

PREMESSA

Il sottoscritto P.I. Francesco Di Cosmo "Tecnico Competente in Acustica" iscritto nell'albo Regionale ai sensi della L. 447/95 con determina del Dirigente del Settore Ecologia (Regione Puglia) n.217 del 26-10-2000 ha eseguito un'indagine fonometrica nell'area dove sarà realizzato l'impianto eolico e le opere di connessione alla stazione primaria.

Lo studio d'impatto acustico che segue si pone come obiettivo la tutela della qualità dell'ambiente per la salvaguardia della salute pubblica. A tal fine si è proceduto attraverso le seguenti fasi:

- indagine strumentale fonometrica finalizzata ad ottenere la situazione acustica ambientale ante-opera della zona circostante all'area in questione
- valutazione documentale delle emissioni sonore provenienti dagli aerogeneratori in esercizio
- calcolo di previsione della situazione acustica con l'impianto in esercizio
- verifica che i dati siano tali da non superare i limiti di legge o generare comunque disturbo per gli eventuali ricettori posti nell'intorno del sito
- valutazione dell'impatto acustico nella fase di esercizio
- valutazione dell'impatto acustico nella fase di realizzazione.

Il progetto riguarda l'installazione di 14 aerogeneratori avente la potenza massima di 3,6 MW per complessivi 50,4 MW da realizzare nei Comuni di Lesiana – Poggio Imperiale (FG).

L'impatto acustico e il rapporto con il territorio viene tenuto in seria considerazione in fase di scelte progettuali, anche se, sia i risultati dei valori calcolati attraverso le analisi previsionali, sia i risultati delle campagne realizzate in passato dimostrano come l'influenza psicologica tenda a sopravvalutare l'inquinamento acustico. Il solo rumore dovuto alla rotazione delle pale, infatti, viene spesso confuso con il rumore di fondo dovuto al vento ed ai suoi effetti su piante, foglie e territorio.

La rumorosità dei parchi eolici era un fattore critico fino ad alcuni anni orsono. Grazie anche ai contributi di numerosi progetti europei espressamente dedicati alla problematica del rumore il problema è stato affrontato efficacemente e nelle turbine di ultima generazione è stata ottenuta una significativa mitigazione del rumore emesso.

Benché i moderni parchi eolici non siano particolarmente rumorosi in termini assoluti e lo siano in generale meno di molti altri insediamenti industriali, tuttavia il più delle volte essi sono siti in ambiente rurale, dove il rumore di fondo è molto basso, soprattutto in periodo notturno, quando si hanno condizioni di propagazione del rumore a terra meno favorevoli e l'effetto di mascheramento del rumore di fondo provocato dal vento stesso risulta conseguentemente attenuato. Pertanto il calcolo progettuale e la verifica in sito dei livelli assoluti e differenziali del rumore immesso nell'ambiente circostante sono adempimenti ineludibili per la progettazione, realizzazione e messa in esercizio di nuove installazioni.

Lo studio che segue viene condotto per aerogeneratori aventi le seguenti caratteristiche:

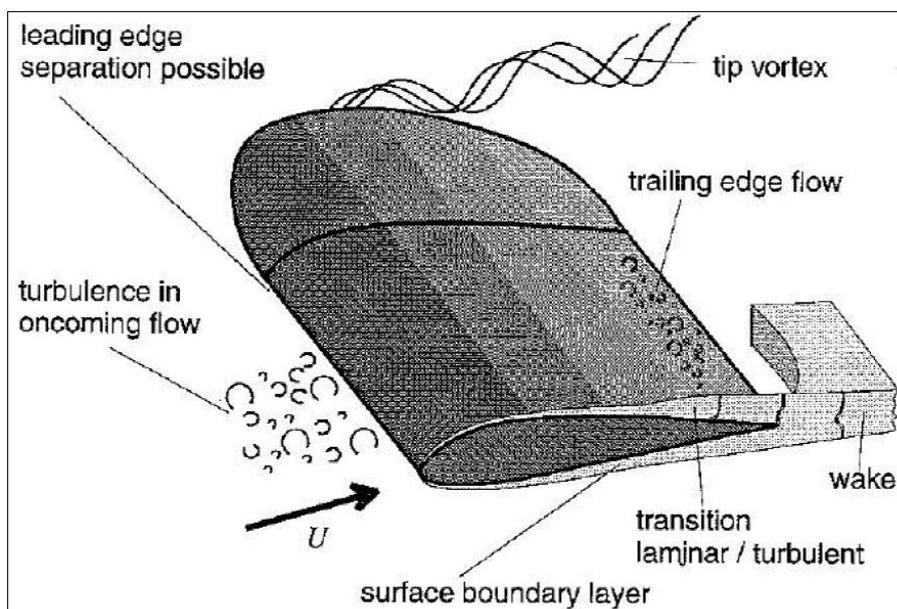
| | Modello | Potenza MW | Altezza mozzo m | Diametro rotore m | Numero di giri al minuto rpm | Altezza massima complessiva m |
|---|-------------|---------------|-----------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Vestas V117 | 3,6 | 91,5 | 117 | 10,5 | 150 |

Risulta utile richiamare brevemente i meccanismi di generazione del rumore nelle turbine eoliche, illustrare gli elementi legislativi e normativi che presiedono alla verifica della immissione di rumore e alla misura delle emissioni di una turbina eolica.

La potenza acustica emessa da una turbina eolica si compone in prima analisi di due diversi contributi: il rumore meccanico ed il rumore aerodinamico. Il rumore meccanico trae origine dai diversi componenti della macchina, quali il generatore elettrico e gli ingranaggi. Il rumore aerodinamico è generato dagli effetti di turbolenza dovuti dalla interazione dell'aria con le palette. Il rumore aerodinamico è la componente prevalente ed è quella che ha posto le maggiori difficoltà di controllo a livello progettuale.

Nelle turbine di recente costruzione, gli ingranaggi sono stati realizzati con denti elicoidali (che riducono il rumore di circa 1 dB per 1° di angolo dell'elica) e con speciali tecniche di realizzazione che assicurano una maggiore elasticità del nucleo ed una maggiore durezza superficiale, così da ridurre l'usura; inoltre sono stati significativamente ridotti gli effetti delle risonanze strutturali nella navicella. Questi interventi alla sorgente, hanno reso di minor peso l'effetto delle sospensioni elastiche tra la scatola degli ingranaggi e la navicella e tra la navicella ed il pilone, comunque presenti, e nell'insieme hanno ridotto significativamente il rumore meccanico degli ingranaggi. Un costruttore inoltre offre modelli di turbina eolica privi del moltiplicatore e come tali quindi privi del relativo rumore.

Il rumore aerodinamico provocato dal moto relativo tra aria e pala della turbina è causato da diversi meccanismi di generazione. Lo schema del flusso di aria incidente sul profilo della pala ed i fenomeni fluidodinamica che ne conseguono sono illustrati nella seguente figura.

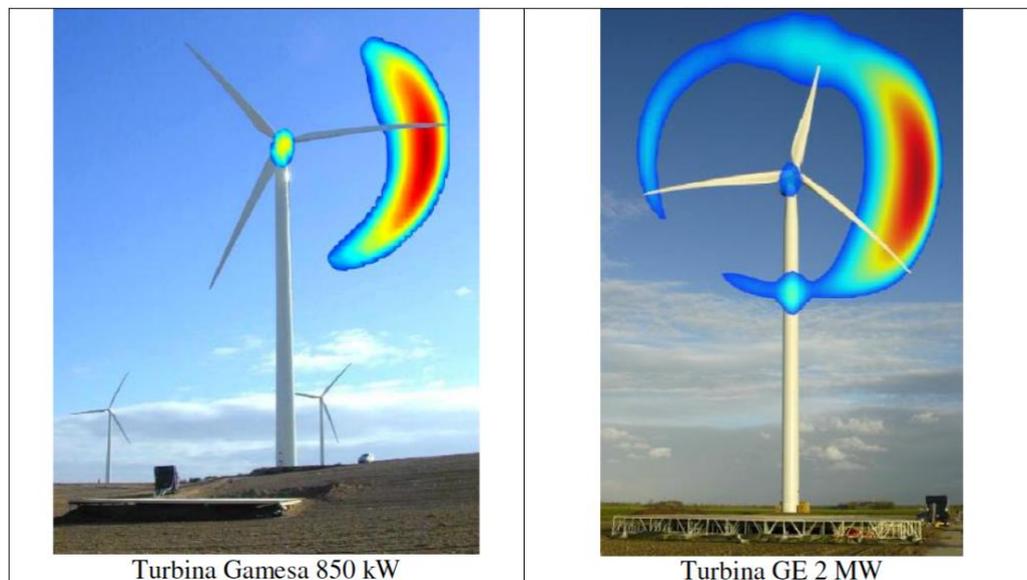


Nell'aria che raggiunge il profilo della pala sul suo bordo di ingresso (leading edge) è presente una turbolenza naturale (inflow turbulence). Lo strato limite dell'aria che scorre a contatto con la superficie della pala può essere di tipo laminare o turbolento. A valle della pala gli strati limite della superficie superiore in depressione ("suction side") e di quella inferiore in pressione ("pressure o lifting side") si combinano per dare luogo alla scia vorticoso dell'aria che abbandona la pala. Alla estremità esterna della pala ("blade tip") la differenza di pressione sulle superfici inferiore e superiore della pala tende a compensarsi, causando un flusso trasversale che genera vortici di estremità.

L'effetto della turbolenza insita nel vento all'ingresso della superficie della pala ("inflow turbulence") genera rumore a larga banda in un range di frequenza fino a 1 kHz ed è percepito come un fischio o un sibilo. La frequenza del rumore generato è funzione delle dimensioni dei vortici portati dal vento. La frequenza del suono generato aumenta al diminuire delle dimensioni dei vortici, entrando nel campo dell'effettivo disturbo sonoro ($f > 100$ Hz) quando questi ultimi hanno dimensioni minori o uguali della corda della pala. L'intensità del rumore generato è allora proporzionale U^5 , dove U la velocità relativa del vento rispetto al profilo della pala nella generica sezione della pala. Forma del profilo della pala e raggio di curvatura del profilo d'ingresso della pala hanno significativa importanza sulla generazione di questo rumore aerodinamico, la cui entità tuttavia è ritenuta essere minore rispetto alla sorgente di rumore provocata dal flusso sul bordo d'uscita della pala.

Il rumore che si genera sul bordo posteriore della pala ("trailing edge noise") è provocato dall'interazione con il profilo di uscita della pala dei vortici turbolenti che si creano sulla superficie della pala all'interno dello strato limite, dove la turbolenza induce un campo di pressione fluttuante. Il rumore aerodinamico per turbolenza sul bordo di uscita è percepibile come un sibilo, ovvero un rumore a larga banda con un picco solitamente compreso tra 500 e 1500 Hz.

E' stato osservato, come dalla figura seguente, che l'area di maggiore emissione percepita da un osservatore a terra di fronte alla turbina si verifica sulla pala durante la rotazione verso il basso. L'emissione non risultava massima alla estremità della pala, bensì a distanze dal mozzo comprese tra il 75% ed il 95% della lunghezza della pala.



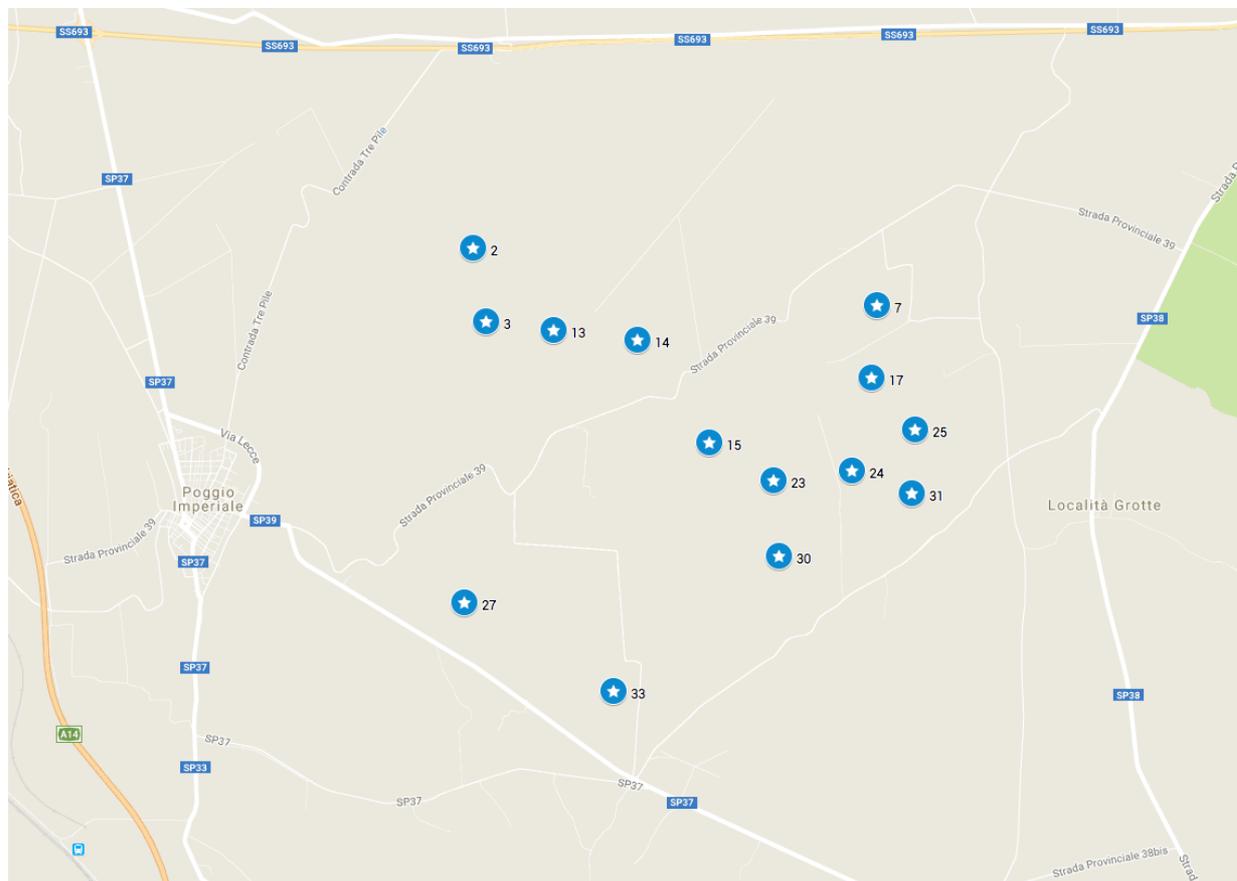
Attraverso studi sul rumore emesso dalle turbine eoliche si sono ricavate delle formule che dovrebbero consentire una stima di prima approssimazione della potenza sonora complessiva emessa di una turbina eolica sulla base di parametri fondamentali.

Una di queste è dettata da Hagg ed è basata sulla velocità V_{Tip} della estremità della pala e del diametro D del rotore:

$$L_{WA} = 50 \log_{10} V_{Tip} + 10 \log_{10} D - 4 \quad [\text{dBA}]$$

INQUADRAMENTO TERRITORIALE E REALIZZAZIONE

L'area prevista per l'installazione dell'impianto eolico è sita a **nord-est** del territorio Comunale di **Poggio Imperiale** ad una distanza, in linea d'aria, dell'aerogeneratore più vicino di oltre **3 Km** dal confine del centro abitato.



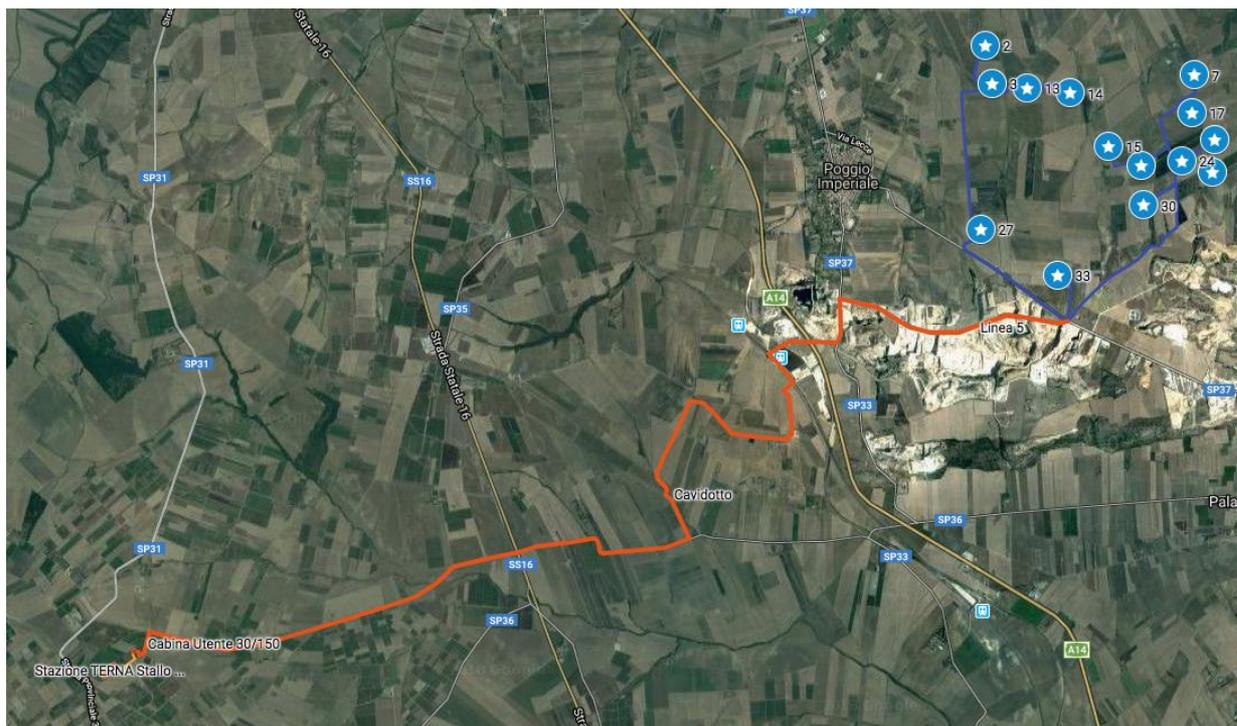
Le coordinate geografiche nei sistemi di riferimento sono le seguenti:

| WTG | Geografiche WGS 84 GD |
|-----|-----------------------|
| 2 | 41.83965, 15.38811 |
| 3 | 41.83533, 15.3891 |
| 7 | 41.83631, 15.41989 |
| 13 | 41.83478, 15.39445 |
| 14 | 41.83421, 15.40098 |
| 15 | 41.82814, 15.40673 |
| 17 | 41.83203, 15.41948 |
| 23 | 41.8259, 15.41179 |
| 24 | 41.82652, 15.41789 |
| 25 | 41.82891, 15.42289 |
| 27 | 41.81868, 15.38741 |
| 30 | 41.82141, 15.41217 |
| 31 | 41.82515, 15.42261 |
| 33 | 41.81345, 15.39912 |



Il progetto prevede l'installazione di:

- un impianto eolico costituito da 14 aerogeneratori con cabina di trasformazione 0,6/30kV;
- la cabina elettrica di impianto 30/150;
- il cavidotto di interconnessione (colore azzurro nella figura seguente)
- il cavidotto esterno (colore rosso nella figura seguente) per raggiungere la stazione TERNA



All'interno di ogni torre è ubicato l'impianto di trasformazione per il collegamento alla cabina di connessione, questo consentirà l'elevazione della tensione al valore di trasporto: da 650 V (tensione in uscita dal generatore) a 30 kV (tensione in uscita dal trasformatore). L'energia prodotta verrà trasportata tramite cavidotti interrati che saranno ubicati quasi sempre lungo la rete viaria esistente, tranne i primi tratti a partire da ogni pala e fino al raggiungimento della viabilità secondaria.

ATTREZZATURA E MOTODI DI MISURA

Per le misure è stata utilizzata una catena strumentale della ASITA che soddisfa le specifiche di cui alla classe 1 delle norme EN 60651/1994 ed EN 60804/1994 ed è fornito di caratteristiche conformi alle normative IEC 804 del 1985 gruppo I ed IEC 651 del 1979 gruppo 1; essa è così composta:

- FONOMETRO integratore di precisione marca ASITA modello HD 9019 matr. 2601983683
- CALIBRATORE marca ASITA modello HD 9101 matr. 0702963878

I filtri ed i microfoni utilizzati per le misure sono conformi, rispettivamente, alle norme EN 61260/1995 (IEC 1260) e EN 61094-111994, EN 61094-211993, EN 61094-3/1995, EN 61094-411995.

Il calibratore è conforme alle norme CEI 29-4, IEC 942 (1988) Classe 1, ANSI S1.40-1 984 (R 1997).

Lo strumento, prima e dopo ogni ciclo di misura è stato controllato con apposito calibratore, secondo le norme IEC 942:1988.

Per la misurazione del vento è stato utilizzato un anemometro marca Nielsen-Kellerman.

Metodi di misura

La misurazione è stata scelta per essere la più rappresentativa della posizione del ricettore con particolare attenzione alla facciata più esposta dell'edificio e ad eventuali spazi di pertinenza esterni fruibili per il riposo e lo svago (per esempio giardini, verande, terrazze ecc.). La distanza del microfono dall'edificio è stata sempre compresa tra i 5 m e i 20 m nella direzione dell'aerogeneratore più vicino.

Si sono considerate le "condizioni del vento più gravose" cioè quelle che favoriscono la propagazione del rumore dall'aerogeneratore al ricettore; in particolare, sono state considerate tali le condizioni in cui la direzione del vento è compresa entro un angolo di $\pm 45^\circ$ rispetto alla congiungente aerogeneratore-ricettore e il vento è risultato diretto verso il ricettore con una velocità compresa tra 1 e 5 m/s.

La quantificazione del rumore espresso in livello equivalente ponderato A, L_{Aeq} depurato degli eventi sonori atipici, che rappresenta il dato più significativo da confrontare con i limiti imposti dalla normativa vigente in materia di esposizione al rumore in ambienti abitativi e nell'ambiente esterno, è stato determinato attraverso misure fonometriche in ambiente esterno in corrispondenza di spazi che potevano essere utilizzati da persone o comunità con modalità e tecniche di rilevamento conformi al D.P.C.M. 1 marzo 1991 e D.M. 16 marzo 1998 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico" in attuazione dell'art. 3, comma 1, lettera c), della Legge n. 447 del 26 ottobre 1995.

Contemporaneamente alla misura dei livelli di rumore è stato necessario acquisire i dati meteo - velocità e direzione del vento - in prossimità di ciascun ricettore, per correlare l'emissione dell'impianto alla velocità del vento. Ciò è stato necessario farlo in prossimità dei recettori, sia per validare i dati di rumore misurati sia per stimare la rumorosità residua del sito in funzione del vento.

I dati fonometrici ottenuti nei punti di misura riportati in tabella, sono da considerarsi significativi e rappresentativi della situazione acustica e delle condizioni di massimo disturbo causate dalle sorgenti presenti in quella zona in condizioni di vento più gravose.

Le misurazioni sono state effettuate in diverse giornate e in assenza di eventi sonori eccezionali, il traffico veicolare per l'intero periodo delle misurazioni ha registrato un andamento regolare per quella zona e le condizioni meteorologiche durante l'intero tempo di osservazione del fenomeno acustico erano normali con assenza di precipitazioni.

Prima e dopo le rilevazioni il fonometro è stato calibrato mediante un segnale di riferimento proveniente da un calibratore acustico che emette un segnale di 94 dB con risoluzione di +1-0,5 dB alla frequenza di 1000 Hz.

Le misurazioni sono state effettuate nel rispetto del D.M. 16-3-1998 allegato B punto 7:

- assenza di nebbia e/o neve;
- velocità del vento al ricettore < 5 m/s;
- microfono munito di cuffia antivento (per le misure in esterno);
- compatibilità tra le condizioni meteo durante i rilevamenti e le specifiche del sistema di misura di cui alla classe 1 della norma IEC 61672-1.

Il fonometro posto sul treppiede ed il microfono situato all'altezza di 1,20 – 1,50 cm da terra, in corrispondenza del luogo disturbato in direzione e nel punto dove veniva rilevata la maggiore rumorosità, mantenendosi dove era possibile lontano da ostacoli o pareti riverberanti e comunque a poco più di 1 metro da essi, con tempo di misurazione statisticamente attendibile di circa 10 minuti ($T_p=10\text{min.}$). Si è ottenuto, così, il livello equivalente ponderato A, $L_{Aeq, 10\text{min}}$ nelle condizioni vento più gravose.

I dati arrotondati a 0,5 dB sono stati riportati su appositi stampati, i criteri seguiti sono quelli accettati in campo internazionale (ISO-IEC) avendo cura di evitare condizioni di sovraccarico (segnalate sul visualizzatore) del fonometro.

La dislocazione dell'apparecchio rappresenta il baricentro di essi, per cui tutti i valori sonori riscontrati devono ritenersi dei livelli equivalenti continui per eventuali soggetti esposti.

Contestualmente alle misure del rumore è stata misurata la velocità del vento e la sua direzione nella stessa posizione e altezza dal suolo.

IMPATTO ACUSTICO E LIMITI DI LEGGE

L'inquinamento acustico potenziale degli aerogeneratori è legato a due tipi di rumori: quello meccanico proveniente dal generatore e quello aerodinamico proveniente dalle pale del rotore. Per quanto riguarda il rumore, in termini di decibel, il ronzio degli aerogeneratori è ben al di sotto del rumore che si percepisce in città. Allontanandosi di trecento metri da un aerogeneratore si rilevano gli stessi decibel che si avvertono normalmente in ambienti urbanizzati. Attualmente comunque gli aerogeneratori ad alta tecnologia sono molto silenziosi. Si è calcolato che, ad una distanza superiore a circa 200 metri circa, il rumore della rotazione dovuto alle pale del rotore si confonde completamente col rumore del vento che attraversa la vegetazione circostante. Il rumore generato dagli impianti eolici è legato essenzialmente a due fattori, il primo è l'interazione tra la vena fluida e le pale, infatti, il contatto della vena fluida con le pale genera un gradiente di pressione che il nostro timpano percepisce e converte in rumore, il secondo è legato alle componenti meccaniche dell'aerogeneratore (moltiplicatore di giri). Per entrambe le cause i progressi tecnologici ci hanno permesso di ridurre estremamente le fonti acustiche, attraverso lo studio aerodinamico delle pale e l'utilizzo di materiali fono assorbenti per quanto riguarda l'isolamento della navicella. Le sovrappressioni generate si riducono nella breve distanza non generando rumore alcuno, quest'ultimo a sua volta è fortemente influenzato dal vento stesso, esso aumenta con la velocità del vento mascherando talvolta il rumore emesso dalla macchina. Le particolarità che hanno contribuito alla mitigazione dell'inquinamento acustico sono state:

- l'utilizzo di un aerogeneratore tripala con velocità di rotazione inferiore ai modelli precedentemente installati, particolare riferimento ai modelli monopala o bipala che necessitano di velocità maggiori,
- utilizzo del sostegno tubolare e non a traliccio in modo da ridurre notevolmente il passaggio del vento tra i tralicci della torre.

Vista l'attività da cui è generato il fonoinquinamento, gli strumenti tecnici d'indagine e la metodologia di valutazione, per la identificazione della previsione di impatto acustico sono stati elaborati i seguenti relativi atti:

- fase di analisi e di approfondimento dati;
- calcolo e indagine spaziale;
- analisi della situazione futura e modello previsionale.

La vigente Normativa prevede il rispetto dei limiti di immissione diurno e notturno determinati da parte dei Comuni nelle carte di zonizzazione. Il D.P.C.M. 1 Marzo 1991, all'art. 6 comma 1 regola il regime transitorio ed indica l'applicazione dei limiti di cui al D.M. 2 Aprile 1968 n.1444 per quei Comuni non ancora dotati di Carte di Zonizzazione:

| ZONIZZAZIONE | Limite diurno $L_{eq}dB(A)$ | Limite notturno $L_{eq}dB(A)$ |
|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Tutto il territorio nazionale | 70 | 60 |
| Zona A (DM 1444/68) | 65 | 55 |
| Zona B (DM 1444/68) | 60 | 50 |
| Zona industriale | 70 | 70 |

- Zona A: le parti del territorio interessate da agglomerati urbani che rivestono carattere storico, artistico e di particolare pregio ambientale o da porzioni di essi comprese le aree circostanti che possono considerarsi parte integrante, per tali caratteristiche, degli agglomerati stessi.

- Zona B: Le parti del territorio totalmente o parzialmente edificate diverse dalle zone A. si considerano parzialmente edificate le zone in cui la superficie coperta dagli edifici esistenti non sia inferiore al 12,5 % (un ottavo) della superficie fondiaria della zona e nelle quali la densità territoriale sia superiore ad 1,5 mc/mq.

I Comuni di [Lesina](#) e [Poggio Imperiale](#) non risulta che si siano dotati di un piano di zonizzazione. Pertanto, in ottemperanza a quanto disposto dal D.P.C.M. 1 Marzo 1991, art. 6 comma 1, vengono applicati i limiti di cui al D.M. 2 Aprile 1968 n.1444 relativi a "tutto il territorio nazionale", cioè 70 e 60 dB (A).

Limite valore di immissione Diurno 70 dB (A), Notturno 60 dB (A).

Valori limite d'immissione differenziali (criterio differenziale)

I valori limite d'immissione differenziali "determinati con riferimento alla differenza tra il livello equivalente di rumore ambientale ed il rumore residuo" (Art. 2 comma 3 lettera b legge n. 447 del 26/10/1995) sono 5dB per il periodo diurno, e 3dB per il periodo notturno all'interno degli ambienti abitativi" (Art. 4 comma 1 DPCM 14/11/1997). Inoltre, in caso di valutazione acustica post-operam con impianto realizzato "Le misure saranno eseguite sia con le finestre aperte che con le finestre chiuse". Il livello equivalente di rumore ambientale, in questo caso, è riferito al tempo di misura medio T_m (D.M. 16/3/98 Allegato A punto 11).

Il DM 16/3/98 spiega come si effettua il riconoscimento dell'impulsività di un evento sonoro nonché la presenza di eventuali componenti tonali (Allegato B punti 9, 10, 11). In questo caso lo stesso decreto nell'Allegato A punto 15, riporta le penalizzazioni che devono essere applicate al livello di rumore misurato (residuo o ambientale).

Il DPCM 14/11/97 precisa che per il criterio differenziale si deve valutare la rumorosità prodotta (art. 4 comma 3):

- A. Dalle infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali e marittime
- B. Da attività e comportamenti non connessi con esigenze produttive, commerciali e professionali

Il criterio differenziale non è applicabile, nei casi in cui il ricettore trovi in aree prevalentemente industriali della classe VI (art. 4 comma 1 DPCM 14/11/1997).

Il criterio differenziale non è applicabile, art.4 comma 2 del DPCM 14/11/1997, quando:

- A. Il rumore misurato a finestre aperte sia inferiore a 50dB(A) nel periodo diurno e 40dB(A) nel periodo notturno (art. 4 comma 2 lettera a), in quanto ogni effetto del rumore è da considerarsi trascurabile.
- B. Il livello di rumore ambientale misurato a finestre chiuse sia inferiore a 35dB(A) nel periodo diurno e 25dB(A) nel periodo notturno (art. 4 comma 2 lettera b), in quanto ogni effetto del rumore è da considerarsi trascurabile.

Tuttavia, la Circolare 6/9/2004 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, fa presente che il criterio differenziale va applicato se non è verificata anche **una sola** delle condizioni di cui alle lettere a) e b) art.4 comma 2 del DPCM 14/11/1997.

Inoltre occorre sottolineare come nel calcolo dei livelli di rumorosità vada incluso anche il rumore antropico prodotto nell'ambito delle attività succitate.

Considerata la configurazione di propagazione del fenomeno esaminato, la verifica del limite di immissione differenziale per gli impianti eolici si effettua considerando esclusivamente la condizione con infissi aperti (condizione maggiormente cautelativa).

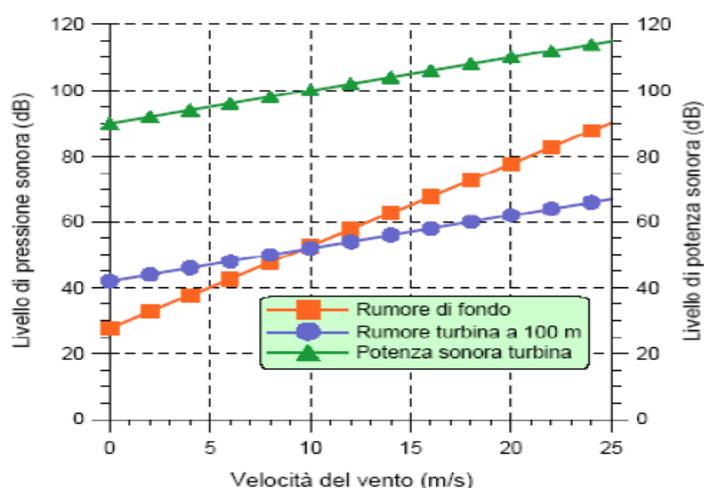
Nella fattispecie, trattandosi di una valutazione acustica pre-operam l'analisi verrà svolta in prossimità dei ricettori, pertanto per limite di applicabilità del criterio differenziale si adotterà quello a finestre aperte: 50dB(A) nel periodo diurno e 40dB(A) nel periodo notturno. Dunque se il rumore ambientale al ricettore, somma del rumore residuo e del rumore immesso dagli aerogeneratori, risulta inferiore a tali valori il criterio differenziale può non essere applicato.

ANALISI PREVISIONALE IN FASE DI ESERCIZIO

E' opportuno osservare che il rumore di fondo generato dal vento aumenta con la velocità, oltre determinati valori di velocità il rumore prodotto dalla turbina viene di fatto mascherato dallo stesso rumore di fondo. Per esempio, una correlazione utilizzata per la valutazione del livello del rumore di fondo L_f dovuto alla velocità del vento u è la seguente:

$$L_f = 27,7 + 2,5u$$

La figura che segue mostra che per velocità del vento dell'ordine di 10 m/s il rumore di fondo è dello stesso ordine di grandezza di quello prodotto dalla turbina eolica (poco meno di 50 dB) posta a 100 metri rispetto ad un ipotetico ricettore. Pertanto al limite della velocità del vento di circa 10m/s il rumore di fondo a 100 metri di distanza risulta di circa 50dB indipendentemente dalla presenza del parco eolico.



Le misure di fondo sono state effettuate:

- calibrando il fonometro prima e dopo ogni ciclo di misura,
- per un tempo di misura sufficiente ad ottenere una valutazione significativa del fenomeno sonoro esaminato con esclusione degli eventuali eventi in cui si siano verificate condizioni anomale non rappresentative (eventi eccezionali).

Presentazione e analisi dei dati ambientali

Caratteristiche tecniche dei sito di misura:

- o rilievi fonometrici: ambiente esterno eseguiti nel mese di **giugno 2018**;
- o situazione al contorno: Zona agricola
- o temperatura media: 25°C diurna - 18°C notturna;
- o Umidità: 70%
- o precipitazione: assente
- o velocità del vento: circa 3m/s misurato in prossimità del microfono del fonometro, il valore esatto è riportato nelle tabelle unitamente al livello sonoro Leq (A)

Caratteristiche della misura

- o tempo di riferimento Tr : diurno (ore 06.00 - 22.00);
- o tempo di riferimento Tr : notturno (ore 22.00 - 06.00);
- o tempo di osservazione diurno To : dalle am 12.00 alle am 13.00;
- o tempo di osservazione notturno To : dalle pm 22.00 alle pm 23.00.
- o tempo medio Tm di ciascuna misurazione 10 minuti

Le emissioni sonore generate dagli aerogeneratori

Le grandi dimensioni delle turbine eoliche ed il fatto che esse operano in condizioni di vento forte e variabile in intensità e direzione rendono non immediatamente applicabili i criteri generali dettati dalla norma ISO 3740 e dalle sue collegate per la misura della potenza sonora di generiche sorgenti di rumore.

L'applicazione delle metodologie prescritte dalla IEC 61400-11 applicata dai costruttori di aerogeneratori fornisce i valori di potenza sonora globale pesata A, lo spettro della potenza sonora in terzi di ottava e la tonalità del rumore di una turbina eolica per i valori interi di velocità del vento pari a 6, 7, 8, 9 e 10 m/s, riportate ad un'altezza di riferimento di 10 m e ad una rugosità del terreno pari a 0.05 m. La determinazione della direttività è invece opzionale.

Il presente studio tende a valutare l'impatto acustico sui ricettori più prossimi quando l'aerogeneratore non è ancora installato e si basa sulle emissioni sonore generate dagli aerogeneratori desumibili dal loro livello di potenza sonora massimo indicato nella scheda tecnica.

Nel caso in esame si riportano le emissioni sonore per ciascun aerogeneratore che si intende installare. I valori desumibili dalle schede tecniche certificate dal costruttore variano, oltre che con la velocità del vento al mozzo ed a 10 metri dal suolo, con il tipo di sistema di riduzione del rumore di cui l'aerogeneratore risulta dotato.

Nella seguente tabella si riportano i valori di emissione in dB(A) al variare della velocità del vento in m/s, ricavati dalle schede tecniche fornite dal costruttore:

| | Modello / velocità del vento | 3 m/s | 4 m/s | 5 m/s | 6 m/s | 7 m/s | 8 m/s | 9 m/s | 10 m/s |
|---|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 | Vestas V117 | 91,8 | 92,1 | 93,9 | 97,1 | 100,4 | 103,4 | 106,1 | 107,0 |

Si precisa che si considera il valore massimo tra i valori indicati per le variazioni del sistema di riduzione del rumore. Anche la distanza considerata nei calcoli dal ricettore all'aerogeneratore, per semplicità è quella in pianta che, risultando minore rispetto a quella aerea, comporta valori di immissione al recettore più alti a favore della verifica alla sicurezza nei confronti dei limiti normativi.

La Norma UNI ISO 9613-2

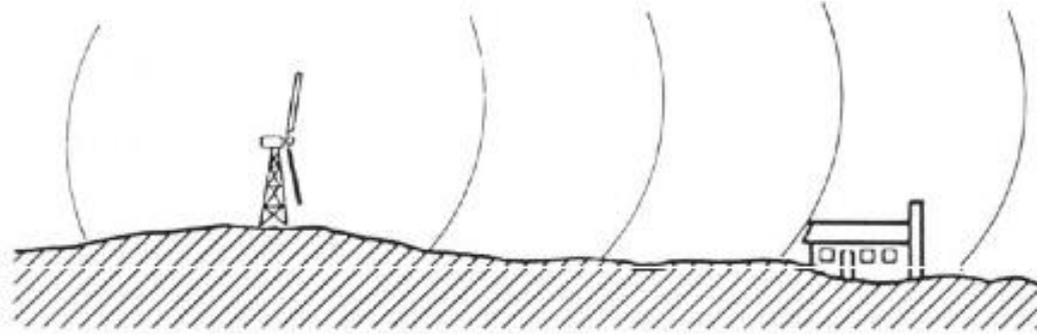
La Norma ISO 9613 descrive un metodo tecnico progettuale per calcolare l'attenuazione sonora nella propagazione all'aperto, allo scopo di prevedere i livelli di rumore ambientale a una certa distanza da una molteplicità di sorgenti. Con questo metodo si prevede il livello di pressione sonora continuo equivalente ponderato A in condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione sonora da sorgenti di emissione note.

Per applicare il metodo dettato dalla Norma ISO 9613-2 occorre conoscere parecchi parametri che riguardano la geometria della sorgente e dell'ambiente, le caratteristiche della superficie del suolo e la forza della sorgente in termini di livelli di potenza sonora per banda di ottava per le direzioni interessate dalla propagazione. Se sono noti soltanto i livelli di potenza sonora ponderati A delle sorgenti, si possono usare i termini di attenuazione a 500 Hz per valutare l'attenuazione risultante.

Il modello ISO 9613-2, permette di calcolare il livello equivalente considerando le attenuazioni dovute alla distanza, all'assorbimento dell'aria, all'influenza del tipo di suolo e se vi sono eventuali schermature.

Le condizioni di propagazione nel senso del vento sono:

- direzione del vento entro un angolo di $\pm 45^\circ$ dalla congiungente il centro della sorgente sonora dominante e il centro della zona specificata per il ricettore, con vento che spirava nel senso sorgente-ricettore;
- velocità del vento compresa tra 1 m/s e 5 m/s, misurata a un'altezza dal suolo compresa tra 3 m e 11 m.



A partire da questo modello generico, sono stati sviluppati e proposti modelli semplificati, come il modello proposto prima dalla "International Energy Agency" nel 1994 e, successivamente, ripreso dalla "Swedish Environmental Protection Agency" nel 2006, utilizzato per valutare il rumore immesso da un aerogeneratore.

$$L_p = L_w - 10 \log (4 \pi r^2) = L_w - 20 \log r - 11$$

L'equazione che permette di calcolare il livello di pressione sonora in funzione della distanza dalla sorgente (in questo caso puntiforme), tenendo conto della divergenza geometrica e delle attenuazioni:

$$L_p(r) = L_w - 20 (\log_{10} r + 11) + ID - A$$

Dove:

L_p = livello di pressione sonora nel punto del ricevitore (dB);

L_w = livello di potenza della sorgente sonora (dB);

r = distanza tra sorgente e ricevitore

ID = termine correttivo per direttività della sorgente ($ID = 0$ per sorgenti omnidirezionali) (dB);

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{ground} + A_{screen} + A_{misc}$$

dove

A_{div} = attenuazione per divergenza geometrica delle onde (dB);

A_{atm} = attenuazione per assorbimento dell'aria (dB);

A_{ground} = attenuazione per "effetto suolo" (dB) per le zone rurali una buona approssimazione in sicurezza è costituita dal porre questo fattore pari a 0,5;

A_{screen} = attenuazione per presenza di barriere (dB);

A_{misc} = attenuazione per altri effetti (presenza di edifici o di vegetazione, gradiente termici, vento, ecc.) (dB).

Il modello ipotizza che il rumore emesso dall'aerogeneratore si propaghi interamente sotto vento, secondo un cono che può essere stimato dagli studi anemometrici effettuati sul sito (vedi rosa dei venti); con tale ipotesi è ragionevole considerare la sorgente di rumore come una sorgente cilindrica caratterizzata da una propagazione del rumore in una direzione prevalente; inoltre, non si considerano né gli effetti di

assorbimento, né di riflessione da parte del terreno.

$$L_p(r) = L_w - 20 (\log_{10} r + 11) - A_{atm}$$

Dove:

A_{atm} = attenuazione per assorbimento dell'aria (dB) con buona approssimazione si può ritenere di 3dB ogni 100m;

In conclusione il livello equivalente di emissione sonora a base di calcolo, per una data distanza dalla singola torre palo, considerando costante l'emissione acustica in tutta l'area di azione del rotore e assimilando il gruppo generatore-rotore ad una sorgente sferica omnidirezionale, può essere calcolato con la formula:

$$L_p(r) = L_w - 20 (\log_{10} r + 11) - (3 r / 100)$$

Dove r = distanza tra sorgente e ricevitore.

Tale relazione risulta valida, nella peggiore delle ipotesi descritta (difficilmente riscontrabile), considerando **per assurdo** l'assenza dei contributi dovuti alle attenuazioni: per divergenza geometrica, per effetto suolo, per presenza di barriere e per altri effetti come attenuazione dovuta alla vegetazione.

I risultati, in campo libero, dei livelli di pressione sonora al variare della distanza dall'aerogeneratore sono in generale di seguito schematizzati:

| Distanza dalla sorgente [m] | Propagazione acustica [dB] |
|-----------------------------|----------------------------|
| 50 | 57.55 |
| 75 | 56.55 |
| 100 | 55.45 |
| 125 | 54.35 |
| 150 | 53.30 |
| 175 | 52.32 |
| 200 | 50.47 |
| 225 | 50.54 |
| 250 | 49.76 |
| 275 | 49.06 |
| 300 | 48.38 |
| 325 | 47.75 |
| 350 | 47.15 |

Dunque in generale si è verificato sul campo che, ad una distanza di circa 200 metri, il rumore della rotazione dovuto alle pale del rotore si riduce a circa 50dB confondendosi completamente col rumore del vento che attraversa la vegetazione circostante.

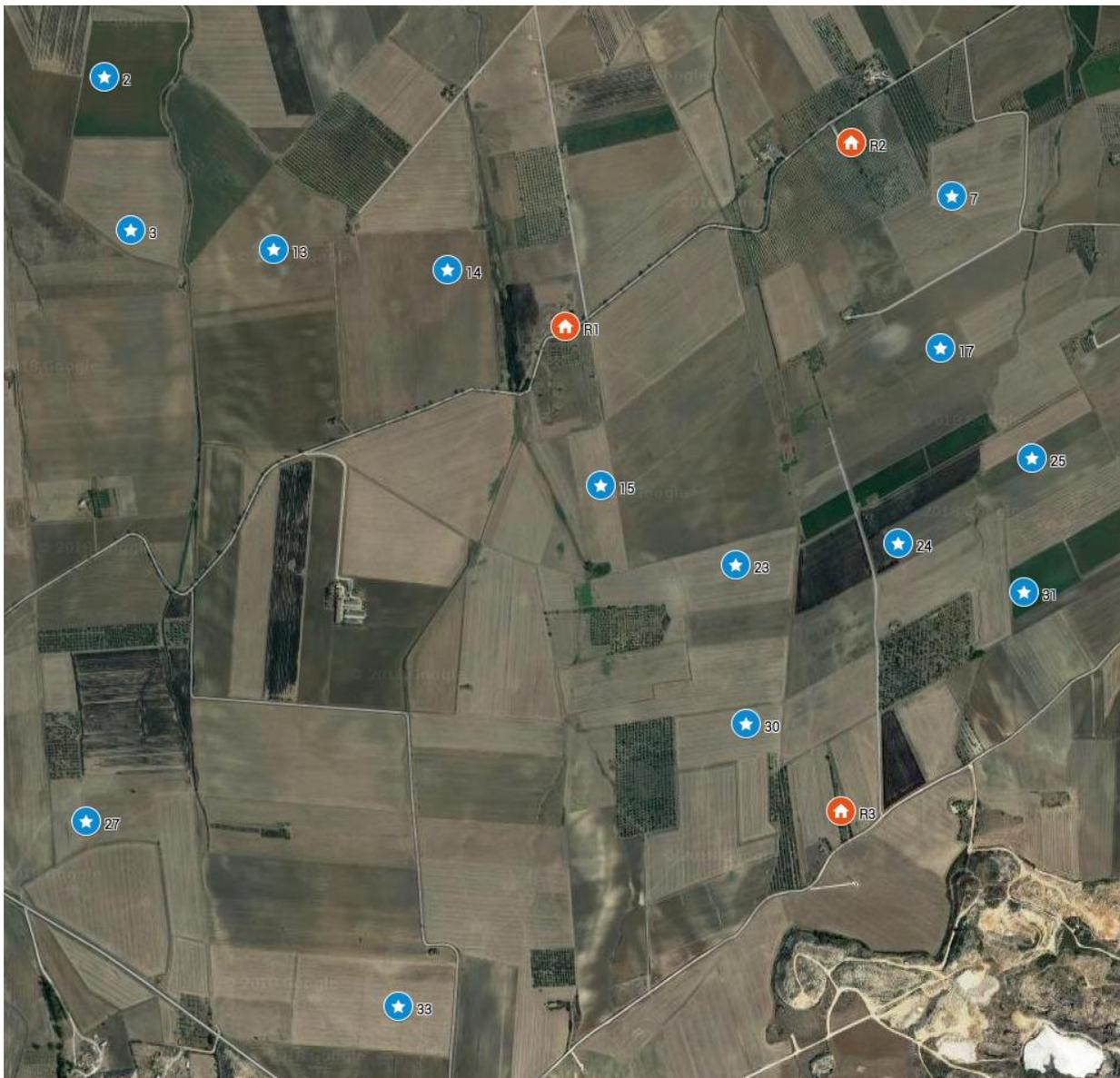
Nello specifico impianto partendo dai valori di rumore di fondo misurati e dai valori di emissione sonora relativi al modello di aerogeneratore prescelto, applicando *il modello ISO 9613-2* di propagazione del suono, si è arrivati ad avere dei risultati di uscita della simulazione.

Infine si è calcolato il rumore ambientale R_a quale somma logaritmica del rumore residuo R_r (o di fondo) e la rumorosità immessa dall'impianto R_i attraverso la relazione seguente:

$$R_a = 10 \times \log_{10} (10^{(R_r/10)} + 10^{(R_i/10)})$$

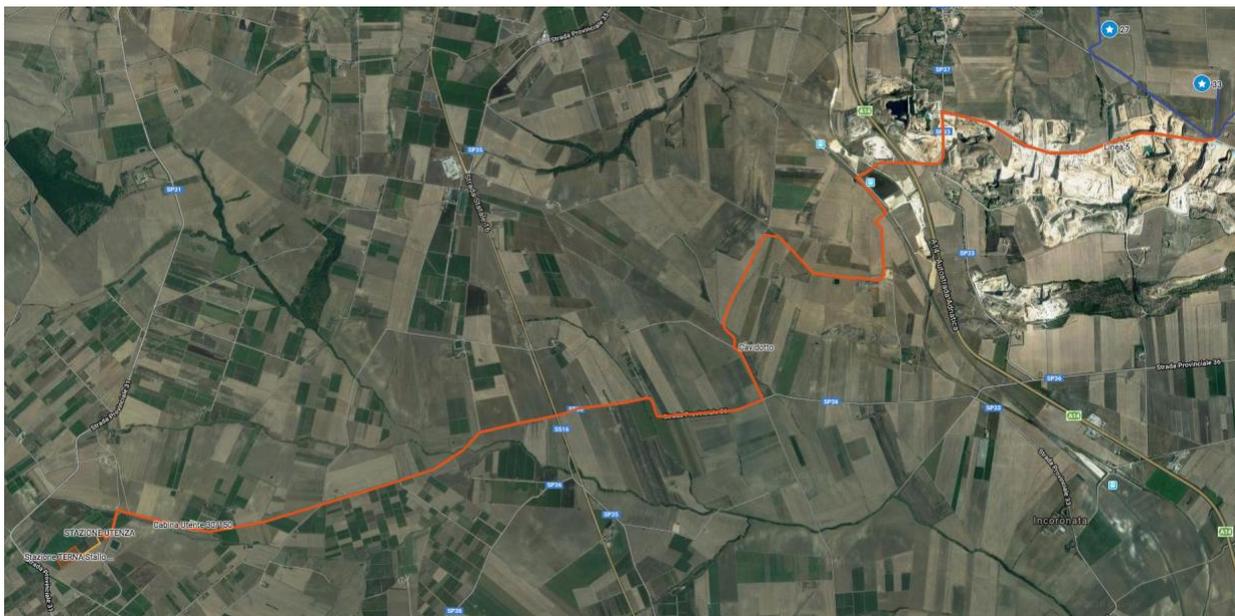
Individuazione dei ricettori

Per definire e verificare l'impatto acustico, sono stati individuati i corpi ricettori abitati che potrebbero subire gli effetti della rumorosità e ricreare un clima acustico ante-opera, in generale si sono considerati tutti i ricettori che distano meno di 600 metri da qualsiasi aerogeneratore del parco in questione.



I ricettori sensibili individuati più prossimi agli aerogeneratori sono 3 denominati R1, R2 e R3.

Mentre, in relazione alla fase di realizzazione dell'impianto e del cavidotto si è considerato il ricettore RC più sollecitato acusticamente poiché più prossimo al cavidotto e alla installazione dell'aerogeneratore.



La successiva figura riporta le distanze dei ricettori dagli aerogeneratori più prossimi.



La simulazione è stata condotta sovrapponendo le emissioni sonore prodotte da tutti gli aerogeneratori al rumore di fondo misurato prima della realizzazione nel corso dell'indagine fonometrica eseguita in prossimità dei ricettori sensibili come disposto dalla legge 477/95.

Inoltre si considera il massimo livello di emissione in tutte le direzioni (trascurando la direttività della sorgente) ciò consente di non considerare l'andamento dei venti prevalenti, effettuando l'analisi previsionale al variare della velocità del vento.

In sintesi la simulazione tiene conto dello scenario più gravoso di emissione sonora dell'aerogeneratore in relazione alle più favorevoli condizioni di propagazione del rumore.

Nello specifico occorre precisare che per una velocità del vento sotto i 3 m/s gli aerogeneratori stentano a partire per cui l'analisi viene fatta da **4m/s a 8m/s**. Occorre tener presente che alla velocità del vento di 8 m/s il rumore di fondo copre la rumorosità dell'aerogeneratore.

Riassumendo i dati misurati (rumore ambientale residuo) e calcolati al variare della velocità del vento secondo la curva caratteristica per il Vestas V117 e considerando il contributo dovuto alla sovrapposizione degli effetti di tutti gli aerogeneratori o attività produttive, sia autorizzate che in fase di autorizzazione, si ottengono i risultati riassunti nella tabella seguente.

| Rece ttore | Veloci tà del vento m/s | Distanza dell'aerog eneratore più vicino m | distanz a 2 m | distanz a 3 m | Rumore ambientale residuo Leq dB (A) | | Rumore immess o delle turbine dB (A) Leq dB(A) | Rumore complessivo residuo + turbine Leq dB (A) | | Limiti esterni | | Valori e Limiti differenziali (applicabile solo in luoghi abitativi con permanenza > di 4 ore) | |
|---------------|--------------------------------------|--|-------------------------|-------------------------|--|----------|--|--|----------|----------------|----------|---|----------|
| | | | | | diurno | notturno | | diurno | notturno | diurno | notturno | diurno | notturno |
| 1 | 3 | 400 | 520 | 930 | 40,2 | 39,8 | | | | | | | |
| | 4 | | | | 42,00 | 41,74 | 33,16 | 42,53 | 42,30 | 70 | 60 | 0,53 | 0,56 |
| | 5 | | | | 43,83 | 43,66 | 34,96 | 44,36 | 44,21 | 70 | 60 | 0,53 | 0,55 |
| | 6 | | | | 45,62 | 45,51 | 38,16 | 46,34 | 46,24 | 70 | 60 | 0,72 | 0,73 |
| | 7 | | | | 47,31 | 47,24 | 41,46 | 48,32 | 48,26 | 70 | 60 | 1,00 | 1,02 |
| | 8 | | | | 48,88 | 48,83 | 44,46 | 50,22 | 50,18 | 70 | 60 | 1,34 | 1,35 |
| 2 | 3 | 370 | 720 | 1310 | 44,8 | 43,5 | | | | | | | |
| | 4 | | | | 45,51 | 44,43 | 36,79 | 46,06 | 45,12 | 70 | 60 | 0,55 | 0,69 |
| | 5 | | | | 46,42 | 45,57 | 40,79 | 47,47 | 46,82 | 70 | 60 | 1,05 | 1,25 |
| | 6 | | | | 47,50 | 46,85 | 44,89 | 49,39 | 48,99 | 70 | 60 | 1,90 | 2,14 |
| | 7 | | | | 48,67 | 48,18 | 44,89 | 50,19 | 49,85 | 70 | 60 | 1,52 | 1,67 |
| | 8 | | | | 49,87 | 49,50 | 47,89 | 52,00 | 51,78 | 70 | 60 | 2,13 | 2,28 |
| 3 | 3 | 400 | 830 | 850 | 42,7 | 40,5 | | | | | | | |
| | 4 | | | | 43,80 | 42,20 | 35,22 | 44,36 | 42,99 | 70 | 60 | 0,56 | 0,79 |
| | 5 | | | | 45,09 | 43,96 | 39,22 | 46,09 | 45,22 | 70 | 60 | 1,00 | 1,26 |
| | 6 | | | | 46,49 | 45,71 | 43,32 | 48,20 | 47,69 | 70 | 60 | 1,71 | 1,98 |
| | 7 | | | | 47,92 | 47,37 | 43,32 | 49,22 | 48,81 | 70 | 60 | 1,29 | 1,44 |
| | 8 | | | | 49,32 | 48,92 | 46,32 | 51,08 | 50,82 | 70 | 60 | 1,77 | 1,90 |

Si precisa che:

- si è supposto che il valore stimato, partendo dal valore misurato, sia il valore ipoteticamente misurabile all'interno dell'abitazione a finestre aperte (quindi non considerando neanche l'attenuazione acustica che l'abitazione può avere rispetto alle sorgenti esterne alla stessa)
- si è supposto, inoltre, di applicare il valore limite differenziale di 5dB(A) del periodo diurno di 3 dB(A) del periodo notturno.

- si è trascurata la direttività della sorgente considerando il massimo livello di emissione in tutte le direzioni
- infine, il valore limite differenziale è applicabile solo in luoghi ad uso abitativo, quindi con permanenza superiore a 4 ore, ex art. 10 lett. d della Legge Regionale 4 ottobre 2006, n. 27.

VALUTAZIONE DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Dalla comparazione ai limiti di legge con i valori ottenuti, a seguito dell'analisi acustica previsionale, si osserva che non si riscontrano superamenti.

L'analisi dimostra che i valori differenziali molto bassi ai recettori tengono conto delle consistenti distanze dagli aerogeneratori. I valori assoluti elevati alle velocità del vento elevate sono dovuti al rumore del vento e non al rumore degli aerogeneratori.

Pertanto si può affermare che il modello di propagazione assunto ha consentito di verificare il rispetto dei valori assoluti e il rispetto del criterio differenziale, in conformità con i dispositivi normativi nazionali e regionali. Tale modello di propagazione in campo libero non considera l'attenuazione dovuta alla divergenza geometrica delle onde sonore e l'assorbimento del suolo ma solo l'attenuazione dovuta all'aria e, pertanto, i valori reali saranno sicuramente inferiori a quelli stimati.

In definitiva sulla scorta di tutte le considerazioni precedenti si può dichiarare che nel complesso l'impatto acustico da rumore dell'impianto eolico di progetto è scarsamente significativo.

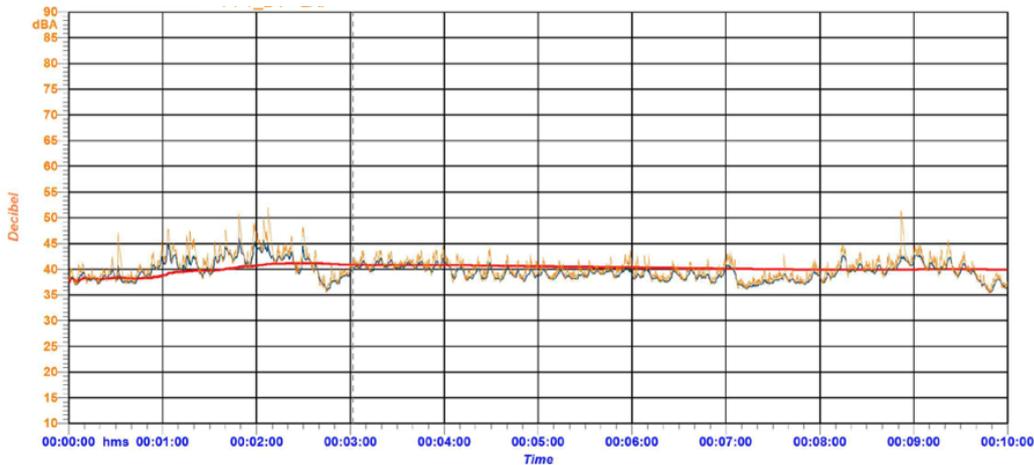
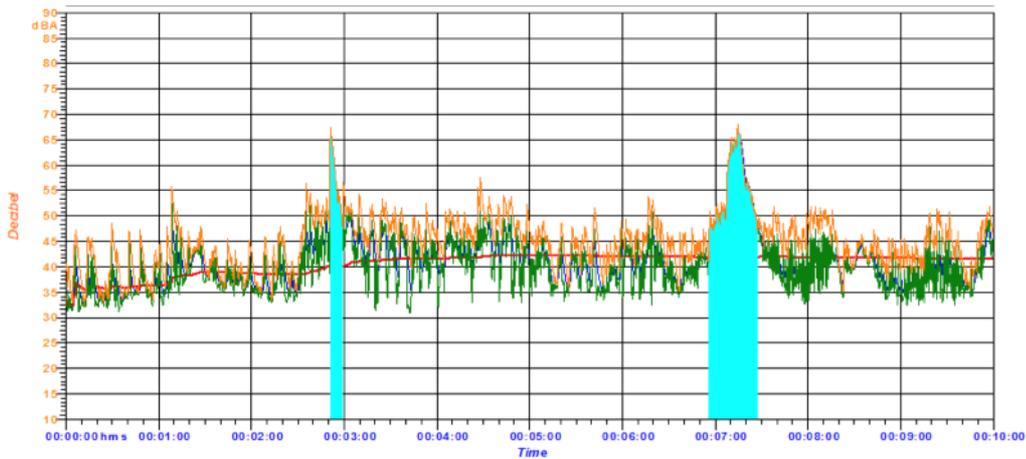
Si allegano le foto dei recettori.

Ricettore R1



Rapporto di misura R1

| | Temperatura °C | Velocità media del vento m/s | Direzione del vento da | Rumore ambientale residuo Tm =10min Leq (A) dB |
|------------------|----------------|------------------------------|------------------------|--|
| Periodo diurno | 25 | 3 | S-O | 40,2 |
| Periodo notturno | 18 | 3 | S-O | 39,8 |

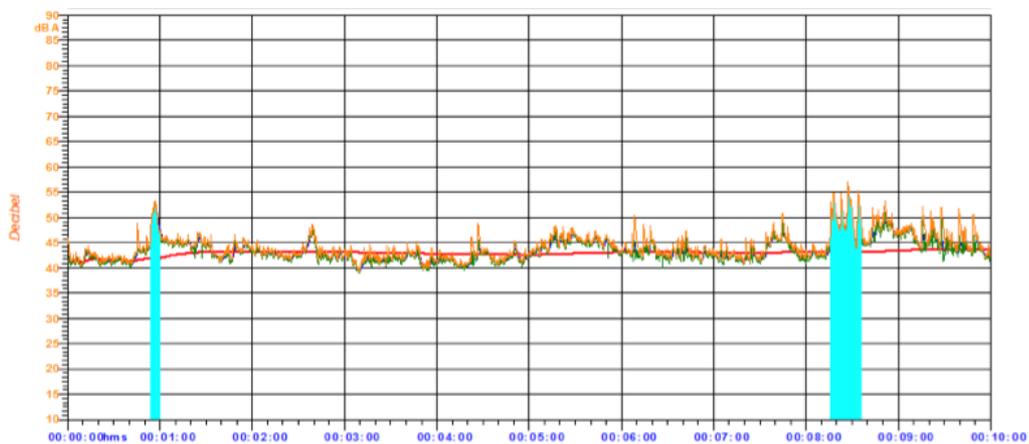
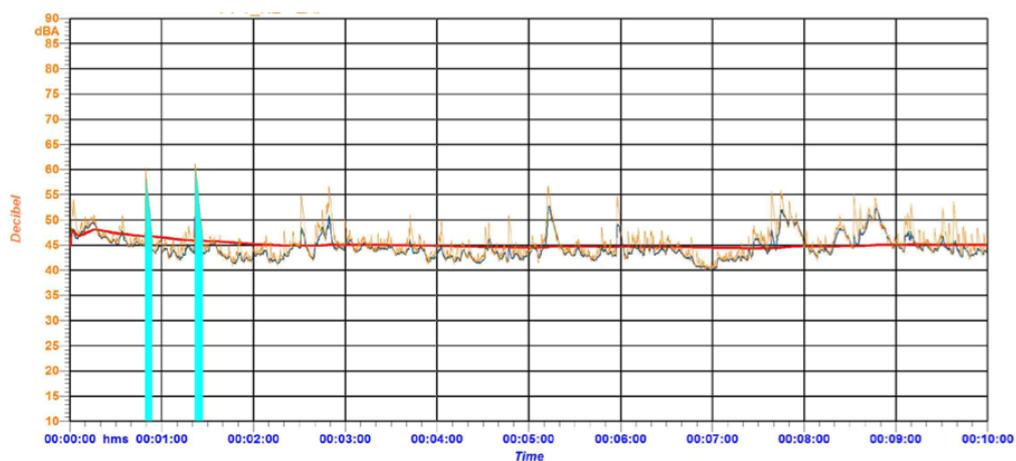


Ricettore R2



Rapporto di misura R2

| | Temperatura °C | Velocità media del vento m/s | Direzione del vento da | Rumore ambientale residuo Tm =10min Leq (A) dB |
|------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------|---|
| Periodo diurno | 25 | 3 | O | 44,8 |
| Periodo notturno | 18 | 3 | O | 43,5 |

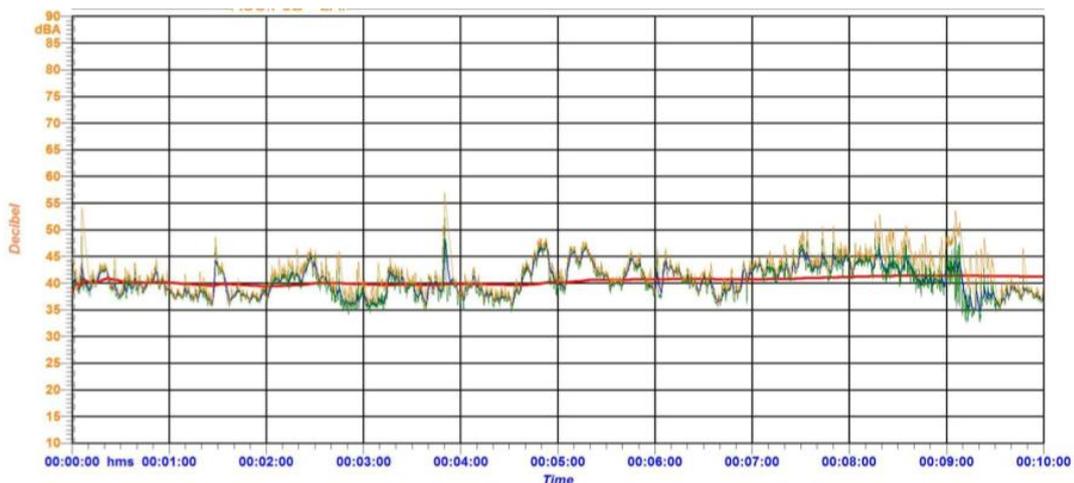
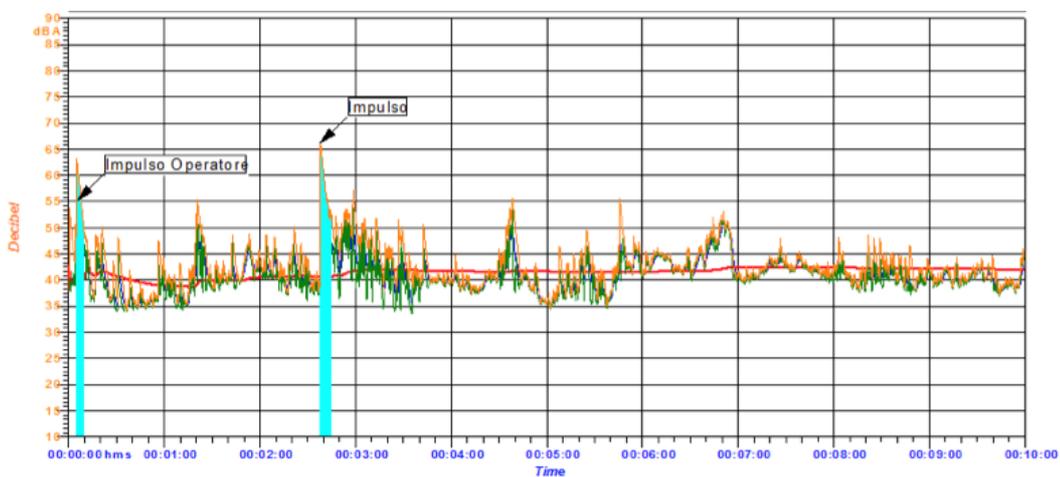


Ricettore R3



Rapporto di misura R3

| | Temperatura °C | Velocità media del vento m/s | Direzione del vento da | Rumore ambientale residuo Tm =10min Leq (A) dB |
|------------------|----------------|------------------------------|------------------------|--|
| Periodo diurno | 25 | 3 | 0 | 42,7 |
| Periodo notturno | 18 | 3 | 0 | 40,5 |



ANALISI PREVISIONALE IN FASE DI CANTIERIZZAZIONE

Descrizione dei lavori, macchine e attrezzature da utilizzare

I lavori si distribuiranno in due tipologie di interventi, di cui una itinerante nella fase di realizzazione cavidotto interrato e l'altra per la realizzazione del parco eolico.

Fase di realizzazione del parco eolico:

- Battipalo;
- Escavatore;
- Camion;
- Saldatrice;
- Smerigliatrice
- Gru
- Vibratore per C.A.

Fase di realizzazione del cavidotto:

- Tagliasfalto;
- Rulli compattatori;
- Costipatore;
- Fresa per scavi;
- Gruppo elettrogeno;
- Compressore

Sono state identificate alcune posizioni di misura e per ogni punto di rilievo sono stati acquisiti i necessari parametri acustici di fondo per il tempo necessario a dare una sufficiente affidabilità ad essi. Con questo criterio investigativo si può ottenere un dettaglio rappresentativo della rumorosità ambientale di fondo.

Alla luce di quanto emerso in analoghe situazioni lavorative e ambientali, si può stimare che l'attività in oggetto potrà provocare un incremento della rumorosità ambientale poco significativo se non impercettibile già dai confini dell'area in oggetto.

Alla fine dei rilievi fonometrici sono state tratte delle conclusioni sulla compatibilità dell'attività con le esigenze di tutela della salute e del benessere della popolazione e della tutela dell'ambiente.

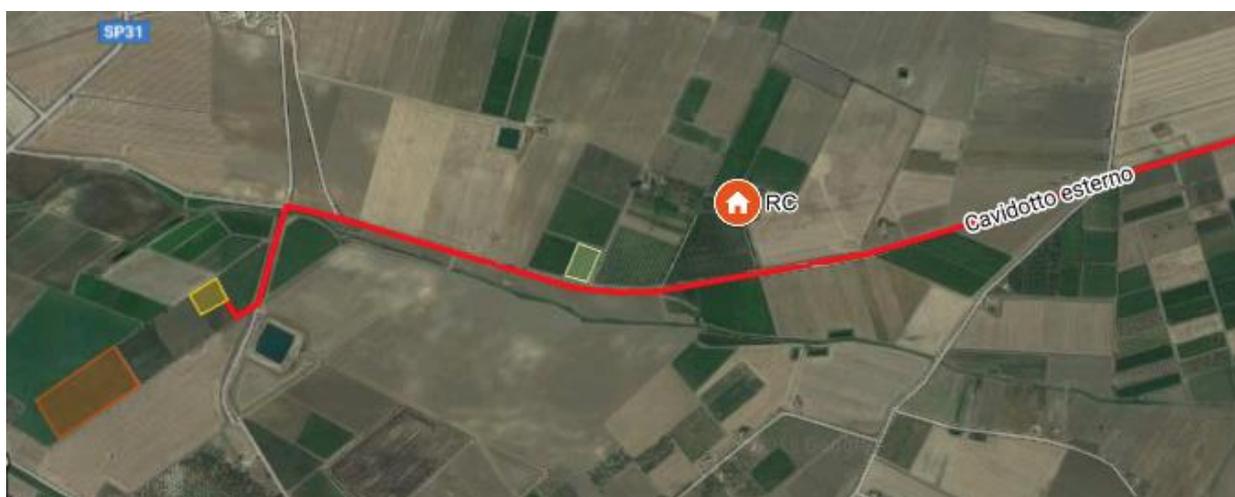
RISULTATI DELLE MISURE E INCREMENTO PREVISIONALE

Al fine di avere una visione d'insieme della situazione acustica rilevata, vengono di seguito riportate delle tabelle con una sintesi di tutte le misure eseguite in ambiente esterno.

Ambiente esterno

Le misurazioni sono state effettuate in corrispondenza dei recettori sensibili più prossimi all'impianto eolico e al cavidotto e ad 1 metro dal perimetro dell'area interessata così come previsto dal D.P.C.M. 1/03/1991.

Il ricettore sensibile RC è il più vicino al cavidotto e merita di essere considerato in quanto risulta quello in condizioni peggiori nella valutazione acustica in fase di cantiere. Gli altri ricettori che possono subire sensibili rumori nella fase di cantiere sono gli stessi ricettori della fase di esercizio.



Di seguito sono riportati i valori misurati e le valutazioni acustiche consequenziali.

| Recettore | Rumore ambientale alla velocità del vento di 5m/s Leq dB (A) | Incremento previsto per lavori | Rumore ambientale stimato | Limiti esterni |
|-----------|---|--------------------------------|---------------------------|----------------|
| | diurno | | diurno | diurno |
| RC | 43,7 | 5 | 48,7 | 70 |

VALUTAZIONE DEI RISULTATI E CONCLUSIONI (FASE DI CANTIERIZZAZIONE)

Da tenere in debita considerazione che il valore massimo di immissione, calcolato per i recettori sensibili posti nelle immediate vicinanze dei lavori di scavo e sistemazione strade, avrà una durata temporanea limitata a pochi giorni, il tempo necessario per interrare l'elettrodotto nella porzione di strada adiacente allo stesso recettore.

Alla base delle risultanze di cui sopra, nonché dall'analisi acustica e dall'esame di conformità alle norme, si può senz'altro affermare che l'impatto acustico determinato dall'attività di cantierizzazione in esame rientrerà negli standard esistenti e può essere considerato accettabile e compatibile con gli equilibri naturali e la salvaguardia della salute pubblica.