

Procedura che non prevede lo spegnimento degli aerogeneratori potenzialmente impattanti

La procedura di elaborazione ed 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 livelli 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.

Preliminarmente, è necessario aver individuato tutti gli aerogeneratori potenzialmente impattanti per il ricettore secondo la definizione di cui all'articolo 2 del presente decreto.

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'aerogeneratore impattante i -esimo mediata sull'intervallo di 10 minuti 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 minuti e calcolata mediante l'espressione:

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

dove:

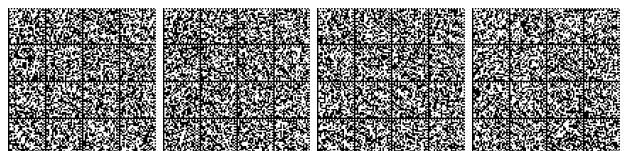
r_i = distanza in metri (misurata in proiezione orizzontale) tra l'aerogeneratore i -esimo e il ricettore considerato;

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

$K_i = 10^{\alpha(r_1 - r_i)}$ = 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) e uguale a $6 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ 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 al mozzo dell' i -esimo aerogeneratore (ad esempio, per vento proveniente da SE, $\theta_i = 135^\circ$). Entrambi gli angoli sono da riferire con verso positivo in senso orario.

Il parametro $N_{eq,i}$ rappresenta la velocità di rotazione che, a parità di rumore misurato al ricettore, avrebbe l'aerogeneratore i -esimo se si trovasse nella stessa posizione dell'aerogeneratore più vicino (quello indicato con $i=1$).



$N_{eq,TOT}$ = 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 $N_{eq,TOT}$ 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 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.

2. Tempi di misura

Misure in ambiente esterno.

In relazione alla valutazione del livello L_E di immissione specifico dell'impianto eolico:

- i tempi di misurazione utili all'analisi del rumore generato da impianti eolici devono essere abbastanza lunghi da comprendere in modo statisticamente significativo le situazioni di ventosità e direzione del vento a terra e in quota tipiche del sito oggetto di indagine;
- i periodi di misura con precipitazioni, eventi anomali o durante i quali si siano verificate le condizioni di cui al punto 7 dell'Allegato B del D.M. 16/03/1998 devono essere scartati;
- la procedura di elaborazione dati qui descritta richiede l'acquisizione di almeno 2000 intervalli minimi di misurazione utili (pari ad un minimo di 15 giorni di rilevamenti in continuo), di questi almeno 400 devono corrispondere alle condizioni di emissione più gravose. La misurazione deve eventualmente essere prolungata fino al raggiungimento dei 400 dati utili richiesti nelle condizioni più gravose.

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).

gg/mm/aa	hh:mm	$L_{Aeq,10min}$ [dB(A)]	V_r [m/s]	N1 [rpm]	N2 [rpm]	N3 [rpm]	N4 [rpm]	N5 [rpm]	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5
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
ggg gg/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	225,90

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

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.



gg/mm/aa	hh:mm	LAeq,10min [dB(A)]	Vr [m/s]	Neq1 [rpm]	Neq2 [rpm]	Neq3 [rpm]	Neq4 [rpm]	Neq1 [rpm]	NeqTOT (arroton.) [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	40,8	2	0,000	11,080	11,255	9,002	10,202	15

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

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.

- 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 $N_{eq,TOT}$):

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

che corrisponde alla media energetica dei $LA_{eq,10min}$ 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:

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

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.

- 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 $N_{eq,TOT} \geq \bar{x}$, 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.



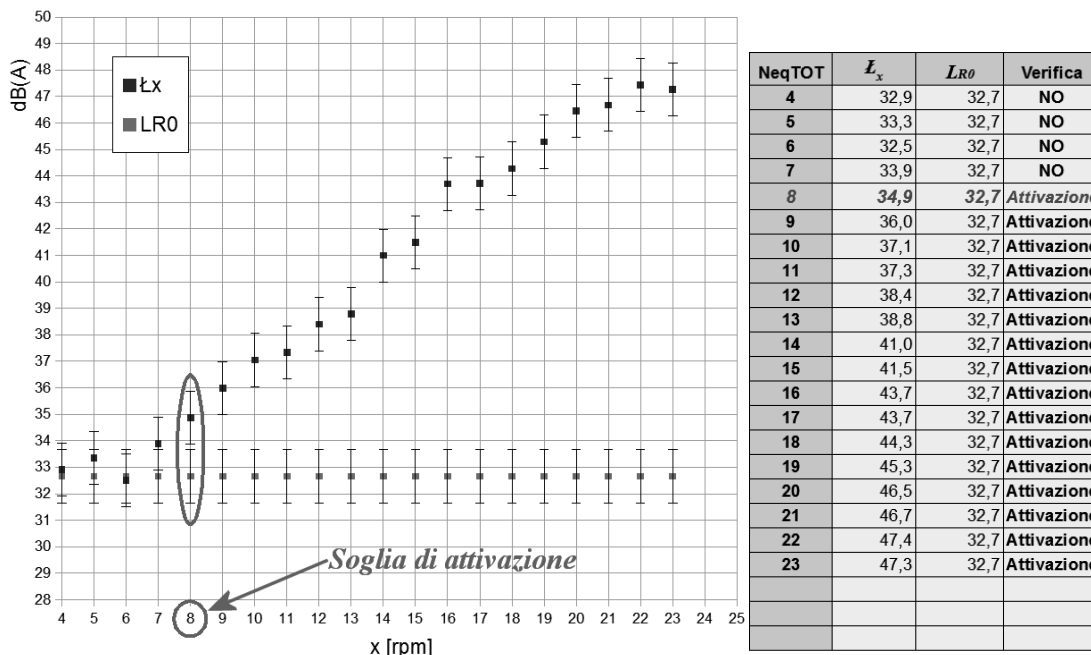


Fig. 3. Esempio di ricerca della *soglia di attivazione* dell'impianto eolico.

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 ricevitore $v_r = k$.

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

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 $L_{0,k}$:

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

- c) considerando soltanto i gruppi con $n_{0,k} > 2$ e approssimando $L_{0,k}$ al primo decimale;
- d) 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 $x < \bar{x}$.

In Figura 4 è riportato un esempio di Tabella delle medie energetiche realizzata secondo la procedura sopra descritta.

		Medie energetiche					
		Vr = k					
		0	1	2	3	4	5
Neq,TOT = X	< 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						
27							
28							

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 $v_r = k$.

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.



		Occorrenze					
		V _r = k					
		0	1	2	3	4	5
N _{eq,TOT} = X	< Attiv.	1121	115			6	
	8	136	24				
	9	100	24				
	10	79	22				
	11	77	40	3			
	12	94	63	7			
	13	81	49	6			
	14	43	46	6			
	15	17	36	24			
	16	11	39	23	5	7	5
	17	7	40	23	9	6	25
	18	7	26	23	10	4	19
	19	5	38	64	28	14	5
	20		20	26	13	9	8
	21		17	21	4		
	22	3	8	12	7		
	23		6	28	3		
	24						
	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 ricevitore 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 ricevitore si ottiene, quindi, sottraendo energeticamente i valori L_{0,k} riportati nella della 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.

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 ≥ x̄ 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}) ≤ 1 dB(A) e non considerando la prima riga corrispondente a ai valori di x < x̄.
- d) Calcolare i valori di L_{E,x} per ogni x ≥ x̄ utilizzando la seguente espressione e i dati riportati nella Tabella delle occorrenze e nella Tabella Immissione Specifica:

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



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.

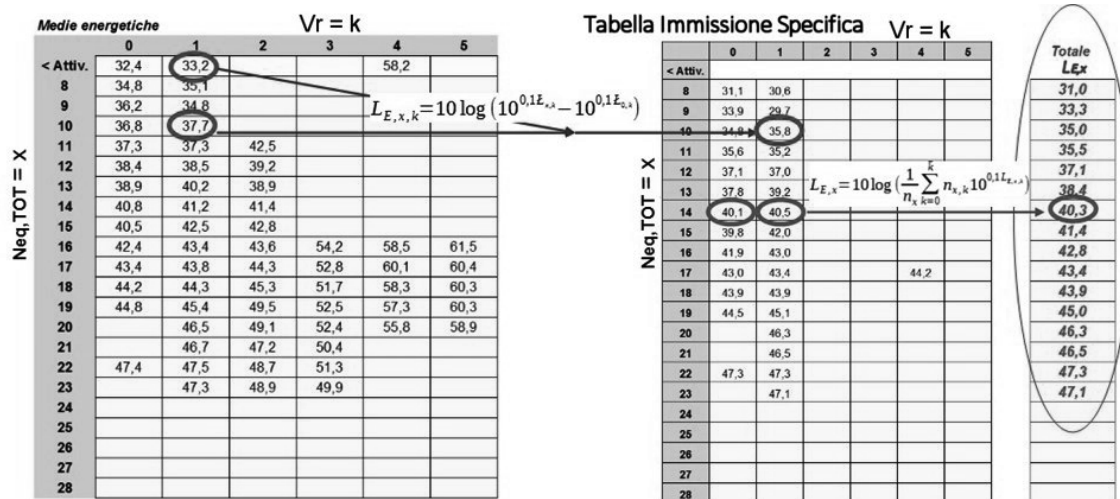


Fig. 6. Esempio di Tabella Immissione Specifica ottenuta con il primo passo della procedura; a destra è riportata la colonna con l'esempio di prima stima dei livelli di L_E al variare dei valori di $N_{eq,TOT}$.

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).
 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:



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

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.

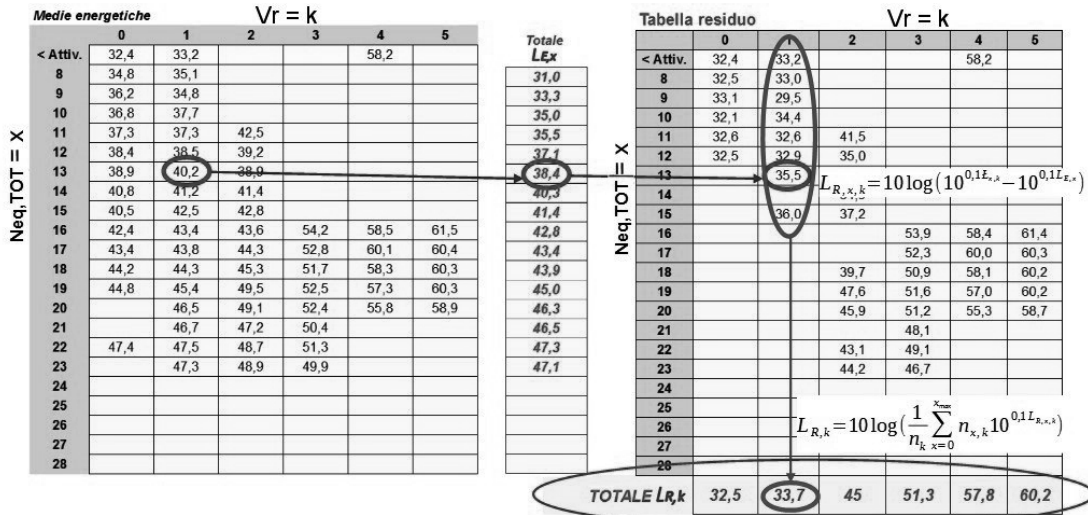


Fig. 7. Esempio di Tabella residuo ottenuta con i primi passi della procedura e, in basso, esempio di prima stima dei livelli $L_{R,k}$ di rumore residuo al variare dei valori di $V_r = k$.

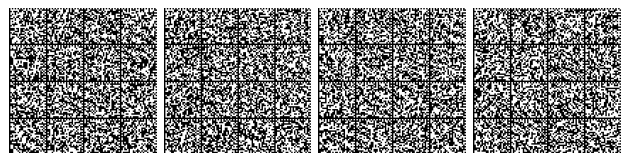
È molto probabile che le tabelle di immissione specifica e residuo ottenute nel primo passo della procedura presentino molte caselle vuote che potranno essere riempite con i passi successivi della procedura.

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



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}).

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 ricevitore 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.

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.

I dati $L_{E,x,fit}$ estrapolati dalla curva di fit così ottenuta (si veda la Figura 9 di esempio) sono quelli da utilizzare per la verifica dei limiti normativi di cui allo specifico Regolamento di cui all'art. 11 della Legge n.447/95.



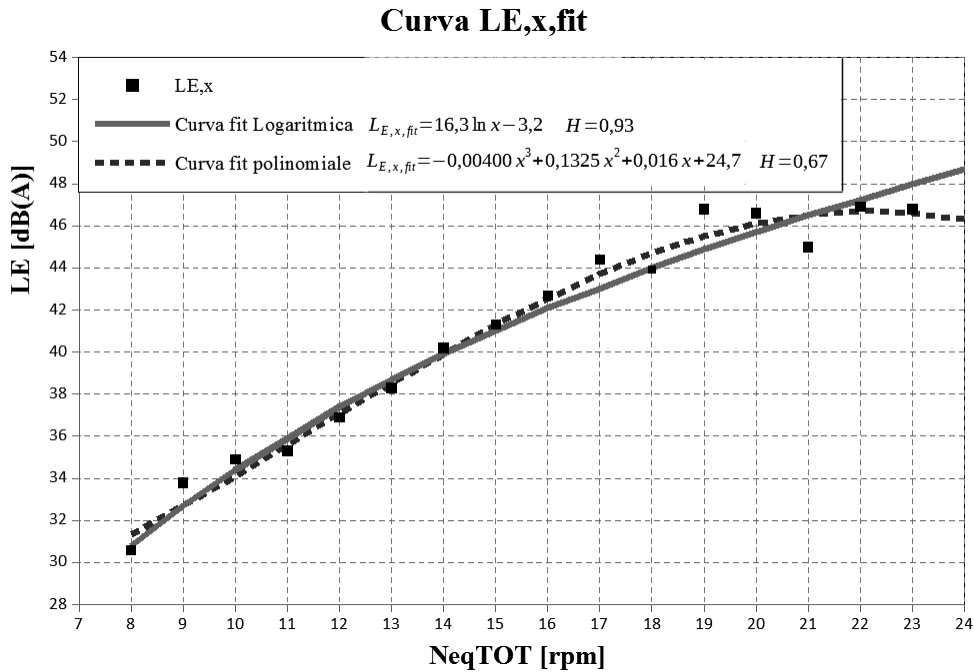


Fig. 8: Esempio di curve di fit ottenute con il metodo dei minimi quadrati applicato ai valori di $L_{E,x}$ ricavati con la procedura di calcolo.

Per calcolare il livello di immissione specifico dell’impianto eolico al variare della velocità del vento al ricevitore 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 ricevitore k , devono essere utilizzati i valori di $L_{R,k}$ risultanti dalla procedura iterativa.

11. Riferimenti normativi e bibliografici

- ISPRA, “Linee guida per la valutazione e il monitoraggio dell’impatto acustico degli impianti eolici”, 103/2013;
- UNI/TS 11143-7:2013 “Acustica - Metodo per la stima dell’impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 7: Rumore degli aerogeneratori”;
- P. Gallo, L. Fredianelli, D. Palazzuoli, G. Licitra, F. Fidecaro, “A procedure for the assessment of wind turbine noise”, Applied Acoustics, volume 114, 213-217, 2016;
- L. Fredianelli, S. Carpita, P. Gallo, D. Palazzuoli, G. Licitra, “Assessment of WTN by separating residual noise without the farm shutdown: validation of the Italian procedure” proceedings of the 7th International Conference on Wind Turbine Noise, Rotterdam, 2, 5 May 2017;
- L. Fredianelli, P. Gallo, G. Licitra, S. Carpita, “Analytical assessment of wind turbine noise impact at receiver by means of residual noise determination without the wind farm shutdown”, Noise control Eng. J., volume 65, 417-433, 2017.

