



PROGETTO DI COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN
IMPIANTO FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA DI 41,163
MW_P DA REALIZZARSI NEI COMUNI DI VILLACIDRO
(SU), CON LE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE
ELETTRICHE
DENOMINATO “FIGU NIEDDA”

RELAZIONE ACUSTICA

Rev. 0.0

Data: 02 MAGGIO 2022

PV003-REL019

Committente:

Ecosardinia 5 S.r.l.
Via Manzoni, 30
20121 MILANO (MI)
C. F. e P. IVA: 11117500964
PEC: ecosardinia5srl@legalmail.it

Incaricato:

Queequeg Renewables, ltd
Unit 3.03, 1110 Great West Road
TW80GP London (UK)
Company number: 111780524
email: mail@quenter.co.uk

Il Tecnico:

ing. Giulio de Simone

Progettista:

ing. Alessandro Zanini

Sommario

Introduzione	3
Richiami di acustica	3
Livelli acustici	3
Ricezione acustica	4
Propagazione del suono in campo libero	5
La normativa sulle emissioni acustiche.....	9
Analisi quantitativa	12
Fase di costruzione.....	12
Fase di esercizio.....	16
Conclusioni.....	16

Introduzione

Le operazioni di realizzazione di una centrale fotovoltaica, in particolar modo nelle fasi di infissione dei pali di sostegno dei moduli fotovoltaici, generano un campo sonoro libero che si sovrappone a quello preesistente a causa del flusso atmosferico e della sua interferenza con le strutture naturali dell'ambiente, quali la vegetazione e le emergenze orografiche particolari.

Una caratteristica fisica fondamentale delle onde sonore consiste nel principio che la loro energia decade in modo proporzionale al quadrato della distanza: ciò significa che all'aumentare della distanza dalla fonte del rumore la sua intensità diminuisce in modo direttamente proporzionale al quadrato della stessa distanza.

Inoltre il livello di rumore emesso può risultare di pericolo per gli operatori impiegati nella costruzione dell'impianto, nonché per gli insediamenti abitativi posti nelle vicinanze del cantiere.

Richiami di acustica

Livelli acustici

In acustica è importante parlare di differenza di pressione piuttosto che di pressione assoluta. Ciò è dovuto alla necessità di studiare la 'sensazione' che produce un suono sull'orecchio umano. Infatti, per quanto riguarda gli organi sensoriali umani, la sensazione dipende dalla variazione percentuale della grandezza fisica che sollecita tale organo.

Poiché inoltre la potenza sonora prodotta dalle diverse sorgenti di emissione e il livello di pressione sonora presso i ricettori presentano variazioni consistenti, la quantificazione degli effetti avviene con l'uso di funzioni logaritmiche, e in particolare:

$$L_W = 10 \text{Log}_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

$$L_P = 10 \text{Log} \frac{P_{\text{eff}}^2}{P_{\text{rif}}^2}$$

L_W : livello di potenza sonora; L_P : livello di pressione sonora.

L_W e L_P vengono misurati in Decibel [dB].

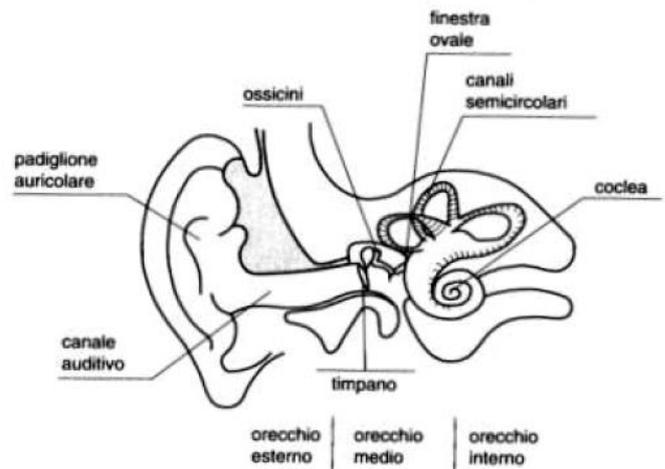
I valori di riferimento di potenza sonora W_0 e di pressione sonora p_{rif} valgono rispettivamente 10^{-12} W e 10^{-5} Pa e corrispondono alla soglia di udibilità dell'orecchio umano.

Ricezione acustica

L'organo che presiede alla ricezione acustica umana è l'orecchio. Possono essere distinte tre parti:

1) L'orecchio esterno, che comprende il padiglione auricolare ed il canale uditivo esterno; ha la funzione di convogliare le onde sonore nella zona di ricezione vera e propria. Il padiglione auricolare svolge anche la funzione di risonatore acustico, privilegiando le medie frequenze. Il condotto uditivo esterno è lungo circa 30 [mm] e termina con la membrana timpanica posta diagonalmente al canale.

2) L'orecchio medio comprende la catena degli ossicini (martello, incudine, staffa) che costituisce un sistema di trasmissione della forza che le oscillazioni di pressione esercitano sul timpano. La staffa agisce sulla finestra ovale che comunica con l'orecchio interno. L'orecchio medio è posto in comunicazione con l'atmosfera attraverso le vie respiratorie esterne e la tromba di Eustachio. Per la conformazione della catena degli ossicini (che funzionano come un sistema di leve) l'azione esercitata sul timpano è amplificata di un fattore 90 sulla finestra ovale. Muscoli dedicati controllano l'azione degli organi dell'orecchio medio, inibendo i movimenti di timpano e staffa quando le sollecitazioni sono troppo intense (si pensa possano esercitare quest'azione anche per non sentire troppo la nostra voce).



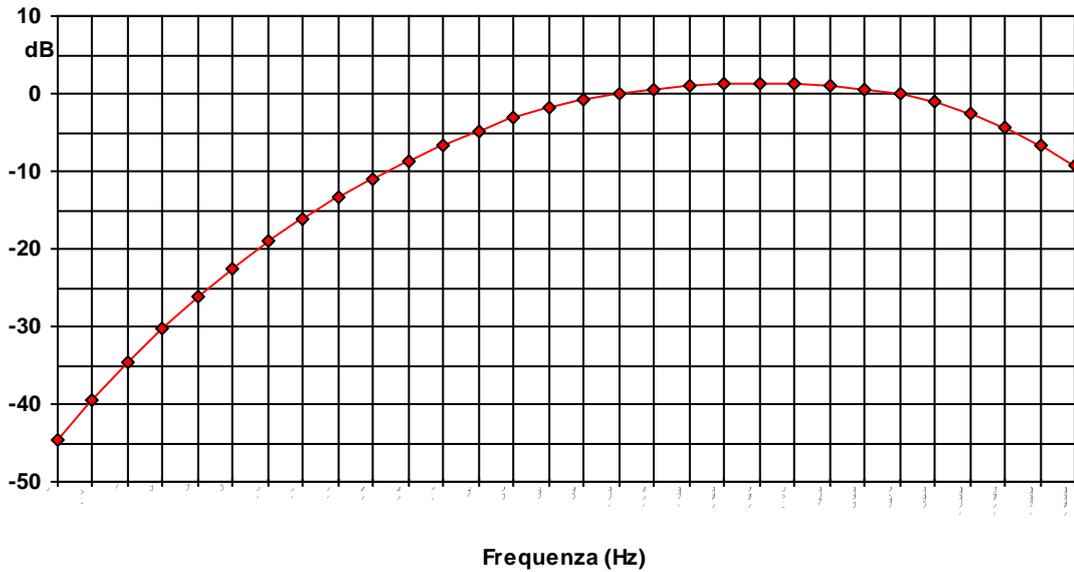
3) L'orecchio interno è costituito da un canale a doppia spirale (coclea o chiocciola) e da una cavità detta vestibolo in comunicazione con la finestra ovale. Il canale cocleare è diviso in due parti e contiene un liquido (perilinfia) attraverso il quale le perturbazioni di pressione si propagano. Il movimento del liquido perilinfatico fa entrare in risonanza le cellule cigliate dell'organo del Corti che avendo dimensioni diverse sono sollecitate a frequenze diverse avendosi così un effetto di selezione delle frequenze.

La pressione efficace minima udibile dipende dalla frequenza. Nel campo 1000÷4000 [Hz] vale circa 20 [μ Pa], cioè 0 [dB]. Al di sopra di certi valori la pressione sonora diviene insopportabile (soglia del dolore, 120-130 [dB]).

La **sensibilità** dell'orecchio umano è stimabile intorno ai 3 [dB].

Le modalità con cui l'orecchio umano interpreta gli impulsi sonori al variare della frequenza e dell'intensità degli stessi pone il problema di confrontare i suoni ed i rumori in funzione delle sensazioni che essi provocano. Un criteri è quello di "pesare" i livelli sonori alle diverse bande di frequenza previa una correzione (peso) che tenga conto della risposta dell'orecchio umano. Sono state proposte diverse scale di ponderazione in relazione al livello di pressione considerato. Attualmente è in uso la scala di ponderazione detta **A**.

Curva di ponderazione A



Adottando la pesatura è possibile ottenere il livello complessivo in scala A del rumore considerato. Se è nota la composizione in bande di un suono, il suo livello complessivo in scala A sarà quindi dato dalla relazione:

$$L_{PA} = 10 \text{Log} \sum 10^{\left(\frac{L_{Pi} - C_i}{10}\right)}$$

Ciò presuppone che il rumore venga suddiviso in bande, in particolare in acustica si fa riferimento alle bande d'ottava che rappresentano intervalli compresi fra due frequenze, nei quali la frequenza superiore è doppia rispetto a quella inferiore. All'interno della banda si assume che il livello sonoro sia costante e che tutto il rumore sia emesso alla frequenza centrale della banda. In questo modo è possibile introdurre dei fattori di correzione per le bande d'ottava, che risultano:

Frequenza [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Correzione [dB] C	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	00	+1.2	+1.0	-1.1

I livelli di pressione sonora equivalente (in scala A) sono dunque ponderati in funzione delle diverse scale di frequenza al fine di rendere i valori simili a quelli percepiti dall'orecchio umano.

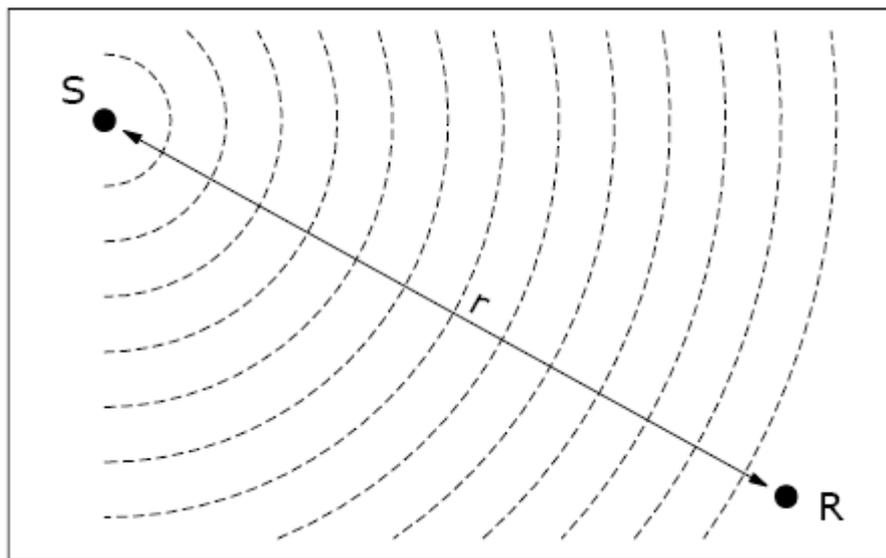
Propagazione del suono in campo libero

Quando una sorgente sonora irradia verso uno spazio non confinato da pareti, le onde sonore si propagano a distanza dalla sorgente. Il livello sonoro nella postazione di un generico ricevente R, separato dalla sorgente S dalla distanza r, dipenderà da una serie di fattori tra cui:

- 1) le caratteristiche della sorgente (potenza sonora, direzionalità);
- 2) la distanza sorgente/ricevente;
- 3) l'attenuazione esercitata dall'aria e dalla presenza di eventuali barriere solide interposte al cammino diretto dell'onda sonora.

La riduzione del livello sonoro dipende dal tipo di propagazione delle onde, in caso di onde sferiche emesse da una sorgente puntiforme di livello di potenza L_W , il livello di pressione L_P ad una distanza r segue l'andamento:

$$L_P = L_W - 20 \cdot \text{Log}(r) - 11 \text{ [dB]}$$

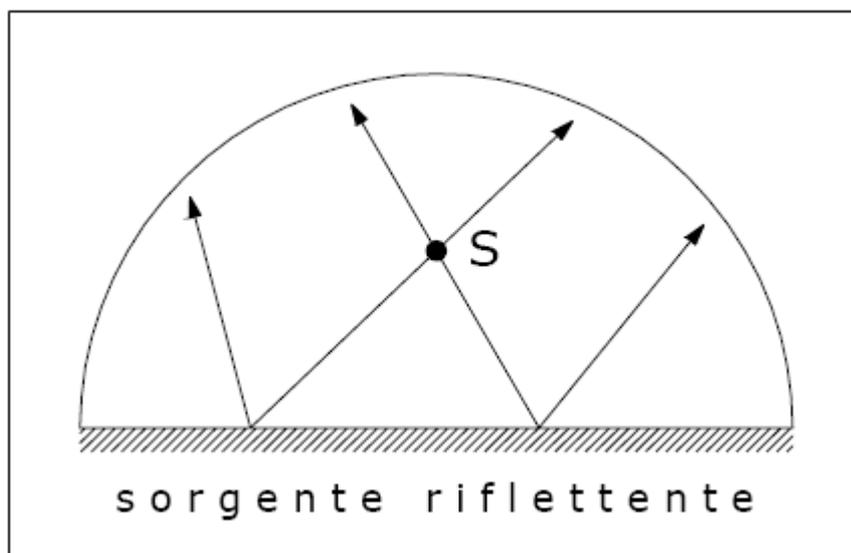


Propagazione di onde sferiche

Una sorgente puntiforme che produce onde sferiche se posta in vicinanza di una superficie molto riflettente (superfici in muratura, asfalto) si comporta, per degli effetti di riflessione, come una sorgente che emette onde emisferiche, concentrando così l'energia sonora in una sola parte dello spazio circostante.

Nel caso di onde emisferiche emesse da una sorgente puntiforme di livello di potenza L_W , il livello di pressione L_P ad una distanza r segue l'andamento:

$$L_P = L_W - 20\text{Log}(r) - 8 \text{ [dB]}$$



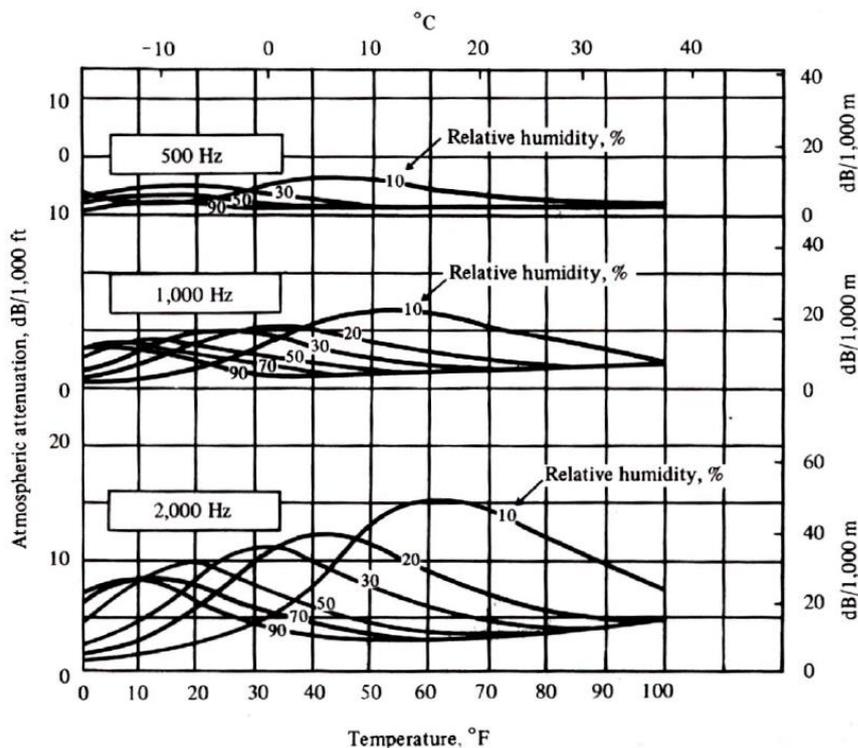
Propagazione di onde emisferiche

E' questo il tipo di propagazione (emisferico) che può essere considerato per le onde emesse da un cantiere su terreno pianeggiante.

In aggiunta agli effetti di tipo geometrico, possono verificarsi ulteriori attenuazioni.

Un effetto è quello dovuto alle caratteristiche del mezzo (l'aria) in cui si propaga il suono. In questo caso l'energia sonora può essere dissipata per effetto della viscosità dell'aria e dei moti vibrazionali di alcune molecole ivi presenti (ossigeno, vapor d'acqua). Un'altra causa di attenuazione sonora possono essere le barriere solide (naturali o artificiali) interposte al cammino sorgente ricevente.

Il termine di attenuazione atmosferica è rilevante ai fini pratici per distanze superiori al centinaio di metri. Esso dipende in maniera complessa dalla frequenza, dalla temperatura e dal contenuto di umidità nell'aria.



Una correlazione utilizzabile per la stima dell'attenuazione in aria in condizioni standard (20 °C) in funzione dell'umidità relativa i è la seguente:

$$A_H = 7.4 \cdot \frac{f^2 \cdot r}{i} \cdot 10^{-10} \text{ [dB]}$$

Dove: ($i \in 0 \div 1$).

In via cautelativa, nei calcoli seguenti, non è stata considerata l'attenuazione in aria.

Per il calcolo dei valori limite differenziali, è inoltre necessario valutare il rumore di fondo.

Il rumore di fondo è fortemente dipendente dalla velocità del vento, una correlazione utilizzabile per la quantificazione risulta:

$$L_F = C_0 + C_1 u$$

Dove C_0 e C_1 sono delle costanti determinate sperimentalmente in corrispondenza dei ricettori, u è la velocità del vento in m/s ed L_F è il rumore di fondo in dB.

Valori tipici delle costanti C_0 e C_1 risultano:

$$\begin{aligned} 25 < C_0 < 50 \text{ [dB]} \\ 0.5 < C_1 < 2.5 \text{ [dBs/m]} \end{aligned}$$

La normativa sulle emissioni acustiche

I principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico sono attualmente regolati dalla legge 26 ottobre 1995 n. 447 (*Legge quadro sull'inquinamento acustico*) e dai suoi successivi decreti di attuazione. Fra questi ultimi, sono di particolare importanza soprattutto il DPCM 14 novembre 1997, che stabilisce i valori limite di *emissione*, di *immissione*, di *attenzione* e di *qualità*.

La legge 447/95 definisce l'inquinamento acustico come *"l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo ed alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento degli ecosistemi, dei beni materiali, dei monumenti, dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno o tale da interferire con le legittime funzioni degli ambienti stessi"*. A tal fine, la normativa attuale stabilisce i valori limite dei livelli di inquinamento acustico per 6 diverse categorie di aree omogenee, caratterizzate da diversa densità di residenti, di attività commerciali e industriali e di traffico, così come precedentemente definite dal DPCM 1 marzo 1991 (*Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno*).

Il dpcm 14 novembre 1997, stabilisce altresì che in attesa che il comune provveda ad adempiere a quanto previsto all'art. 6, comma 1, lettera a), della legge 26 ottobre 1995, n. 447, si applicano i limiti di cui all'art. 6, comma 1, del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 1° marzo 1991, che risultano:

Art. 6

1. In attesa della suddivisione del territorio comunale nelle zone di cui alla tabella 1, si applicano per le sorgenti sonore fisse i seguenti limiti di accettabilità:

<i>Zonizzazione</i>	<i>Limite diurno Leq (A)</i>	<i>Limite notturno Leq (A)</i>
Tutto il territorio nazionale	70	60
Zona A (decreto ministeriale n. 1444/1968) (*)	65	55
Zona B (decreto ministeriale n. 1444/1968) (*)	60	50
Zona esclusivamente industriale	70	70

(*) Zone di cui all'art. 2 del decreto ministeriale 2 aprile 1968, n. 1444.

2. Per le zone non esclusivamente industriali indicate in precedenza, oltre ai limiti massimi in assoluto per il rumore, sono stabilite anche le seguenti differenze da non superare tra il livello equivalente del rumore ambientale e quello del rumore residuo (criterio differenziale): 5 dB (A) per il Leq (A) durante il periodo diurno; 3 dB (A) per il Leq (A) durante il periodo notturno. La misura deve essere effettuata nel tempo di osservazione del fenomeno acustico negli ambienti abitativi.

La legge 447/95, tra l'altro, ripartisce le diverse competenze nel settore dell'inquinamento acustico fra lo Stato, le Regioni, le Province ed i Comuni. Nella fattispecie, allo Stato compete l'emanazione dei valori limite di emissione delle sorgenti sonore, la definizione della normativa e delle tecniche di misura, nonché il coordinamento dell'attività di prevenzione e di risanamento acustico del territorio. Sono di competenza delle Regioni essenzialmente la definizione dei criteri generali di suddivisione del territorio da parte dei Comuni nelle 6 zone precedentemente indicate, nonché le attività generali di coordinamento e organizzazione all'interno del territorio regionale. Le competenze delle Province sono essenzialmente di

natura amministrativa, mentre i Comuni adottano i piani di zonizzazione del territorio, adottano i piani di risanamento acustico ed esercitano l'attività di controllo sul rispetto dei valori limite.

La normativa dispone inoltre che i progetti soggetti a valutazione d'impatto ambientale (tra cui sono compresi, fra l'altro, i grandi impianti di generazione elettrica) debbano essere redatti in accordo con le esigenze di tutela delle popolazioni dall'inquinamento acustico e debbano prevedere un apposito *studio di impatto acustico*.

Come anticipato, il DPCM 14 novembre 1997 ha stabilito i valori limite di *emissione*, di *immissione*, di *attenzione* e di *qualità* per 6 classi di zone omogenee.

Classe	Denominazione	Diurno [dB (A)]	Notturmo [dB (A)]
I	Zone particolarmente protette	45	35
II	Zone prevalentemente residenziali	50	40
III	Zone di tipo misto	55	45
IV	Aree di intensa attività umana	60	50
V	Aree prevalentemente industriali	65	55
VI	Aree esclusivamente industriali	65	65

Valori limite di emissione (DPCM 14.11.97)

Classe	Denominazione	Diurno [dB (A)]	Notturmo [dB (A)]
I	Zone particolarmente protette	50	40
II	Zone prevalentemente residenziali	55	45
III	Zone 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

Valori limite assoluti di immissione (DPCM 14.11.97)

Classe	Denominazione	Diurno [dB (A)]	Notturmo [dB (A)]
I	Zone particolarmente protette	60	45
II	Zone prevalentemente residenziali	65	50
III	Zone di tipo misto	70	55
IV	Aree di intensa attività umana	75	60
V	Aree prevalentemente industriali	80	65
VI	Aree esclusivamente industriali	80	75

Valori limite di attenzione (DPCM 14.11.97)

Classe	Denominazione	Diurno [dB (A)]	Notturmo [dB (A)]
I	Zone particolarmente protette	47	37
II	Zone prevalentemente residenziali	52	42
III	Zone di tipo misto	57	47
IV	Aree di intensa attività umana	62	52
V	Aree prevalentemente industriali	67	57
VI	Aree esclusivamente industriali	70	70

Valori limite di qualità (DPCM 14.11.97)

In particolare:

- il valore limite di emissione rappresenta il valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della sorgente stessa in corrispondenza degli spazi utilizzati da persone e comunità;
- il valore limite di immissione rappresenta invece il valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno, misurato in prossimità dei ricettori;
- il valore limite di attenzione rappresenta il valore di rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l'ambiente;

Oltre ai valori assoluti si applica anche un *valore limite differenziale*, rappresentato dalla massima differenza fra il livello di rumore ambientale (ovvero quello prodotto dall'insieme di tutte le sorgenti di emissione, inclusa una eventuale specifica sorgente disturbante) e il livello di rumore residuo (ovvero quello prodotto dall'insieme delle sorgenti nel momento in cui si chiude la specifica sorgente disturbante). Il valore limite differenziale di immissione stabilito dal DPCM 14.11.1997 è pari a 5 dB per il periodo diurno e 3 dB per quello notturno.

Tali limiti non si applicano nel caso in cui il livello di rumore misurato a finestre aperte sia inferiore a 50 dB(A) durante il periodo diurno e a 40 dB(A) durante il periodo notturno, oppure nel caso in cui il livello del rumore ambientale misurato a finestre chiuse sia inferiore a 35 dB(A) durante il periodo diurno e a 25 dB(A) durante il periodo notturno.

I valori limite di attenzione si applicano per livelli di rumore rilevati con riferimento ad un periodo temporale di 1 ora. Nel caso di livelli rilevati con riferimento agli interi periodi temporali diurno e notturno, si applicano ancora i valori limite di immissione.

Per quanto ai limiti acustici il comune di Comune di Villacidro ha provveduto all'approvazione del piano di zonizzazione acustica, ed in considerazione dell'ubicazione dell'area (Zona Industriale - classe III) i valori acustici risultano:

DPCM 97	diurno	notturno
Valori di emissione	55	45
Valori di immissione	60	50
Valori di immissione differenziali	5	3

Analisi quantitativa

Fase di costruzione

Durante la **fase di costruzione**, l'alterazione del campo sonoro esistente è dovuta ai mezzi impiegati per la realizzazione dell'impianto.

Si tenga conto del fatto che le attività cantieristiche sono temporanee e si svolgeranno esclusivamente durante le ore diurne¹.

Ai fini dell'analisi quantitativa la fase ritenuta critica è quella costituita dall'infissione pali con macchina battipalo per l'ancoraggio a terra della struttura portante il generatore fotovoltaico (la struttura portante verrà successivamente montata su palo).

Esempio di installazione della struttura di supporto



Macchina battipalo per infissione pali



Ai fini del calcolo è stato tenuto in conto il fattore correttivo (K_i): è la correzione in dB(A) introdotta per tener conto della presenza di rumori con componenti impulsive, tonali o di bassa frequenza il cui valore è di seguito indicato:

per la presenza di componenti impulsive $K_I = 3$ dB

per la presenza di componenti tonali $K_T = 3$ dB

per la presenza di componenti in bassa frequenza $K_B = 3$ dB

Il livello di rumore corretto (L_C) è pertanto definito dalla relazione:

$$L_C = L_{eqA} + K_I + K_T + K_B$$

Nel caso in oggetto durante la fase di infissione si avranno delle componenti impulsive del rumore e pertanto le verifiche sui livelli di immissione saranno verificate sulla base del livello di rumore corretto

¹ Il periodo diurno di cui ai DPCM è quello compreso tra le ore 6:00 e le 22:00

$$L_C = L_A + K_1 \quad (\text{con } K_1 = 3\text{dB})$$

I risultati delle analisi condotte vengono riportate di seguito. Per la valutazione del rumore prodotto dalla macchina battipalo si è preso a riferimento uno spettro tipico del rumore emesso da una macchina battipalo (rumore generato ad 1 metro dalla macchina pari a circa 90 dB_A).

Per quanto al limite differenziale esso non è applicabile al caso in oggetto in quanto attiene alla valutazione del campo acustico interno alle abitazioni e non in ambiente esterno.

Dati generali

distanza linea d'aria sorgente - ricettore	15 m
Limite di emissione	55,0 dB
Limite di immissione	60,0 dB
Limite differenziale	5,0 dB

Livelli di emissione della sorgente

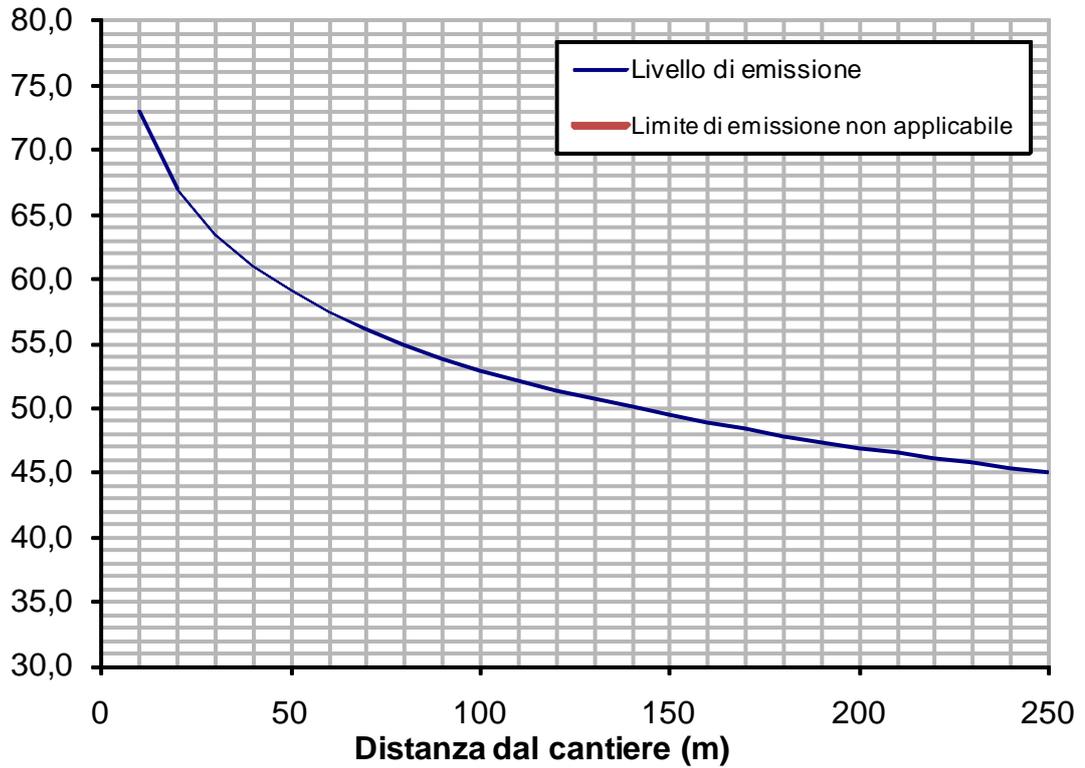
Ottava di riferimento	frequenza (Hz)	LW
1	63	59,6
2	125	67,0
3	250	74,6
4	500	82,0
5	1000	88,3
6	2000	93,5
7	4000	92,3
8	8000	87,5

Livelli di pressione al ricettore

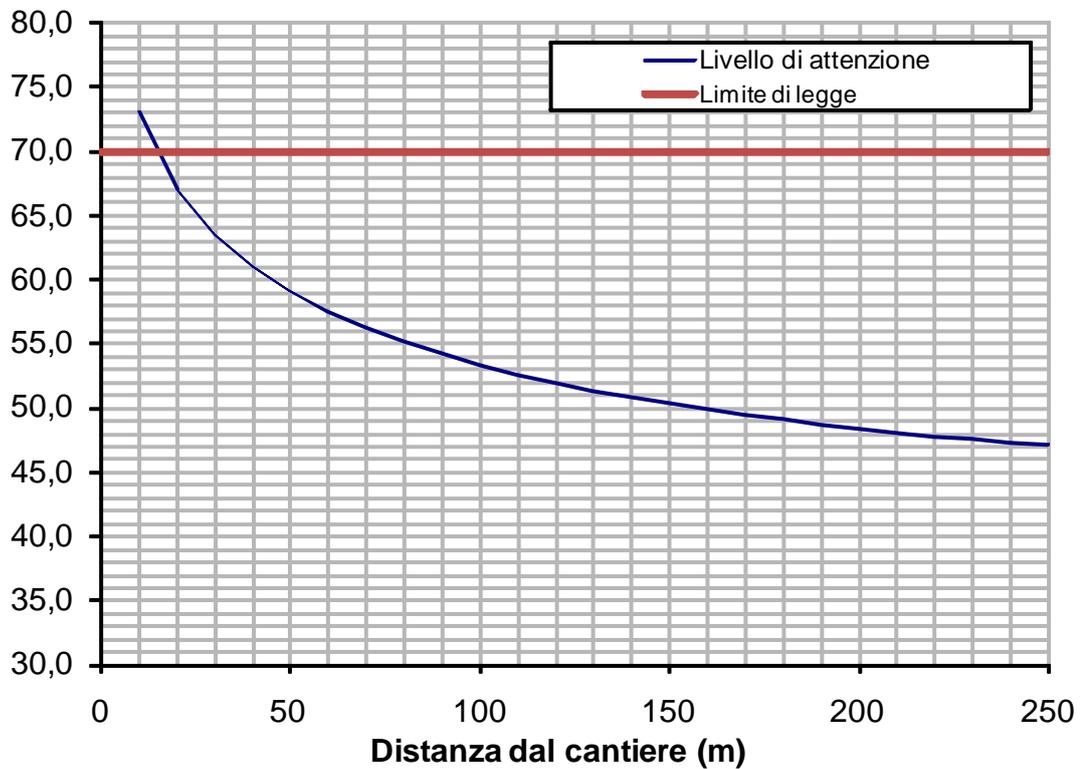
Ottava di riferimento	frequenza (Hz)	LP	CiA
1	63	28,1	-26,2
2	125	35,4	-16,1
3	250	43,1	-8,6
4	500	50,5	-3,2
5	1000	56,8	0
6	2000	62,0	1,2
7	4000	60,8	1
8	8000	55,9	-1,1

Livello di emissione	69,5 dB	La verifica non è soddisfatta
Limite di emissione	55,0 dB	
Livello sonoro di Fondo	44,8 dB	
Pressione sonora sorgente	0,0298 Pa	
Pressione sonora fondo	0,0017 Pa	
Livello di immissione	69,5 dB	La verifica non è soddisfatta
Limite di immissione	60,0 dB	
Verifica limite differenziale	non applicabile	

Livelli di emissione al ricevitore (dB)



Livelli di immissione/attenzione al ricevitore (dB)



In merito alle vibrazioni dovute ai macchinari utilizzati e ai mezzi di trasporto; si possono ritenere confinate alla zona interessata dai lavori e peraltro di limitata intensità.

Fase di esercizio

Durante la **fase di esercizio** dell'impianto fotovoltaico esso non emetterà alcun rumore apprezzabile se non per le ventole di raffreddamento dell'inverter e del trasformatore che risultano tuttavia ubicate in appositi locali tecnici che costituiranno una barriera rispetto alla propagazione delle onde sonore nell'ambiente esterno.

Pertanto il rumore generato dal funzionamento dell'impianto non costituisce elemento degno di approfondimento.

Conclusioni

Le verifiche dell'osservanza dei limiti in base alla normativa vigente risultano soddisfatte ad una distanza di 15 metri dal cantiere.

Tale valore di distanza minima per il soddisfacimento dei limiti acustici è stato desunto in funzione delle condizioni acustiche preesistenti del sito (attraverso le misure del rumore di fondo) e del tipo delle attività di cantiere più rumorose che si susseguiranno in cantiere. Si precisa che non sono presenti manufatti abitati nel raggio della distanza minima indicata e pertanto le verifiche condotte risultano pienamente soddisfatte.

Per la protezione degli addetti alla realizzazione dell'impianto impiegati in cantiere si dovranno provvedere in fase di stesura del piano di sicurezza e coordinamento (successivamente all'ottenimento delle autorizzazioni e comunque prima dell'avvio dei lavori) a prescrivere l'utilizzo di idonei dispositivi di protezione individuale (cuffie antirumore) al fine di preservare la salute del personale.

Roma, li 02/05/2022

Il tecnico
Dott. Ing. Giulio de Simone

