



MONITORAGGIO ACUSTICO E VIBRAZIONALE: TECNICHE, APPLICAZIONI E NUOVE PROSPETTIVE

Prof Ing. Ernesto Monaco

Ing. Vincenzo Limone

Ing. Nicola Russo

Ing. Andrea Esposito

MONITORAGGIO

"Il rumore non si vede, ma si può misurare e solo misurando possiamo agire"

*Il Rospo raro, il *Pelobates fuscus**



DI COSA PARLIAMO

SPUNTI DA INQUADRAMENTO NORMATIVO

L'USO DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE
NELL'ANALISI DELLE MISURE

POSSIBILI SVILUPPI FUTURI

MODALITÀ DI EFFETTUAZIONE
DEI MONITORAGGI

NUOVE STRUMENTAZIONI E NUOVE
TECNOLOGIE



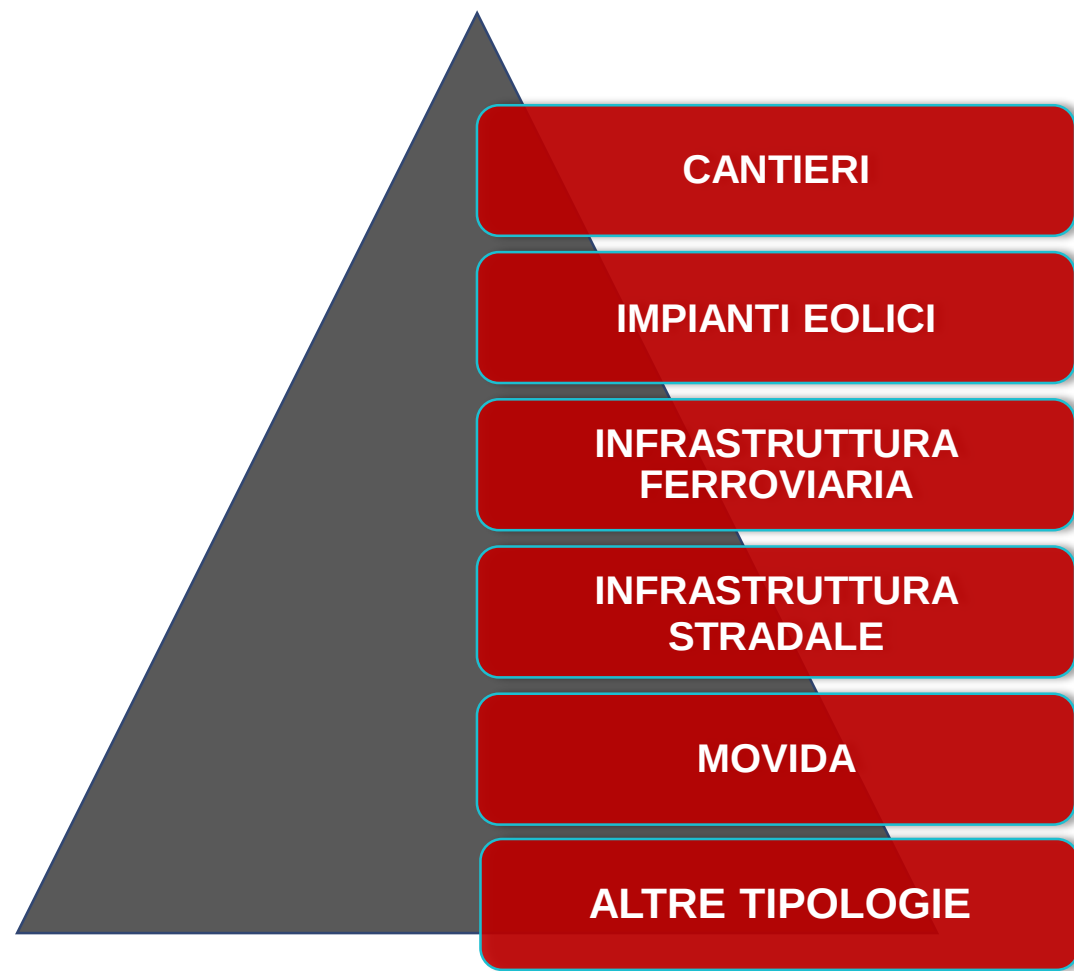
MONITORAGGIO

COSA E' UN MONITORAGGIO

Osservazione e/o misurazione, a scopo di controllo, di una grandezza variabile eseguita mediante appositi strumenti



MONITORAGGIO



MONITORAGGIO ACUSTICO NEI CANTIERI



I Cantieri sono normalmente attività soggette a deroga in quanto attività temporanee

La DEROGA è comunque rilasciata su precise condizioni e limitazioni.

Il rispetto di tali condizioni va verificata nel tempo.

MONITORAGGIO ACUSTICO NEI CANTIERI

LA LINEA GUIDA ISPRA SUL MONITORAGGIO DEI CANTIERI

Fornisce indicazioni per effettuare un corretto monitoraggio acustico del cantiere in particolare per le grandi opere soggette a via.



MONITORAGGIO

Scopo generale un monitoraggio



- Fotografare uno stato dei luoghi e Verificare il rispetto dei limiti
- assicurare la corrispondenza alle prescrizioni
- Dare gli strumenti per individuare misure correttive

Durata di un monitoraggio



- periodi di tempo limitati rappresentativi del fenomeno rumoroso
- Può essere definita dal TCA o per talune sorgenti da specifiche norme di settore
- Influenzata da condizioni al contorno

MONITORAGGIO ACUSTICO NEI CANTIERI

**L'OBIETTIVO DEVE ESSERE
TUTELARE I CITTADINI**

NON SANZIONARE I GESTORI

La finalità del monitoraggio non può essere limitata a quella di fornire una descrizione degli impatti prodotti ma deve dare **GARANZIA** del rispetto dei limiti e delle prescrizioni a cui il cantiere è soggetto

Il piano dovrà contenere una descrizione delle procedure attraverso le quali si attivano i meccanismi di correzione per far rientrare eventuali superamenti.

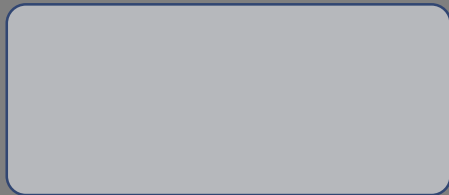
**FONDAMENTALE
IL TEMPO DI RISPOSTA**

MONITORAGGIO ACUSTICO NEI CANTIERI

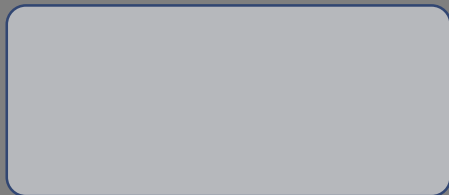
I PUNTI CARDINI DEL PIANO DI UN MONITORAGGIO ACUSTICO



Realizzato in maniera da renderlo **flessibile ed interattivo**. Frequenza e localizzazione dei campionamenti dovranno essere stabiliti sulla base della effettiva evoluzione dei lavori all'interno del cantiere, piuttosto che su periodicità e punti fissi;

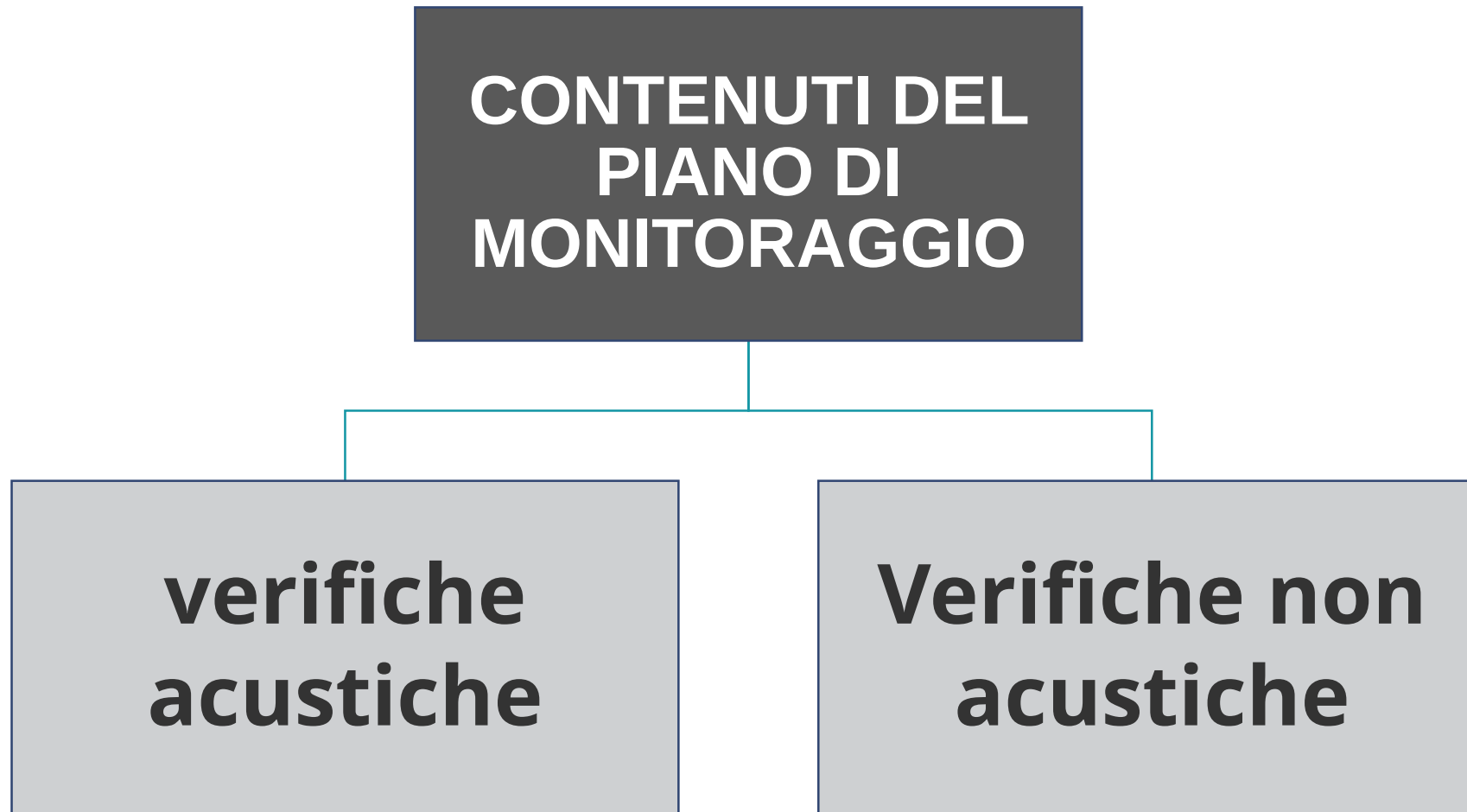


tale da recepire e **gestire correttamente**, dando adeguata risposta, le **segnalazioni**, provenienti da istituzioni, associazioni, cittadini, dei problemi o impatti non previsti;



orientato a **fornire rapide ed efficaci indicazioni** al gestore dell'attività e alle istituzioni competenti, al fine di correggere gli eventuali problemi che si dovessero manifestare.

MONITORAGGIO ACUSTICO NEI CANTIERI



MONITORAGGIO ACUSTICO NEI CANTIERI

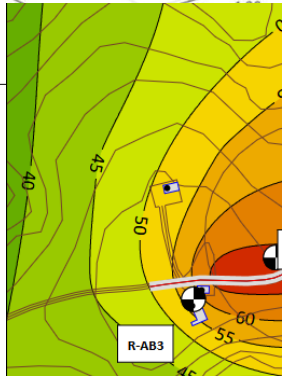
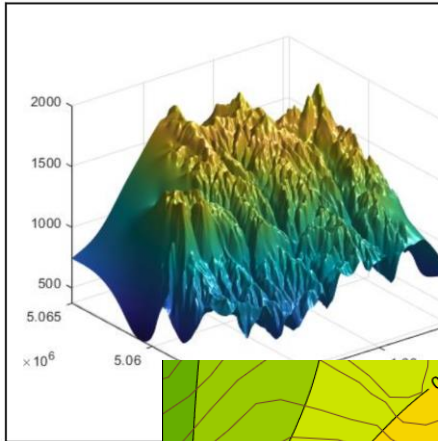
Elemento indispensabile, senza il quale non è possibile progettare un efficace PMA, è ***una articolata valutazione previsionale di impatto acustico delle diverse fasi di lavorazione del cantiere.***

La valutazione previsionale di impatto acustico **orienta** la scelta dei tempi e dei luoghi per l'esecuzione delle misure e quindi deve contenere:

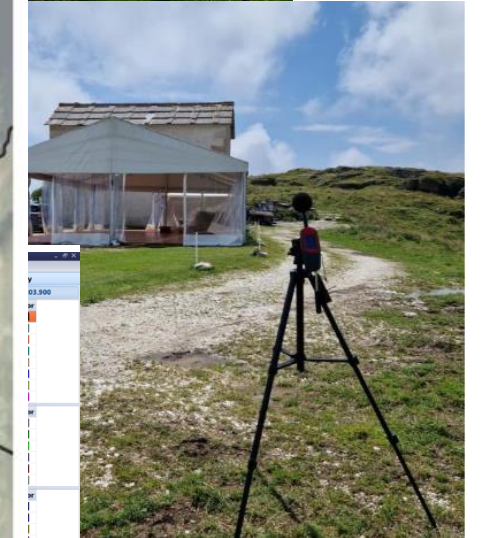
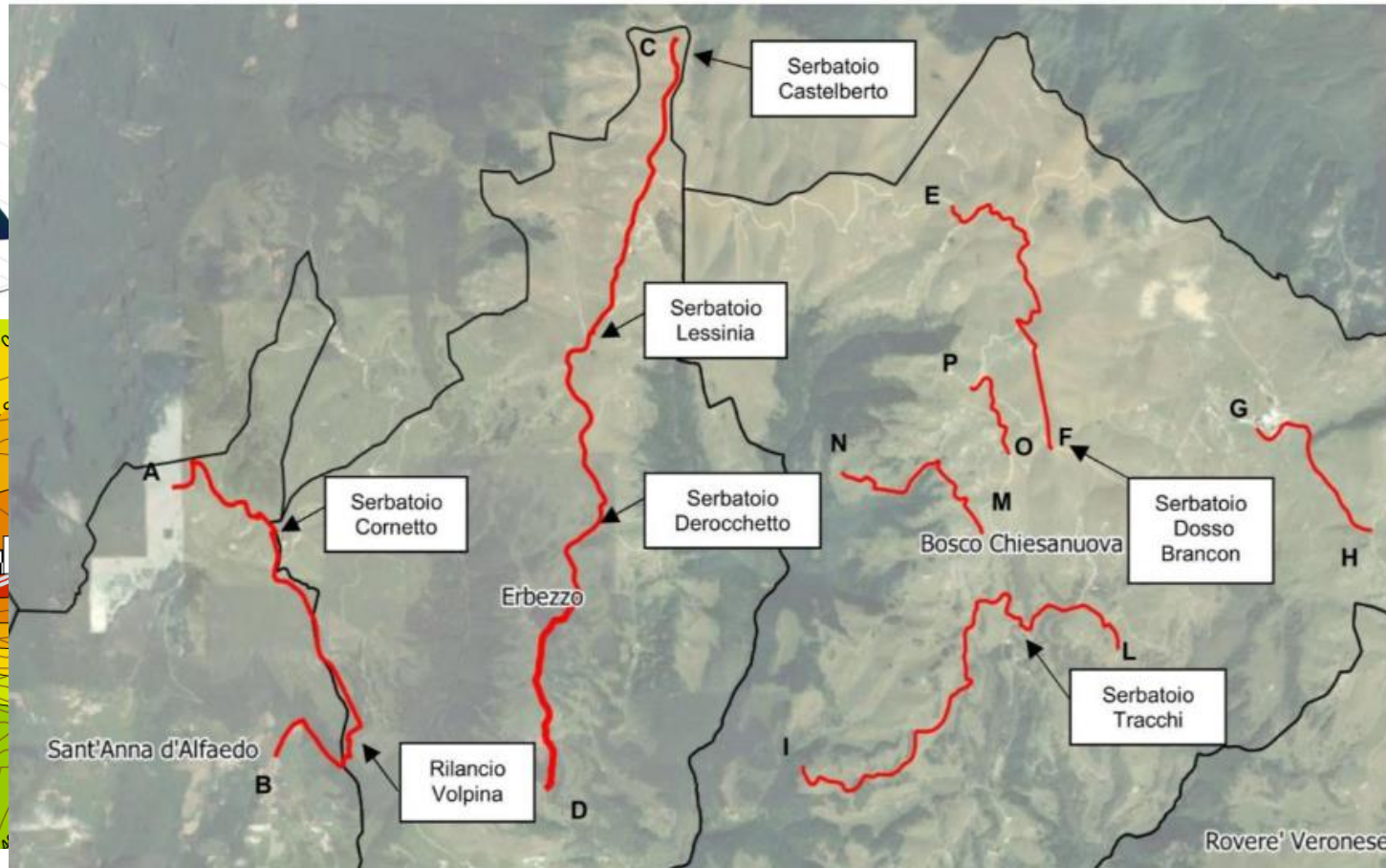
1. Le emissioni acustiche;
2. I diversi scenari di lavorazione;
3. I livelli di pressione sonora attesi ai vari ricettori individuati;
4. Interventi di mitigazione che si intendono adottare.

MONITORAGGIO ACUSTICO NEI CANTIERI

Impatto acustico Cantiere tratto acquedotto



Simulazioni delle
varie fasi lavoro



MONITORAGGIO ACUSTICO NEI CANTIERI

Impatto acustico Cantiere tratto acquedotto

Definizione di un PMA con individuazione di:

- dove effettuare le misurazioni – individuazione ricettori impattati;
- quando effettuare le misurazioni;
- durata delle misurazioni;
- ripetitività delle misurazioni;
- verifica della efficacia delle opere di mitigazioni previste

MONITORAGGIO ACUSTICO NEI CANTIERI

TRA GLI OBIETTIVI DI UN PIANO DI MONITORAGGIO

B) Consentire di valutare l'emissione sonora del solo cantiere, separandola da quella di altre sorgenti presenti nella zona

- generalmente le principali sorgenti interferenti sono infrastrutture di trasporto e i ricettori più impattati spesso si trovano all'interno delle rispettive fasce di pertinenza, cosicché la loro rumorosità **non va aggiunta a quella del cantiere per verificare il rispetto dei limiti di zona** (vedi D.P.C.M. 14/11/97 art 3 comma 2 e 3);
- nel caso sia stata rilasciata una autorizzazione in deroga ai limiti di legge (come previsto dall'art 6, comma 1, lettera f) della Legge n. 447/95), è frequente che i limiti massimi prescritti con la deroga **si riferiscano ai livelli sonori prodotti dal solo cantiere**; (valori di immissione specifica)

MONITORAGGIO ACUSTICO NEI CANTIERI

Tipologia di misurazioni

Presidiate di breve
periodo

Non presidiate di lungo
periodo

Misure Non presidiate di lungo periodo CONSIDERAZIONI

Le misure di lungo periodo non presidiate sarebbero chiaramente esaustive, ma presentano una serie di problemi:

- La difficoltà a **separare i rumori interferenti da quelli del cantiere** in particolare in caso di superamento dei limiti; Il problema soprattutto in caso di superamento di riconoscere che tali superamenti siano a dovuti al cantiere
- La **scarsa flessibilità** nel descrivere i livelli sui ricettori più impattati quando l'area delle lavorazioni sia variabile o si sposti progressivamente nel tempo.

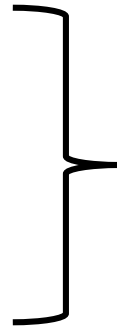
MONITORAGGIO ACUSTICO NEI CANTIERI

Tempi di restituzione dei dati e tempi di intervento

Per garantire le finalità gestionali del piano, ed in particolare per una corretta gestione delle anomalie ed emergenze è importante che il piano stabilisca in maniera rigorosa i tempi di diffusione dei dati.

Segnalazioni di eccessivo
disturbo da rumore

Situazioni di non conformità



Tempi rapidi di intervento – 3 gg

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Decreto 1 giugno 2022

Determinazione dei criteri per la misurazione del rumore emesso dagli impianti eolici e per il contenimento del relativo inquinamento acustico.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Art.1 - Campo di applicazione

1. Il presente decreto determina i criteri per la misurazione del rumore e per l'elaborazione dei dati finalizzati alla verifica, anche in fase previsionale, del rispetto dei valori limite del rumore prodotto da impianti mini e macro eolici come individuati dal regolamento di cui all'art. 11, comma 1, della legge 26 ottobre 1995, n. 447 nonché, nelle more dell'emanazione del regolamento di esecuzione previsto dall'art. 11, comma 1, della legge citata, i criteri di contenimento del relativo inquinamento acustico.

CHIARIMENTO MINISTERIALE n 0107475 del 06-09-2022

Le valutazioni previsionali, vale a dire eseguite in condizioni *ante-operam*, essendo finalizzate a stimare in fase progettuale il rispetto dei limiti di legge per gli impianti oggetto delle valutazioni stesse, dovranno tener comunque conto di quanto previsto dal decreto in questione: a titolo esemplificativo ma non esaustivo, dovranno essere rispettati in fase di simulazione il posizionamento dei punti di rilevazione e le condizioni di funzionamento degli impianti al fine di pervenire a risultati confrontabili con quelli ottenibili dalle misurazioni effettuate in condizioni *post-operam*.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Art. 2. Definizioni

e. Aerogeneratore potenzialmente impattante: aerogeneratore di un impianto eolico soggetto a valutazione; nel caso di un impianto eolico con più aerogeneratori, aerogeneratore a vista con distanza ricettore-aerogeneratore inferiore a 1,5 km oppure, qualora $\min\{3r_1; 20D\} \geq 1,5 \text{ km}$, inferiore a $\min\{3r_1; 20D\}$ dove r_1 è la distanza tra il ricettore e l'aerogeneratore più vicino mentre D è il diametro del rotore;

Esempio:

- Ricettore più vicino a 600 m quindi $3r_1 = 1800 \text{ m}$
- Vestas V136 Mw 4.5 – diametro rotore 136 quindi $20D = 2720 \text{ m}$

m. Livello di immissione specifico dell'impianto eolico L_E : livello di rumore prodotto dall'impianto eolico in ambiente esterno, in campo libero o in facciata ad un ricettore, espresso come livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A nei due periodi di riferimento, diurno (6,00-22,00) e notturno (22,00 - 6,00), acquisito e valutato secondo i criteri di misura ed elaborazione indicati dal presente decreto

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Art.3 Generalità

1. I criteri di misura tengono conto della peculiarità della sorgente indagata che richiede tempi di misura sufficientemente lunghi, viste le sue caratteristiche di variabilità nel tempo al variare delle condizioni meteorologiche. In particolare, i criteri richiedono l'esecuzione simultanea di rilevamenti in continuo dei livelli di rumore e dei parametri meteorologici, per tutto il tempo di misura.



MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Art.4 Criteri e modalità di misura del rumore eolico

1. La procedura per l'esecuzione delle misure e per la determinazione dei livelli di rumore è riportata negli allegati al decreto. Negli allegati sono specificati:

- a) le caratteristiche della strumentazione di misura;
- b) i parametri da acquisire con la strumentazione;
- c) i dati da richiedere al gestore dell'impianto eolico;
- d) le postazioni di misura;
- e) i tempi di misura;
- f) le condizioni di misura;
- g) la valutazione dei dati;
- h) l'elaborazione dei dati per la valutazione dei livelli da confrontare con i limiti.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Art. 5. Criteri di contenimento del rumore eolico

1. **Nelle more dell'em**
ottobre 1995, n. 447,
attraverso la definizione
con la previsione della

a) ai sensi dell'art. 2, c
quali sorgenti fisse c
classificazione in zone
novembre 1997;

2. Le disposizioni di cui al comma precedente non si applicano nei seguenti casi, in quanto ogni effetto del rumore e' da ritenersi trascurabile:

- a) **se il rumore misurato a finestre aperte sia inferiore a 50 dB(A) durante il periodo diurno e 40 dB(A) durante il periodo notturno;**
- b) se il livello del rumore ambientale misurato a finestre chiuse sia inferiore a 35 dB(A) durante il periodo diurno e 25 dB(A) durante il periodo notturno.

b) agli impianti eolici si applica il disposto di cui all'art. 4 del decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 14 novembre 1997, recante valori limite differenziali di immissione. In deroga alla richiamata disposizione, nel caso del rumore eolico le valutazioni vengono eseguite unicamente in facciata agli edifici e, pertanto, non trovano applicazione al verificarsi della sola condizione contenuta nella lettera a) del comma 2 dello stesso;

a 1, della legge 26
impianti eolici attuata
indagine acustica,
criteri generali:

ci sono classificati
ai comuni con la

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI



Allegato 1 «Norme tecniche per l'esecuzione delle misure»

Allegato 2 «Procedura che prevede lo spegnimento degli aerogeneratori potenzialmente impattanti»

Allegato 3 «Procedura che non prevede lo spegnimento degli aerogeneratori potenzialmente impattanti»

Allegato 1

Norme tecniche per l'esecuzione delle misure

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

1. Strumentazione di misura

Per eseguire le misurazioni acustiche i requisiti minimi per la strumentazione sono:

- catena fonometrica e calibratore acustico di classe 1, conformi alle specifiche dettate dal D.M. 16/03/1998; per la strumentazione fonometrica è preferibile riferirsi ai requisiti più restrittivi specificati nella IEC 61672-1:2013;
- cuffia antivento con diametro ≥ 90 mm;
- sistema di registrazione audio con impostazione di soglia per l'individuazione di eventi sonori anomali ed eventuale registrazione audio per l'intero tempo di misura.

Per l'acquisizione dei dati meteorologici, la strumentazione deve consentire la misura dei seguenti parametri:

- pioggia (risoluzione $\leq 0,2$ mm);
- velocità vento (risoluzione $\leq 0,5$ m/s; intervallo di acquisizione: almeno $0 \div 20$ m/s);
- direzione vento (risoluzione $\leq 3^\circ$);
- temperatura (risoluzione $\leq 0,2$ °C).

La centralina meteo deve essere in grado di restituire i valori medi o prevalenti (moda) dei parametri indicati lungo intervalli di tempo sincronizzati con le misure acustiche.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

2. Parametri da acquisire con la strumentazione

Dati acustici

- profilo temporale del L_{Aeq} su base temporale di 1 s;
- $L_{Aeq,10min}$ (L_{Aeq} valutato su intervalli temporali di 10 minuti);
- Spettro acustico del $L_{Aeq,10min}$ in bande di terzi di ottava tra 20 Hz e 20.000 Hz.

Dati meteorologici

Dati da acquisire con apposita centralina meteo posizionata in prossimità del ricettore come di seguito specificato:

- media del modulo della velocità del vento su intervalli temporali di 10 minuti;
- moda della direzione del vento al ricettore su intervalli temporali di 10 minuti;
- Precipitazioni (pioggia, neve, grandine) su intervalli temporali di 10 minuti;
- Temperatura media su intervalli temporali di 10 minuti.

4. Postazioni di misura

Misura del livello ambientale L_A in ambiente esterno:

Misure in Campo Libero:

- posizione microfono: in corrispondenza di un ricettore, ad almeno 5 m di distanza da superfici riflettenti, da alberi o da possibili sorgenti interferenti;
- altezza del microfono: 1,8 m dal suolo ovvero in accordo con la reale o ipotizzata posizione del ricettore;
- altezza sonda meteo: ≥ 3 m dal suolo; la sonda meteo deve essere posizionata il più vicino possibile al microfono, ma sempre ad almeno 5 m da elementi interferenti in grado di produrre turbolenze (come ad esempio: vegetazione ad alto fusto, strutture edilizie) ed in posizione tale che possa ricevere vento da tutte le direzioni.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Misure in Facciata:

- posizione microfono: ad 1 m dalla facciata di un edificio ricettore, di norma in corrispondenza di balconi e/o aperture (ad esempio finestre o porte-finestre), possibilmente ad una distanza di almeno 5 m da altre superfici riflettenti, da alberi o da possibili sorgenti interferenti;
- altezza del microfono: 4 m dal suolo, ovvero in accordo con la reale o ipotizzata posizione del ricettore;
- altezza sonda meteo: $\geq 3\text{m}$ dal suolo; la sonda meteo deve essere posizionata il più vicino possibile al microfono, ma sempre ad almeno 5 m da elementi interferenti in grado di produrre turbolenze (come ad esempio: vegetazione ad alto fusto, strutture edilizie) e in posizione tale che possa ricevere vento da tutte le direzioni.

6. Procedure di misura

Di seguito vengono specificate le metodiche di valutazione ed elaborazione dei dati che si distinguono nei due casi:

- Procedura che prevede lo spegnimento degli aerogeneratori potenzialmente impattanti (Allegato 2).
- Procedura che non prevede lo spegnimento degli aerogeneratori potenzialmente impattanti (Allegato 3).

Allegato 2

Procedura che prevede lo spegnimento degli aerogeneratori

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI



Tempi di misura – Aerogeneratori in funzione

- ✓ 1000 intervalli minimi di misurazione utili (pari a circa 7 gg di rilevamento in continuo)
- ✓ Abbastanza lunghi da coprire le situazioni di ventosità e direzione del vento del sito oggetto di indagine

Tempi di misura – Aerogeneratori spenti – rumore residuo

- ✓ Tempo minimo di acquisizione 24 ore nel corso delle quali la velocità del vento all'aerogeneratore dovrà risultare fra la velocità di cut-in e cut-off

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

si potranno riordinare i dati utili rimasti in una tabella nella quale ogni riga corrisponde ad un dato utile di 10 minuti, caratterizzato dalla data e dall'orario del rilevamento, e nelle colonne sono riportati, per ogni dato utile, i valori dei seguenti parametri:

- $L_{Aeq,10min}$;
- Velocità media del vento a terra, ossia al ricettore (v_r);
- Velocità media del vento al mozzo per ogni aerogeneratore potenzialmente impattante (V);
- Direzione prevalente del vento al mozzo per ogni aerogeneratore potenzialmente impattante (θ°).

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Tab.1. Esempio 1: Livello di rumore ambientale - Ricettore R1 – Periodo diurno

Data	Ore (hh/mm)	L_A dB(A)	v_r (m/s)	V (m/s)	θ°
Lun 12/10/15	16,10	47,0	3,4	8,6	220,20
Lun 12/10/15	16,20	47,6	4,2	9,3	224,70
Lun 12/10/15	16,30	46,5	3,5	8,2	230,30
Lun 12/10/15	16,40	46,2	2,9	8,5	234,80
Mar 13/10/15	10,20	48,4	4,5	10,1	225,20
Mar 13/10/15	14,30	45,7	1,2	7,9	240,60

Tab.2. Esempio 2: Livello di rumore residuo - Ricettore R1 – Periodo diurno

Data	Ore (hh/mm)	L_A dB(A)	v_r (m/s)	V (m/s)	θ°
Lun 28/10/15	17,30	40,6	3,6	7,9	230,20
Lun 28/10/15	17,40	42,4	4,0	8,6	226,50
Lun 28/10/15	17,50	41,8	3,8	8,9	235,20
Lun 28/10/15	18,00	37,9	2,8	9,4	236,90

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Tab.4. Esempio 4: Calcolo del Livello di rumore residuo medio per classi di velocità -
Ricettore R1 – Periodo diurno

Data	$\langle L_R \rangle$ dB(A)	Classe di v_r (m/s)
Lun 28/10/15	37,5	0,0 ÷ 1,0
Lun 28/10/15	38,7	1,0 ÷ 2,0
Lun 28/10/15	38,6	2,0 ÷ 3,0
Lun 28/10/15	41,6	3,0 ÷ 4,0
Lun 28/10/15	42,0	4,0 ÷ 5,0

Mediante una differenza
Energetica tra Livelli di
Immissione e di residuo

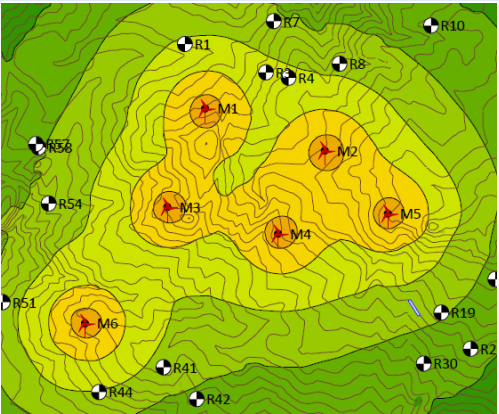
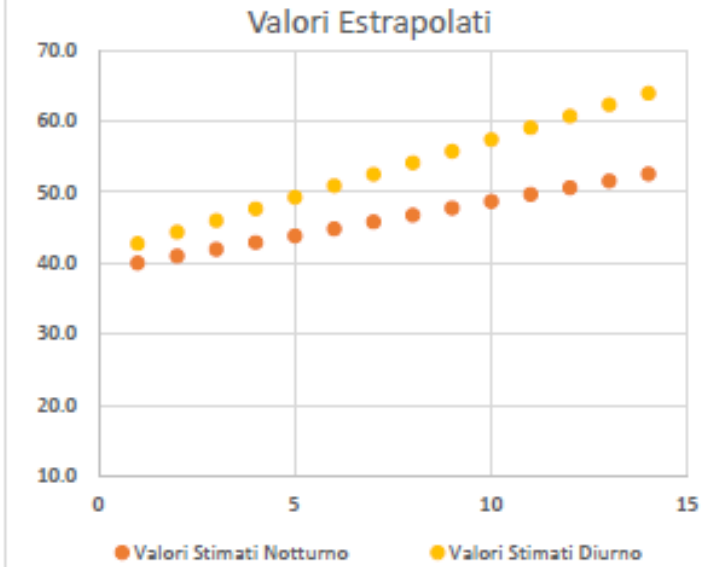
Tab. 5. Esempio 5: Livello prodotto dall'impianto eolico (L_E) - Ricettore R1 – Periodo diurno

Data	Ore (hh/mm)	L_A dB(A)	v_r (m/s)	Classe di v_r	$\langle L_R \rangle$ dB(A)	L_E dB(A)
Lun 12/10/15	16,10	47,0	3,4	3,0 ÷ 4,0	41,6	45,5
Lun 12/10/15	16,20	47,6	4,2	4,0 ÷ 5,0	42,0	46,2
Lun 12/10/15	16,30	46,5	3,5	3,0 ÷ 4,0	41,6	44,8
Lun 12/10/15	16,40	46,2	2,9	2,0 ÷ 3,0	38,6	45,4
Mar 13/10/15	10,20	48,4	4,5	4,0 ÷ 5,0	42,0	47,3
Mar 13/10/15	14,30	45,7	1,2	1,0 ÷ 2,0	38,7	44,7

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI



VALORI ESTRAPOLATI			
Notturmo		Diurno	
Vento	Leq	Vento	Leq
0 - 1	40.1	0 - 1	42.8
1 - 2	41.0	1 - 2	44.4
2 - 3	42.0	2 - 3	46.1
3 - 4	43.0	3 - 4	47.7
4 - 5	43.9	4 - 5	49.3
6 - 7	44.9	6 - 7	51.0
7 - 8	45.9	7 - 8	52.6
8 - 9	46.8	8 - 9	54.2
9 - 10	47.8	9 - 10	55.8
10 - 11	48.8	10 - 11	57.5
11 - 12	49.7	11 - 12	59.1
12 - 13	50.7	12 - 13	60.7
13 - 14	51.6	13 - 14	62.4
14 - 15	52.6	14 - 15	64.0



In una situazione ante operam calcolo i valori di immissione specifica e li sommo ai residui per verificare il rispetto dei limiti

Allegato 3

Procedura che non prevede lo spegnimento degli aerogeneratori potenzialmente impattanti

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Procedura che non prevede lo spegnimento degli aerogeneratori impattanti.

La procedura di elaborazione e analisi qui descritta, permette di estrapolare il livello di rumore residuo L_R e quello di immissione specifico L_E dell'impianto eolico, partendo dai dati di rumore ambientale L_A misurati presso il ricettore individuato, al fine della verifica dei limiti di legge senza la necessità di interrompere il funzionamento dell'impianto.



Tempi di misura – Aerogeneratori in funzione

- ✓ 2000 intervalli minimi di misurazione utili (pari a circa 15 gg di rilevamento in continuo) di cui 400 nelle condizioni più gravose

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

1 - Definizioni

Oltre alle definizioni di cui all'art. 2 del presente Decreto, valgono le seguenti definizioni:

N_i = Velocità di rotazione delle pale dell'i-esimo aerogeneratore impattante mediata sull'intervallo di 10' espressa in numero di giri al minuto (rpm) e riferita agli stessi intervalli temporali su cui è stato calcolato il $L_{Aeq,10min}$.

L'indice i assume tutti i valori interi da 1 a m dove m è il numero di aerogeneratori potenzialmente impattanti dell'impianto sotto indagine.

$N_{eq,i}$ = Velocità di rotazione equivalente (espressa in rpm) da associare all'aerogeneratore impattante i-esimo nell'intervallo di 10' e calcolata mediante l'espressione:

$$N_{eq,i} = N_i \left(\frac{r_1}{r_i} \right)^{2/5} K_i C_i$$

dove:

r_i = distanza in metri (misurata in proiezione orizzontale) tra l'aerogeneratore i-esimo e il ricettore considerato;

r_1 = distanza in metri (misurata in proiezione orizzontale) tra l'aerogeneratore impattante più vicino (indicato con l'indice $i = 1$) e il ricettore considerato;

Rappresenta la velocità di rotazione che, a parità di rumore misurato al ricettore, avrebbe i-esimo aerogeneratore se si trovasse nella stessa posizione dall'aerogeneratore più vicino.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

$K_i = 10^{\alpha(r1 - r_i)}$ = **fattore di propagazione** che tiene conto dell'assorbimento atmosferico e dell'effetto suolo nei diversi percorsi delle onde sonore dai vari aerogeneratori al ricettore;

il parametro α è posto uguale a:

10^{-4} m^{-1} nel caso di siti ad orografia complessa (aree collinari o montane con avvallamenti e con copertura di boschi o foreste)

$6 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ nel caso di siti ad orografia semplice (zone prevalentemente pianeggianti con copertura mista);

$C_i = 1 + \gamma \cos(\theta_i - \theta_i^0)$ = **fattore meteo** che tiene conto dell'influenza della direzione del vento e dell'inversione termica notturna nella propagazione del rumore dai vari aerogeneratori verso il ricettore;

Nella definizione:

γ deve essere posto uguale a 0,2 nel periodo diurno e uguale a 0,1 nel periodo notturno;

θ_i^0 rappresenta l'angolo (da 0 a 360°) tra il nord geografico e la direzione ricettore-aerogeneratore i-esimo;

θ_i è l'angolo tra il nord geografico e la direzione prevalente (moda nell'intervallo di 10 minuti) di provenienza del vento misurata all'hub dell'i-esimo aerogeneratore (ad esempio, per vento proveniente da SE, $\theta_i = 135^\circ$).

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

$N_{eq,TOT}$ = Velocità di rotazione equivalente totale (in rpm) definito dall'espressione:

$$N_{eq,TOT} = \sqrt[5]{\sum_i^m N_{eq,i}^5}$$

dove m è il numero di aerogeneratori acusticamente impattanti.

Il parametro da riferire con verso positivo in senso orario.

$N_{eq,TOT}$ corrisponde alla velocità di rotazione che avrebbe un singolo aerogeneratore virtuale, posto nella posizione dell'aerogeneratore più vicino al ricettore, per produrre gli stessi livelli di immissione sonora specifici dell'insieme di tutti gli aerogeneratori impattanti del parco eolico; rappresenta il parametro a cui devono essere riferiti i valori di L_E al ricettore stimati per l'impianto eolico.

Il valore di $N_{eq,TOT}$ ottenuto con la precedente espressione deve essere arrotondato all'intero più vicino.

3. Validazione dei dati

Devono essere scartati tutti i periodi di misura in cui si sono verificati eventi anomali, ovvero condizioni non conformi ai sensi del punto 7 dell'Allegato B del D.M. 16/03/1998 o comunque ritenute non idonee perché non riconducibili al rumore eolico, al rumore residuo tipico dell'area di indagine o al rumore indotto dal vento sulla vegetazione e gli edifici presenti.

Per quanto concerne la validità dei dati rilevati in concomitanza di eventi anomali, nel caso di analisi dell'andamento temporale con passo 1 secondo, la misura nel periodo minimo di 10 minuti è considerata accettabile se la frazione del tempo per cui si hanno dati validi sia superiore al 50% del tempo complessivo.

In definitiva, il dato utile di 10 minuti è ritenuto completo se contiene tutti i seguenti parametri riferiti a tale intervallo: $L_{Aeq,10min}$; Velocità media del vento a terra; Velocità media di rotazione delle pale per ogni aerogeneratore impattante; Direzione prevalente (moda) del vento al mozzo per ogni aerogeneratore impattante.

Gli andamenti temporali dei parametri costituenti i dati utili devono essere sincronizzati per verificare la corrispondenza tra i periodi di campionamento dei diversi metodi di acquisizione (es.: controllare eventuali sfasamenti temporali tra le acquisizioni della centralina meteo, quelle del microfono al ricettore e i dati del gestore).

4. Organizzazione dei dati iniziali

Per ogni postazione di misura esterna, deve essere creata una tabella iniziale nella quale ogni riga corrisponde ad un dato utile di 10 minuti, caratterizzato dalla data e dall'orario del rilevamento (quindi il numero di righe sarà uguale al numero di dati utili risultanti dopo l'operazione di validazione); nelle colonne sono riportati, per ogni dato utile, i valori dei seguenti parametri:

- Data del rilevamento;
- Intervallo orario di 10 minuti;
- $L_{Aeq,10min}$;
- Velocità media del vento al ricettore (arrotondata all'intero più vicino);
- Velocità media di rotazione delle pale per ogni aerogeneratore impattante (N_i);
- Direzione prevalente del vento al mozzo per ogni aerogeneratore impattante (θ_i).

Pertanto, il numero di colonne della tabella iniziale sarà uguale a $(2m + 4)$ dove m è il numero di aerogeneratori potenzialmente impattanti dell'impianto sotto indagine ($m = 5$ nell'esempio di Figura 1).

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Tabella 1: dati utili

gg/mm/aa	hh:mm	LAeq,10min [dB(A)]	Vr [m/s]	N1 [rpm]	N2 [rpm]	N3 [rpm]	N4 [rpm]	N5 [rpm]	θ1	θ2	θ3	θ4	θ5
ggg gg/mm/aa	12.50	39,4	1	0,00	8,90	8,90	8,80	8,70	289,20	287,10	281,60	278,40	274,10
ggg gg/mm/aa	13.00	39,7	1	0,00	8,90	8,90	8,80	6,90	271,10	273,10	278,00	274,90	275,00
ggg gg/mm/aa	13.10	38,4	1	0,00	6,30	8,80	8,30	9,00	256,70	258,10	252,20	252,00	254,60
ggg gg/mm/aa	13.20	39,4	1	0,00	8,90	8,80	8,90	8,90	280,50	258,60	235,70	241,50	248,30
ggg gg/mm/aa	13.30	40,0	1	0,00	8,90	8,80	8,80	8,90	237,10	249,40	246,00	255,80	247,80
ggg gg/mm/aa	13.40	39,5	1	0,00	8,90	8,90	8,80	8,90	228,50	233,20	236,50	241,90	249,00
ggg gg/mm/aa	14.30	38,8	1	0,00	8,90	8,90	8,90	8,90	222,90	225,40	231,00	230,20	238,70
ggg gg/mm/aa	14.40	39,6	2	0,00	9,00	9,00	9,10	9,10	211,80	218,10	222,50	226,90	228,50
ggg gg/mm/aa	14.50	40,2	2	0,00	9,10	9,00	9,00	9,10	205,20	213,00	219,90	224,40	223,30
ggg gg/mm/aa	15.00	40,5	1	0,00	9,10	9,40	9,20	9,10	209,20	217,70	227,50	228,40	224,00
ggg gg/mm/aa	15.10	40,8	2	0,00	9,30	9,20	9,70	9,40	210,50	220,50	222,20	226,50	235,80
ggg gg/mm/aa	15.50	40,2	1	0,00	9,70	9,70	9,60	9,70	216,90	218,40	222,80	222,40	230,10
aaa aa/mm/aa	16.10	40,6	2	0,00	10,40	10,40	10,50	10,90	214,50	218,60	223,80	228,30	235,00

Fig. 1. Esempio di tabella per l'organizzazione dei dati utili prima di avviare la procedura (ci sono 5 aerogeneratori potenzialmente impattanti)

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Dalla Tabella iniziale devono essere estratte due tabelle separate dividendo i risultati relativi ai periodi diurni (06:00 ÷ 22:00) da quelli relativi ai periodi notturni (22:00 ÷ 06:00).

L'intera procedura descritta dovrà essere eseguita indipendentemente per il diurno e per il notturno.

Da qui in avanti si illustra la procedura applicata ai dati relativi ad uno dei due periodi di riferimento.

Per l'avvio delle elaborazioni previste dalla procedura è necessario calcolare, corrispondentemente ad ogni riga della tabella in Figura 1, i valori di $N_{eq,i}$ e di $N_{eq,TOT}$. Si otterrà così un'altra tabella del tipo in Figura 2.

I valori di $N_{eq,TOT}$, come quelli di velocità del vento v_r , devono essere arrotondati all'unità.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Tabella 2: dati utili elaborati

gg/mm/aa	hh:mm	LAeq,10min [dB(A)]	Vr [m/s]	Neq1 [rpm]	Neq2 [rpm]	Neq3 [rpm]	Neq4 [rpm]	Neq1 [rpm]	NeqTOT (arrotond.) [rpm]
ggg gg/mm/aa	12.50	39,4	1	0,000	9,541	8,871	7,638	7,524	11
ggg gg/mm/aa	13.00	39,7	1	0,000	9,857	8,959	7,714	5,951	11
ggg gg/mm/aa	13.10	38,4	1	0,000	7,157	9,365	7,668	8,201	11
ggg gg/mm/aa	13.20	39,4	1	0,000	10,104	9,552	8,359	8,222	12
ggg gg/mm/aa	13.30	40,0	1	0,000	10,212	9,450	8,072	8,230	12
ggg gg/mm/aa	13.40	39,5	1	0,000	10,299	9,654	8,261	8,210	12
ggg gg/mm/aa	14.30	38,8	1	0,000	10,292	9,691	8,459	8,368	12
ggg gg/mm/aa	14.40	39,6	2	0,000	10,372	9,829	8,668	8,677	13
ggg gg/mm/aa	14.50	40,2	2	0,000	10,445	9,830	8,585	8,722	13
ggg gg/mm/aa	15.00	40,5	1	0,000	10,484	10,253	8,755	8,717	13
ggg gg/mm/aa	15.10	40,8	2	0,000	10,733	10,047	9,242	8,878	13
ggg gg/mm/aa	15.50	40,2	1	0,000	11,181	10,593	9,165	9,232	13
ggg gg/mm/aa	16.10	40,6	2	0,000	11,090	11,255	9,002	10,202	15

Fig. 2.– Esempio di tabella di avvio della procedura
(Periodo diurno; 5 aerogeneratori potenzialmente impattanti).

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

5. Verifica delle condizioni di attivazione della procedura

Per i siti in cui la rumorosità residua non generata dal vento risulta particolarmente significativa e persistente (ad esempio: rumore da traffico; rumore da attività produttive o da attività antropiche continuative; rumori naturali persistenti e intensi come corsi d'acqua vicini, o allevamenti di animali, ecc.), la procedura qui descritta potrebbe non essere applicabile. Per verificare tale aspetto e per individuare la velocità di rotazione equivalente totale dell'impianto oltre la quale la rumorosità prodotta dal parco eolico presso il ricettore possa essere ritenuta non trascurabile, si esegue la seguente analisi preliminare sui dati contenuti nella tabella di avvio.



Grado	Nome	Velocità media in metri al secondo
0	Calma	1,0
1	Bava di vento	3,6
2	Brezza leggera	5,7
3	Brezza tesa	8,2
4	Vento moderato	10,3
5	Vento teso	12,9
6	Vento fresco	14,9
7	Vento forte	18,0
8	Burrasca moderata	21,6
9	Burrasca forte	25,2
10	Burrasca fortissima	29,3
11	Fortunale	33,9
12	Uragano	40,6

L. D. M.

Scala di BEAUFORT

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

- a) Selezionare tutte le righe con $v_r = k < 2$ m/s (da ora in avanti si pone sempre $v_r = k$ con k che può assumere un valore intero compreso tra 0 e 5).
- b) Considerando le righe selezionate calcolare, per ogni $N_{eq,TOT} = x \geq 4$ (con x che può assumere un valore intero da 0 a N_{Max} = valore massimo di $N_{eq,TOT}$):

$$L_x = 10 \log \frac{1}{n_{x,k < 2}} \sum_{j=1}^{n_{x,k < 2}} 10^{0,1 L_{Aeq,10min,j}}$$

che corrisponde alla media energetica dei $L_{Aeq,10min}$ corrispondenti alle $n_{x,k} < 2$ righe con $k < 2$ m/s e con $N_{eq,TOT} = x$, dove x varia da 4 a N_{Max} .

- c) Considerando le m righe con $k < 2$ m/s e $N_{eq,TOT} = x < 4$ calcolare il parametro:

$$L_{R0} = 10 \log \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m 10^{0,1 L_{Aeq,10min,i}}$$

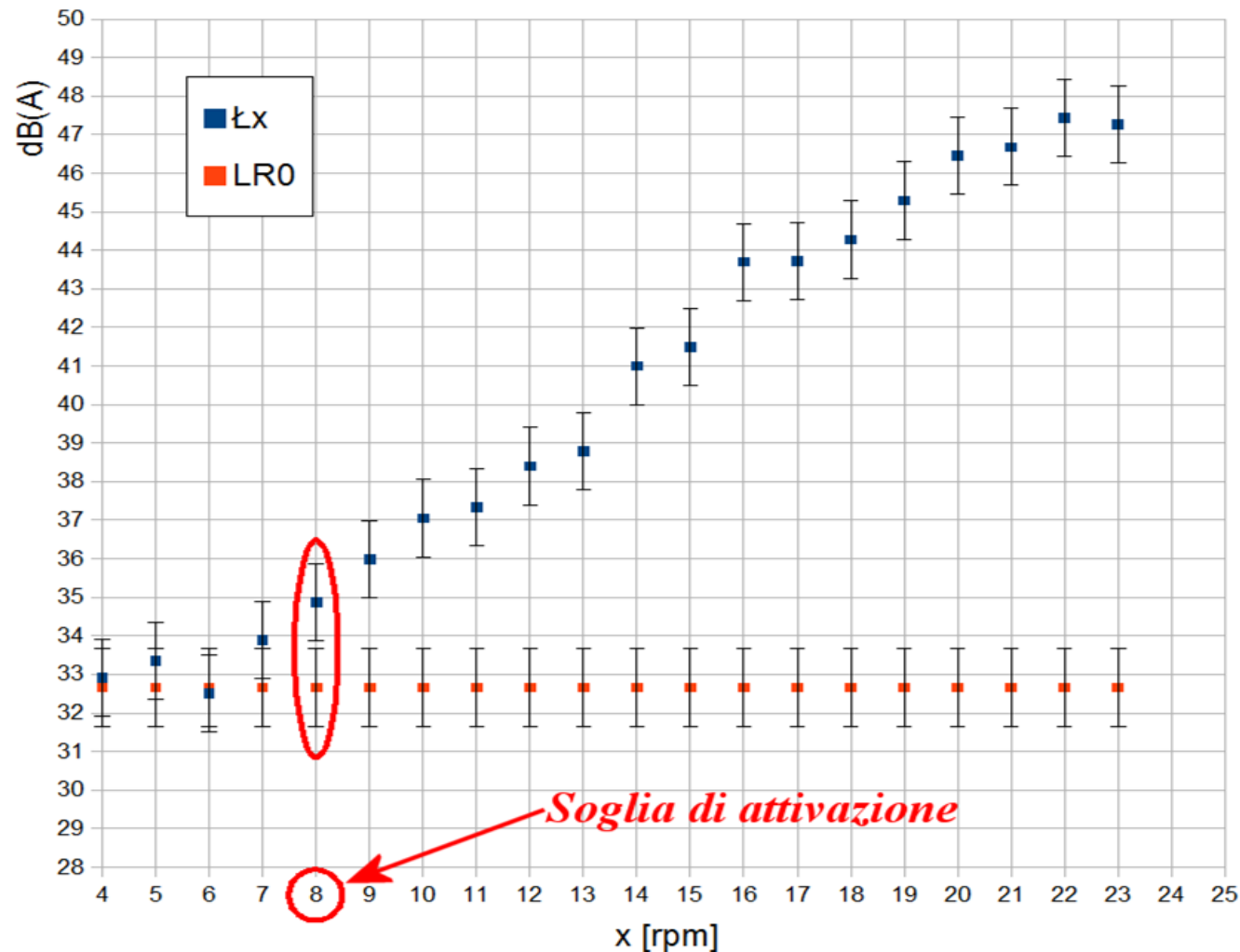
che corrisponde alla media energetica dei $L_{Aeq,10min}$ per tutti gli m periodi con basso v_r (cioè $k < 2$ m/s) e impianto quasi fermo ($N_{eq,TOT} = x < 4$). Il valore di L_{R0} può essere inteso come una prima approssimazione del livello di rumore residuo dell'area in condizioni di calma di vento.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

- d) Confrontare, per ogni $x \geq 4$, i valori di L_x e L_{R0} arrotondati alla prima cifra decimale.
- e) Si assume che il contributo di immissione specifica degli aerogeneratori al ricettore comincia ad essere significativo rispetto al rumore residuo quando $Neq, TOT \geq \bar{x}$, dove $\bar{x}$ = *soglia di attivazione* e corrisponde al primo valore di x per cui $L_x - L_{R0} > 2$ dB(A) per almeno due valori di x consecutivi.

In Figura 3 è riportato un esempio grafico del procedimento di ricerca della soglia di attivazione $\bar{x}$ e la corrispondente tabella di verifica.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI



NeqTOT	L_x	$LR0$	Verifica
4	32,9	32,7	NO
5	33,3	32,7	NO
6	32,5	32,7	NO
7	33,9	32,7	NO
8	34,9	32,7	Attivazione
9	36,0	32,7	Attivazione
10	37,1	32,7	Attivazione
11	37,3	32,7	Attivazione
12	38,4	32,7	Attivazione
13	38,8	32,7	Attivazione
14	41,0	32,7	Attivazione
15	41,5	32,7	Attivazione
16	43,7	32,7	Attivazione
17	43,7	32,7	Attivazione
18	44,3	32,7	Attivazione
19	45,3	32,7	Attivazione
20	46,5	32,7	Attivazione
21	46,7	32,7	Attivazione
22	47,4	32,7	Attivazione
23	47,3	32,7	Attivazione

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

6. Avvio della procedura iterativa (1): Creazione delle tabelle di calcolo

Dopo aver determinato il valore $\bar{x}$ della soglia di attivazione è necessario creare, sia per il periodo notturno che per quello diurno, la coppia di tabelle di dati da utilizzare per i calcoli iterativi.

Le caselle di tutte le tabelle sono individuate dall'indice x per le righe e dall'indice k per le colonne. I valori di $x = N_{eq,TOT}$ variano da $\bar{x}$ a N_{Max} , mentre quelli di k variano da 0 a 5 m/s; in più è necessario inserire una prima riga che tiene conto dei dati con $x < \bar{x}$ per ogni k che varia da 0 a 5.

Pertanto le tabelle di calcolo saranno composte da $6(N_{Max} - \bar{x} + 2)$ caselle da riempire (in realtà è molto difficile che vengano riempite tutte).

La prima tabella da generare è la **Tabella delle medie energetiche** in cui la prima riga contiene le medie energetiche degli $n_{0,k}$ valori di $L_{Aeq,10min}$ relativi ai dati con $x < \bar{x}$ e $v_r = k$ (prima stima di residuo) con la condizione che i gruppi con $n_{0,k} < 3$ devono essere eliminati e quindi non partecipano alla procedura (poco significativi statisticamente). Le caselle delle righe successive della matrice sono occupate dalle medie energetiche degli $n_{x,k}$ valori di $L_{Aeq,10min}$ corrispondenti a $N_{eq,TOT} = x$ e velocità del vento al ricettore $v_r = k$.

Anche in questo caso vale la condizione $n_{x,k} > 2$.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

In sintesi, si procede secondo le seguenti fasi:

- a) Selezionare i 6 gruppi di dati della prima stima di residuo, ognuno composto da $n_{0,k}$ dati utili con $x < \bar{x}$ e $v_r = k$ (con k che varia da 0 a 5 m/s);
- b) calcolare, per ogni gruppo k , le seguenti medie energetiche $L_{0,k}$:

$$L_{0,k} = 10 \log \frac{1}{n_{0,k}} \sum_{j=1}^{n_{0,k}} 10^{0,1L_{Aeq,10min,j}}$$

considerando soltanto i gruppi con $n_{0,k} > 2$ e approssimando $L_{0,k}$ al primo decimale;

- c) selezionare, per ogni $x \geq \bar{x}$, i gruppi di dati utili identificati dagli indici x e k ognuno dei quali contiene $n_{x,k}$ dati utili;
- d) calcolare, per ogni gruppo, le medie energetiche $L_{x,k}$:

$$L_{x,k} = 10 \log \frac{1}{n_{x,k}} \sum_{j=1}^{n_{x,k}} 10^{0,1L_{Aeq,10min,j}}$$

considerando, anche in questo caso, soltanto i gruppi con $n_{x,k} > 2$ e approssimando $L_{x,k}$ al primo decimale;

- e) disporre i risultati in una tabella in cui le righe sono individuate dai valori di $x \geq \bar{x}$ e le colonne dai valori di k . La prima riga corrisponde alle medie dei gruppi di dati con $x < \bar{x}$.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Medie energetiche		Vvento suolo					
		0	1	2	3	4	5
Neq,TOT	< Attiv.	32,4	33,2			58,2	
	8	34,8	35,1				
	9	36,2	34,8				
	10	36,8	37,7				
	11	37,3	37,3	42,5			
	12	38,4	38,5	39,2			
	13	38,9	40,2	38,9			
	14	40,8	41,2	41,4			
	15	40,5	42,5	42,8			
	16	42,4	43,4	43,6	54,2	58,5	61,5
	17	43,4	43,8	44,3	52,8	60,1	60,4
	18	44,2	44,3	45,3	51,7	58,3	60,3
	19	44,8	45,4	49,5	52,5	57,3	60,3
	20		46,5	49,1	52,4	55,8	58,9
	21		46,7	47,2	50,4		
	22	47,4	47,5	48,7	51,3		
	23		47,3	48,9	49,9		
24							
25							
26							

Tabella 3: medie energetiche

Fig. 4. Esempio di Tabella delle medie energetiche. I valori numerici indicati (in dB(A)) corrispondono alle medie energetiche $L_{x,k}$ dei $n_{x,k}$ valori di $L_{Aeq,10min}$ del gruppo di dati utili con $N_{eq,TOT} = x$ e $v_r = k$.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

La seconda tabella iniziale della procedura è la **Tabella delle occorrenze** e si imposta allo stesso modo di quella delle medie energetiche. Il valore numerico da inserire nelle caselle corrisponde al numero $n_{x,k}$ di dati utili che concorrono al calcolo delle medie energetiche. Anche in questo caso la prima riga deve contenere i valori di $n_{0,k}$ corrispondenti ai dati con $N_{eq,TOT} < v_r = k$. Vale sempre la condizione $n > 2$.

In Figura 5 è riportato un esempio di Tabella delle occorrenze realizzata come sopra indicato.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Tabella 4: Tabella delle occorrenze

		Occorrenze					
		$V_r = k$					
$N_{eq,TOT} = X$	< Attiv.	0	1	2	3	4	5
	8	1121	115			6	
	9	136	24				
	10	100	24				
	11	79	22				
	12	77	40	3			
	13	94	63	7			
	14	81	49	6			
	15	43	46	6			
	16	17	36	24			
	17	11	39	23	5	7	5
	18	7	40	23	9	6	25
	19	7	26	23	10	4	19
	20	5	38	64	28	14	5
	21		20	26	13	9	8
	22		17	21	4		
	23	3	8	12	7		
	24		8	28	3		
	25						
	26						
	27						
	28						

Fig. 5. Esempio di Tabella delle occorrenze. I valori numerici indicati corrispondono al numero $n_{x,k}$ di dati utili compresi nel gruppo con $N_{eq,TOT} = x$ e $v_r = k$.

7. Avvio della procedura iterativa (2): Tabella dei livelli di immissione specifica

Si parte dall'ipotesi che, in prima approssimazione, il rumore residuo al ricettore per le varie velocità k può essere posto uguale ai valori riportati nella prima riga della tabella delle medie energetiche (almeno per i valori di k per cui esiste una media energetica).

La prima stima del livello immesso dall'impianto eolico al ricettore si ottiene, quindi, sottraendo energeticamente i valori $L_{0,k}$ riportati nella prima riga (ipotizzati come residuo) dai valori $L_{x,k}$ (che corrispondono ai livelli di rumore ambientale misurato) riportati nelle caselle delle altre righe della tabella, per ogni k e per ogni x .

I risultati ottenuti si inseriscono in una nuova tabella, chiamata **Tabella Immissione Specifica**, che ha la stessa struttura delle tabelle precedenti.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

In sintesi, si procede come segue:

- a) Calcolare le differenze energetiche $L_{E,x,k}$ tra i valori $L_{x,k}$ riportati nelle caselle con $x \geq \bar{x}$ della Tabella delle medie energetiche e i valori $L_{0,k}$ con uguale k riportati nella prima riga:

$$L_{E,x,k} = 10 \log(10^{0,1L_{x,k}} - 10^{0,1L_{0,k}})$$

e arrotondare il risultato alla prima cifra decimale.

- b) Nei casi in cui $(L_{x,k} - L_{0,k}) < 1$ dB(A) la differenza non deve essere calcolata.
- c) Riportare i risultati ottenuti, per ogni x e per ogni k , nella Tabella Immissione Specifica come mostrato in Figura 6 lasciando vuote le caselle x,k per cui $(L_{x,k} - L_{0,k}) \leq 1$ dB(A) e non considerando la prima riga corrispondente ai valori di $x < \bar{x}$.
- d) Calcolare i valori di $L_{E,x}$ per ogni $x \geq \bar{x}$ utilizzando la seguente espressione e i dati riportati nella Tabella delle occorrenze e nella Tabella Immissione Specifica:

$$L_{E,x} = 10 \log \left(\frac{1}{n_x} \sum_{k=0}^{\bar{k}} n_{x,k} 10^{0,1L_{E,x,k}} \right)$$

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

dove $n_x = \sum_{k=0}^{\bar{k}} n_{x,k}$ e $\bar{k}$ ricorda che devono essere considerati soltanto i valori dell'indice k per cui esiste un valore $L_{E,x,k}$.

- e) Arrotondare i risultati di $L_{E,x}$ alla prima cifra decimale.

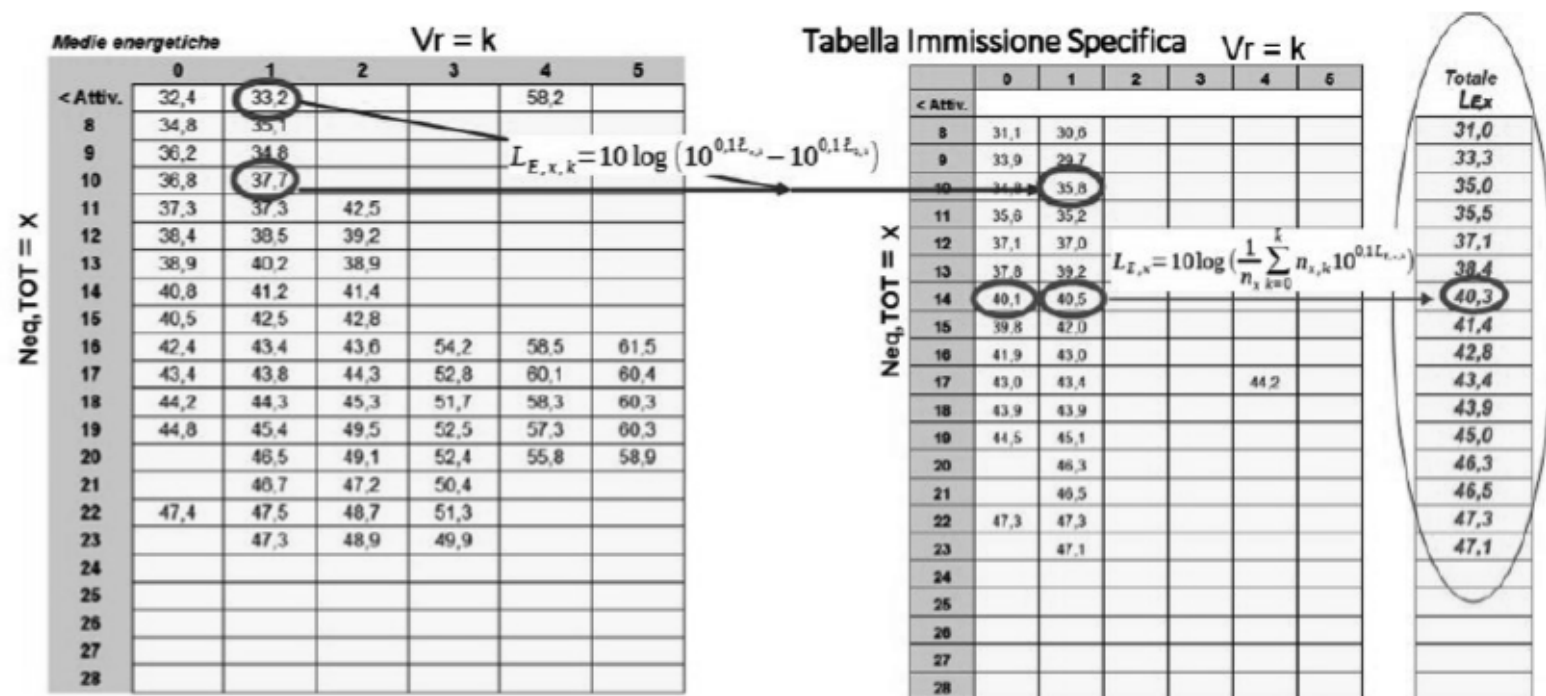


Fig. 6. Esempio di Tabella Immissione Specifica ottenuta con il primo passo della procedura; a destra è riportata la colonna con l'esempio di prima stima dei livelli di L_E al variare dei valori di Neq, TOT .

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Tabella 5: Prima stima della Immissione Specifica al variare di $N_{eq\ Tot}$

Tabella Emissione				Vvento			Totale Emissione
	0	1	2	3	4	5	
Neq,TOT	< Attiv.						
	8	31,1	30,6				31,0
	9	33,9	29,7				33,3
	10	34,8	35,8				35,0
	11	35,6	35,2				35,5
	12	37,1	37,0				37,1
	13	37,8	39,2				38,4
	14	40,1	40,5				40,3
	15	39,8	42,0				41,4
	16	41,9	43,0				42,8
	17	43,0	43,4			44,2	43,4
	18	43,9	43,9				43,9
	19	44,5	45,1				45,0
	20		46,3				46,3
	21		46,5				46,5
	22	47,3	47,3				47,3
	23		47,1				47,1
	24						
	25						
	26						
27							
28							

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

8. Avvio della procedura iterativa (2): Tabella dei livelli di rumore residuo

La Tabella Residuo iniziale si costruisce utilizzando i valori di $L_{E,x}$ precedentemente ottenuti seguendo una procedura simmetrica rispetto a quella sopra descritta con in più la condizione descritta al successivo punto c).

- a) Calcolare le differenze energetiche $L_{R,x,k}$ tra i valori $L_{x,k}$ riportati nelle caselle della Tabella delle medie energetiche e i valori di $L_{E,x}$ sopra calcolati per ogni k e per ogni $x \geq \bar{x}$:

$$L_{R,x,k} = 10 \log(10^{0,1L_{x,k}} - 10^{0,1L_{E,k}})$$

e arrotondare il risultato alla prima cifra decimale.

- b) Nei casi in cui $(L_{x,k} - L_{E,k}) < 1$ dB(A) la differenza non deve essere calcolata.
- c) In questa fase, se il risultato $L_{R,x,k}$ differisce da $L_{0,k}$ (la prima stima di livello di rumore residuo per lo stesso k) per più di 7 dB(A) sia in positivo che in negativo, al posto del risultato $L_{R,x,k}$ deve essere considerato il valore di $L_{0,k}$; in altre parole, se vale la condizione $|L_{R,x,k} - L_{0,k}| > 7$ dB(A) invece di considerare il risultato $L_{R,x,k}$ della differenza energetica deve essere considerata la prima stima di residuo $L_{0,k}$. Se il valore di $L_{0,k}$ per il k corrispondente non esiste, allora la condizione appena descritta deve essere ignorata e si utilizza il valore $L_{R,x,k}$ calcolato con l'espressione di cui al punto a.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

- d) Riportare i risultati ottenuti, per ogni x e per ogni k , nella Tabella Residuo come mostrato in Figura 7 lasciando vuote le caselle (x, k) per cui $(L_{x,k} - L_{0,k}) \leq 1$ dB(A) e riportando la prima riga corrispondente ai valori di $x < \bar{x}$ (che rimane identica alla prima riga della Tabella delle Medie energetiche).
- e) Calcolare i livelli di residuo $L_{R,k}$ per ogni k utilizzando la seguente espressione e i dati riportati nella Tabella delle occorrenze e nella Tabella Immissione Specifica:

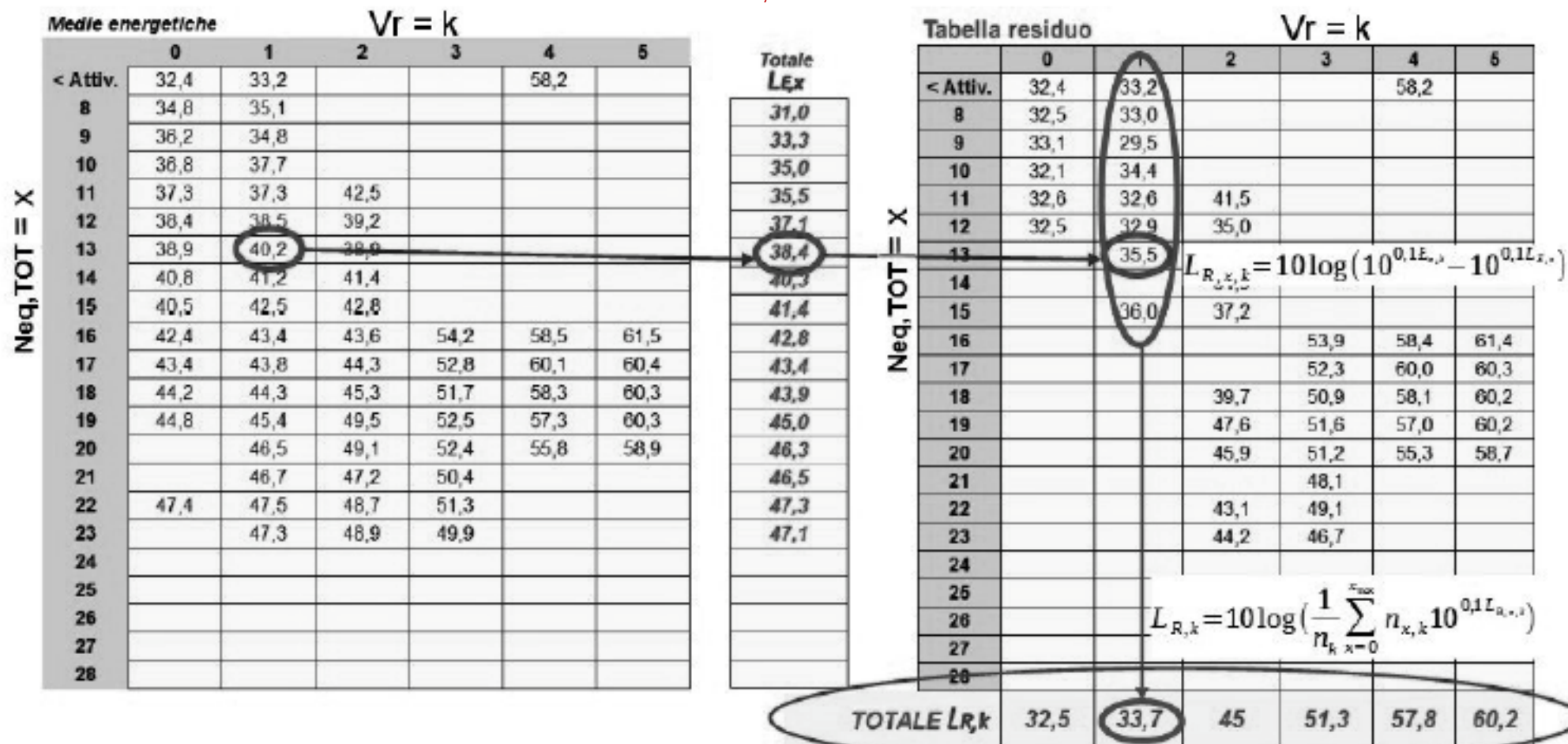
$$L_{R,k} = 10 \log \left(\frac{1}{n_k} \sum_{x=0}^{x_{max}} n_{x,k} 10^{0,1 L_{R,x,k}} \right)$$

dove $n_k = \sum_{x=0}^{x_{max}} n_{x,k}$. Si assume che con $x = 0$ si identificano le caselle della prima riga corrispondenti a $x < \bar{x}$ e che devono essere considerati soltanto i valori dell'indice x per cui esiste un valore $L_{R,x,k}$.

- f) Arrotondare i risultati di $L_{R,k}$ alla prima cifra decimale.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Tabella 6: rumore residuo ottenuto con i primi step della procedura.
In basso la prima stima dei livelli $L_{R,k}$ di residuo al variare dei valori di $v_r = k$



MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Tabella 6: rumore residuo

È molto probabile che le tabelle di immissione specifica e residuo ottenute nel primo passo della procedura presentino molte caselle vuote che potranno essere riempite con i passi successivi della procedura.

Tabella residuo		Vento				
	0	1	2	3	4	5
Neq.TOT	< Attiv.	32,4	33,2			58,2
	8	32,5	33,0			
	9	33,1	29,5			
	10	32,1	34,4			
	11	32,6	32,6	41,5		
	12	32,5	32,9	35,0		
	13		35,5			
	14			34,9		
	15		36,0	37,2		
	16				53,9	58,4
	17				52,3	60,0
	18			39,7	50,9	58,1
	19			47,6	51,6	57,0
	20			45,9	51,2	55,3
	21				48,1	
	22			43,1	49,1	
	23			44,2	46,7	
	24					
	25					
	26					
	27					
	28					
TOTALE RESIDUO		32,5	33,7	45	51,3	57,8
					60,2	

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

9. Procedura iterativa

Una volta create le Tabelle con la prima stima dei livelli di immissione specifica e residuo, la procedura deve essere ripetuta per affinare le stime al variare di x e di k .

Il passo successivo consiste, quindi, nell'applicare ripetutamente alla Tabella delle medie energetiche le fasi dalla a) alla e) del punto 7 e le fasi dalla a) alla f) del punto 8 tenendo presente, però, che ora i valori di $L_{0,k}$ nelle sottrazioni energetiche devono essere sostituiti dai corrispondenti valori di $L_{R,k}$ calcolati con il procedimento descritto al punto 8 e che, per le successive iterazioni, devono essere utilizzati i valori totali di $L_{E,x}$ e $L_{R,k}$ calcolati nell'iterazione precedente. In pratica, una volta ottenuta la stima dei livelli di rumore residuo per ogni valore di vento a terra, tali dati dovranno essere utilizzati per ripetere le fasi di calcolo della tabella di immissione specifica e viceversa.

Inoltre, deve essere introdotta in tutte le iterazioni la condizione di cui al punto 8.c) precedente. In particolare, nel calcolo delle tabelle di immissione specifica, se il risultato $L_{E,x,k}$ differisce per più di 7 dB(A), sia in positivo che in negativo, dal valore di $L_{E,x}$ calcolato con la precedente iterazione con lo stesso x , al posto del risultato $L_{E,x,k}$ deve essere considerato il valore di $L_{E,x}$; cioè, se $|L_{R,x,k} - L_{0,k}| > 7 \text{ dB(A)}$, invece di considerare il risultato $L_{E,x,k}$ della differenza energetica deve essere considerata la precedente stima di immissione specifica $L_{E,x}$. Se il valore di $L_{E,x}$ per

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

la x corrispondente non esiste, allora la condizione appena descritta deve essere ignorata e si utilizza il valore $L_{E,x,k}$ calcolato con l'espressione della differenza energetica. La stessa condizione, modificando gli indici, vale per il calcolo delle tabelle di residuo.

La procedura iterativa si può considerare conclusa quando i dati di $L_{E,x}$ e $L_{R,k}$ si stabilizzano, cioè quando i risultati ottenuti con una iterazione, per ogni x e per ogni k , differiscono per non più di 0,1 dB(A) dall'iterazione precedente. Per situazioni non particolarmente complesse, questo dovrebbe avvenire dopo non più di 5 iterazioni.

Alla fine della procedura si ottengono le stime finali degli andamenti del livello di rumore residuo, in funzione della velocità v_r (k che varia da 0 a 5 m/s), e del livello di immissione specifica in funzione di $N_{eq,TOT}$ (x che varia da $\bar{x}$ a N_{Max}).

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

10. Espressione dei risultati

Per quanto riguarda il livello di immissione specifica, al fine di compensare possibili andamenti oscillanti in corrispondenza di alcuni valori di $N_{eq,TOT}$, deve essere eseguito un fit col metodo dei minimi quadrati dei dati di $L_{E,x}$ risultanti dalla procedura iterativa.

Il fit deve essere eseguito utilizzando soltanto i valori di $L_{E,x}$ per cui, nel calcolo finale, valgono entrambe le condizioni: $n_x > 10$ e $L_{E,x} \geq (\min\{L_{R,k}\} - 10 \text{ dB(A)})$.

In altre parole, devono essere eliminati i dati di immissione specifica che risultano trascurabili rispetto ai minimi livelli di rumore residuo rilevati al ricettore e quelli per cui esiste un numero di dati insufficiente per un adeguato grado di validità statistica.

Per il fit deve essere utilizzata una funzione logaritmica del tipo:

$$L_{E,x,fit} = A * \ln x + B$$

oppure una curva polinomiale di grado non superiore al 3°.

Il fit è considerato valido se vale la condizione:

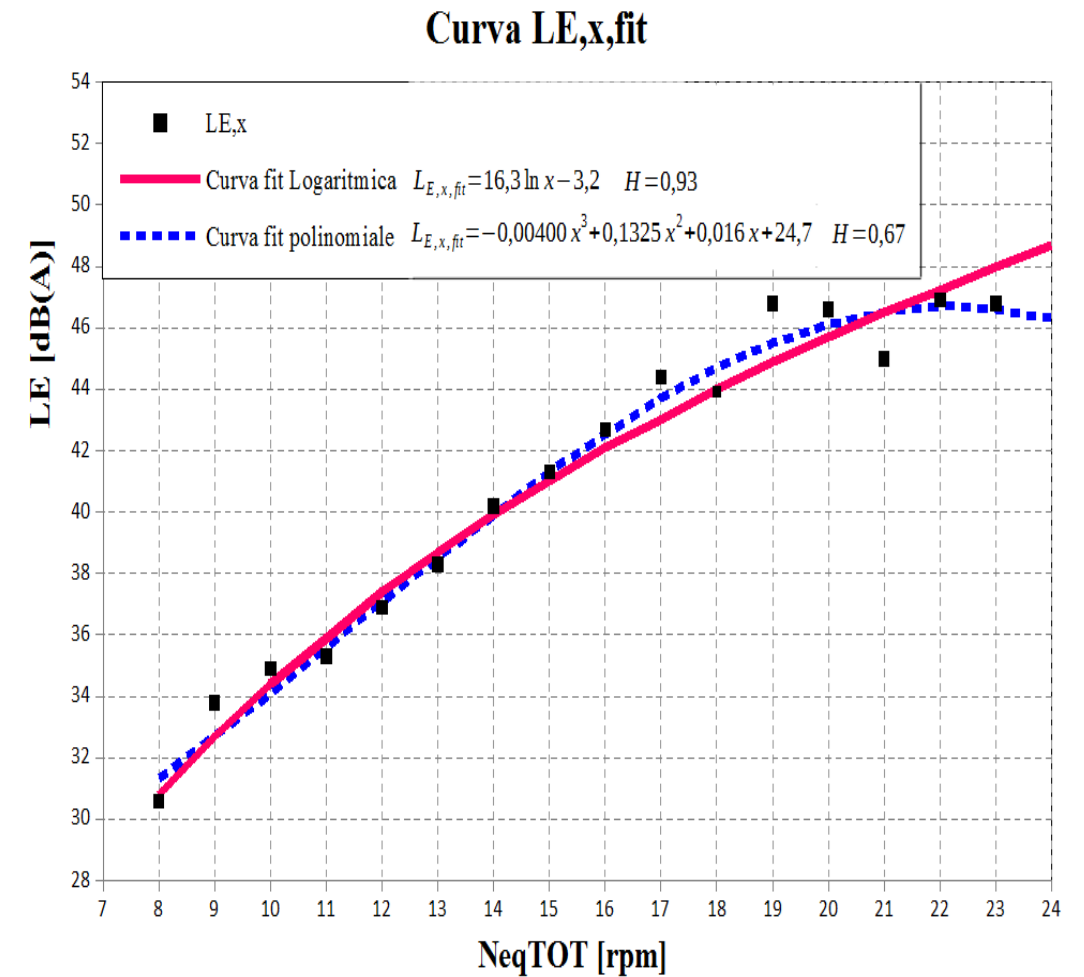
$$H = \left(\frac{\sum_{x=\bar{x}}^{x_{max}} (L_{E,x,fit} - L_{E,x})^2}{(n_{fit} - v)} \right) < 2$$

dove n_{fit} è il numero di dati considerati nel fit (che al massimo sarà uguale a $x_{max} - \bar{x} + 1$) mentre v è uguale a 2 nel caso di fit con curva logaritmica e, nel caso di curva polinomiale è uguale al grado del polinomio aumentato di 1.

Se si eseguono entrambi i fit, deve essere scelta la curva cui corrisponde il valore più basso di H nella condizione di validità sopra riportata.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Fig. 8: Esempio di curve di fit ottenute con il metodo dei minimi quadrati applicato ai valori di LE_x ricavati con la procedura di calcolo.



MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Se il risultato del fit non rispetta la condizione di validità, deve essere considerato non sufficientemente attendibile. In questi casi, la causa potrebbe essere lo scarso contributo del rumore eolico nel sito in esame (trascurabile rispetto al rumore residuo per tutte le condizioni di vento e di immissione specifica) oppure la non corretta applicazione dei procedimenti iniziali di ripulitura dei dati o di sincronizzazione degli stessi. Qualora, dopo aver ricontrollato tali procedure, dovesse permanere il non rispetto della condizione di validità, si conclude che la procedura non è applicabile al caso specifico. In tal caso, si può valutare se è il caso di ripetere le misure nel sito in esame o ricorrere alla metodologia di cui all'allegato 2.

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Per calcolare il livello di immissione specifico dell'impianto eolico al variare della velocità del vento al ricettore k, così come rilevato con la procedura qui considerata, si utilizza la seguente espressione:

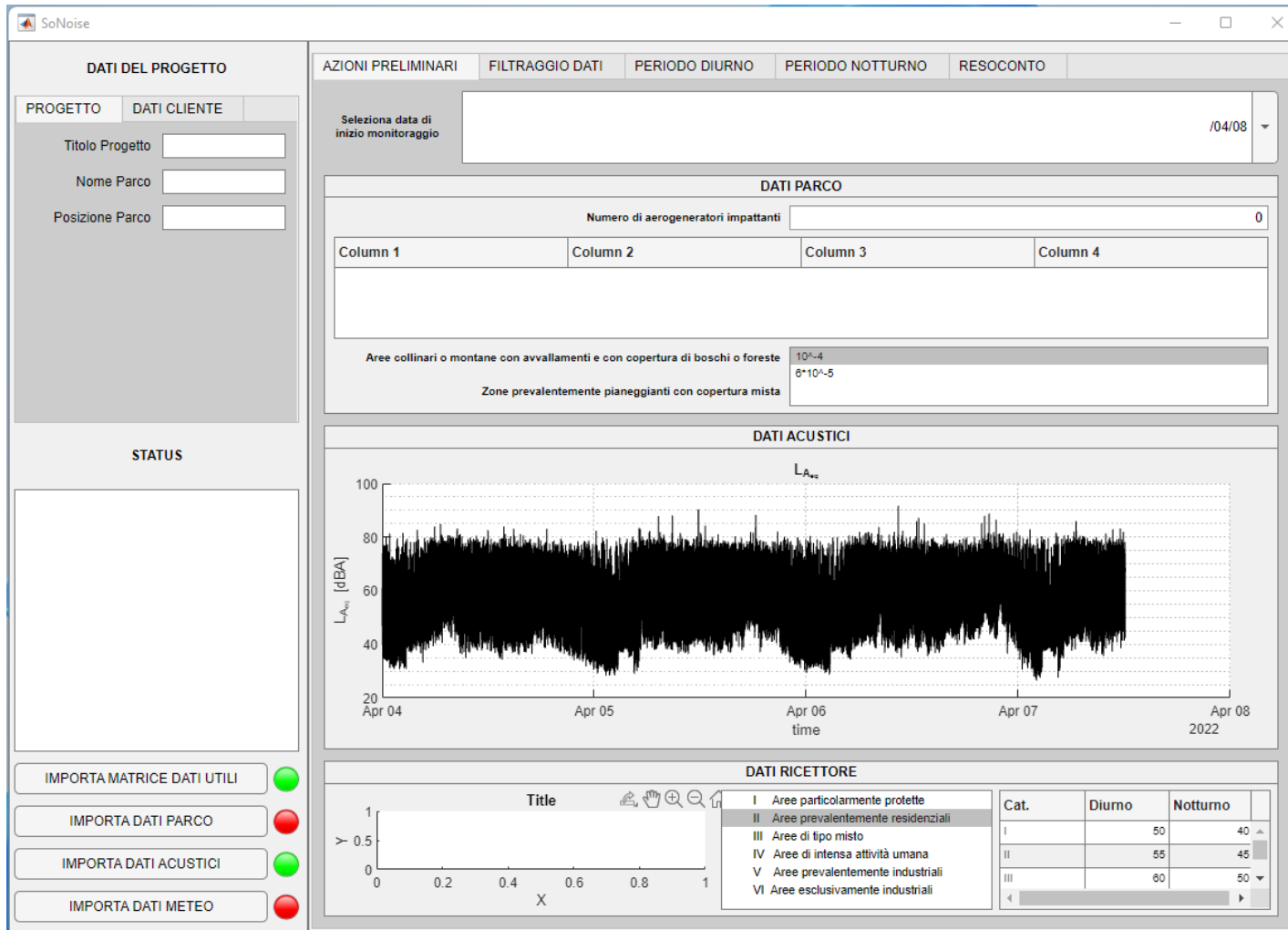
$$L_{E,k} = 10 \log \left(\frac{1}{m_k} \sum_{x=\bar{x}}^{x_{max}} n_{x,k} 10^{0,1L_{E,x,fit}} \right)$$

dove $m_k = \sum_{x=\bar{x}}^{x_{max}} n_{x,k}$.

Per quanto riguarda i livelli di rumore residuo al variare della velocità del vento al ricettore k, devono essere utilizzati i valori di $L_{R,k}$ risultanti dalla procedura iterativa.

I valori di $L_{E,k}$ ricavati dal fit e i valori di $L_{R,k}$ ricavati con la procedura sopra descritta, sono quelli da utilizzare per il confronto con i limiti normativi. Per quanto riguarda i livelli di rumore residuo al variare della velocità del vento al ricettore k, devono essere utilizzati i valori $L_{R,k}$ risultanti dalla procedura iterativa.

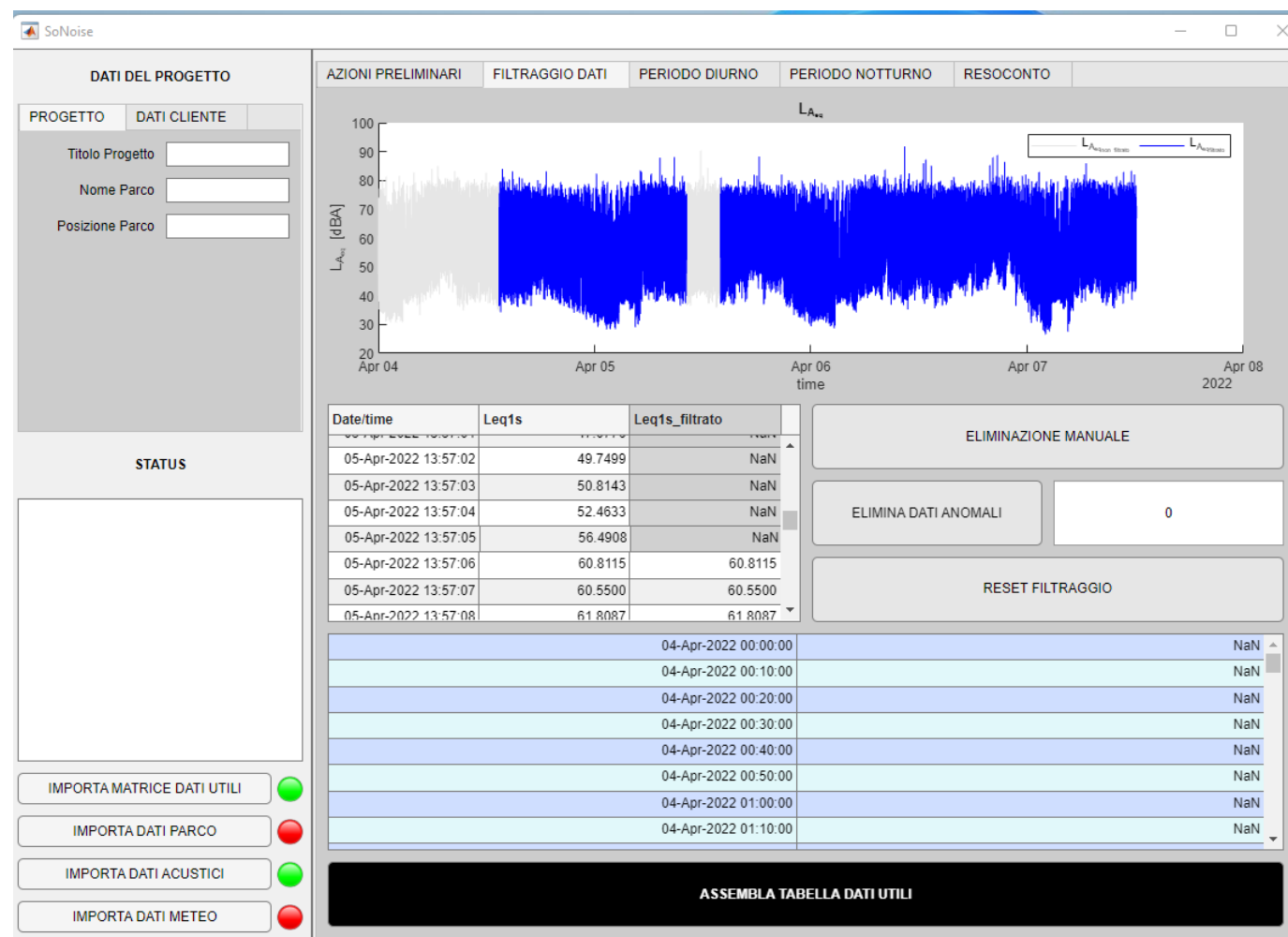
MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI



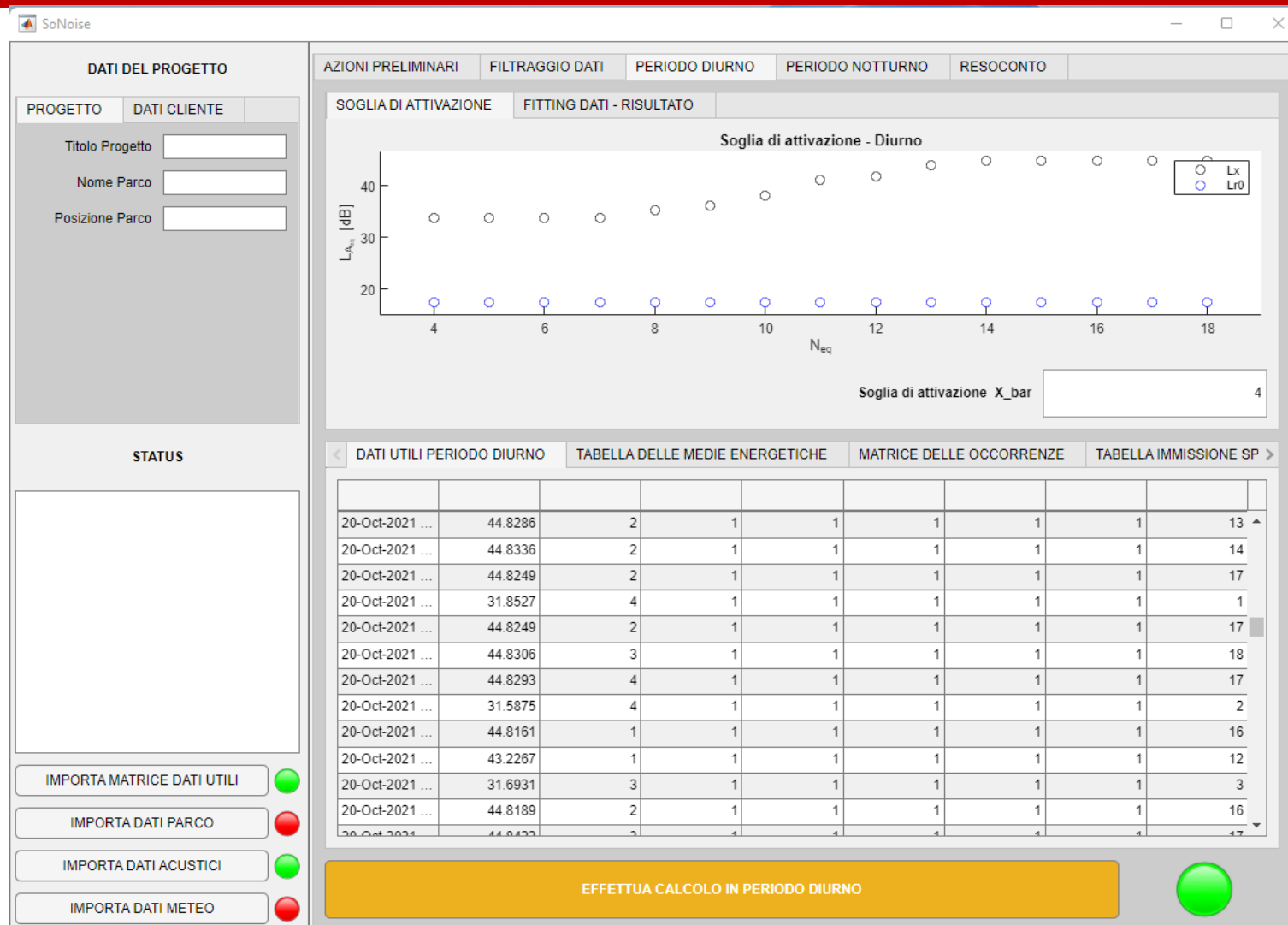
Software SONOISE EOLICO



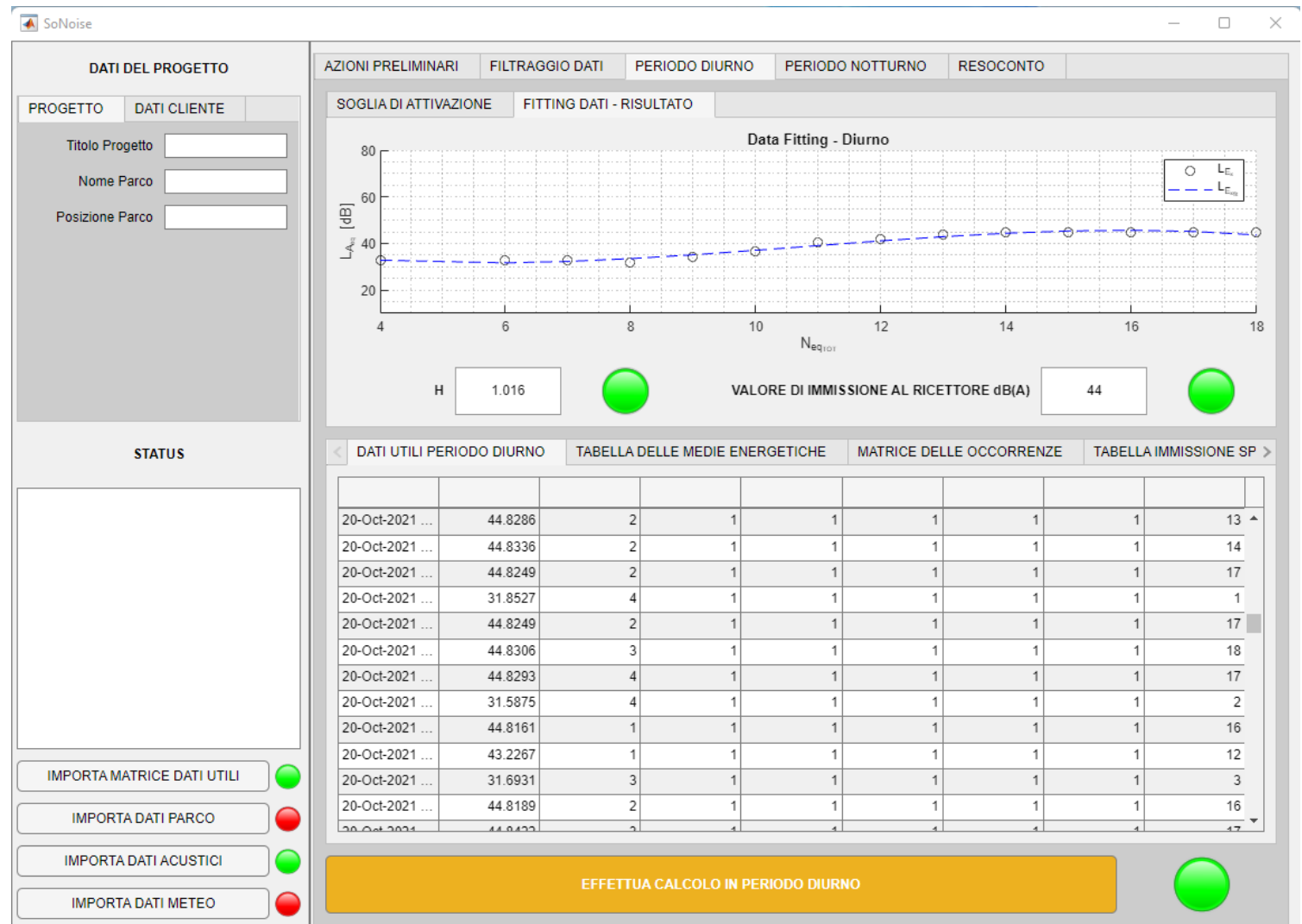
MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI



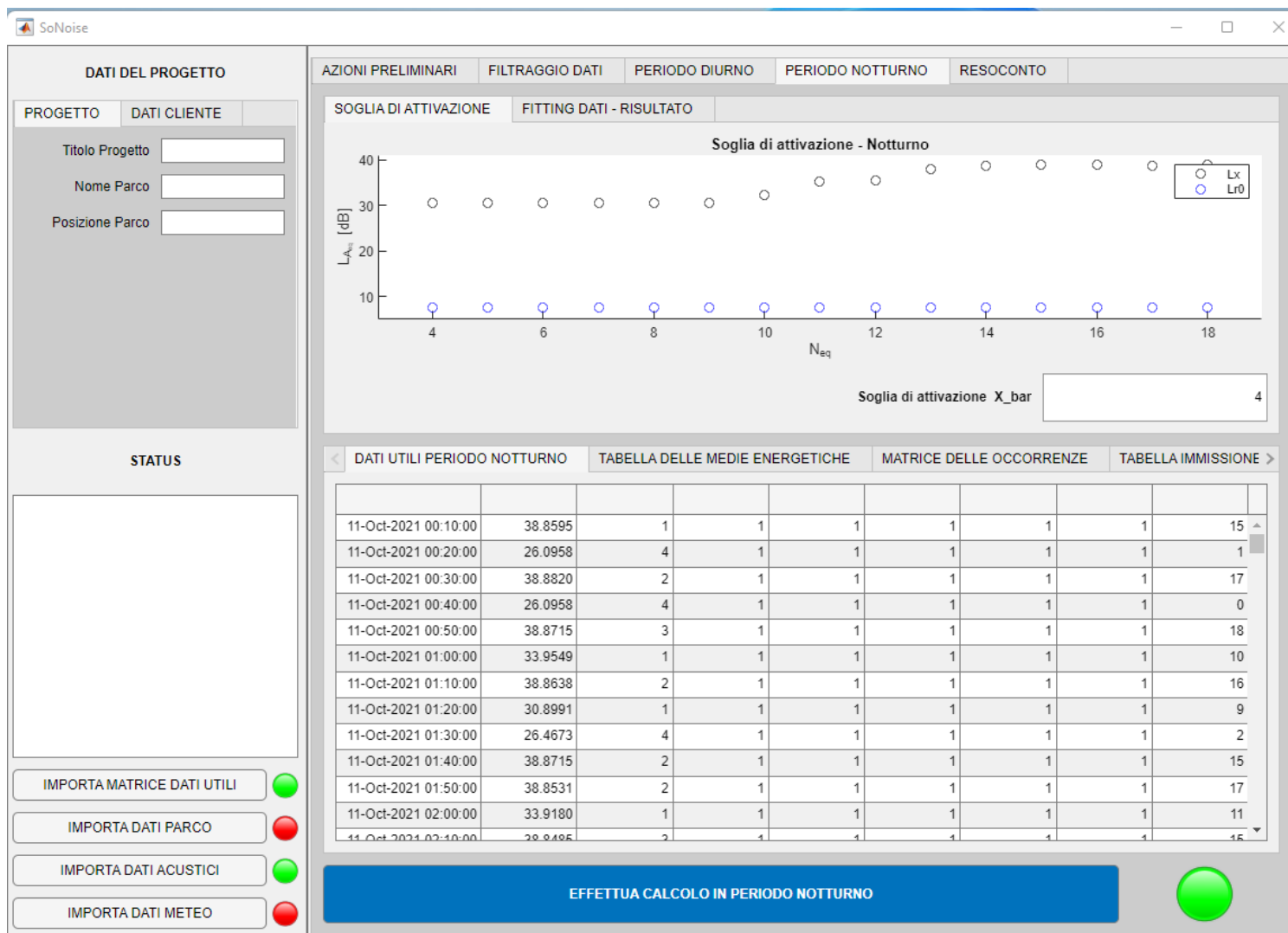
MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI



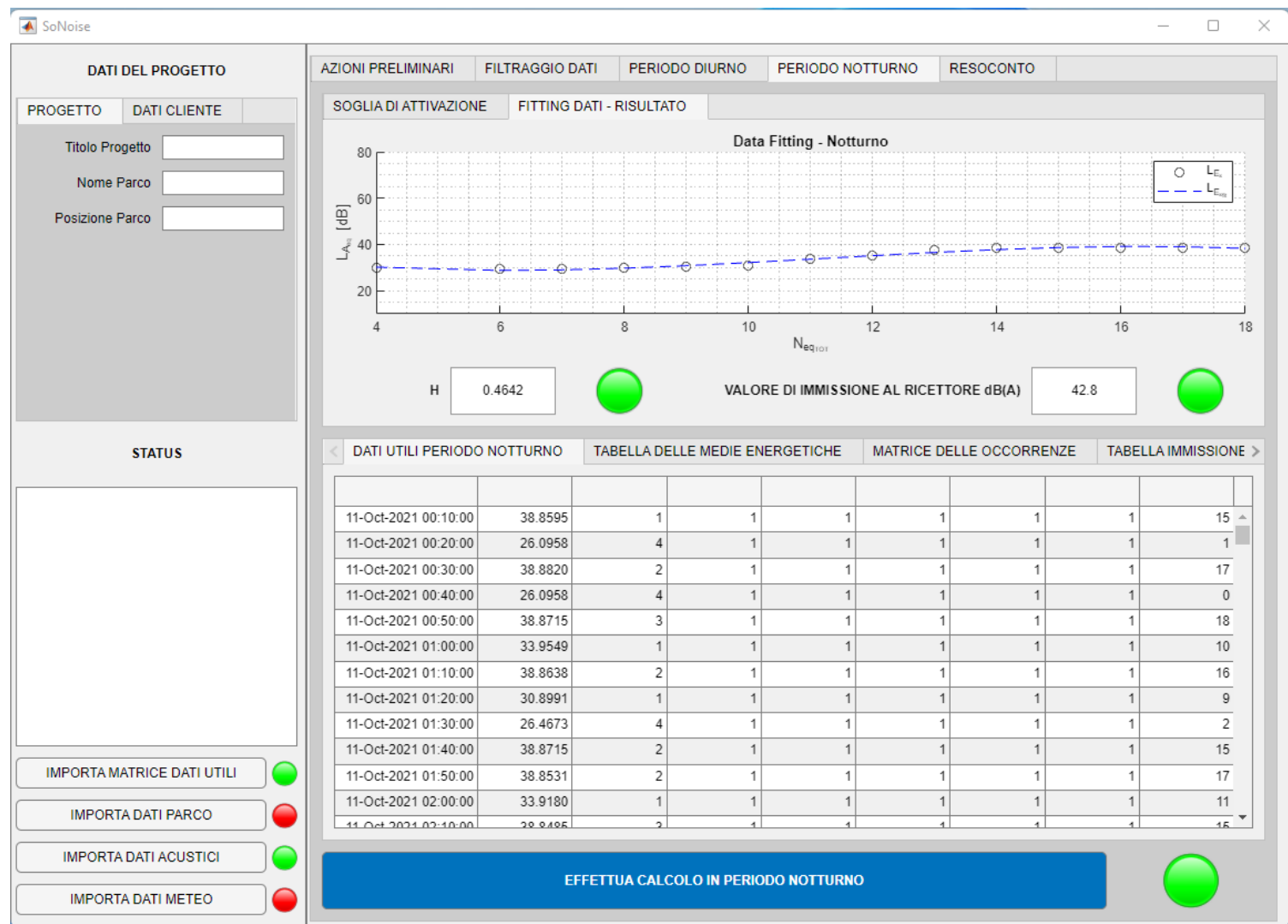
MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI



MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI



MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI



MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

DATI DEL PROGETTO

PROGETTO

DATI CLIENTE

Titolo Progetto

Nome Parco

Posizione Parco

STATUS

IMPORTA MATRICE DATI UTILI

IMPORTA DATI PARCO

IMPORTA DATI ACUSTICI

IMPORTA DATI METEO

AZIONI PRELIMINARI

FILTRAGGIO DATI

PERIODO DIURNO

PERIODO NOTTURNO

RESOCONTO

Titolo progetto

Descrizione Progetto

Posizione Parco

Numero Aerogeneratori Impianti

Ricettore

Distanza Minima Aerogeneratore equivalente -ricettore

Note

Soglia di attivazione - Diurno

Soglia di attivazione - Notturno

Data Fitting - Diurno

Data Fitting - Notturno

H DIURNO

H NOTTURNO

IMMISSIONE DIURNA

IMMISSIONE NOTTURNA

DIFFERENZIALE CON PZA PERIODO DIURNO

DIFFERENZIALE CON PZA PERIODO NOTTURNO

GENERA REPORT

76

MONITORAGGIO ACUSTICO IMPIANTI EOLICI

Automatico con i sistemi di acquisizione **BEDROCK - MUNISENSE**

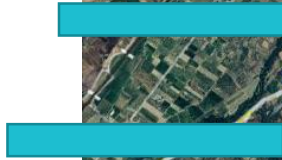
- Basta collegare il fonometro e caricare la/le misura/e da analizzare
- Collegare la sonda meteo e caricare i dati da analizzare
- Report con il risultato in pochi minuti

Operazione manuale con servizio di consulenza per gli altri sistemi di acquisizione

- invio a Sonora delle misure ed elaborazione report

Software **SONOISE EOLICO**





© 2006 The Authors

MONITORAGGIO ACUSTICO FERROVIARIO

**TECNICHE DI RILEVAMENTO E DI MISURAZIONE
DELL'INQUINAMENTO ACUSTICO FERROVIARIO**

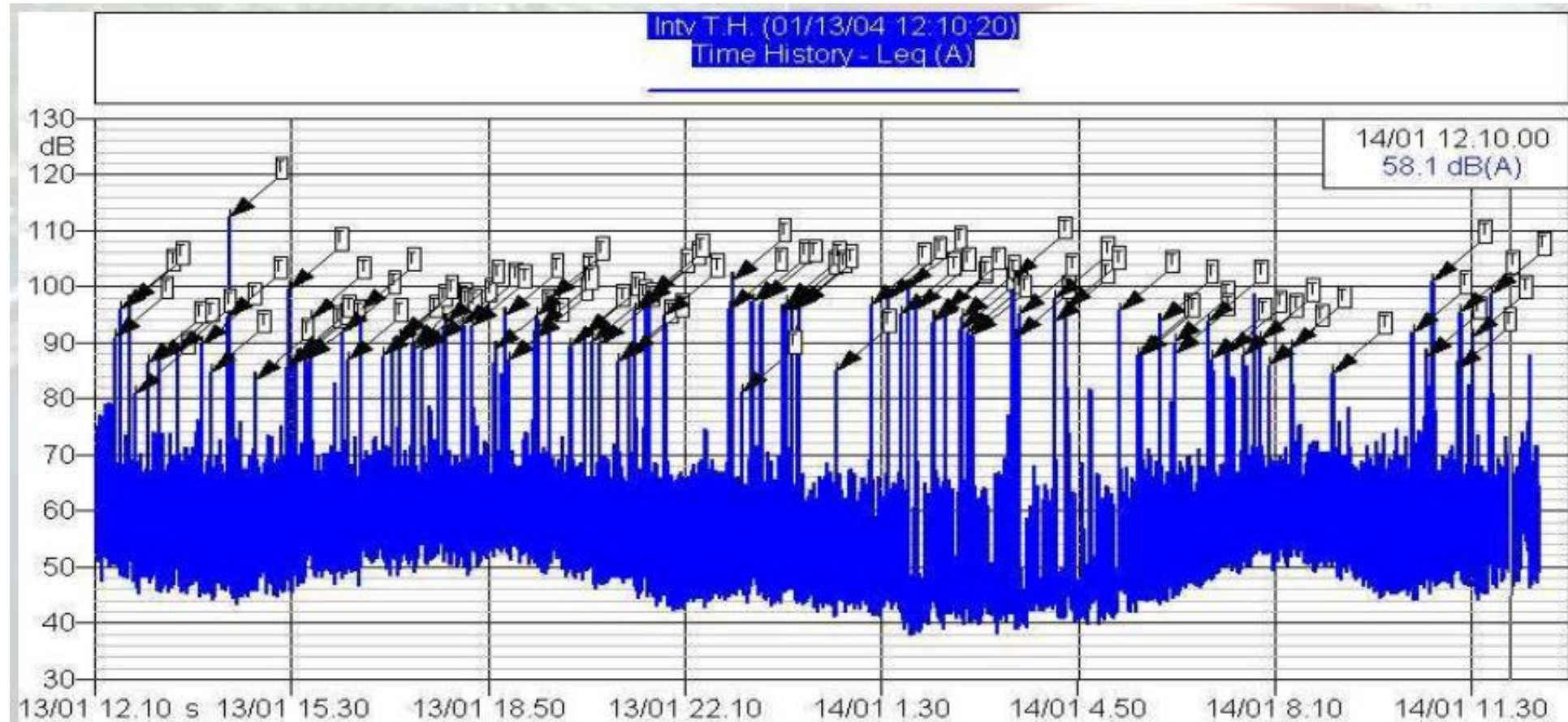
DM 16 marzo 1998 **(Tecniche di rilevamento e di misurazione)**

Stabilisce i requisiti tecnici della strumentazione di misura e le modalità di misurazione del rumore sia all'interno degli ambienti abitativi sia in esterno.

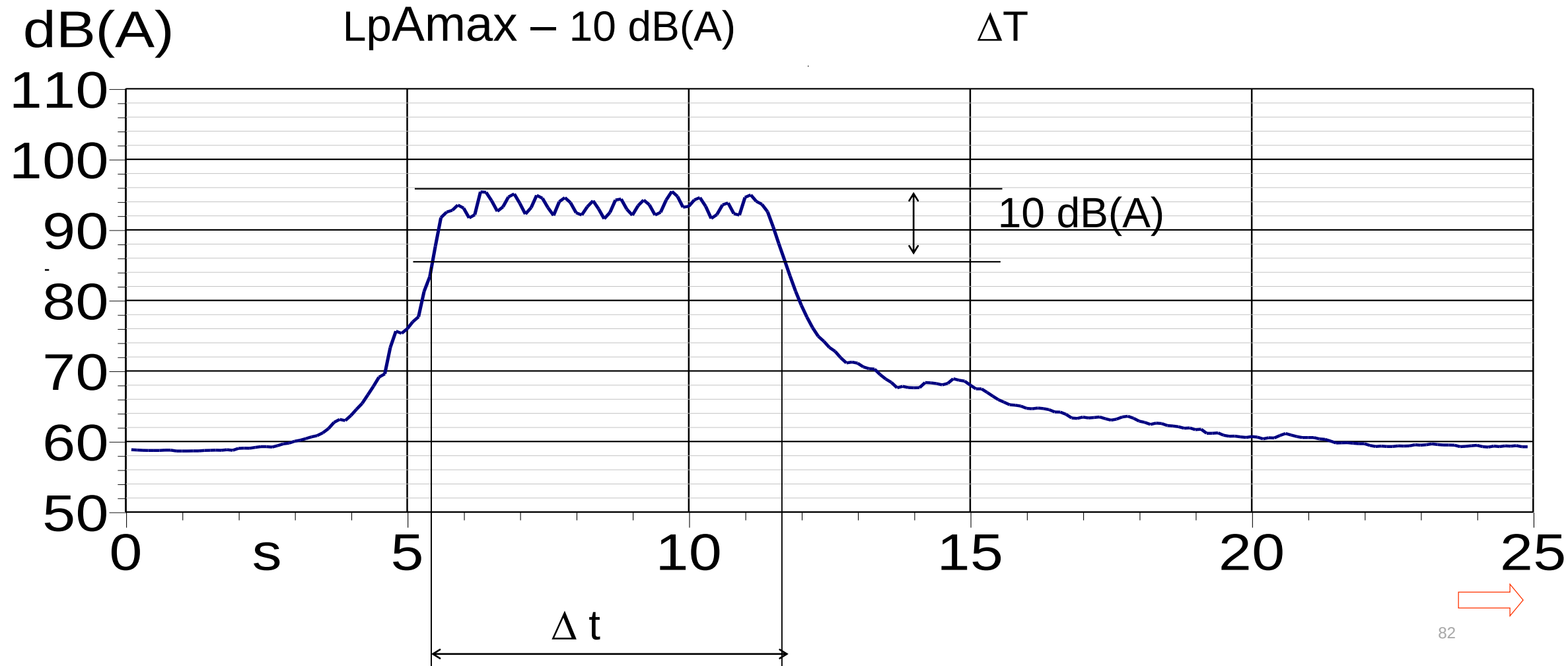
Definisce, specificamente, le metodologie di misurazione del rumore derivante da traffico ferroviario e stradale (Allegato C).

MONITORAGGIO ACUSTICO FERROVIARIO

Tempo di misura 24 h



MONITORAGGIO ACUSTICO FERROVIARIO



MONITORAGGIO ACUSTICO FERROVIARIO



$h = 4 \text{ m}$

- Costante di tempo “Fast” e ponderazione in frequenza secondo curva “A”;
- acquisizione della time-history degli eventi con memorizzazione dell’orario dei singoli transiti.

Calcolo dei SEL e successivamente dei LAtr

Problema: RICONOSCIMENTO DEI TRANSITI

INFRASTRUTTURE STRADALI

MONITORAGGIO ACUSTICO STRADALI

Metodologia di misura del rumore stradale

Essendo il traffico stradale un fenomeno avente carattere di casualità, il monitoraggio del rumore da esso prodotto deve essere eseguito per un tempo di misura non inferiore ad una settimana. In tale periodo deve essere rilevato il livello continuo equivalente ponderato "A" per ogni ora su tutto l'arco delle ventiquattro ore: dai singoli dati di livello continuo orario equivalente ponderato "A" ottenuti si calcola:

- a) per ogni giorno della settimana i livelli equivalenti diurni e notturni;
- b) i valori medi settimanali diurni e notturni.

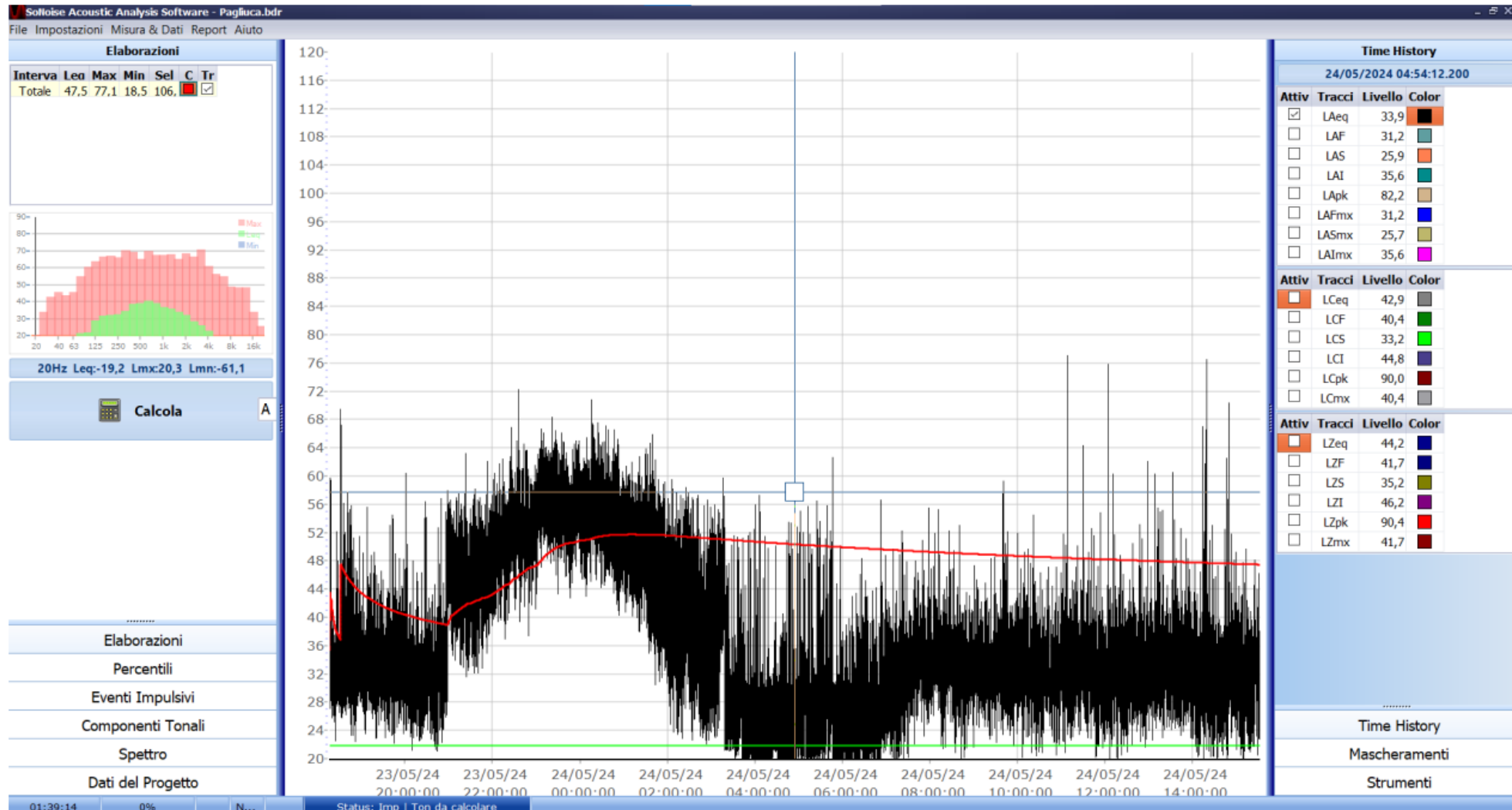
Il microfono deve essere posto ad una distanza di 1 m dalle facciate di edifici esposti ai livelli di rumore più elevati e la quota da terra del punto di misura deve essere pari a 4 m. In assenza di edifici il microfono deve essere posto in corrispondenza dei recettori sensibili.

I valori di cui al punto b) devono essere confrontati con i livelli massimi di immissione stabiliti con il regolamento di esecuzione previsto dall'art. 11 della Legge 26 ottobre 1997 n. 447.

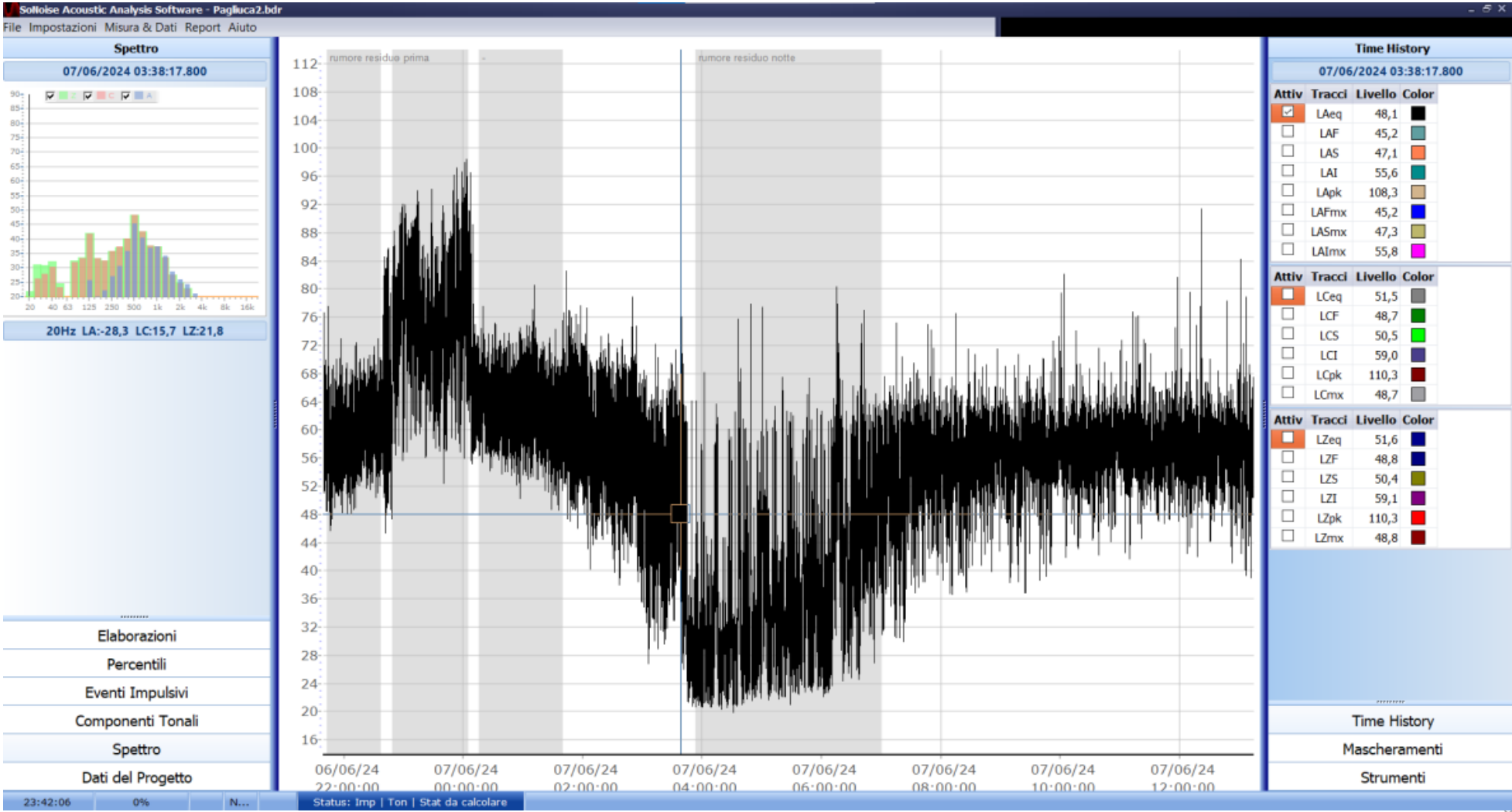


MOVIDA / EVENTI

MONITORAGGIO ACUSTICO MOVIDA / EVENTI



MONITORAGGIO ACUSTICO MOVIDA / EVENTI



MONITORAGGIO ACUSTICO MOVIDA / EVENTI



MONITORAGGIO ACUSTICO MOVIDA

Il Ruolo delle Smart Cities nella Riduzione del Rumore

Le smart cities utilizzano tecnologie avanzate per migliorare la vivibilità urbana e uno degli ambiti su cui stanno avendo un impatto significativo è proprio la gestione dell'inquinamento acustico. ***Grazie all'integrazione di sensori, intelligenza artificiale (IA) e materiali innovativi, le città stanno adottando approcci più mirati ed efficienti per ridurre il rumore.***

Le città intelligenti stanno installando **reti di sensori acustici** distribuiti nei quartieri più sensibili (vicino a ospedali, scuole, centri storici...).

- Questi sensori **monitorano in tempo reale** i livelli di rumore.
- Rilevano **picchi anomali** (traffico, cantieri, eventi) e **inviano allarmi automatici** alle autorità o ai cittadini.
- I dati vengono raccolti in **dashboard centrali** che permettono analisi su base oraria, giornaliera, stagionale.

Esempi reali:

Barcellona, Amsterdam e Milano stanno già sperimentando reti acustiche intelligenti.



Ne parlerà l'Ing. Esposito
nella sua presentazione

DIFFICOLTA' NEL MONITORAGGIO ACUSTICO

Misurazione
dell'
Immissione
specifica

Riconosciment
o del residuo
nelle
misurazioni del
rumore eolico

Esclusione
dalla misura
del contributo
dell'infrastrutt
ura nelle fasce
di pertinenza

Eliminazione
degli eventi
anomali

Riconosciment
o dell'evento
nel ferroviario

Tempi di
risposta -
tempi
ristretti di
post
elaborazioni