

17th CIRIAF National Congress

Sustainable Development, Human Health and Environmental Protection

La misura del rumore prodotto da impianti eolici

Umberto Berardi ¹, Gino Iannace ^{2*} and Amelia Trematerra ³

¹ Department of Architectural Science, Ryerson University, 350 Victoria Street, Toronto, ON M5B 2K3, Canada

² Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale – Università della Campania “Luigi Vanvitelli”, Borgo San Lorenzo 81031, Aversa (Ce) - Italia

³ Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale – Università della Campania “Luigi Vanvitelli”, Borgo San Lorenzo 81031, Aversa (Ce) - Italia

* Autore di riferimento. Gino Iannace E-Mail: gino.iannace@unicampania.it

Abstract: Nel presente lavoro sono riportate le misure acustiche all'interno ed all'esterno di alcune abitazioni che compongono due borghi rurali in prossimità di un parco eolico costituito da tre torri eoliche ciascuna di potenza nominale di 1 MW. Le torri eoliche con potenza nominale fino a 1 MW sono definite di media taglia e seguono per la loro installazione procedure autorizzative più semplici. Pertanto i promotori di impianti eolici spesso preferiscono installare torri eoliche di questa potenza data la procedura amministrativa autorizzativa semplificata. Le misure acustiche sono state eseguite collocando dei fonometri all'interno ed all'esterno delle abitazioni, per i diversi valori della velocità del vento. Sono stati valutati gli effetti della rumorosità prodotta dal funzionamento delle torri in diverse abitazioni situate intorno al parco eolico con diversa velocità e direzione del vento.

Keywords: velocità del vento, rumore aerodinamico, torre eolica, misure fonometriche.

1. Introduzione

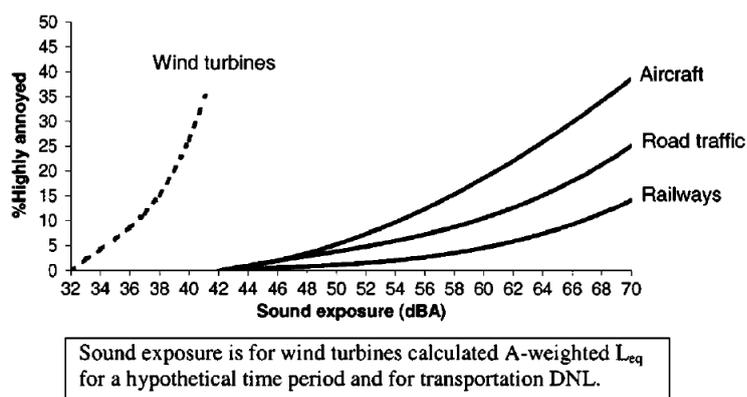
Nel presente lavoro sono riportate le misure acustiche all'interno di quattro diverse abitazioni ricomprese in due borghi rurali in prossimità di un parco eolico composto da tre torri eoliche ciascuna di potenza nominale di 1,0 MW. Le torri eoliche con potenza nominale fino a 1,0 MW sono definite di media taglia, e seguono per la loro installazione procedure autorizzative più semplici. I costruttori di impianti preferiscono, pertanto, installare torri eoliche di questa tipologia per avvalersi di procedure autorizzative semplificate anche perché non soggette a preventiva valutazione di impatto ambientale.

Tuttavia si evidenzia che la procedura prevista dal D.M. 10.9.2010 (Parte II Regime Giuridico delle Autorizzazioni) al paragrafo 11.6 specifica “I limiti di capacità di generazione e di potenza ... sono da intendere come riferiti alla somma delle potenze nominali, per ciascuna fonte, dei singoli impianti di produzione appartenenti allo stesso soggetto o su cui lo stesso soggetto ha la posizione decisionale dominante, ...”. Per cui se per il parco eolico in esame si configurasse questa condizione sarebbe soggetta alla procedura valutazione impatto ambientale (VIA) ordinaria.

Da un punto di vista commerciale, l'energia eolica è la più competitiva tra le fonti energetiche rinnovabili e rappresenta il segmento di mercato con il più elevato tasso di crescita, sia per motivi di tipo economico, sia per motivi di tipo ambientale. Una così rapida crescita ha fatto ovviamente nascere il dibattito sull'impatto ambientale dovuto a questi insediamenti, tanto che i parchi eolici possono essere considerati come una nuova fonte considerevole di rumore ambientale. Per ragioni di economia di scala, vengono realizzate torri eoliche con una potenza nominale e dimensioni sempre maggiori, con torri alte oltre 100 metri e raggio delle pale di oltre 50 metri. Tale geometria comporta che nonostante la velocità della rotazione delle pale sia molto bassa, circa 15-20 giri al minuto, il punto più distante della pala, rispetto all'asse di rotazione, ha una velocità angolare di circa 300 chilometri orari. Negli ultimi anni, nelle regioni del Sud Italia sono state installate numerose “fattorie del vento”. Inizialmente, questi siti erano localizzati lontano dalle abitazioni, in zone remote ed in alta montagna. Con il passare degli anni, però, si è assistito alla realizzazione di nuovi impianti con l'installazione di aerogeneratori a quote sempre più basse e anche in prossimità di centri abitati quali borghi rurali, fattorie e impianti zootecnici. Tali ulteriori localizzazioni, in zone fortemente antropizzate, hanno prodotto notevoli incidenze sulle popolazioni che vivono in prossimità degli impianti eolici, soprattutto per le immissioni acustiche generate dalla rotazione delle pale, correlate alle direzioni e intensità del vento. La tipologia di immissioni che si produce rientra tra quelle che la letteratura scientifica indica come “*annoyance*”. Il termine si può tradurre in diversi modi: come “moleste”, “fastidiose”, “irritanti”, tali da recare “disturbo” al riposo ed alle occupazioni delle persone; ma in termini clinici il “fastidio” è riconosciuto come un rischio per la salute umana. Ci sono molti riferimenti di letteratura che riconoscono che l'*annoyance* ha un effetto nocivo per la salute. Viene riconosciuta da tempo una relazione dose-risposta della popolazione all'esposizione a questa tipologia di immissione. Il livello di rumore associato con il funzionamento di turbine eoliche in prossimità di insediamenti residenziali può portare a fastidio e disturbi del sonno. Infatti fastidio e interruzioni del sonno sono comuni quando i livelli sonori sono compresi tra 30 e 45 dBA. L'American Wind Energy Association e la Canadian Wind Energy Association, hanno promosso uno studio dal titolo “Wind Turbine Sound and Health Effects”, in cui si riconosce che il rumore delle turbine eoliche, incluso il rumore a bassa frequenza, può provocare fastidio, disturbi del sonno e, di conseguenza, le persone possono presentare sintomi fisiologici e psicologici di avversione. Tra questi “distrazione, vertigini, affaticamento, sensazione di vibrazione, mal di testa, insonnia, spasmi muscolari, nausea, palpitazioni, la pressione nelle orecchie”. Si tratta di sintomatologie riconosciute da un'ampia letteratura internazionale che documentano che i soggetti esposti al rumore delle turbine eoliche subiscono effetti negativi sulla salute. Gli studi svolti in diverse parti del mondo sul disturbo da rumore generato dalle turbine eoliche evidenziano un aspetto peculiare: anche se i livelli sonori generati dal funzionamento degli aerogeneratori sono dell'ordine di 30-50 dBA, questa tipologia di rumore, per la particolare componente sonora di bassa frequenza, è considerata dalle persone esposte particolarmente intrusiva. Tra gli aspetti negativi viene attribuita particolare rilevanza alle

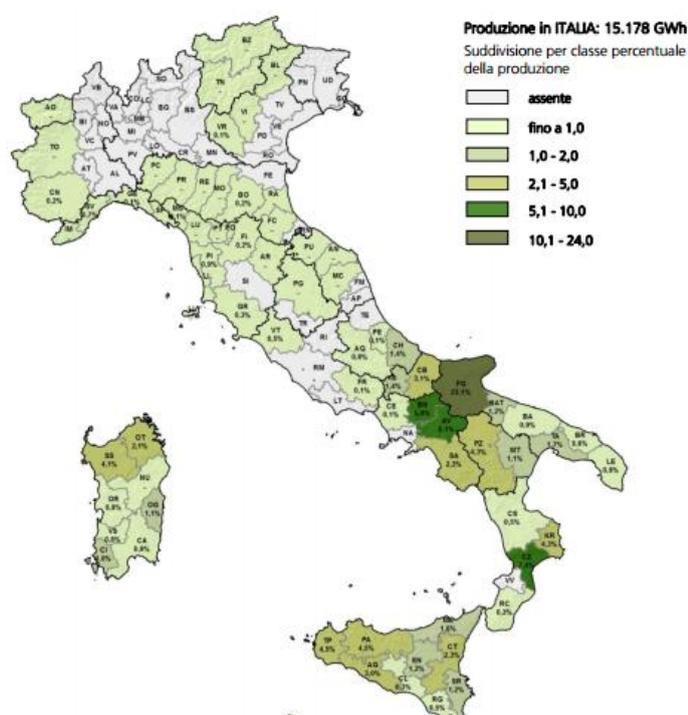
caratteristiche sonore uniche del rumore delle turbine, che lo rende anche distinguibile tra le altre fonti di rumore. Altre possibili cause includono: la variazione di ampiezza in funzione del vento, la componente a bassa frequenza, la variabilità temporale, e la mancanza dell'interruzione di notte. Inoltre lo sfarfallio periodico delle pale nel campo visivo, come anche dell'ombra proiettata al suolo, e altri impatti visivi contribuiscono ad elevare il livello di *annoyance*. Le principali componenti di tale rumore sono costituite dalle emissioni sonore aerodinamiche prodotte dalla rotazione delle pale intorno all'asse del mozzo, gli effetti della compressione dell'aria tra le pale in rotazione e la torre che conferisce al rumore emesso un andamento periodico, ed il rumore meccanico prodotto dalle parti elettromeccaniche (generatore, moltiplicatore di giri, sistemi di raffreddamento ed altre componenti) situate all'interno della navicella, queste ultime componenti sonore sono ad alta frequenza e non sono più percepite a poche centinaia di metri di distanza dalla torre [1, 2, 3]. E' utile, in proposito, come da grafico di Figura 1, il confronto tra gli effetti del disturbo dovuto al rumore degli aerogeneratori rilevato con una serie di misure fonometriche, indagini di tipo statistico sulla popolazione che vive nelle adiacenze di parchi eolici, rispetto al rumore emesso dai mezzi di trasporto [4]. La Figura 1 evidenzia che il rumore generato dal funzionamento delle torri eoliche, a parità di livello sonoro percepito, è considerato sensibilmente di maggiore disturbo rispetto agli altri diversi rumori antropici, quali quelli provenienti dal passaggio degli aeroplani, quello generato dal traffico veicolare, e quello generato dal passaggio di treni. L'Italia, sia per la posizione geografica e sia per l'orografia del territorio, presenta una buona disponibilità di siti adatti all'installazione di impianti eolici, poiché connotati da venti di buona intensità. I siti più idonei per lo sfruttamento dell'energia eolica sono situati lungo la dorsale appenninica, al di sopra dei 600 metri sul livello del mare (Figura 2). Le regioni più investite dagli insediamenti di parchi eolici sono quelle del sud, tanto che il territorio compreso tra le province di Trapani, Foggia, Benevento, Avellino e Potenza costituisce il principale polo eolico nazionale. Il rapporto del GSE [5], elaborato nell'ambito delle attività di monitoraggio dello sviluppo delle energie rinnovabili in Italia, evidenzia che dal 2001 al 2014 si è assistito ad un forte sviluppo dei parchi eolici in Italia.

Figura 1. Confronto tra la relazione dose-disturbo per il rumore dei mezzi di trasporto e il rumore generato dal funzionamento delle turbine eoliche



Alla fine del 2001, gli impianti eolici installati erano 81, con una potenza pari a 664 MW; alla fine del 2014 gli impianti presenti erano 1.847, con potenza pari a 8.703 MW. La potenza eolica installata rappresenta il 17,2% di quella rinnovabile complessivamente prodotta, con un incremento di oltre 14 % rispetto al 2001 (3%). La maggior parte degli impianti installati (80% circa) è di piccole dimensioni (potenza inferiore a 1 MW). Degli 8.703 MW installati, il 91% (7.933 MW) si concentra nei 262 parchi eolici di potenza maggiore di 10 MW; il 6% è prodotta da impianti con potenza compresa tra 1 e 10 MW e il restante 2% da impianti di potenza inferiore a 1,0 MW. L'incremento di potenza tra 2013 e 2014 (+143 MW, pari a +1,7%) è legato principalmente alla crescita degli impianti con potenza maggiore di 10 MW, anche se percentualmente è maggiore l'incremento della classe degli impianti eolici con potenza fino ad 1,0 MW, sia in termini di numerosità (+44%) che di potenza installata (+25,1%). Tale segmento, che comprende anche la categoria dei mini eolici, rappresenta 47 MW dei 143 MW complessivi installati nel 2014. Nella localizzazione, costruzione e funzionamento degli impianti eolici, hanno particolare rilevanza le caratteristiche ambientali e territoriali dei siti; aspetti quali la ventosità, l'orografia, l'accessibilità dei siti sono variabili di rilievo per l'installazione di un parco eolico. Per tale motivo nelle regioni meridionali risulta installato il 96,6% della potenza eolica nazionale e l'83,4% del parco impianti in termini di numerosità. La Regione con la maggiore potenza installata è la Puglia, con 2.339 MW; seguono Sicilia e Campania, rispettivamente con 1.750 MW e 1.250 MW. Ancora in Puglia, nel 2014, si è registrata la maggiore variazione assoluta di potenza installata (74 MW). In linea con i dati di potenza, la produzione eolica presenta valori molto elevati nelle regioni meridionali e nelle Isole, mentre nelle Province settentrionali i valori sono trascurabili o assenti. Il primato nazionale di produzione nel 2014 è detenuto dalla Provincia di Foggia con il 23,1%; seguono le Province di Catanzaro (7,4%) e Avellino (6,1%), Benevento (5,1%). L'agglomerato abitativo rurale oggetto di studio e di analisi è collocato proprio all'interno di tale area.

Figura 2. Distribuzione provinciale della produzione eolica nel 2014



2. Limiti da considerare: normativa e giurisprudenza

Quando si vuole determinare la valutazione del rumore immesso presso determinati ricettori si deve distinguere quale criterio verrà applicato. L'indagine si è focalizzata specificatamente sulla componente ambientale, intesa come il rispetto dei requisiti richiesti dalla normativa di settore. È quello che viene chiamato criterio dell'ammissibilità i cui capisaldi sono nella L. 447/95, la Legge Quadro sull'Inquinamento Acustico, nel DPCM 14.11.1997, Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore, e nel DM 16.03.1998, Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico. Definire un rumore ammissibile significa che rispetta i limiti descritti in questa normativa. La verifica consiste sia nel rispetto dei limiti assoluti di zona, definiti dal Comune o, nelle more, dal vecchio DPCM 1.03.1991, che nel rispetto del livello differenziale di rumore, ovvero della differenza tra il Livello di Rumore Ambientale ed il Livello di Rumore Residuo, misurati con il parametro LAeq, e distingue tra giorno e notte, in cui valgono limiti differenti, ed inoltre riconosce dei limiti inferiori, indicata come Soglia di Ammissibilità, al di sotto dei quali si ritiene che ogni effetto del rumore è trascurabile. In particolare questa Soglia, per le misure a finestre aperte vale 50 dB(A) durante il periodo diurno e 40 dB(A) durante il periodo notturno. Un rumore, superiore a questi ultimi limiti, è definito inammissibile se supera il livello assoluto di zona oppure se supera di 5 dB(A), di giorno, e/o di 3 dB(A), di notte, il livello differenziale. Tuttavia, per completare il quadro di valutazione si sono determinati anche i parametri richiesti per l'altro criterio di valutazione, quello della normale tollerabilità. Questo criterio si basa su un quadro giuridico definito dall'art. 844 cc e dall'art. 32 Cost., e su una estesa giurisprudenza che dai primi anni 70 richiama le metodiche di misura della norma ISO 1996/72. In particolare nel par. 4.2 di questa norma, intitolato "Casi speciali" è specificato: "...Per la valutazione del rumore in casi speciali, per esempio in casi di lamentele suscitate dalla presenza di una determinata sorgente di rumore in un certo luogo, il livello del rumore di fondo servirà da criterio. Il livello del rumore di fondo (ambientale) è il livello acustico minimo-medio del luogo e nel momento considerato in assenza del rumore incriminato. Esso deve essere ottenuto osservando le indicazioni del fonometro e leggendo il livello più basso che si ripete più frequentemente (minimo-medio). Se si da ricorso all'analisi statistica del livello acustico, si considererà che il livello del rumore di fondo deve essere il livello che viene oltrepassato durante il 95 % del tempo di osservazione."

L'ultimo paragrafo impone che il rumore di riferimento, che in questo caso si chiama Rumore di Fondo, si debba determinare con un parametro statistico, L95, che metrologicamente ha quel significato. Il criterio richiede che si confronti il Rumore di Fondo, determinato in assenza del rumore in esame, con il profilo sonoro complessivo in cui sussista sia la "normale" rumorosità dell'area che la specifica rumorosità in esame. La peculiarità del criterio è che non considera medie: si devono considerare solo i tratti del profilo sonoro in cui è presente la sorgente sonora da valutare; e se sussiste una variabilità di quest'ultima rumorosità si devono caratterizzare le diverse condizioni di emissione, senza potere fare una media.

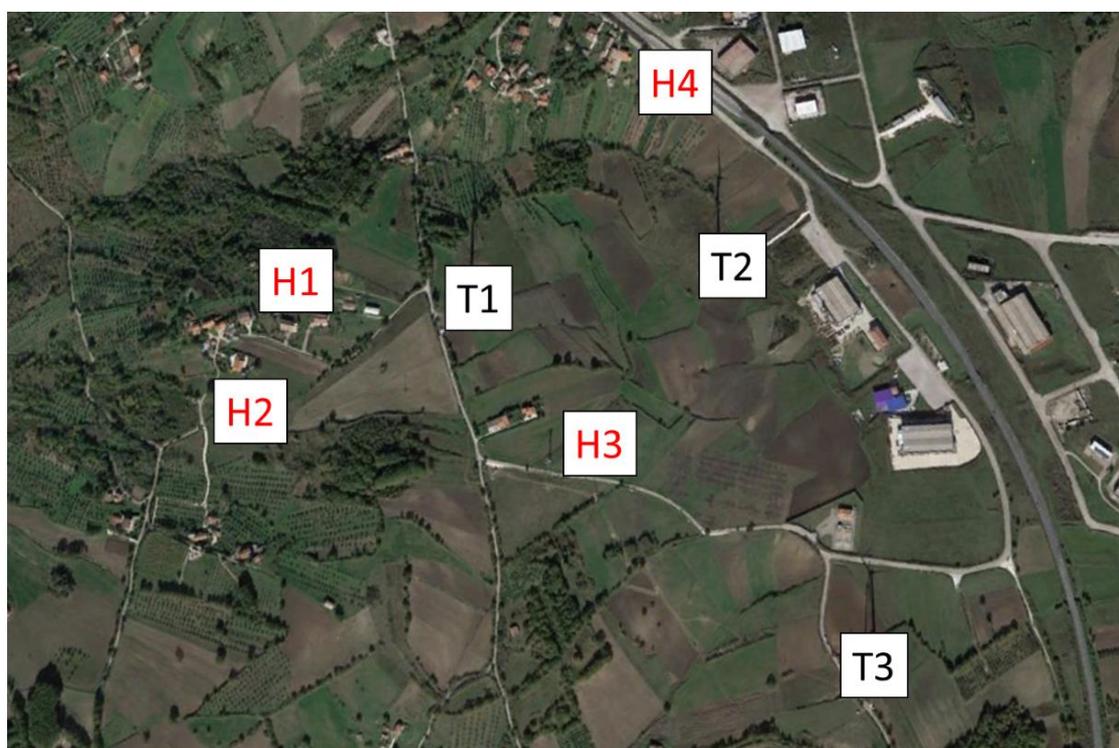
3. Caratterizzazione del sito e dell'impianto

Il sito d'indagine è situato nel Comune di Pontelandolfo in Provincia di Benevento, in Campania (Figura 3). Il Comune si trova nella parte settentrionale della Provincia, alla quota di circa 500 metri s.l.m.. In quest' area del Sud Italia, il vento è presente tutto l'arco dell'anno con una velocità media di circa 8-10 m/s, sebbene a volte la velocità supera il valore dei 25 m/s (superata questa velocità interviene il fermo della rotazione delle pale per evitare possibili danneggiamenti) [6, 7]. Le misure sono state eseguite, collocando i fonometri all'interno di quattro diverse abitazioni ricomprese in un borgo rurale, situato intorno al parco eolico, per i diversi valori della velocità e direzione del vento.

Il parco eolico considerato è composto da tre turbine, ad asse orizzontale, ciascuna turbina ha una potenza nominale di 1,0 MW. Le torri (dell'altezza di circa mt. 80 al mozzo) sono di tipo singolo palo tubolare, dotate ciascuna di tre pale, (del diametro di circa mt. 60), realizzate in fibre di vetro.

La Figura 3 mostra una vista satellitare del parco eolico con indicazione della posizione delle tre torri (T1, T2 e T3) e delle abitazioni circostanti (H1, H2, H3, H4) nelle quali sono state eseguite le misurazioni fonometriche.

Figura 3. Vista satellitare dell'area oggetto di studio, con indicazione della posizione delle torri e delle abitazioni, che compongono il borgo rurale (Comune di Pontelandolfo).



4. Metodologia di misura

Sono riportati i risultati di misurazioni acustiche eseguite nelle condizioni in cui una sorgente sonora disturbante non può essere spenta [8, 9]. Questa fattispecie ricorre quando non è possibile accedere alla sorgente sonora disturbante che si vuole caratterizzare, oppure quando questa non può essere

spenta. Per valutare gli effetti del possibile disturbo generato da una sorgente sonora ritenuta disturbante (ovvero l'incremento al campo sonoro complessivo dovuto al funzionamento della sorgente sonora rispetto al rumore residuo), è possibile eseguire la misura del rumore residuo (rumore presente quando la sorgente disturbante è spenta) con la tecnica del luogo acusticamente analogo. Infatti, secondo questa tecnica di valutazione, il rumore residuo in una certa area è il risultato della rumorosità emessa da svariate sorgenti sonore che operano con una certa tipicità nell'area considerata. Quando non è possibile controllare la sorgente sonora disturbante, le rilevazioni del rumore residuo possono essere effettuate in un luogo analogo, ovvero in luogo in cui sia presente allo stesso modo la rumorosità ambientale, ma per il quale è trascurabile l'influenza della sorgente sonora disturbante. Sono definiti i seguenti parametri, livello di rumore residuo (LR) quale livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato «A» che si rileva quando si esclude la specifica sorgente disturbante. Esso deve essere misurato con le identiche modalità impiegate per la misura del rumore ambientale e non deve contenere eventi sonori atipici. Livello di rumore ambientale (LA): è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato «A», prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato tempo. Il rumore ambientale è costituito dall'insieme del rumore residuo e da quello prodotto dalle specifiche sorgenti disturbanti. Livello differenziale di rumore (LD): differenza tra il livello di rumore ambientale. (LA) e quello di rumore residuo (LR), $LD = LA - LR$. All'interno delle abitazioni rurali, situate nelle vicinanze del parco eolico, sono state effettuate misurazioni fonometriche per la valutazione del livello sonoro del rumore ambientale e del livello sonoro del rumore residuo, in modo da rendere possibile la valutazione dell'incremento del campo sonoro apportato dalla sorgente sonora ritenuta disturbante. Per la misura del rumore ambientale, il fonometro è stato posto in una stanza della abitazione in prossimità della finestra che si affaccia sulla torre eolica più vicina, dalla quale proviene il rumore disturbante. Non potendo spegnere la sorgente sonora, le misurazioni del rumore residuo (rumore che si misura quando si esclude la specifica sorgente disturbante) sono state eseguite in un luogo acusticamente analogo che è stato individuato in una stanza della stessa abitazione, situata al lato opposto rispetto alla posizione della sorgente sonora disturbante. Il fonometro è stata collocato in questa stanza. Le misurazioni sono state eseguite a finestra aperta, condizione di massimo disturbo.

Per i rilievi fonometrici è stata utilizzata la seguente strumentazione: un fonometro integratore modello Solo 01dB di "Classe 1" e un fonometro integratore modello LXT1 Larson Davis di "Classe 1". Tutta la strumentazione utilizzata è conforme a quanto richiesto dalla norma IEC61672-2002; i fonometri sono stati configurati per l'acquisizione del livello equivalente della pressione sonora lineare, ponderata "A", dei livelli statistici con costante di tempo Fast. Entrambi i fonometri sono stati installati all'altezza di 1,40 metri dal pavimento e a 1,0 metri dalla finestra aperta.

5. Misure fonometriche in ambiente abitativo e analisi dei risultati

I rilievi fonometrici sono stati effettuati durante il periodo diurno e notturno in giornate diverse, durante i mesi invernali con velocità del vento compresa tra i 8 m/s e i 15 m/s, collocando dei fonometri all'interno di abitazioni situate intorno al parco eolico, per i diversi valori della velocità e direzione del vento.

5.1 Misura 1

Prima abitazione indicata come (H1). Le misure fonometriche sono eseguite all'interno dell'abitazione situata ad Ovest della torre n. 1 ad una distanza di circa 250 metri. La direzione del vento era sud – ovest e la velocità di circa 8 – 10 m/s. L'abitazione è ad un solo piano. La Figura 4 riporta la storia temporale delle misure eseguite posizionando il fonometro vicino la finestra che guarda l'aerogeneratore in funzione. Il livello equivalente misurato è $LeqA= 44,7$ dBA. La Figura 5 riporta la storia temporale delle misure eseguite posizionando il fonometro vicino alla finestra al lato opposto all'aerogeneratore, in modo da eseguire una misura in luogo acusticamente analogo. Il livello equivalente misurato è pari a $LeqA= 33,0$ dBA il valore di $L95 = 32,7$ dBA. La Figura 6 riporta l'analisi in frequenza dei valori misurati dal fonometro posto nella stanza in vista dell'aerogeneratore, da cui si nota che le maggiori componenti misurate sono comprese nella zona delle basse frequenze.

Figura 4. Storia temporale fonometro al lato della finestra che guarda l'aerogeneratore

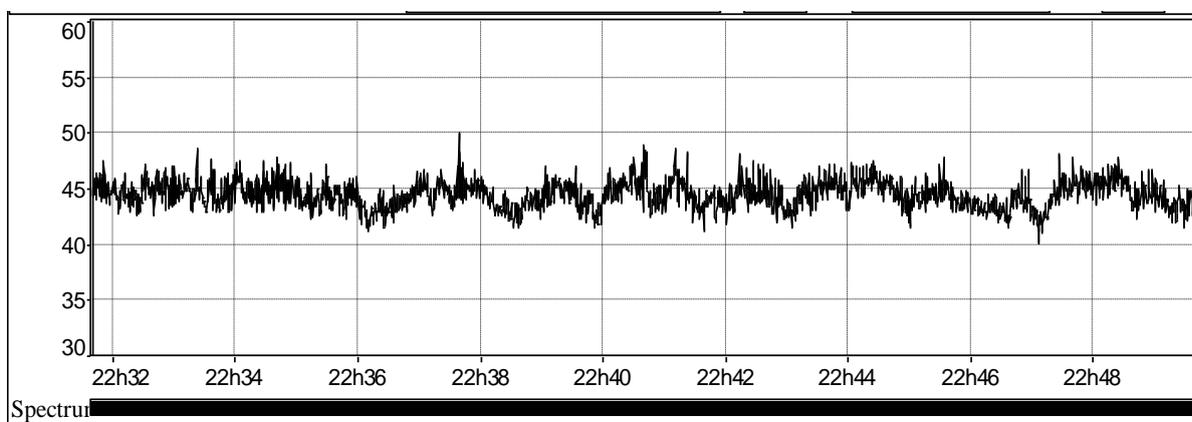


Figura 5. Storia temporale fonometro al lato opposto all'aerogeneratore

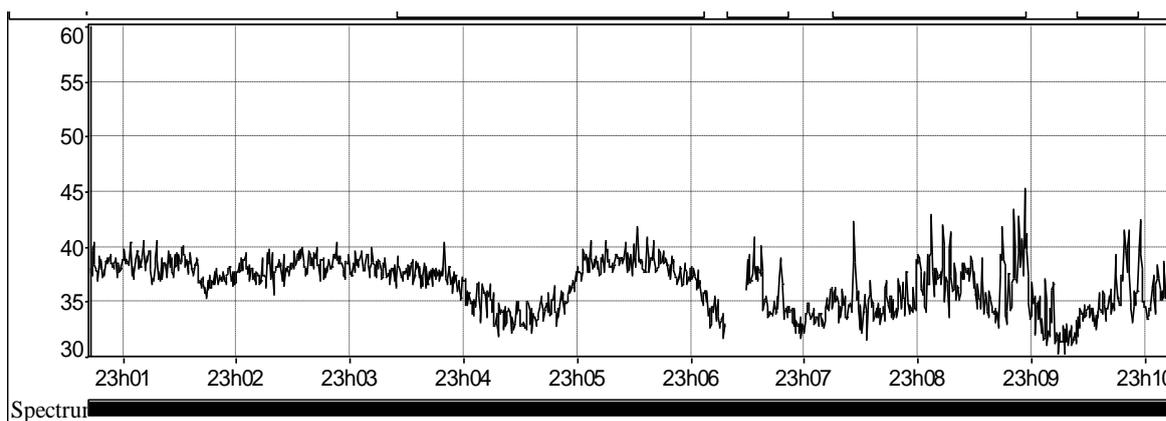
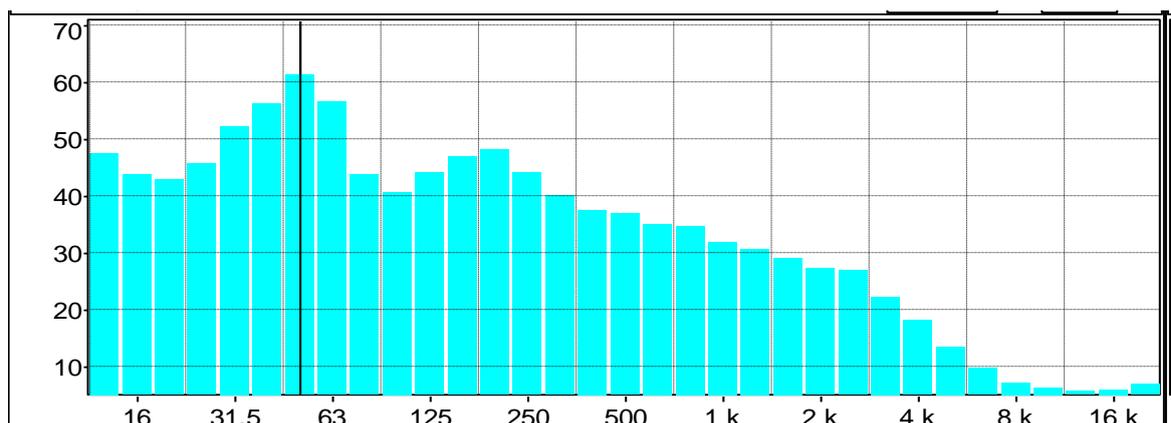


Figura 6. Andamento in frequenza della misura eseguita dalla finestra a vista dell'aerogeneratore



5.2 Misura 2

Seconda abitazione indicata come (H2). Le misure fonometriche sono state eseguite all'interno dell'abitazione situata ad Ovest della torre n. 1 ad una distanza di circa 350 metri. La direzione del vento era sud – ovest e la velocità di circa 8 – 10 m/s. L'abitazione è ad un solo piano. La Figura 7 riporta la storia temporale delle misure eseguite posizionando il fonometro vicino alla finestra che guarda l'aerogeneratore in funzione. Il livello equivalente misurato è $LeqA= 38,6$ dBA. La Figura 8 riporta la storia temporale delle misure eseguite posizionando il fonometro vicino alla finestra al lato opposto all'aerogeneratore, in modo da eseguire una misura in luogo acusticamente analogo. Il livello equivalente misurato è pari a $LeqA= 35,0$ dBA; il valore di $L95=30,0$ dBA.

Figura 7. Storia temporale fonometro al lato della finestra che guarda l'aerogeneratore

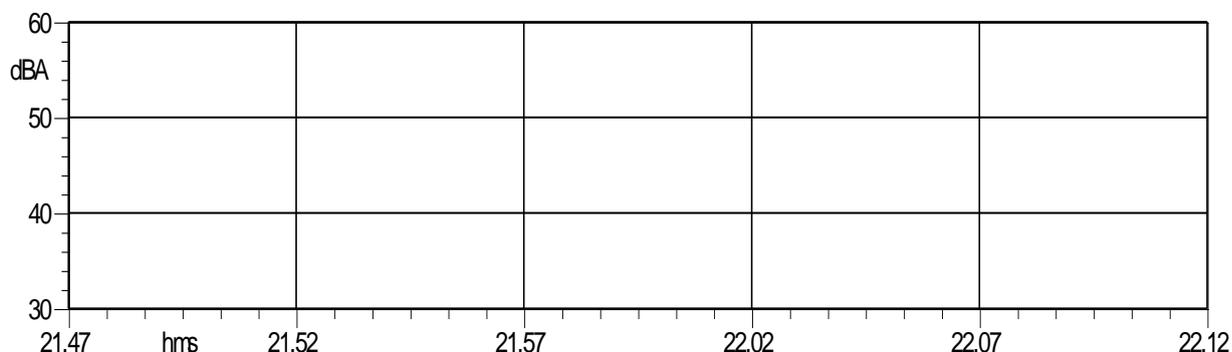
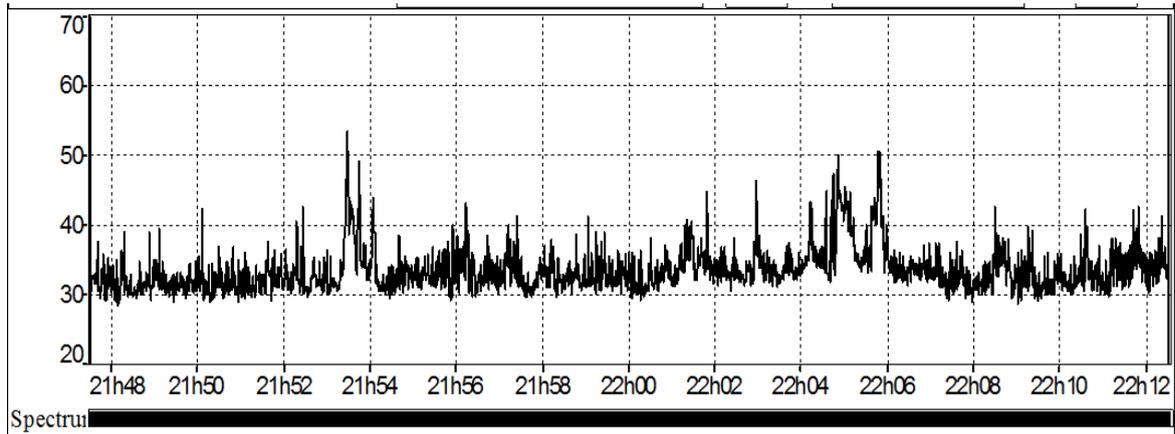


Figura 8. Storia temporale fonometro al lato opposto all'aerogeneratore

5.3 Misura 3

Terza abitazione indicata come (H3). Le misure fonometriche sono state eseguite all'interno dell'abitazione situata a Sud della torre n. 1 ad una distanza di circa 200 metri. La direzione del vento era Nord e la velocità di circa 15 m/s. L'abitazione è a un solo piano. La Figura 9 riporta la storia temporale delle misure eseguite posizionando il fonometro vicino la finestra che guarda l'aerogeneratore in funzione. Il livello equivalente misurato è pari a $LeqA = 51,4$ dBA. La Figura 10 riporta la storia temporale delle misure eseguite posizionando il fonometro vicino la finestra al lato opposto all'aerogeneratore, in modo da eseguire una misura in luogo acusticamente analogo. Il livello equivalente misurato è pari a $LeqA = 43,5$ dBA, il valore $L95 = 39,5$ dBA.

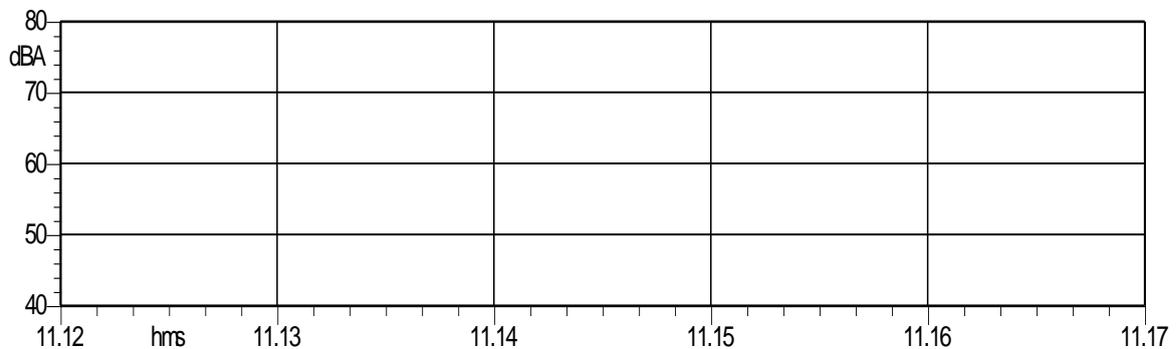
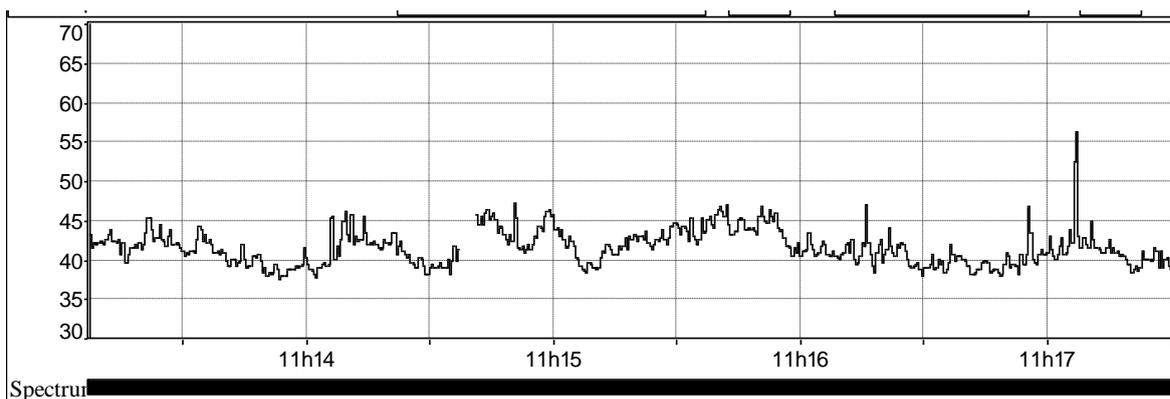
Figura 9. Storia temporale fonometro al lato della finestra che guarda l'aerogeneratore

Figura 10. Storia temporale fonometro al lato opposto all'aerogeneratore



5.4 Misura 4

Quarta abitazione indicata come (H4). Le misure fonometriche sono state eseguite all'interno dell'abitazione situata a Nord della torre n. 1 ad una distanza di circa 400 metri e ad Ovest della torre n. 2 ad una distanza di 300. La direzione del vento era Nord e la velocità di circa 4-6 m/s. L'abitazione è a due piani. La Figura 11 riporta la storia temporale delle misure eseguite posizionando il fonometro vicino alla finestra che guarda l'aerogeneratore in funzione (è in vista la torre n. 1). Il livello equivalente misurato è pari a $LeqA = 46,0$ dBA. La Figura 12 riporta la storia temporale delle misure eseguite posizionando il fonometro vicino alla finestra al lato opposto all'aerogeneratore, in modo da eseguire una misura in luogo acusticamente analogo. Il livello equivalente misurato è pari a $LeqA = 40,0$ dBA, il valore $L95 = 32,5$ dBA.

Figura 11. Storia temporale fonometro al lato della finestra che guarda l'aerogeneratore

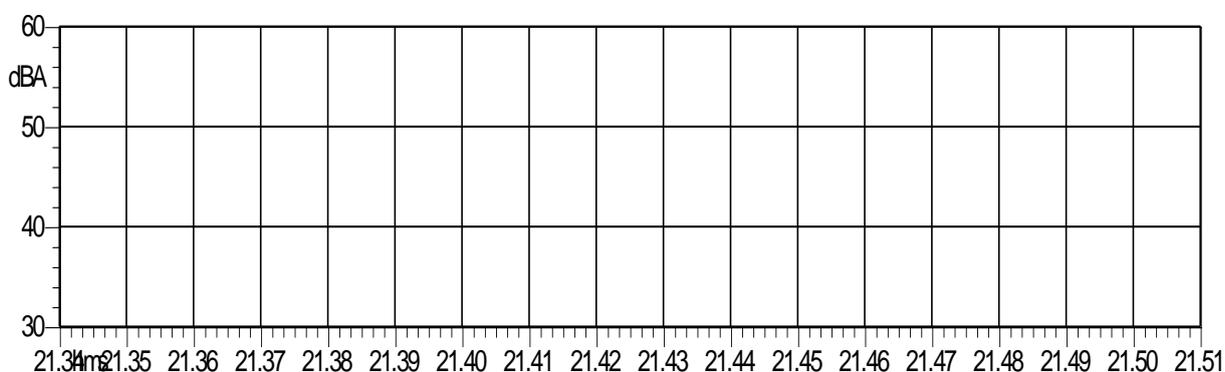
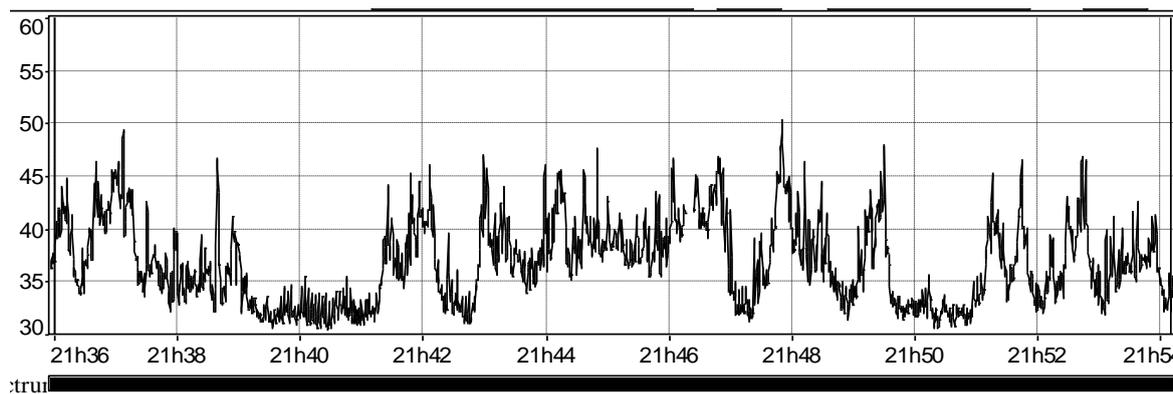


Figura 12. Storia temporale fonometro al lato opposto all'aerogeneratore**Tabella 1.** Sintesi delle misure fonometriche eseguite.

	Leq, dBA Rumore ambientale LA (dBA)	Leq, dBA Rumore residuo LR (dBA)	Livello differenziale LD = LA – LR (dBA)
Prima misura	44,7	33,0	12,7
Seconda misura	38,6	35,0	3,6
Terza misura	51,4	43,5	7,9
Quarta misura	46,0	40,0	6,0

6. Discussione e conclusioni

Non potendo spegnere la sorgente sonora disturbante, l'incremento sonoro dovuto al funzionamento delle torri è stato ottenuto con la tecnica del rumore acusticamente analogo. Sono state eseguite misure fonometriche in ambienti che sono in vista delle torri e, quindi, direttamente esposti per la misura del rumore ambientale. Per la valutazione del rumore residuo, il fonometro è stato, invece, collocato in ambienti delle stesse abitazioni che non "vedono" e, cioè, non sono esposti alla sorgente sonora disturbante. Questa scelta, che garantisce il corretto confronto tra le misure perché le condizioni di vento sono adeguatamente comparabili, permette però di affermare che i valori differenziali ottenuti devono essere considerati minori di quelli effettivi in quanto il Rumore Residuo, in qualche misura, contiene ancora componenti (specificatamente quelle a bassa frequenza che sono poco "direttive") generate dagli impianti in esame. I valori misurati dipendono dalla distanza dell'abitazione rispetto alle torri, dalla velocità e dalla direzione del vento. Quest'ultima ha una rilevante influenza a causa della vicinanza tra emittente e ricettore. Ad esempio, nella seconda misura, che risulta con il differenziale più basso, la posizione del ricettore rispetto al complesso dei 3 aerogeneratori e la direzione del vento hanno schermato gli effetti cumulativi degli impianti più a Est. Una diversa direzione del vento annulla questo effetto. C'è da attendersi che il valore maggiore del differenziale possa interessare, a rotazione, tutti i punti di misura. Per velocità del vento intorno a 10 m/s, il rumore generato dal funzionamento delle torri è da considerarsi tale da recare un elevato disturbo alle persone che vivono intorno al parco eolico. A titolo di paragone la quarta misura, svolta

presso il ricettore H4, si è svolta con una velocità del vento di 4-6 m/s con direzione Nord. Pur con una velocità così ridotta (con bassa resa produttiva) si sono superati i limiti diurni di 5 dBA. Basta proiettare questa condizione all'orario notturno, che inizia alle 22:00, per rendersi conto che il superamento è garantito ancora di più di notte, pur in condizioni di ridotta ventilazione. Da cui risulta che la vera genesi di effetti tanto macroscopici non è il livello della rumorosità prodotta ma la ridotta distanza tra sorgente e ricettore, che impedisce la dispersione in campo libero. Inoltre, qualora si volesse analizzare il disturbo in termini di normale tollerabilità, occorre considerare il rumore di fondo che corrisponde alla misura del livello statistico L95. Il valore di L95 è molto più basso del valore di LAeq, su cui si basa il Rumore Residuo (LR), per cui, con questo criterio la valutazione dei valori della rumorosità fa ottenere valori delle immissioni molto maggiori. In definitiva con il criterio dell'ammissibilità i valori misurati del livello sonoro ambientale e del livello sonoro residuo evidenziano che, nei 4 ricettori, posti tutti in prossimità delle torri, il livello differenziale risulta superiore sia a 5,0 dBA, che è il limite diurno, che a 3,0 dBA, che è il limite notturno. Le caratteristiche delle emissioni sonore, che dipendono dalla velocità e dalla direzione del vento, sono tali che il valore di circa 13,0 dBA, non può essere considerato specifico solo di una delle abitazioni valutate, ma può essere riscontrato anche su altri ricettori. L'analisi dei profili secondo il criterio della normale tollerabilità richiederebbe uno specifico spazio proprio perché si richiede la lettura puntuale dell'andamento sonoro. Tuttavia si evidenzia che si riscontrano valori di immissione secondo questo criterio sistematicamente oltre i 15 dBA, mentre il limite è di soli 3,0 dBA. Si sottolinea che i valori riscontrati delle immissioni sono comprese nell'intervallo 30-45 dBA in cui la letteratura scientifica riconosce la persistenza comune di fastidio ed interruzione del sonno.

References

1. Zajamsek B., Moreau D.J., Doolan C.J., Characterizing noise and annoyance in homes near a wind farm, *Acoustics Australia*, 42 (1), 14-19, 2014
2. Pedersen E., Waye, K.P., Perception and annoyance due to wind turbine noise - a dose – response relationship, *Journal of Acoustical Society of America*, 116 (6), 3460 – 3470, 2004
3. Bowdler D., Leventhall L., *Wind turbine noise* - Multi-science Publishing Co. Ltd., 2011
4. <http://atlanteoelico.rse-web.it/viewer.htm>
5. Gestore dei Servizi Energetici Divisione Gestione e Coordinamento Generale Unità Studi e Statistiche. Dicembre 2015. (<http://www.gse.it/it/Statistiche/RapportiStatistici/Pagine/default.aspx>)
5. Iannace G., Trematerra A., Misure di rumore all'interno di abitazioni prodotto dal funzionamento di turbine eoliche. 41° Convegno Nazionale Associazione Italiana di Acustica - Pisa - Giugno 2014
6. Trematerra A., Iannace G., Noise's measure inside homes generated by the functioning of wind farm in southern Italy. *Wind Turbine Noise 2013*, Denver, Colorado (USA), 2013.
7. Doolan C.J., Moreau D.J., Brooks L.A., Wind turbine noise mechanisms and some concepts for its control , *Acoustics Australia*, 40(1), 7–13, 2012.
8. Trematerra A., Evaluation of noise when a disturbing sound source cannot be off. *Noise & Vibration Worldwide* 47(9-11), 127 – 132, 2016. doi: 10.1177/0957456516683012
9. Cesarano A., Ianniello C., Mazzei P., Sulla valutazione del rumore residuo quando la fonte del rumore disturbante non può essere interrotta, *Rivista Italiana di Acustica*, VII (4), 217-230, 1983.