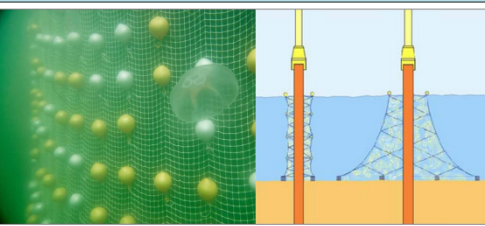

		TIPOLOGIA DI SUONO		
		Impulso Singolo	Impulso Multiplo	Non Impulsivo
PTS	Cetacei sensibili alle basse frequenze			
	SPL	230 dB re: 1 μPa (peak) (flat)	230 dB re: 1 μPa (peak) (flat)	230 dB re: 1 μPa (peak) (flat)
	SEL	198 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$	198 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$	215 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$
	Cetacei sensibili alle medie frequenze			
	SPL	230 dB re: 1 μPa (peak) (flat)	230 dB re: 1 μPa (peak) (flat)	230 dB re: 1 μPa (peak) (flat)
	SEL	198 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$	198 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$	215 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$
TTS	Cetacei sensibili alle alte frequenze			
	SPL	230 dB re: 1 μPa (peak) (flat)	230 dB re: 1 μPa (peak) (flat)	230 dB re: 1 μPa (peak) (flat)
	SEL	198 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$	198 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$	215 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$
	Cetacei sensibili alle basse frequenze			
	SPL	224 dB re: 1 μPa (peak) (Flat)	224 dB re: 1 μPa (peak) (Flat)	224 dB re: 1 μPa (peak) (Flat)
	SEL	183 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$	183 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$	195 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$
	Cetacei sensibili alle medie frequenze			
	SPL	224 dB re: 1 μPa (peak) (Flat)	224 dB re: 1 μPa (peak) (Flat)	224 dB re: 1 μPa (peak) (Flat)
	SEL	183 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$	183 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$	195 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$
	Cetacei sensibili alle alte frequenze			
	SPL	224 dB re: 1 μPa (peak) (Flat)	224 dB re: 1 μPa (peak) (Flat)	224 dB re: 1 μPa (peak) (Flat)
	SEL	183 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$	183 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$	195 dB re: 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$

3.6 Strategie di mitigazione

Le pratiche di mitigazione progettate per ridurre i potenziali effetti del rumore sottomarino derivante dallo sviluppo industriale, dai trasporti e dalle operazioni militari sono diventate pratiche relativamente standard negli ultimi 50 anni.

La tabella a seguire intende fornire una panoramica delle tecnologie di mitigazione con alcuni esempi di riduzione del rumore impulsivo generato durante l'installazione delle fondazioni a palo singolo, considerata l'attività più critica di generazione del rumore subacqueo [19]. I valori presentati si riferiscono a livelli a banda larga e si basano su esperimenti effettuati per misurare la riduzione possibile dei livelli sonori prodotti. Tuttavia, le differenze nel diametro del monopalo e nelle dimensioni del martello rendono ogni situazione molto specifica e non consentono un confronto diretto dell'efficienza della riduzione del rumore subacqueo tra le tecniche presentate.

Tabella 12: Misure di mitigazione comunemente utilizzate per fondazioni fisse offshore.


MITIGATION TECHNOLOGY	NOISE REDUCTION	APPLICATION	OVERVIEW
Big Air Bubble Curtain (BBC) A large bubble curtain consists of a hose with drilled holes, supplied with compressed air. The hose is placed on the sea bed and the air escaping from the holes forms the bubble screen. (Photo : Trianel GmbH/Lang / Reference: Verfuß 2012, Koschinski & Lüdemann 2013, Bellmann 2014, Merck & Werner 2014, Andersson and al. 2016)	Single bubble curtain : - 12 dB (SEL), 14 dB (peak) - 11 dB (SEL), 15 dB (peak) - 10 – 15 dB (SEL) Double bubble curtain : - 17 dB (SEL), 21 dB (peak) - 15 – 18 dB (SEL)	Pile driving Drilling Dredging Detonations	
Small Air Bubble Curtain (SBC) A small bubble curtain can be customized and placed much closer to the noise source than the big bubble curtain. It may consist of a rigid frame placed around the source. Several configurations are possible. Reference: Verfuß 2012, Koschinski & Lüdemann 2013, Bellmann 2014, Merck & Werner 2014, Andersson and al. 2016)	Several tests : - 12 dB (SEL), 14 dB (peak) - 11-13 dB (SEL) - 4-5 dB (SEL) - 14 dB (SEL), 20 dB (peak)	Pile driving Drilling	
Hydro Sound Damper (HSD) This technology consists of fishing nets with small balloons filled with gas and foam - tuned to resonant frequencies- fixed to it. It can be applied in different ways. Photo: Patrice Kunte / Reference: Verfuß 2012, Koschinski & Lüdemann 2013, Bellmann 2014, Merck & Werner 2014, Andersson and al. 2016)	4 - 14 dB (SEL) 8 – 13 dB (SEL)	Pile driving Drilling Dredging Detonations	
Cofferdam The cofferdam consists of a rigid steel tube surrounding the pile. Once the pile is stabbed into the cofferdam, the water is pumped out Photos: Kurt Thomsen / Reference: Verfuß 2012, Koschinski & Lüdemann 2013, Bellmann 2014, Merck & Werner 2014, Andersson and al. 2016)	up to 22 dB (SEL) and 18 dB (Peak) 10 – 20 dB (SEL)	Pile driving Drilling	

Altre misure di mitigazione possono essere adottate per le imbarcazioni a motore, al fine di ridurre gli impatti negativi causati dal rumore subacqueo sulla vita marina [20].

Questa tabella ha riassunto le principali linee guida relative al rumore subacqueo irradiato dalle navi, che dovrebbe essere controllato attraverso misure di gestione appropriate.

Tabella 13: Misure di mitigazione dei segnali acustici emessi da imbarcazioni a motore.

Strumenti di mitigazione per le imbarcazioni a motore (adattato da IMO/MEPC Circ. 833 e Renilson Marine Consulting Pty Ltd 2009)	
Design della nave	<ol style="list-style-type: none"> 1. Elica a bassa rumorosità: molti modelli con maggiore efficienza o ridotta cavitazione sulle pale 2. Interazione con eliche/ruote ridotta al minimo: timone ritorto, pinne del timone, forma dello scafo. 3. Configurazione delle macchine a bordo: installazione e collocazione appropriata delle apparecchiature, strutture di fondazione, tipo di propulsione, isolamento dalle vibrazioni
Tecnologie aggiuntive per le navi esistenti	<ol style="list-style-type: none"> 1. Miglioramento del flusso di scia per ridurre la cavitazione: condotto di Schneekluth, condotto di Mewis. 2. Modifiche alla forma dello scafo: pinne curve attaccate (spoiler), ugello rimodellato, iniezione d'aria nell'elica
Considerazioni sul funzionamento e la manutenzione	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pulizia dell'elica e dello scafo e altre manutenzioni regolari 2. Regolazione della velocità della nave. Si tratta di un aspetto critico, poiché la velocità della nave influenza altri aspetti: rischio di collisioni, emissioni atmosferiche, consumo di carburante, tempi di consegna, durata della navigazione, ecc. 3. Reindirizzamento e altre decisioni operative

	RELAZIONE SULLA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO DELL'IMPIANTO	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	PP.OW.MFD01.5.6.R00 00 01/02/2023 41 di 44
---	--	--	---

3.7 Risultati

In base a quanto presentato in questo studio, in particolare per la parte relativa all'impatto acustico sottomarino, di seguito è presentata una tabella riassuntiva con le attività relative alle fasi, dalla progettazione alla dismissione, con i rispettivi livelli sonori.

Tabella 14: Misure di mitigazione dei segnali acustici emessi da imbarcazioni a motore.

Sorgenti di rumore subacqueo	Misura utilizzata	Livello sonoro	
		MIN	MAX
Navi motorizzate	SPL	152	171
Indagini geofisiche	SPL	215	260
Installazioni di fondazioni monopalo	SPL		243
	SPL _{PEAK}	245	
	SEL	210	215
Installazioni dei cavi sottomarini	SPL _{PEAK}	171	180

4 CONCLUSIONI

In questo studio è stato presentato un quadro preliminare per la valutazione dell'impatto acustico aereo dovuto alla presenza di un impianto eolico offshore e l'impatto del rumore subacqueo associato alle attività che si svolgono durante il suo ciclo di vita.

Impatto acustico aereo

Attraverso il modulo DECIBEL del software WindPro sono state inserite tutte le sorgenti di rumore dell'impianto; in particolare:

- 55 WTG modello Vestas V236 con potenza nominale di 15 MW: 118 dB(A) cad.

Dalla mappa del rumore generata dalla simulazione è stato mostrato che le apparecchiature sopra citate non comportano alcuna problematica sull'ambiente circostante con la curva dei 35 dB(A) che degrada a circa 2 km dall'area che circonda l'impianto.

Di conseguenza si può affermare che, considerata la distanza dell'impianto dalla costa, dal punto di vista acustico, alcun recettore sarà interessato da problematiche legate al rumore delle apparecchiature in funzionamento.

Impatto acustico sottomarino

Anche se solo in una fase più avanzata del progetto sarà possibile effettuare una stima completa dei livelli di rumore prodotti e del loro profilo di propagazione, è stata dettagliata la metodologia che sarà adottata nella prossima fase e sono stati chiariti gli scenari, con le attività e i rispettivi livelli di rumore, previsti per le varie fasi del progetto.

Nella fase di pianificazione, verranno effettuate indagini geofisiche e geotecniche per supportare la progettazione ingegneristica delle fondazioni e per determinare il tracciato definitivo dei cavi sottomarini. Questi studi vengono eseguiti con apparecchiature che emettono segnali sonori, come boomers e sparkers, di livello di pressione sonora e frequenza elevati. Tuttavia, il campo di copertura di questi segnali è ristretto e la gamma di frequenze si interseca poco con le bande più sensibili agli impatti dei mammiferi marini e dei pesci.


Sulla base di studi condotti su progetti simili per valutare l'impatto acustico sulla fauna marina, si prevede che i livelli di rumore prodotti durante l'installazione determineranno impatti temporanei, con il ritorno delle specie una volta terminate le attività di questa fase. Tuttavia, le fondazioni monopalo producono un rumore di elevata entità che può causare danni uditivi e fisiologici alle specie marine, pur avendo un basso potenziale di mascheramento dei segnali acustici di origine biologica a causa della sua breve durata.

Per la fase di esercizio, i livelli di pressione sonora prodotti sono di entità molto inferiore rispetto a quelli della fase di installazione. Per questo motivo, non si prevedono danni uditivi, temporanei o permanenti,

né danni fisiologici agli organismi marini della regione; gli impatti potenziali da monitorare sono il mascheramento di importanti segnali biologici e le alterazioni comportamentali. Le emissioni acustiche delle imbarcazioni a motore utilizzate non saranno significativamente diverse da quelle che caratterizzano il clima acustico del traffico navale dell'area.

La fase di smantellamento è l'ultima fase del ciclo di vita utile dell'impianto, che varia tra i 25 e i 30 anni di funzionamento. L'esperienza in relazione ai livelli di rumore generati e ai rispettivi impatti è ancora limitata a causa del numero ristretto di progetti esistenti. Una delle attività più importanti durante questa fase è il taglio a getto d'acqua delle fondazioni, che presenta livelli di pressione elevati e la maggior parte dell'energia acustica concentrata in una gamma di valori a bassa frequenza.

Per mitigare il rumore subacqueo generato, soprattutto durante le fasi di installazione e di funzionamento, sono state presentate diverse misure possibili. Per diminuire i livelli di rumore generati durante l'installazione delle fondazioni si possono applicare metodi come la barriera a bolle d'aria. Inoltre, altre misure come l'uso di attrezzature dissuasive e l'avvio del martellamento con un'energia d'impatto inferiore all'inizio e più distanziata, agiscono come segnali di avvertimento per gli organismi marini vicini all'area di installazione, in modo che si allontanino dalla fonte di emissione. Infine, un'altra opzione è l'uso di osservatori a bordo che monitorano l'attività di frantumazione e, se avvistano specie all'interno dell'area di rischio, avvisano gli operatori della nave per interrompere l'attività.

	RELAZIONE SULLA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO DELL'IMPIANTO	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	PP.OW.MFD01.5.6.R00 00 01/02/2023 44 di 44
---	--	--	---

Bibliografia

- [1] T. F. e. al., «Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish,» 2006.
- [2] L. K., «Regulatory Approaches to Underwater Noise,» 2020.
- [3] H. A. D. Popper A. N., «The Effects of Noise on Aquatic Life,» 2012.
- [4] W. G. M., «Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources,» *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 34, n. 12, pp. 1936-1956, 1962.
- [5] H. D. Nedwell J., «A review of offshore windfarm related underwater noise sources,» 2004.
- [6] H. M. B. e. al, «Effect from the construction of Nysted Offshore Wind Farm on seals in Rodsand seal sanctuary based on remote video monitoring,» 2004.
- [7] M. T. A. e. al, «Acoustic Impacts of Offshore Wind Energy on Fishery,» *Oceanography*, vol. 33, n. 4, pp. 82-95, 2020.
- [8] A. M. H. e. al, «A framework for regulating underwater noise during pile driving. A technical Vindval report,» *Swedish Environmental Protection Agency*, n. ISBN 978-91-620-6775-5.
- [9] Orsted, «Hornsea Project Three Offshore Wind Farm.»
- [10] HDR, «Underwater Acoustic Monitoring Data Analyses for the Block Island Wind Farm , Rhode Island».
- [11] H. e. al, 2017.
- [12] W. L. S. e. al, «Review of Underwater Acoustic Propagation Models,» *NPL Report*, 2016.
- [13] J. F. B. e. al, «Computational Ocean Acoustics».
- [14] S. E. B. L. e. al, «Marine mammal noise exposure criteria: Updated scientific recommendations for residual hearing effects,» *Aquatic Mammals*, n. 2, pp. 125-232, 2019.
- [15] P. A. N. e. al, «Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles».
- [16] A. A. e. al., «Avvistamenti invernali di cetacei nel Canale di Sicilia,» p. 7, 1997.
- [17] L. B. e. al, «The presence of green turtles *Chelonia mydas* in the Adriatic Sea,» *Herpetological Journal*, pp. 143-147.
- [18] ISPRA, «Valutazione e mitigazione dell'impatto acustico dovuto alle prospezioni geofisiche nei mari italiani,» pp. 456-460, 2012.
- [19] ACCOBAMS, «methodological guide - guidance on underwater noise mitigation measure,» in *Seventh Meeting of the Parties to ACCOBAMS*, Istanbul, 2019.
- [20] IMO/MEPC, «Circ. 833».