



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTA' DI INGEGNERIA

---

Corso di Laurea in Ingegneria Ambiente e Territorio  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E  
SCIENZE MATEMATICHE

***METODI DI VALUTAZIONE DI IMPATTO  
ACUSTICO DI PARCHI EOLICI***

*Assessment of the acoustic impact of wind farm*

*Relatore:*

Ing. Fabio Serpilli

*Tesi di Laurea*

Raffaele Verrillo

*Correlatore:*

Ing. Valter Lori

---

*Anno accademico 2019/2020*

## **Indice**

### **INTRODUZIONE 4**

### **PANORAMA LEGISLATIVO E NORMATIVO 5**

Riferimenti Nazionali	6
Riferimenti Regionali	11
Criteri per la caratterizzazione acustica dei territori comunali	11
Gli obiettivi delle misure acustiche	12
Organizzazione delle misure acustiche	13
La rappresentazione dei risultati delle misure acustiche	14

### **METODI DI MISURA 15**

Strumentazione si misura	15
Modalità di misura del rumore	16
Strumentazione utilizzata	20
Software utilizzato	21

### **DESCRIZIONE DEL SITO 22**

Classificazione acustica dell'Area interessata	25
Indicazione limite dei valori di Emissione, Immissione e di qualità	25

### **MAPPATURA ACUSTICA DEL TERRITORIO 27**

La Mappatura acustica	28
Norma UNI/TS 11387:2010	30

### **ANALISI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI 30**

Definizione dei punti di controllo di Misura	30
Misurazioni del rumore ambientale	32
Valori misurati rumore residuo	33
Confronto con i valori limite di riferimento	36
Stima del grado di confidenza di previsione	38

### **CONCLUSIONI 39**

### **BIBLIOGRAFIA 40**

## Indice delle Figure

Figura 1: Fonometro portatile della Brüel&Kjaer, modello 2250 .....	20
Figura 2: Software Evaluator (un esempio di file di progetto).....	21
Figura 3: Ortofoto dell'area.....	22
Figura 4: Immagine del sito .....	23
Figura 5: Vista del sito.....	24
Figura 6: La figura mostra un esempio di mappatura all'interno di un ambiente montano, soggetto all'installazione di aerogeneratori al fine di valutare le zone critiche dal punto di vista acustico ( <a href="http://www.enki.it">www.enki.it</a> ).....	28
Figura 7: Punti di Misura – Pi .....	31

## INTRODUZIONE

Il continuo e massiccio consumo di combustibili fossili per la produzione dell'energia è causa di emissioni inquinanti nell'atmosfera e dell'effetto serra. Come si è visto negli ultimi anni l'effetto serra sta cambiando rapidamente il clima dell'intero pianeta e può mettere a repentaglio la stessa sopravvivenza dell'uomo qualora non si prendano precauzioni. E' per questo motivo che la comunità internazionale si è impegnata, attraverso vincoli quali il protocollo di Kyoto, a sviluppare l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili; fra queste il vento è una risorsa disponibile, ecologica e sostenibile. Per questo motivo sono notevolmente aumentati, soprattutto in Europa, i siti per la produzione di energia elettrica dal vento, nei luoghi dove le condizioni climatiche, orografiche e ambientali permettono il migliore sfruttamento della risorsa vento. La produzione di energia eolica può avvenire attraverso impianti di piccole o piccolissime dimensioni normalmente utilizzati per fornire elettricità a zone difficilmente raggiungibili dalla rete elettrica come abitazioni isolate, riserve naturali, rifugi alpini; oppure attraverso grandi siti (wind farm) con numerose ed enormi macchine su crinali o in mare aperto. Di contro ai numerosi vantaggi dell'eolico vi è l'impatto visivo delle macchine sul paesaggio e, nel caso di vicinanza a centri abitati, il rumore che queste possono emettere. L'oggetto della presente trattazione è quindi lo studio di quella che rappresenta una delle maggiori problematiche connesse allo sviluppo di aerogeneratori negli ultimi anni: il rumore. Questa tesi s'inserisce inoltre in un lavoro d'analisi predittiva del rumore per poter permettere di conoscere quale impatto acustico avranno i parchi eolici sulla popolazione e sul territorio. A titolo d'esempio si riportano le caratteristiche del parco eolico di Serrapetrona (Mc) nelle Marche, per il quale sono stati testati i modelli di calcolo messi appunto nel presente lavoro.

## PANORAMA LEGISLATIVO E NORMATIVO

È presentata di seguito una sintetica rassegna dei principali riferimenti normativi e legislativi sia a livello regionale che comunitario. A livello europeo la norma che si fa carico di definire le specifiche tecniche per stimare l'impatto e il clima acustico generato dal rumore degli aereogeneratori e degli impianti eolici e la **UNI/TS 11143-7** "*Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti*" (parte 7 : Rumore degli aerogeneratori) entrata a far parte del corpo normativo nazionale il 14 Febbraio 2013, essa descrive una metodologia per la stima dell'impatto acustico e del clima acustico, allo scopo di definire un percorso chiaro per i progettisti, i consulenti e per gli enti pubblici competenti. La suddetta norma può essere utilizzata per effettuare sia le valutazioni "ante operam" di siti eolici sia le valutazioni "post operam" di parchi eolici in esercizio. La caratterizzazione del clima acustico può essere eseguita sia nell'ambito di una valutazione di impatto, sia in modo indipendente, per esempio per la verifica dei limiti di legge per un parco eolico esistente. Tale norma si applica ai singoli aerogeneratori, aventi potenza elettrica pari ad almeno 500kW, e a parchi eolici destinati allo sfruttamento industriale dell'energia del vento. Essa descrive i metodi per la caratterizzazione sperimentale del clima acustico presso i ricettori collocati nell'area d'influenza e per la valutazione previsionale dell'impatto acustico; inoltre la parte 7 della 11143 non riguarda il calcolo del livello di potenza sonora degli aerogeneratori, per il quale si rimanda alla norma CEI EN 61400-11. Inoltre la norma **UNI/TS 11387** "*Linee guida alla mappatura acustica e mappatura acustica strategica*" entrata in vigore dal 14 Ottobre del 2010 la specifica tecnica, nella forma di linea guida, si propone come uno strumento tecnico operativo di supporto all'elaborazione delle mappe acustiche e mappe acustiche strategiche. In essa sono esplicitati i principi enunciati dalla Direttiva Europea 2002/49/CE, relativa alla determinazione e gestione del rumore ambientale, in merito alle modalità di stesura delle mappe, per favorire la definizione di un approccio omogeneo ed uniforme alla valutazione del clima di rumore presente sul territorio nazionale. Aspetti tecnici e procedurali sono trattati in maniera sistematica e coordinata, richiamando le specifiche definite dalla Direttiva Europea 2002/49/CE ed individuando le modalità tecniche applicative per la loro implementazione.

## **Riferimenti Nazionali**

A livello nazionale la materia di tutela dell'ambiente dall'inquinamento acustico è disciplinata dalla Legge del **26 ottobre 1995 n. 447** "Legge quadro sull'inquinamento acustico" e D.L.19/08/2005 n. 194 "Attuazione della Direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale"; La legge 447/95 stabilisce i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e abitativo dall'inquinamento acustico ai sensi dell'art.17 della costituzione. I principi generali desumibili dalla presente legge costituiscono norme fondamentali di riforma economico-sociale della Repubblica. Per "inquinamento acustico" si intende 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 fruizioni degli ambienti stessi. La legge 26/10/1995 n. 447 prevede, inoltre decreti attuativi di regolamentazione in materia di inquinamento acustico, tra i quali: Il D.P.C.M. 14.11.1997 "Determinazione del valore limite delle sorgenti sonore"; il decreto fornisce i valori dei limiti massimi del livello sonoro equivalente relativi alle classi di destinazione d'uso del territorio e il concetto e il significato delle fasce di pertinenza delle infrastrutture stradali, ferroviarie, marittime, aeroportuali e delle altre sorgenti sonore

*Tabella 1: CLASSI ACUSTICHE (Tab. A del D.P.C.M. 14-11-1997)*

Classi territoriali	Leq diurno	Leq notturno
I – aree protette (ospedali, scuole)	50	40
II – aree residenziali	55	45
III – aree miste	60	50
IV – aree di intensa attività umana	65	55

V – aree prevalentemente industriali	70	60
VI – aree industriali	70	70

Nella tabella sopra si individuano varie classi che possiamo così classificare:

**CLASSE I - Aree particolarmente protette**

Rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento base per la loro utilizzazione:

- aree ospedaliere
- aree scolastiche
- aree destinate al riposo e allo svago
- aree residenziali rurali
- aree di particolare interesse urbanistico
- parchi pubblici

**CLASSE II - Aree** destinate ad uso prevalentemente residenziale

Rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale con bassa densità di popolazione con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali ed artigianali.

**CLASSE III - Aree di tipo misto**

Rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale o di attraversamento con media densità di popolazione e con presenza di attività:

- commerciali ed uffici
- aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici
- limitata presenza di attività artigianali
- assenza di attività industriali

#### **CLASSE IV - Aree di intensa attività umana**

Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali ed 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.

#### **CLASSE V – Aree prevalentemente industriali**

Rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.

#### **CLASSE VI - Aree esclusivamente industriali**

Rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e prive di insediamenti abitativi. Inoltre, nella tabella sopra si individuano un periodo diurno e uno notturno, entrambi forniti dalla norma e definiti in:

- Periodo *diurno* intervallo di tempo compreso dalle 6:00 alle 22:00
- Periodo *notturno* intervallo di tempo compreso dalle 22:00 alle 6:00

#### **Tabella B: valori limite di emissione**

“Valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora.”

Classi territoriali	Leq diurno	Leq notturno
I – aree protette (ospedali, scuole)	45	35
II – aree residenziali	50	40
III – aree miste	55	45



IV – aree di intensa attività umana	60	50
V – aree prevalentemente industriali	65	55
VI – aree industriali	65	65

**Tabella C: valori limite assoluti di immissione**

“Valore massimo di rumore, determinato con riferimento al livello equivalente di rumore ambientale, che può essere immesso dall’insieme delle sorgenti sonore nell’ambiente abitativo o nell’ambiente esterno misurato in prossimità dei ricettori.”

Classi territoriali	Leq diurno	Leq notturno
I – aree protette (ospedali, scuole)	50	40
II – aree residenziali	55	45
III – aree miste	60	50
IV – aree di intensa attività umana	65	55
V – aree prevalentemente industriali	70	60
VI – aree industriali	70	70

#### Tabella D: valori di qualità

“Valore di rumore che da conseguire nel breve, medio e lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare le finalità previste dalla Legge Quadro n. 447.”

Classi territoriali	Leq diurno	Leq notturno
I – aree protette (ospedali, scuole)	47	37
II – aree residenziali	52	42
III – aree miste	57	47
IV – aree di intensa attività umana	62	52
V – aree prevalentemente industriali	67	57
VI – aree industriali	70	70

Il D.M. Ambiente 16/03/1998 “*Tecniche di rilevamento e di misurazione dell’inquinamento acustico*”; Con questo decreto si è cercato di equilibrare la tecniche di rilevamento e di misurazione dell’inquinamento acustico, in particolare la strumentazione di misura e le modalità di misura, tenendo conto delle peculiari caratteristiche del rumore emesso dalle infrastrutture di trasporto. Vengono inoltre riportate le definizioni e metodi di calcolo delle grandezze acustiche interessate

## **Riferimenti Regionali**

La Regione Marche, nel recepire i contenuti e le disposizioni della legge 26 ottobre 1995, n. 447 "Legge quadro sull'inquinamento acustico", ha emanato la Legge Regionale 14 novembre 2001 n.°28, "*Norme per la tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo*", e le relative Linee Guida, approvate con D.G.R. n°196 del. 896 e pubblicate sul BUR n°62 del 11/7/2003; tale documento tecnico detta, in maniera esauriente, i criteri da seguire per la stesura del piano.

## **Criteri per la caratterizzazione acustica dei territori comunali**

La caratterizzazione (o mappatura) acustica del territorio mediante misure fonometriche rappresentano una attività essenziale per determinare il rumore ambientale prodotto dalle singole sorgenti o dalla loro combinazione e per poter valutare il grado di inquinamento acustico presente nel territorio considera i valori rilevati, confrontati con i valori limite previsti dalla legge per le diverse classi territoriali, consentono di stabilire se è necessario intervenire nella zona considerata con un piano di risanamento acustico. Pertanto l'attività di misurazione del rumore, al pari della classificazione acustica del territorio, acquista valore strategico per orientare le scelte sulle azioni da promuovere per combattere l'inquinamento acustico. Inoltre, la conoscenza della situazione acustica del territorio può essere utile, anche se non necessaria e vincolante, per la definizione della stessa classificazione acustica, in quanto può consentire di verificare e confermare alcune delle ipotesi fatte sull'uso del territorio, soprattutto per quanto riguarda la presenza e l'influenza di sorgenti di rumore.

Per quanto riguarda le modalità tecniche di effettuazione delle misure acustiche si rimanda alla ampia e dettagliata legislazione e normativa tecnica di riferimento, oltre che alla professionalità e responsabilità dei tecnici competenti in acustica ambientale incaricati della effettuazione delle misure.

In queste linee guida verranno pertanto date indicazioni sugli obiettivi dell'attività di misura, sulle conseguenti modalità di organizzazione e pianificazione della campagna di misura ed, infine, sulle modalità di rappresentazione dei risultati ottenuti.

## **Gli obiettivi delle misure acustiche**

Per quanto riguarda gli obiettivi, i principali sono sinteticamente elencati di seguito:

- base conoscitiva per verificare e confermare le ipotesi poste alla base della classificazione acustica e per determinare le situazioni di superamento dei limiti acustici;
- determinazione della tipologia e numero di ricevitori soggetti a situazioni di inquinamento acustico;
- identificazione delle sorgenti responsabili del superamento;
- identificazione dei soggetti cui competono gli interventi di risanamento.

Risulta evidente che l'attività di caratterizzazione acustica deve essere soprattutto orientata alle sorgenti di rumore ed alla loro influenza sui ricevitori, mentre sono di minore utilità generiche mappature con punti di misura distribuiti casualmente sul territorio. Pertanto, nella fase preliminare alla campagna di misura sarà necessario acquisire informazioni sulla tipologia della zona oggetto dell'indagine, sulla sua orografia, sulle possibili sorgenti prevalenti di rumore, sulla tipologia dei ricevitori.

I punti di misura potranno quindi essere più concentrati in prossimità delle principali sorgenti (infrastrutture di trasporto, insediamenti produttivi, sorgenti fisse particolarmente rumorose ecc.) e dei ricevitori più esposti o più sensibili (edifici o aree a destinazione protetta, insediamenti abitati-vi, ecc.).

Risulterebbe invece molto oneroso e di scarsa utilità pratica una intensificazione dei punti di misura puramente finalizzata al tracciamento di curve isofoniche su tutto il territorio comunale o su ampie porzioni di esso. Infatti tali curve isofoniche verrebbero ottenute per interpolazione dei valori puntuali misurati, ma ciò avrebbe significato solo in presenza di un elevato numero di punti misura e in assenza di ostacoli alla propagazione sonora, condizione questa che certamente non si verifica quasi mai in ambito urbano. Ne consegue la necessità, per ottenere curve isofoniche effettivamente rappresentative della situazione acustica reale, di combinare le misure con le previsioni di opportuni codici di calcolo, in grado di tenere conto dell'effetto barriera dovuto agli edifici. E' evidente che ciò può essere fatto, con costi e tempi ragionevoli, essenzialmente per porzioni ridotte di territorio, di particolare interesse per le caratteristiche delle sorgenti presenti e per la tipologia dei ricevitori.

## Organizzazione delle misure acustiche

Per quanto riguarda la durata temporale delle misure, la campagna può essere organizzata secondo due protocolli. Il primo prevede la misura per periodi brevi ma statisticamente significativi della situazione acustica esistente nel periodo di riferimento considerato (**indagine fonometrica spaziale**). L'indagine viene generalmente svolta con apparecchiature di misura mobili ed assistite. Il tempo di misura in genere è costituito da uno o più intervalli di breve durata (da 15 minuti ad un'ora). E' evidente che una indagine di questo tipo può essere di tipo orientativo per avere informazioni di massima sul clima acustico e sulla individuazione delle sorgenti di rumore. La caratterizzazione delle sorgenti può avvenire con questo metodo solo se si può essere sufficientemente sicuri della co-stanza della emissione, ovvero se il numero e la distribuzione degli intervalli di misura sono tali da seguire con buona approssimazione l'evolversi del fenomeno sonoro. Il secondo prevede, invece, la misura per periodi di lunga durata, multipli del periodo di riferimento (diurno o notturno) al fine di verificare la significatività dei risultati ottenuti nel corso della indagine spaziale e di ottenere l'andamento nel tempo del livello di pressione sonora (**indagine fonometrica temporale**). Tali misure, che possono protrarsi anche per periodi di una o più settimane devono necessariamente essere effettuate con apparati di misura fissi, dotati di sistemi di registrazione o di trasmissione dei dati. E' evidente che indagini di questo tipo sono molto più onerose (in termini di tempi di effettuazione e di costi), ma sono necessarie per una completa caratterizzazione di sorgenti con emissioni variabili nel tempo o addirittura costituite da singole eventi sonori. Risulta pertanto essenziale una attenta pianificazione della campagna di misura con una oculata scelta dei punti di misura e del tipo di indagine fonometrica da effettuare. In primo luogo vanno scelti i punti di misura in cui effettuare l'indagine di tipo spaziale. Tale scelta risulta agevole nel caso di zone a bassa concentrazione abitativa, come quelle periferiche e quelle extraurbane, in cui risulta più facile individuare la presenza di eventuali sorgenti prevalenti di rumore. In tal caso i punti di misura saranno posizionati essenzialmente lungo le vie di comunicazione, in prossimità degli insediamenti industriali e di eventuali residenze collocate in vicinanza di sorgenti fisse. Nelle aree urbane o comunque a più alta concentrazione abitativa e di attività umane, il rumore risulta distribuito in modo più diffuso, sia per la molteplicità delle sorgenti emittenti, sia per l'importanza della componente riflessa dalle superfici degli edifici. Ciò fa sì che risulti molto più complicato distinguere il contributo delle singole sorgenti, per cui diventa necessario ricorrere a rilievi di tipo sistematico con una intensificazione dei punti di misura. Anche in questo caso, comunque, si deve procedere ad un attento monitoraggio della situazione acustica esistente lungo le vie di comunicazione, cercando però di effettuare rilievi anche in postazioni lontane dalle direttrici di traffico, ma comunemente utilizzate da un numero significativo di frequentatori, come i parchi

pubblici, le aree verdi in prossimità di scuole ed ospedali, ecc. Successivamente verranno scelti i punti in cui eseguire l'indagine di tipo temporale, i cui risultati serviranno per confermare quelli della indagine con tempi di breve durata, per poter distinguere i contributi di singole sorgenti al rumore ambientale complessivo e come necessaria base conoscitiva per decidere di effettuare interventi di bonifica acustica e per verificarne, successivamente, i risultati.

## **La rappresentazione dei risultati delle misure acustiche**

I risultati della indagine fonometrica saranno descritti mediante una relazione in cui saranno riportate tutte le informazioni sulla organizzazione della campagna di misura, sulla strumentazione utilizzata, sulla localizzazione dei punti di misura, sui dati fonometrici ottenuti. A tale relazione potranno essere allegati i resoconti di prova. I risultati potranno inoltre essere rappresentati su un'apposita cartografia del territorio comunale, preferibilmente costituita dalla Carta Tecnica Regionale, in modo da poter sempre eseguire una verifica e conoscere così eventuali variazioni del clima acustico in una determinata area. I punti di misura saranno indicati con un simbolo convenzionale ben visibile, come un cerchio (UNI 9884, punto 8), al quale possono essere associati una crocetta o un punto per localizzare con precisione la posizione del punto di rilievo ed, eventualmente, un numero progressivo per la sua identificazione e associazione a note esplicative.

Nel caso in cui i punti di misura consentano una interpolazione con accettabile livello di approssimazione, ovvero qualora essi siano integrati con una analisi di tipo previsionale sulla propagazione del rumore, sarà possibile ottenere la distribuzione del livello sonoro mediante curve di isolivello. Al fine di rappresentare la situazione acustica del territorio, sarà utile ottenere mappe acustiche, in cui i punti di misura o le curve isolivello siano riportati con intervalli di 5 dB e con colori diversi. A tal fine si potrà utilizzare la codificazione dei colori riportati nella norma UNI 9884. Per quanto riguarda la scala della mappa dipende dalle dimensioni del territorio e dalla necessità di localizzare con precisione determinati punti. In analogia con le indicazioni date per le mappe di classificazione acustica, si consiglia di utilizzare per la mappatura del rumore scale 1:10.000 per l'inquadramento generale, 1:5.000 per inquadramenti di dettaglio, almeno 1:2.000 per particolari.

## **METODI DI MISURA**

Per valutare i livelli di rumore presenti nel periodo diurno sono state effettuate delle misure fonometriche, in orari opportunamente scelti per essere rappresentativi della rumorosità presente nell'area durante il periodo diurno (06 - 22). Le modalità di misura sono conformi a quanto prescrive la legge 447 "legge quadro sull'inquinamento acustico" del 26/10/1995 e l'allegato B del D.M. 16/03/98 che indica le tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento da rumore.

### **Strumentazione si misura**

1. Il sistema di misura deve essere scelto in modo da soddisfare le specifiche di cui alla classe 1 delle norma IEC 61672-1 (2013). Le misure di livello equivalente dovranno essere effettuate direttamente con un fonometro conforme alla classe 1 della norma IEC 61672-1 (2013).

2. I filtri e i microfoni utilizzati per le misure devono essere conformi alla norma IEC 61672-1 (2013). I calibratori devono essere conformi alle norma IEC 60942 (2003)

3. La catena di misura prima e dopo ogni ciclo di misura, deve essere controllata con un calibratore di classe I secondo la norma IEC 60942 (2017). Le misure fonometriche eseguite sono valide se le calibrazioni effettuate prima e dopo ogni ciclo di misura, differiscono al massimo di 0,5 dB. In caso di utilizzo di un sistema di registrazione e di riproduzione, i segnali di calibrazione devono essere registrati.

4. Gli strumenti ed i sistemi di misura devono essere provvisti di certificato di taratura e controllati almeno ogni due anni per la verifica della conformità alle specifiche tecniche. Il controllo periodico deve essere eseguito presso laboratori accreditati da un servizio di taratura nazionale ai sensi della legge 11 agosto 1991, n. 273

5. Per l'utilizzo di altri elementi a completamento della catena di misura non previsti nelle norme di cui ai commi 1 e 2 del presente articolo, deve essere assicurato il rispetto dei limiti di tolleranza della classe 1 sopra richiamata.

## Modalità di misura del rumore

### 1. Generalità.

Prima dell'inizio delle misure è indispensabile acquisire tutte quelle informazioni che possono condizionare la scelta del metodo, dei tempi e delle posizioni di misura.

I rilievi di rumorosità devono pertanto tenere conto delle variazioni sia dell'emissione sonora delle sorgenti che della loro propagazione. Devono essere rilevati tutti i dati che conducono ad una descrizione delle sorgenti che influiscono sul rumore ambientale nelle zone interessate dall'indagine. Se individuabili, occorre indicare le maggiori sorgenti, la variabilità della loro emissione sonora, la presenza di componenti tonali e/o impulsive e/o di bassa frequenza.

### 2. Misura dei livelli continui.

La misura dei livelli continui equivalenti di pressione sonora ponderata "A" nel periodo di riferimento ( $L_{Aeq,TR}$ ):  $T_R (T_0)_i$

Può essere eseguita:

a) per integrazione continua.

Il valore di  $L_{Aeq,TR}$  viene ottenuto misurando il rumore ambientale durante l'intero periodo di riferimento, con l'esclusione eventuale degli interventi in cui si verificano condizioni anomale non rappresentative dell'area in esame;

b) con tecnica di campionamento.

Il valore  $L_{Aeq,TR}$  viene calcolato come media dei valori del livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata "A" relativo agli intervalli del tempo di osservazione  $(T_0)_j$ . Il valore di  $L_{Aeq,TR}$  è dato dalla relazione



### **3. Metodologia di misura.**

La metodologia di misura rileva valori di ( $L_{Aeq,TR}$ ) rappresentativi del rumore ambientale nel periodo di riferimento, della zona in esame, della tipologia della sorgente e della propagazione dell'emissione sonora. La misura deve essere arrotondata a 0,5 dB.

### **4. Misure in campo libero.**

Il microfono da campo libero deve essere orientato verso la sorgente di rumore; nel caso in cui la sorgente non sia localizzabile o siano presenti più sorgenti deve essere usato un microfono per incidenza casuale. Il microfono deve essere montato su apposito sostegno e collegato al fonometro con cavo di lunghezza tale da consentire agli operatori di porsi alla distanza non inferiore di

3m dal microfono stesso.

### **5. Misure all'interno di ambienti abitativi.**

Il microfono della catena fonometrica deve essere posizionato a 1,5 m dal pavimento e ad almeno 1 m da superfici riflettenti. Il rilevamento in ambiente abitativo deve essere eseguito sia a finestre aperte che chiuse, al fine di individuare la situazione più gravosa. Nella misura a finestre aperte il microfono deve essere posizionato a 1 m dalla finestra; in presenza di onde stazionarie il microfono deve essere posto in corrispondenza del massimo di pressione sonora più vicino alla posizione indicata precedentemente. Nella misura a finestre chiuse, il microfono deve essere posto nel punto in cui si rileva il maggior livello della pressione acustica.

### **6. Misure in esterno.**

Nel caso di edifici con facciata a filo della sede stradale, il microfono deve essere collocato a 1 m dalla facciata stessa. Nel caso di edifici con distacco dalla sede stradale o di spazi liberi, il microfono deve essere collegato nell'interno dello spazio fruibile da persone o comunità e, comunque, a non meno di 1 m dalla facciata dell'edificio. L'altezza del microfono sia per misure in aree edificate che per

misure in altri siti, deve essere scelta in accordo con la reale o ipotizzata posizione del ricettore.

#### **7. Condizioni Atmosferiche.**

Le misurazioni devono essere eseguite in assenza di precipitazioni atmosferiche, di nebbia e/o neve; la velocità del vento deve essere non superiore a 5 m/s.

Il microfono deve essere comunque munito di cuffia antivento. La catena di misura deve essere compatibile con le condizioni meteorologiche del periodo in cui si effettuano le misurazioni e comunque in accordo con le norme IEC 60804: 2000.

#### **8. Rilevamento strumentale dell'impulsività dell'evento.**

Ai fini del riconoscimento dell'impulsività di un evento, devono essere eseguiti rilevamenti dei livelli  $L_{AImax}$  e  $L_{ASmax}$  per un tempo adeguato

Detti rilevamenti possono essere contemporanei al verificarsi dell'evento oppure essere svolti successivamente sulla registrazione magnetica dell'evento.

#### **9. Riconoscimento dell'evento sonoro impulsivo:**

Il rumore è considerato avente componenti impulsive quando sono verificate le condizioni seguenti:

L'evento ripetitivo;

la differenza tra  $L_{AImax}$  ed  $L_{ASmax}$  è superiore a 6 dB;

la durata dell'evento a -10 dB dal valore  $L_{AFmax}$  è inferiore a 1 s.

L'evento sonoro impulsivo si considera ripetitivo quando si verifica almeno 10 volte nell'arco di un'ora nel periodo diurno e almeno 2 volte nell'arco di un'ora nel periodo notturno.

La ripetitività deve essere dimostrata mediante registrazione grafica del livello  $L_{af}$  effettuata durante il tempo di misura  $L_m$ .

$L_{Aeq,TR}$  viene incrementato di un fattore correttivo  $K_I$  così come definito al punto 15 dell'allegato A.

#### **10. Riconoscimento di componenti tonali di rumore.**

Al fine di individuare la presenza di Componenti Tonalì (CT) nel rumore, si effettua un'analisi spettrale per bande normalizzate di 1/3 di ottava. Si considerano esclusivamente le CT aventi carattere stazionario nel tempo ed in frequenza. Se si utilizzano filtri sequenziali si determina il minimo di ciascuna banda con costante di tempo Fast. Se si utilizzano filtri paralleli, il livello dello spettro stazionario è evidenziato dal livello minimo di ciascuna banda.

Per evidenziare CT che si trovano alla frequenza di incrocio di due filtri ad 1/3 di ottava, possono essere usati filtri con maggiore potere selettivo o frequenze di incrocio alternative. L'analisi deve essere svolta nell'intervallo di frequenza compreso tra 20Hz e 20kHz. Si è in presenza di un CT se il livello minimo di una banda supera i livelli minimi delle bande adiacenti per almeno 5 dB. Si applica il fattore di correzione  $K_T$  come definito al punto 15 dell'allegato A, soltanto se la CT tocca una isofonica eguale o superiore a quella più elevata raggiunta dalle altre componenti dello spettro. La normativa tecnica di riferimento è la ISO 266:1997.

#### **11. Presenza di componenti spettrali in bassa frequenza:**

Se l'analisi in frequenza svolta con le modalità di cui al punto precedente, rileva la presenza di CT tali da consentire l'applicazione del fattore correttivo  $K_T$  nell'intervallo di frequenze compreso fra 20 Hz e 200 Hz, si applica anche la correzione  $K_B$  così come definita al punto 15 dell'allegato A, esclusivamente nel tempo di riferimento notturno

## Strumentazione utilizzata

Per la determinazione dei livelli di pressione sonora continua equivalente ponderata A e degli spettri in banda stretta sono stati utilizzati due fonometri portatili della Brüel & Kjaer, modello 2250, con gamma di frequenza lineare a banda larga 3 Hz - 20 kHz, abilitati all'analisi in frequenza, al monitoraggio del rumore (profili) ed alla registrazione del segnale misurato.

Nello specifico, il modello 2250 consente:

- La valutazione ed il monitoraggio del rumore ambientale;
- La valutazione del rumore in ambiente lavorativo;
- La riduzione del rumore;
- Il calcolo di misure sonore conformi alla classe 1 delle più recenti normative internazionali;
- L'analisi del suono in tempo reale in bande di 1/1 e 1/3 d'ottava;
- L'analisi della registrazione temporale dei parametri a banda larga e spettrali ( monitoraggio );
- La documentazione delle misure usando annotazioni scritte e vocali;
- La documentazione misure attraverso la registrazione del suono misurato
- La memorizzazione dei dati su schede di memoria.



Figura 1: Fonometro portatile della Brüel&Kjaer, modello 2250

## Software utilizzato

Il fonometro analizzatore portatile Brüel & Kjaer utilizzato in fase di sopralluogo è fornito di un software di elaborazione delle misure: Evaluator, capace di rielaborare un sistema completo per l'analisi, la valutazione e la documentazione delle fluttuazioni di rumore e di redigere e combinare i dati di misura. L'Evaluator è un software applicativo basato su Windows necessario per l'analisi dei dati raccolti dal fonometro analizzatore Brüel & Kjaer nel lavoro di valutazione del rumore. Esso è dotato di molte funzioni avanzate che comprendono la registrazione, il riascolto del suono e la valutazione del tono. E', inoltre, in grado di memorizzare e visualizzare dati a banda larga, spettrali, marcatori automatici per i periodi più rumorosi, contenuti impulsivi, toni costanti (derivati dagli spettri in 1/3 d'ottava) e livelli di escursione.

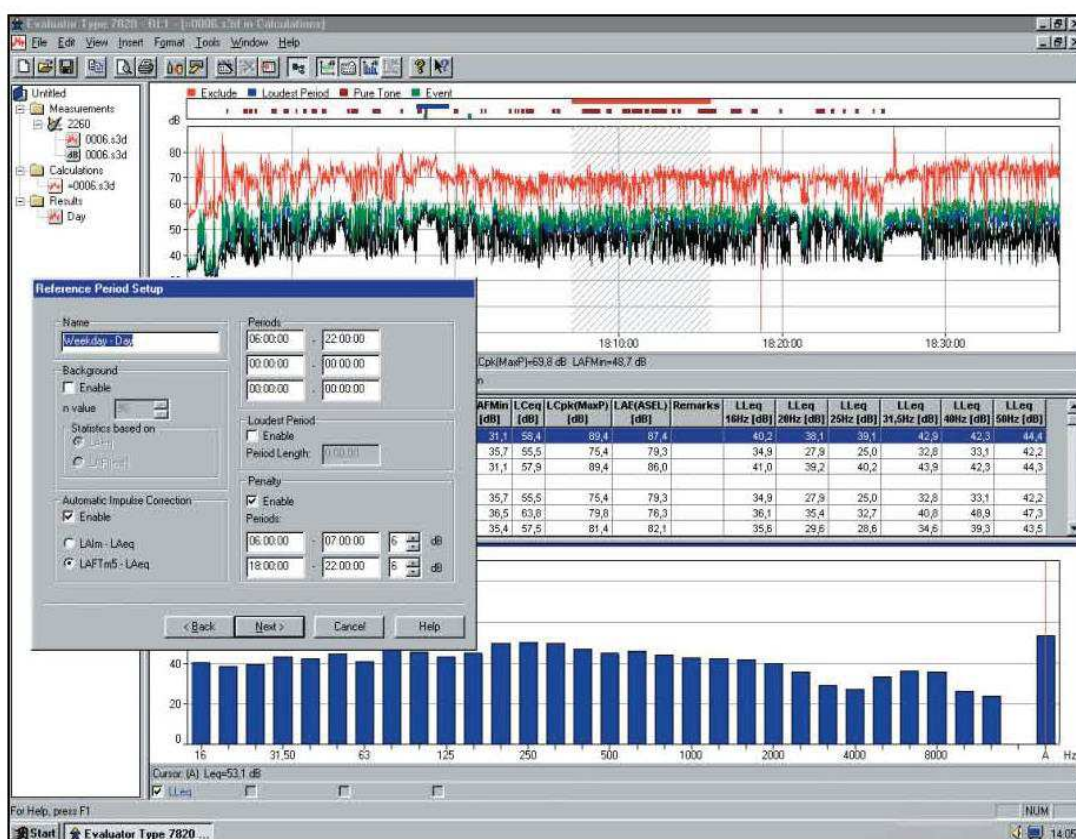


Figura 2: Software Evaluator (un esempio di file di progetto)

Per la determinazione della velocità del vento è stato utilizzato un anemometro in grado di misurare la velocità media e la direzione del vento in intervalli di tempo sincronizzati con le misure acustiche. Sono stati, inoltre, utilizzati un trasduttore di direzione del vento, una macchina fotografica, un sistema di rilevazione GPS per la misura delle distanze ed un termometro per la misura della temperatura atmosferica.

## DESCRIZIONE DEL SITO



*Figura 3: Ortofoto dell'area*

L'impianto sarà realizzato in zona montana, presso il parco eolico di Serrapetrona (Mc) nelle Marche lontano da insediamenti di qualsiasi tipo. Gli edifici più vicini si trovano sul lato sud, in prossimità della frazione Villa d'Aria e sul lato ovest, dove sono presenti edifici sparsi e un osservatorio astronomico. L'area sulla quale sorgerà l'impianto eolico si trova ad un'altitudine compresa tra 650 m e 900 m sul livello del mare. Da un punto di vista topografico, l'area risulta fortemente acclive. L'area circostante risulta caratterizzata da pendii scoscesi ed il territorio è contraddistinto dalla presenza di uno scarso ricoprimento boschivo e da un terreno privo di vegetazione. Nelle vicinanze non ci sono strutture riflettenti come edifici, altre strutture o specchi d'acqua ma solo pendii scoscesi ed una rada boscaglia.



*Figura 4: Immagine del sito*

Al momento della realizzazione dell'impianto, sono state prese in considerazione diverse caratteristiche: l'intera zona, priva di vegetazione, con mantello erboso molto scarso, non risulta adatta all'agricoltura, è prevalentemente utilizzata a pascolo, è facilmente accessibile e la normativa di natura urbanistica vigente ne consente un uso tecnologico. La verifica della validità del sito scelto è stata condotta attraverso l'installazione di apparecchiature per la rilevazione anemometrica che hanno evidenziato un discreto potenziale eolico, misurando una velocità media annua del vento pari a circa 5,6 m/s all'altezza di 10 m dal suolo, con direzioni prevalenti del vento da est – nord - est. Questi rilievi sperimentali sono stati affiancati ed integrati da valutazioni effettuate con modelli matematici, che hanno consentito la localizzazione ottimale degli aerogeneratori da installare sull'intero sito.



*Figura 5: Vista del sito*



## ***Classificazione acustica dell'Area interessata***

Il Comune di Serrapetrona, ai sensi della Legge 447/95, ha adottato la classificazione acustica del territorio comunale, in base alla quale l'area su cui si trovano l'impianto e i recettori maggiormente esposti è inserita nella classe III definita nella tabella A del D.P.C.M. 14.11.1997 come "aree di tipo misto".

**CLASSE III - aree di tipo misto:** 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.

## ***Indicazione limite dei valori di Emissione, Immissione e di qualità***

L'indicazione dei valori limite di emissione, di immissione e di qualità va fornita in tutte le zone interessate dalla nuova opera, con particolare attenzione a quelle maggiormente esposte alla propagazione sonora. Il D.P.C.M. 14/11/97, in attuazione dell'art. 3, comma 1, lettera a) della legge 26 ottobre 1995, n. 447, determina i valori limite di emissione, i valori limite di immissione, i valori di attenzione ed i valori di qualità, di cui all'art. 2, comma 1, lettere e), f), g) ed h); comma 2; comma 3, lettere a) e b), della stessa legge. Il valore limite di emissione è il valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in corrispondenza degli spazi utilizzati da persone e comunità.

Tabella B: Valori limite di emissione –  $L_{eq}$  in dB(A) (art. 2)

Classi di destinazione del territorio		Tempi di riferimento	
		Diurno (06.00-22.00)	Notturmo (22.00-06.00)
III	Aree di tipo misto	55	45

Il *valore limite assoluto di immissione* è il valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente esterno, misurato in prossimità dei ricettori.

Tabella C: Valori limite assoluto di immissione –  $L_{eq}$  in dB(A) (art. 3)

Classi di destinazione del territorio		Tempi di riferimento	
		Diurno (06.00-22.00)	Notturmo (22.00-06.00)
III	Aree di tipo misto	60	50

Si precisa che per le infrastrutture stradali, ferroviarie, marittime, aeroportuali e le altre sorgenti sonore di cui all'art. 11, comma 1, legge 26 ottobre 1995, n. 447, i limiti di cui alla tabella C allegata al D.P.C.M. 14 novembre 1997 "Valori Limite delle sorgenti sonore", non si applicano all'interno delle rispettive fasce di pertinenza, individuate dai relativi decreti attuativi (art. 3, comma 2 del D.P.C.M. 14.11.1997). All'esterno di tali fasce, dette sorgenti concorrono al raggiungimento dei limiti assoluti di immissione.

I *valori di qualità* sono 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

Tabella D: Valori di qualità –  $L_{eq}$  in dB(A) (art. 7)

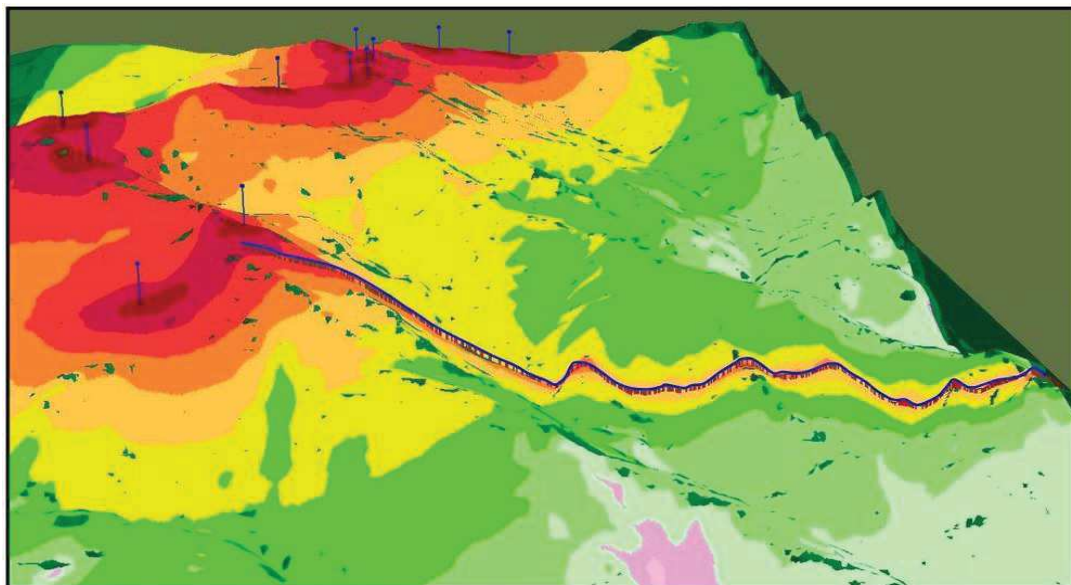
Classi di destinazione del territorio		Tempi di riferimento	
		Diurno (06.00-22.00)	Notturmo (22.00-06.00)
III	Aree prevalentemente residenziali	57	47

## MAPPATURA ACUSTICA DEL TERRITORIO

La mappatura acustica è un efficiente metodo di rappresentazione di una serie di livelli acustici riferiti ad una superficie, al fine di valutare in quale modo il rumore si distribuisce sulla superficie considerata. La rappresentazione dei dati può avvenire sia in forma tabellare, sia nella più nota ed immediata forma grafica. Mentre nel primo caso tutto si esaurisce in un mero ordinamento dei valori all'interno di una tabella, nel secondo caso viene generalmente impiegato un software che esegue una interpolazione tra i livelli, al fine di presentare una mappa continua. Tra i metodi più comuni di rappresentazione vi sono le mappe a falsi colori e le mappe a curve di isolivello.

E' importante sottolineare come il software di interpolazione non sia un software previsionale, ma solamente uno strumento per assegnare dei valori a dei punti non presenti nel set di dati a disposizione, secondo uno specifico algoritmo di interpolazione. Di conseguenza, nel caso in cui i punti noti non vengano scelti in modo opportuno in funzione del campo acustico presente, la mappatura può fornire risultati anche molto diversi dalla realtà. La mappatura acustica può

essere effettuata sia con dati di pressione sonora, sia con dati di intensità sonora.



*Figura 6: La figura mostra un esempio di mappatura all'interno di un ambiente montano, soggetto all'installazione di aerogeneratori al fine di valutare le zone critiche dal punto di vista acustico ([www.enki.it](http://www.enki.it))*

## La Mappatura acustica

E' un valido supporto nella fase di diagnosi dei problemi e di collaudo finale in opera . La valutazione dei requisiti acustici in opera si fonda necessariamente sulla determinazione degli indici di valutazione, con procedure operative e di calcolo descritte nelle diverse parti delle norme tecniche **UNI EN ISO 16283** e verifiche fatte con **UNI EN ISO 717**. I parametri che si ottengono descrivono il comportamento globale dell'intera struttura analizzata, ma non permettono di risalire alle specificità che possono essere rilevanti nel determinare eventuali misure correttive da adottare sia nel caso di interventi di risanamento acustico sia per indirizzare le eventuali scelte progettuali. Si pensi, ad esempio, al diverso comportamento acustico di una facciata di edificio nella quale sia inserita una finestra, magari pure con cassonetto per avvolgibile. Oppure al contributo di trasmissione per fiancheggiamento di una copertura leggera rispetto ad un

divisorio tra unità immobiliari adiacenti tra loro e poste al piano mansardato. Un valido ausilio per individuare aree o elementi “acusticamente deboli” può essere costituito dalla mappatura acustica, strumento che permette di evidenziare diverse caratteristiche di isolamento acustico all’interno della medesima struttura. Con l’ausilio di specifici software di elaborazione, è possibile costruire mappe acustiche sufficientemente accurate anche da misure di pressione sonora, effettuate con la medesima strumentazione utilizzata per le usuali prove di isolamento acustico normalizzato. Questa rappresentazione prende il nome di mappa acustica e può avere la forma di una tradizionale tabella contenente i valori numerici dei punti misurati o quella di una carta a colori, che ha il vantaggio di essere di più facile interpretazione: la possibilità di “vedere” dove e come il rumore si propaga attraverso le strutture semplifica di molto le strategie per contenerne il disturbo. Per questo motivo è un supporto importante nell’indagine dei ponti acustici e nella soluzione di problemi legati alla trasmissione “nascosta” dei rumori, come per esempio il fiancheggiamento. Lo è altrettanto nella fase di collaudo finale in opera, sia al termine di interventi di bonifica acustica sia al momento di comprovare il raggiungimento dei requisiti acustici passivi. La facilità di comprensione dei risultati è uno dei punti di forza di questa tecnica, il cui dato di output finale si evidenziano e visualizzano i livelli di pressione sonora rilevati in prossimità della partizione in esame. L’operazione di acquisizione dei valori non è invasiva: richiede soltanto una misura accurata (e spesso piuttosto lunga se si utilizza una maglia di misura piuttosto fitta) e personale esperto in grado di eseguire rilevazioni corrette. Come già detto, la strumentazione necessaria è la stessa che si utilizza per le misure fonometriche relative al DPCM 5/12/1997, a cui va aggiunto il software di interpolazione nella fase elaborativa per la trasformazione dei valori numerici in una forma grafica, generalmente a falsi colori o a curve di isolivello. La competenza e l’esperienza del rilevatore sono fondamentali perché la fase di pianificazione dei rilievi e di esecuzione degli stessi è determinante: non esiste alcun software che possa rimediare ad errori commessi dall’operatore nel corso della fase di rilievo fonometrico! Non si dimentichi che l’esito della mappatura acustica orienterà il successivo intervento di bonifica: se il risultato dell’elaborazione è affetto da errori rilevanti, potrebbe

essere una rappresentazione falsata della realtà, con il rischio di condurre a scelte non corrette. In questi casi la mappa a colori fornisce un'indicazione immediata, chiara e reale (non previsionale) della situazione, permette di individuare i punti deboli (ponti acustici) e di adottare le contromisure più idonee.

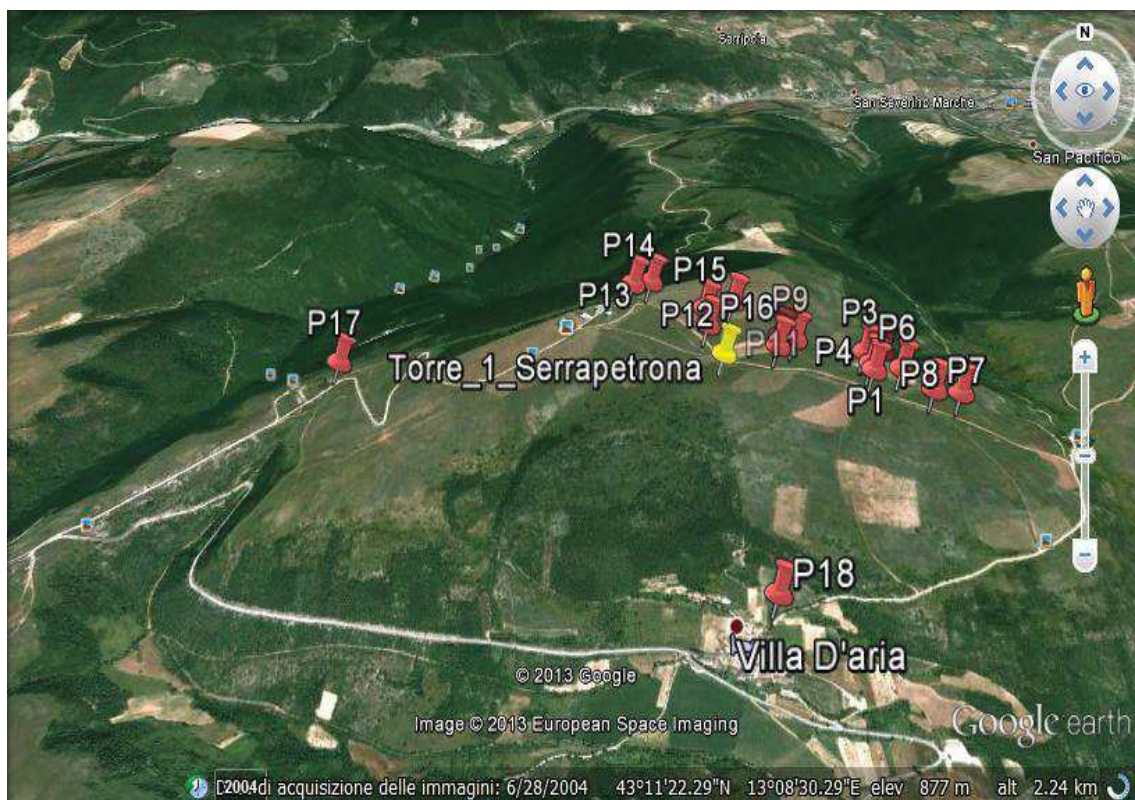
## **Norma UNI/TS 11387:2010**

La specifica tecnica, nella forma di linea guida, si propone come uno strumento tecnico operativo di supporto all'elaborazione delle mappe acustiche e mappe acustiche strategiche. In essa sono esplicitati i principi enunciati dalla Direttiva Europea 2002/49/CE, relativa alla determinazione e gestione del rumore ambientale, in merito alle modalità di stesura delle mappe, per favorire la definizione di un approccio omogeneo ed uniforme alla valutazione del clima di rumore presente sul territorio nazionale. Aspetti tecnici e procedurali, relativi alla stesura delle mappe acustiche e mappe acustiche strategiche, sono trattati in maniera sistematica e coordinata, richiamando le specifiche definite dalla Direttiva Europea 2002/49/CE ed individuando le modalità tecniche applicative per la loro implementazione.

## **ANALISI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI**

### **Definizione dei punti di controllo di Misura**

I rilievi fonometrici sono stati effettuati in punti opportunamente scelti in modo tale da individuare le aree maggiormente esposte rappresentative dell'area d'interesse al rumore degli aerogeneratori. Tali punti sono indicati di seguito con il simbolo del segnaposto rosso.



*Figura 7: Punti di Misura – Pi*

Il punto indicato con il simbolo del segnaposto giallo rappresenta il punto d'installazione della torre anemometrica ove è stata effettuata la misura del rumore residuo grazie all'installazione del box fisso.

Punto di misura	Classe	Distanza dalla macchina	Note
P1	III	250 metri	
P2	III	300 metri	
P3	III	400 metri	
P4	III	250 metri	

P5	III	300 metri	
P6	III	400 metri	
P7	III	550 metri	
P8	III	450 metri	
P9	III	200 metri	
P10	III	Base installazione della macchina	
P11	III	200 metri	
P12	III	400 metri	
P13	III	500 metri	Antenne
P14	III	450 metri	Antenne
P15	III	300 metri	
P16	III	250 metri	
P17	III	1375 metri	Edificio
P18	III	770 metri	Villa d'Aria

### ***Misurazioni del rumore ambientale***

Le modalità di misura sono conformi a quanto prescrive la Legge Quadro sull'inquinamento acustico n°447 del 26/10/1995 e l'allegato B del D.M. 16/03/98 che indica le tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento da rumore.



Data dei rilevamenti: 10 Luglio 2013

Tempo di riferimento: Periodo diurno

Tempo di osservazione: Dalle 09,00 alle 18,00

Tempo di misura: Ambientale: n°18 misure della durata da 10 a 60 min.

Residuo: n°1 misure della durata da 30 min. a 1 settimana

Condizioni meteo: Cielo sereno

Vento velocità < 5 m/s


Temperatura: 22°C

U.R.: 55%

Prima e dopo l'esecuzione della misura, il fonometro è stato calibrato alla frequenza di 1 kHz (94 dB). Non si sono riscontrate differenze superiori a ± 0,5 dB nella calibrazione prima e dopo la misura.

*Valori misurati rumore residuo*

Per il rumore residuo, si è deciso di utilizzare un box contenente il fonometro alimentato a batteria installato su una torre anemometrica in figura sottostante:

	P.to di misura	Leq [dB(A)]	Note	Numero Report
	Torre 1	39,0 – 43,5	Rappresentativo di tutta l'aria	001

Valori misurati rumore ambientale

MISURE ACUSTICHE			OPERATORE:		Raffaele Verrillo		
Punto misura	Coordinate GB (Roma40)		Ora	Rif. file	Direzione vento	Leq [dB(A)]	NOTE
P1	2369811	4783659	11:07	U002	3,5 m/s Nord-Est	LAeq <b>44.8</b>	
P2	2369816	4783726	10:59	V001	1,9 m/s Nord-Est	LAeq <b>39.7</b>	
P3	2369808	4783723	11:12	V002	1,6 m/s Nord-Est	LAeq <b>40.2</b>	passaggio aereo lontananza
P4	2369809	4783630	11:20	U003	3,0 m/s Nord-Est	LAeq <b>51.6</b>	passaggio aereo lontananza
P5	2369866	4783743	11:27	V003	2,8 m/s Nord-Est	LAeq <b>53.1</b>	ore 11:35 passaggio moto
P6	2369891	4783649	11:32	U004	2,7 m/s Nord-Est	LAeq <b>43.8</b>	ore 11:35 passaggio moto , ore 11:41 passaggio furgone

P7	2369969	4783568	11:45	U005	3,5 m/s Nord-Est	LAeq <b>37.7</b>	
P8	2370025	4783551	11:49	V004	1,0 m/s Nord-Est	LAeq <b>36.4</b>	
P9	2369615	4783756	12:18	V005	4,6 m/s Nord-Est	LAeq <b>40.0</b>	
P10	2369587	4783755	12:19	U006	3,2 m/s Nord-Est	LAeq <b>40.7</b>	
P11	2369559	4783709	12:30	V006	4.3 m/s Nord-Est	LAeq <b>44.2</b>	
P12	2369461	4783910	12:34	U007	3,8 m/s Nord-Est	LAeq <b>37.3</b>	
P13	2369219	4783938	13:01	U008	3,4 m/s Nord-Est	LAeq <b>36.8</b>	13:06 Folata di vento , 13:09 Griglia metallica che sbatte
P14	2369370	4783850	13:02	V007	2,2 m/s Nord-Est	Laeq <b>35.3</b>	13:06 e 13:11 Folata di vento forte

P15	2369370	4783850	13:17	U009	2,0 m/s Nord-Est	Laeq <b>40.3</b>	13:26 folata di vento forte
P16	2369644	4783780	13:35	U010	3,2 m/s Nord-Est	Laeq <b>40.3</b>	Chiusura portellone auto
P17	2368315	4783764	14:37	U011	3,4 m/s Nord-Est	Laeq <b>43.9</b>	14:41 passaggio auto
P18	2369448	4783049	14:56	U012	0,8 m/s Nord-est	Laeq <b>40.9</b>	14:59 passaggio moto in lontananza

## Confronto con i valori limite di riferimento

I livelli di rumore misurati descritti nei paragrafi precedenti, sono confrontati con i limiti di riferimento previsti dal D.P.C.M. 14/11/'97. In particolare sono confrontati:

- I livelli di rumore di emissione;
- I livelli di rumore assoluti di immissione;
- I livelli di rumore differenziali di immissione.

Valore limite assoluto di immissione –  $L_{eq}$  in dB(A) - ai ricettori

Punto di controllo	Valore di riferimento	Valore Calcolato/Misurato	Esito
	Diurno (06.00-22.00) [dB(A)]	Diurno (06.00-22.00) [dB(A)]	
Torre1	60	39,0 – 43,5	Valore Limite RISPETTATO
P1	60	44.8	Valore Limite RISPETTATO
P2	60	39.7	Valore Limite RISPETTATO
P3	60	40.2	Valore Limite RISPETTATO
P4	60	51.6	Valore Limite RISPETTATO
P5	60	53.1	Valore Limite RISPETTATO
P6	60	43.8	Valore Limite RISPETTATO
P7	60	37.7	Valore Limite RISPETTATO
P8	60	36.4	Valore Limite RISPETTATO
P9	70	40.0	Valore Limite RISPETTATO

P10	60	40.7	Valore Limite RISPETTATO
P11	60	44.2	Valore Limite RISPETTATO
P12	60	37.3	Valore Limite RISPETTATO
P13	60	36.8	Valore Limite RISPETTATO
P14	60	35.3	Valore Limite RISPETTATO
P15	60	40.3	Valore Limite RISPETTATO
P16	60	40.3	Valore Limite RISPETTATO
P17	60	43.9	Valore Limite RISPETTATO
P18	60	40.9	Valore Limite RISPETTATO

### **Stima del grado di confidenza di previsione**

Le verifiche sono state fatte sulla base degli algoritmi e dei metodi di misura ricavati dalle norme di riferimento come specificate nei paragrafi introduttivi. L'incertezza di misura è quella prevista dalla norma UNI/TR 11326 per misure ambientali effettuate con strumentazione di Classe I. Al fine di ottenere indicazioni sull'impatto acustico dell'attività nell'area analizzata sono state effettuate delle misure fonometriche, in orari opportunamente scelti per essere rappresentativi della rumorosità presente nell'area durante l'orario di attività.

## CONCLUSIONI

In Italia il rumore proveniente da un aerogeneratore è una delle maggiori problematiche connesse allo sviluppo degli stessi. Il sito oggetto della misura è classificato come “aree di tipo misto” anche se non esistono edifici abitabili nelle prossime vicinanze, si è constatato come gli eventuali e futuri rumori aerodinamici che verranno prodotti dagli aerogeneratori installati risulteranno trascurabili o, comunque, verranno totalmente mascherati dal rumore di fondo (influenzato in particolar modo dal forte vento presente) già a distanze di circa 250 metri. Le misure in periodo notturno non sono state effettuate in quanto il valore limite di 50 dB previsto per il periodo notturno viene già rispettato per la totalità delle misure svolte nel periodo diurno. Di conseguenza è possibile supporre che nel periodo notturno i valori limite verranno rispettati! Una controprova ci viene fornita dai livelli del rumore residuo rilevati attraverso l'utilizzo del box, per misure di lunga durata non assistite, installato sulla torre anemometrica. Tali livelli si sono sempre dimostrati conformi ai limiti previsti sia per il periodo diurno che notturno. Quindi in base alle misure svolte i livelli sonori globali che si hanno, allo stato attuale, **rispettano** i limiti previsti dal Regolamento Comunale per la disciplina delle attività rumorose e i valori limite di cui al D.P.C.M. 14/11/1997.

## BIBLIOGRAFIA

- IEC 61400 – 11 Wind Turbine Generator Systems – Acoustic noise measurement techniques (2012-11)
- B.Søndergaard, the next version of the IEC 61400 measurement method, Third International Meeting on Wind Turbine Noise Aalborg Denmark (2009)
- UNI/TS 11143-7 “Metodo per la stima dell’impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti” (parte 7)
- UNI/TS 11387 “Linee guida alla mappatura acustica e mappatura acustica strategica” (2010)
- D.P.C.M. 14.11.1997 “Determinazione del valore limite delle sorgenti sonore”;
- D.M. Ambiente 16/03/1998 “Tecniche di rilevamento e di misurazione dell’inquinamento acustico”;
- Legge Regionale 14 novembre 2001 n.°28, “Norme per la tutela dell’ambiente esterno e dell’ambiente abitativo”,
- Dispense di Acustica Applicata F. Serpilli ;
- Low Frequency Noise and Wind Turbines Technical Annex; British Wind Energy Association (BWEA, 2005)
- Modelling of Noise From Wind Turbines - Mechanical Department, DTU;
- Wind Turbine Acoustics; Harvey H. Hubbard, Kevin P. Shepherd, Ph. D.
- Tecniche di rilevamento e di misurazione dell’inquinamento acustico; Decreto 16 marzo 1998



Ringrazio sentitamente il chiarissimo Prof. Ing. Gianni Cesini per avermi fatto appassionare a tutte le tematiche dell'acustica e alle sue applicazioni. Un ringraziamento particolare lo rivolgo a Ing. Fabio Serpilli e Ing. Valter Lori per i costanti e dotti insegnamenti durante tutto il mio percorso formativo ed a Samanta per avermi aiutato nella redazione finale della presente tesi. Dedico questa Laurea ai miei genitori che mi hanno permesso di sostenere gli studi e sono stati sempre orgogliosi di me, mio fratello Roberto per essere stato un esempio da seguire ed il mio collega di studi Luca per il suo supporto. Infine ma non per importanza ringrazio Lea per essermi sempre stata accanto.