

## ANALISI DI DATI ANEMOMETRICI E DI RUMORE AMBIENTALE

Giovanni Brambilla<sup>1</sup>, Cristina Cornaro<sup>1,2</sup>, Patrizio Verardi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CNR-Istituto di Acustica “O.M. Corbino”, via del Fosso del Cavaliere 100, 00133 Roma,

<sup>2</sup>Dipartimento Ingegneria dell’Impresa, Università di Roma Tor Vergata, via del Politecnico, 00133 Roma

### SOMMARIO

In due postazioni nel campus di Roma-Tor Vergata si è proceduto al rilievo in continuo su lungo periodo dei parametri meteorologici e in una di queste, posta a circa 240 m da un tratto autostradale e in un’area con terreno prevalentemente poroso, assenza di ostacoli e pochi eventi sonori non attribuibili al traffico autostradale (prevalentemente sorvoli aerei), è stato monitorato anche il livello del rumore ambientale, memorizzato in termini di spettro a bande di 1/3 di ottava e livello globale  $L_{Aeq}$  in dB(A) acquisiti ogni secondo.

I dati anemometrici sono stati comparati tra loro e ne è stata eseguita l’analisi statistica su otto mesi (estate e inverno) in relazione anche alla occorrenza di condizioni favorevoli per la propagazione sonora, quest’ultime individuate in funzione della posizione reciproca autostrada-microfono conformemente ai requisiti della norma ISO 1996-2:2007. In corrispondenza di dette condizioni l’analisi dei dati anemometrici (diversificati in classi di velocità) e dei corrispondenti spettri del rumore ambientale ha evidenziato come questi ultimi presentino livelli di banda maggiori all’aumentare della velocità del vento e che questa differenza risultata più accentuata alle basse (< 31,5 Hz) e alte (> 10.000 Hz) frequenze.

### INTRODUZIONE

Il D.Lgs n. 194/2005 [1] di recepimento della direttiva europea 2002/49/CE [2] sulla determinazione e gestione del rumore ambientale richiede che i valori di  $L_{den}$  (livello giorno-sera-notte) e di  $L_{night}$  siano rappresentativi su base annuale. Un così lungo tempo di osservazione rende impegnativo, e non sempre giustificabile, un rilevamento continuo del rumore ambientale al quale, solitamente, si preferisce sostituire l’impiego di tecniche di campionamento temporale. Queste ultime devono essere scelte in funzione della variabilità annuale sia dell’emissione sonora delle sorgenti che contribuiscono alla rumorosità ambientale del sito, sia delle condizioni meteorologiche laddove queste influenzino sensibilmente la propagazione sonora (solitamente per distanze sorgente-ricettore superiori a 40 m e ambienti aperti con scarsa presenza di edifici).

La letteratura è prolifica di studi e risultati sulla influenza delle condizioni meteorologiche nei confronti della propagazione sonora in ambiente aperto, argomento che è stato recentemente oggetto di ulteriori ricerche proprio sulla spinta dei requisiti introdotti dalla direttiva europea 2002/49/CE (ad es. vedi [3, 4, 5]).

Il presente lavoro descrive uno studio sperimentale basato sull’analisi condotta sia su dati anemometrici, rilevati in continuo su lungo periodo in due siti nel campus dell’Università di Roma-Tor Vergata, sia su dati fonometrici rilevati anch’essi in continuo e contemporaneamente al monitoraggio anemometrico in uno dei due siti, posto a circa 240 m da un tratto autostradale e ubicato in un’area priva di ostacoli, con terreno prevalentemente poroso e presenza di rari eventi sonori non attribuibili al traffico autostradale.

### I DUE SITI E I SISTEMI DI MONITORAGGIO

I due siti ove viene eseguito il monitoraggio in continuo su lungo periodo dei parametri meteorologici sono ubicati nel campus dell’Università di Roma-Tor Vergata, come illustrato nella Figura 1, e sono distanti tra loro 2,75 km in linea d’aria.

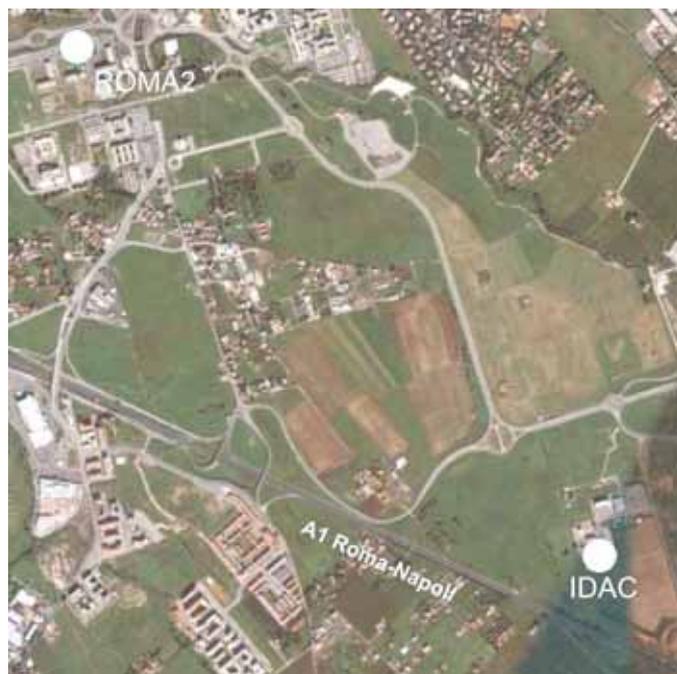


Figura 1: Ubicazione dei due siti di monitoraggio nel campus dell’Università di Roma Tor-Vergata

In particolare, nel sito denominato Roma2 sul terrazzo dell'edificio della Facoltà di Ingegneria, a 30 m dal suolo, è installata una stazione meteo-solare (vedi Figura 2) attiva dal 2003 che fornisce i valori (mediati ogni 30 minuti, ogni ora e giornalieri) della temperatura (massima, minima e media), dell'umidità relativa, della pressione, delle altezze di pioggia, della direzione prevalente del vento e della sua velocità massima e media.

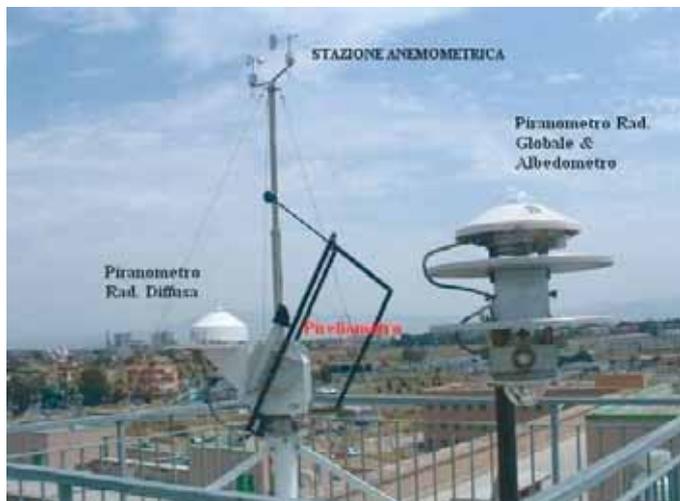


Figura 2: La stazione meteo-solare dell'Università di Roma-Tor Vergata (denominata Roma2 nel presente lavoro) dotata di anemometro "a coppette".

Nel sito denominato IDAC (vedi Figura 1), sul terrazzo del laboratorio di Acustica subacquea dell'Istituto di Acustica, a 10 m dal suolo, sono operativi da gennaio 2006 una telecamera per la visualizzazione del flusso veicolare transitante sull'autostrada ed una unità di monitoraggio acustico, costituita da un fonometro 01dB Solo e da un dispositivo per la trasmissione dati su rete GPRS (vedi Figura 3). I dati sul rumore ambientale, rilevati in continuo, sono acquisiti e memorizzati ogni secondo in termini di spettro a bande di 1/3 di ottava e di livello globale  $L_{Aeq}$  in dB(A). Da dicembre 2007 è stata installata anche una stazione di rilevamento meteo DAVIS Vantage Pro2™. I dati meteo ed acustici, insieme allo streaming video della telecamera, sono visualizzati in tempo reale su sito web, consultabile all'indirizzo <http://www.citynoise.net/homes/idac> [6].



Figura 3: Le apparecchiature di monitoraggio acustico e di visualizzazione del flusso veicolare installate all'IDAC

## I DATI ANEMOMETRICI

Secondo l'Atlante Eolico d'Italia (Tav. 13a), l'area del campus dell'Università di Roma Tor-Vergata, delimitata dalla linea rossa nella Figura 4, è caratterizzata da una velocità media annua del vento alla quota di 25 m dal suolo inferiore a 3 m/s (vedi Figura 4) e, pertanto, è considerata poco ventosa rispetto al resto dell'Italia.



Figura 4: Porzione della tavola 13a dell'Atlante Eolico d'Italia comprendente l'area del campus dell'Università di Roma Tor-Vergata

Ciò è confermato dalla caratterizzazione climatica su base triennale per la stazione di Roma2 che ha evidenziato per l'anno tipo un valore medio di velocità pari a 2,3 m/s [7]. Ad esempio, in Figura 5 è riportato l'andamento dei valori giornalieri della velocità massima e media del vento rilevati nell'anno 2006, i cui valori annuali sono pari rispettivamente a 8,5 e 2,2 m/s.

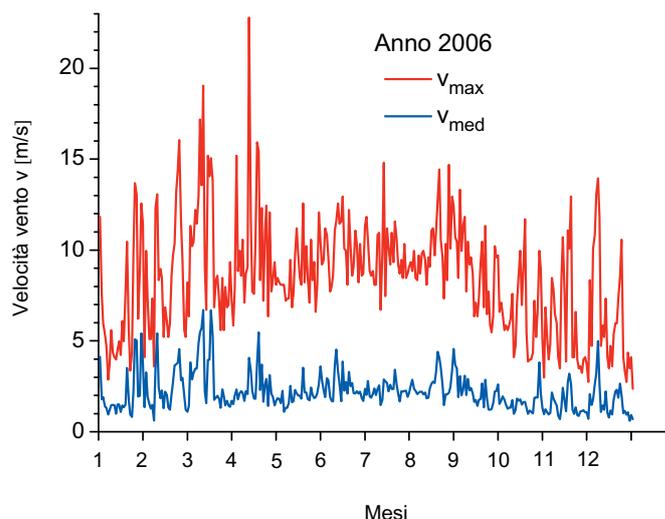


Figura 5: Andamento dei valori giornalieri della velocità massima e media del vento rilevati nell'anno 2006 nella stazione di Roma2

Da ottobre 2007 nel sito Roma2 i dati anemometrici (velocità e direzione) sono memorizzati ogni minuto,

analogamente a quanto avviene per i dati omologhi rilevati nel sito IDAC da dicembre 2007. I dati acquisiti a gennaio 2008 sono stati comparati tra loro con risultati soddisfacenti. Ad esempio nella Figura 6 è riportato il confronto tra le medie mobili a 30 minuti della velocità del vento.

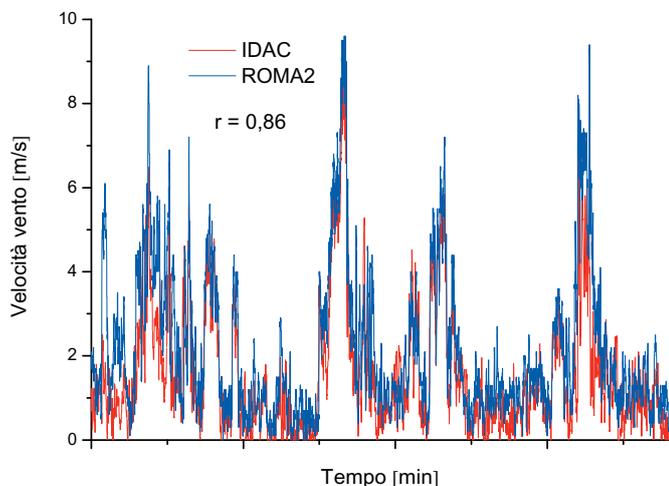


Figura 6: Andamento delle medie mobili a 30 minuti della velocità del vento nei due siti per il mese di gennaio 2008

Le due serie di dati risultano abbastanza sovrapponibili ed il coefficiente di correlazione è pari a 0,86. In genere nella stazione di Roma2 si osservano velocità superiori a quelle rilevate in IDAC. Ciò è imputabile a diversi fattori, tra i quali le differenti caratteristiche intrinseche dei due anemometri, la loro diversa altezza dal suolo (30 e 10 m rispettivamente per Roma2 e IDAC) e l'assenza di ostacoli per Roma2, diversamente dal sito IDAC ove a nord dell'anemometro è presente un edificio alto 12 m, lungo 85 m e distante 42 m.

Le differenze osservate, tuttavia, non sembrano inficiare la somiglianza degli andamenti dei dati anemometrici rilevati nelle due postazioni. Conseguentemente è stato ritenuto plausibile utilizzare le serie storiche di dati anemometrici rilevati in Roma2 e relazionarli con i corrispondenti dati di monitoraggio acustico acquisiti nella postazione IDAC.

In particolare sono stati presi in esame i 4 mesi estivi del 2006 (da giugno a settembre) e i successivi 4 mesi invernali (da dicembre 2006 a marzo 2007).

## I DATI DELLA RUMOROSITA' AMBIENTALE

Come già detto, la rumorosità ambientale nel sito IDAC è costituita prevalentemente dal rumore prodotto dal traffico veicolare transigente sull'autostrada A1, distante 240 m, al quale si sovrappongono sporadici eventi sonori da sorvolo di aerei. Un esempio della variabilità dei livelli equivalenti orari  $L_{Aeqh}$  nel corso delle 24 ore e durante i 12 mesi del 2007 è riportato nel diagramma in Figura 7. I livelli  $L_{Aeqh}$  più elevati, compresi tra 55 e 60 dB(A), si registrano nel periodo diurno dalle ore 6 alle 19, per poi diminuire progressivamente fino a 45 dB(A) e quindi riaumentare sensibilmente dalle ore 5. Si osserva una variabilità dei livelli  $L_{Aeqh}$  tra i vari mesi e, in particolare, in luglio e agosto nel periodo dalle ore 6 alle 19 si registrano livelli  $L_{Aeqh}$  inferiori a quelli degli altri mesi.

Un tipico sonogramma a 1/3 di ottava del rumore ambientale rilevato dal sistema di monitoraggio acustico è riportato nella parte inferiore della Figura 8. Appaiono

evidenti i contributi a 250, 500 e 1000 Hz del rumore prodotto dai transiti dei veicoli sull'autostrada.

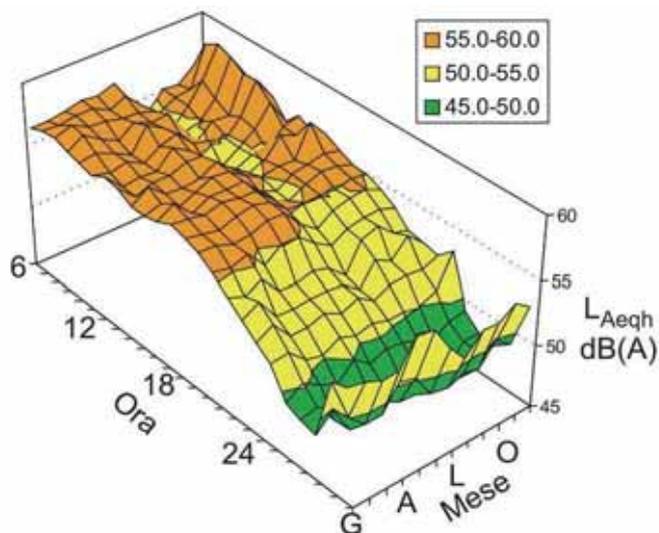


Figura 7: Variabilità dei livelli equivalenti orari  $L_{Aeqh}$  nel corso delle 24 ore e durante i 12 mesi del 2007 nel sito IDAC

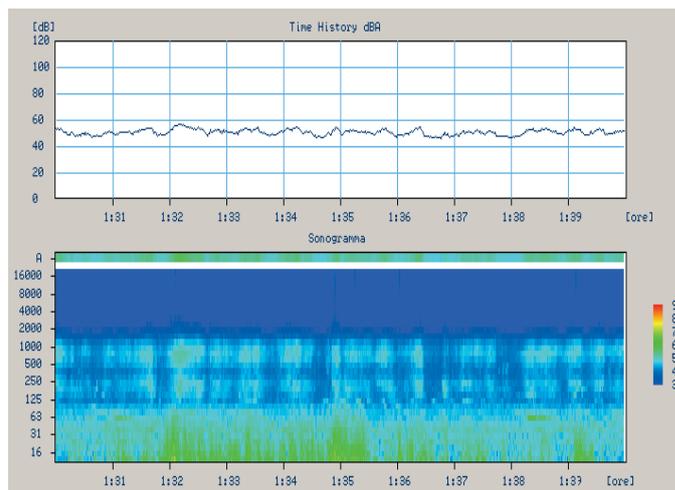


Figura 8: Esempio di sonogramma a 1/3 di ottava del rumore ambientale rilevato nel sito IDAC

## L'ANALISI DEI DATI SPERIMENTALI

Il sito IDAC presenta caratteristiche (distanza autostrada-microfono di 240 m, propagazione sonora in assenza di ostacoli e con sensibile effetto suolo) idonee per discriminare l'influenza delle condizioni meteorologiche sulla propagazione sonora stessa.

A tale scopo per gli 8 mesi prescelti per l'analisi si è proceduto ad una selezione dei dati anemometrici della stazione Roma2 riguardanti la velocità massima del vento (e corrispondente orario di occorrenza al minuto) rilevata su periodi di 30 minuti. Non essendo nota la direzione di provenienza della velocità massima sono stati considerati solo i periodi di 30 minuti nei quali l'ottante comprendente la direzione prevalente presentava occorrenze superiori all'80%. In tali circostanze è plausibile ritenere che la direzione di provenienza della velocità massima sia compresa nell'ottante così individuato.

Sono state prese in esame le seguenti condizioni di vento.

### Assenza di vento

Per rappresentare questa condizione sono stati scelti i valori di velocità massima inferiori a 1 m/s a prescindere dalla direzione di provenienza, individuata comunque con il criterio dell'ottante con occorrenze superiori all'80%. È stato ottenuto un insieme di 429 valori di velocità massima del vento, distribuiti come elencato nella Tabella 1.

Tabella 1: Distribuzione degli intervalli a 1 minuto con velocità massima del vento inferiore a 1 m/s

Mese	N. casi	Stagione	N.casi
Giugno 2006	59	Estate	166
Luglio 2006	52		
Agosto 2006	29		
Settembre 2006	26		
Dicembre 2006	92	Inverno	263
Gennaio 2007	88		
Febbraio 2007	41		
Marzo 2007	42		

### Presenza di vento

Per rappresentare questa condizione sono stati scelti i valori di velocità massima superiori a 5 m/s (limite al di sopra del quale la legislazione italiana non accetta rilievi fonometrici) e direzioni, individuate con il criterio dell'ottante con occorrenze superiori all'80%, che fossero favorevoli alla propagazione sonora. Per identificare queste direzioni si è utilizzato il criterio della norma ISO 1996-2:2007 [8] (Allegato A) che le ricomprende in un settore angolare di 120° centrato sulla normale dalla sorgente al ricevitore (vedi Figura 9). Per la configurazione geometrica del sito IDAC queste direzioni sono risultate comprese tra 140 e 260 gradi (vedi settore in grigio in Figura 10).



Figura 9: Angolo di 120° comprendente le direzioni del vento dall'autostrada al ricevitore favorevoli alla propagazione sonora

Con questi requisiti è stato ottenuto per gli 8 mesi esaminati un insieme di 159 valori di velocità massima del vento, distribuiti come elencato nella Tabella 2.

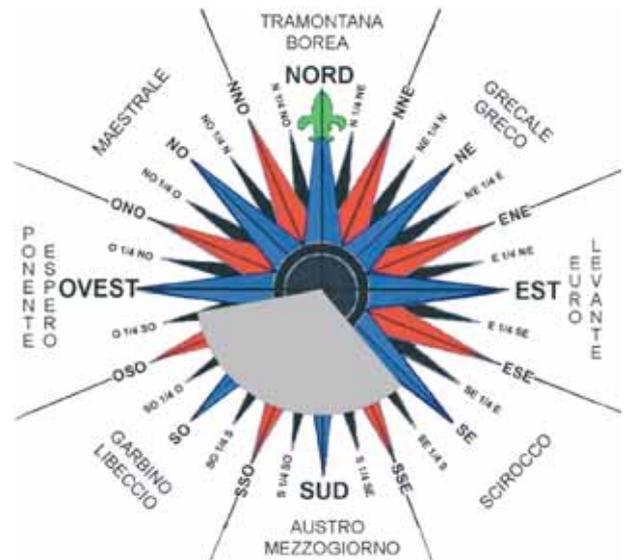


Figura 10: Direzioni favorevoli alla propagazione sonora nel sito IDAC (settor in grigio)

Tabella 2: Distribuzione degli intervalli a 1 minuto con velocità massima del vento superiore a 5 m/s e con direzioni favorevoli alla propagazione sonora

Mese	N. casi	Stagione	N.casi
Giugno 2006	18	Estate	78
Luglio 2006	27		
Agosto 2006	25		
Settembre 2006	8		
Dicembre 2006	11	Inverno	81
Gennaio 2007	28		
Febbraio 2007	19		
Marzo 2007	23		

Si è proceduto anche ad una classificazione di tali valori in classi di velocità con ampiezza di 3 m/s, così configurate:

- classe 1, da 5 a 8 m/s (102 casi);
- classe 2, da 8 a 11 m/s (36 casi);
- classe 3, da 11 a 14 m/s (13 casi);
- classe 4, maggiore di 14 m/s (8 casi).

### Dati sulla rumorosità ambientale

Ai dati di velocità massima del vento selezionati con i criteri sopra esposti sono stati associati gli spettri a bande di 1/3 di ottava (da 12,5 a 20.000 Hz) del rumore ambientale rilevato in sincronia temporale nel sito IDAC.

### RISULTATI E DISCUSSIONE

In assenza di vento è stato ottenuto lo spettro medio riportato nella Figura 11: per ogni banda di 1/3 di ottava è riportato anche l'intervallo di variabilità di ampiezza pari a  $\pm$  lo scarto tipo che presenta valori simili alle varie bande (valore medio 3,9 dB). Questa variabilità è presumibilmente

imputabile alla emissione sonora del traffico veicolare. Si osserva la predominanza delle basse e medie frequenze, con progressiva diminuzione del livello per frequenze superiori a 630 Hz. L'analisi degli spettri su base stagionale non presenta differenze significative, come illustrato nella Figura 12.

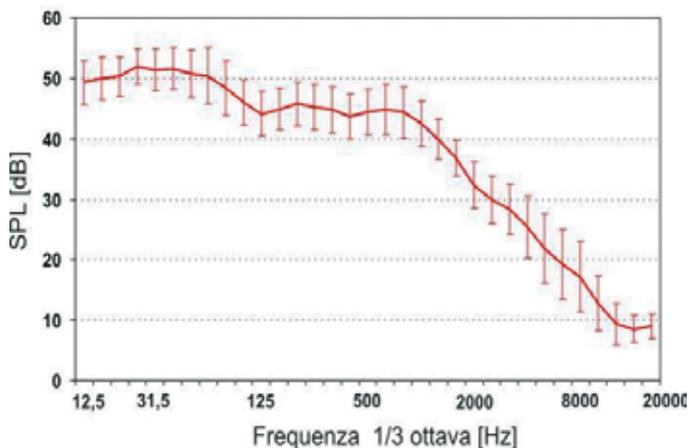


Figura 11: Spettro medio del rumore ambientale rilevato nel sito IDAC in assenza di vento

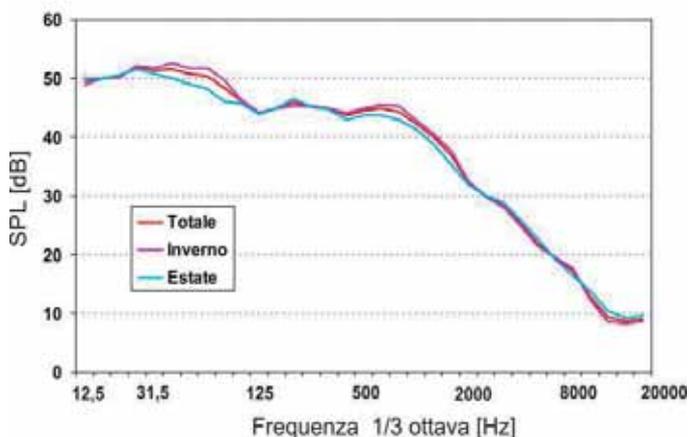


Figura 12: Spettro medio del rumore ambientale rilevato nel sito IDAC in assenza di vento e differenze stagionali

In presenza di vento la distribuzione delle velocità nelle direzioni favorevoli alla propagazione sonora è riportata nella Figura 13. Le velocità più elevate sono concentrate nei settori 150-170° e 190-220°.

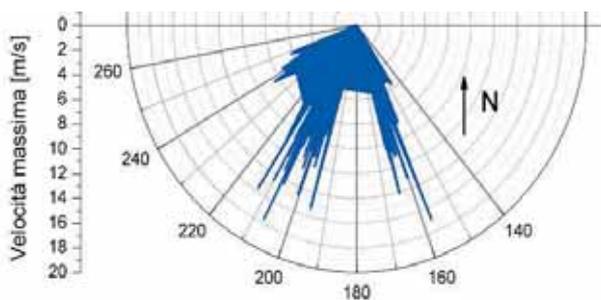


Figura 13: Distribuzione spaziale delle velocità del vento nelle condizioni favorevoli alla propagazione sonora

Il confronto dello spettro medio in assenza di vento con quello in presenza di vento favorevole alla propagazione sonora è riportato nella Figura 14. Per quest'ultimo si osservano livelli più elevati in tutte le bande, con differenze più accentuate alle basse ed alte frequenze. In particolare, considerando l'intervallo di variabilità di ampiezza pari a  $\pm$  lo scarto tipo, si rileva una distinzione più accentuata dei due spettri negli intervalli di frequenza 12,5-31,5 Hz e 10-20 kHz. Per detti intervalli si riscontra anche la variabilità più elevata per i livelli di banda. È ovvio che detta variabilità comprende sia quella prodotta dal rumore dell'autostrada che quella indotta dal vento.

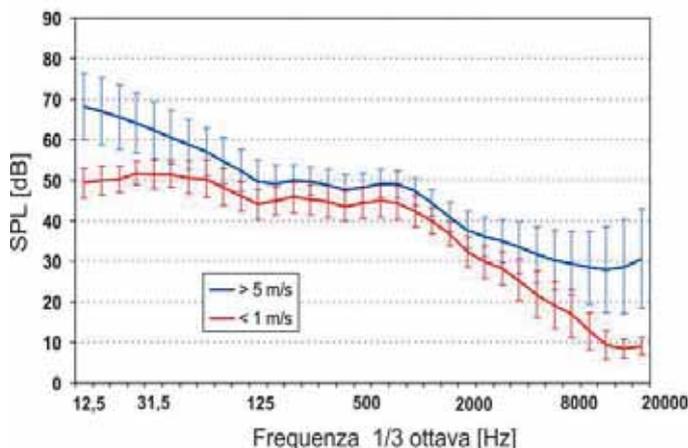


Figura 14: Confronto degli spettri medi del rumore ambientale in assenza e presenza di vento favorevole alla propagazione sonora

Anche in presenza di vento l'analisi degli spettri su base stagionale non presenta differenze significative. Diversa, invece, è la situazione esaminando gli spettri medi diversificati per le quattro classi di velocità già indicate, come evidenziato dal grafico in Figura 15. Appare evidente l'incremento dei livelli di banda all'aumentare della velocità del vento, con incremento più accentuato alle basse (< 125 Hz) e alle alte frequenze (> 2.500 Hz).

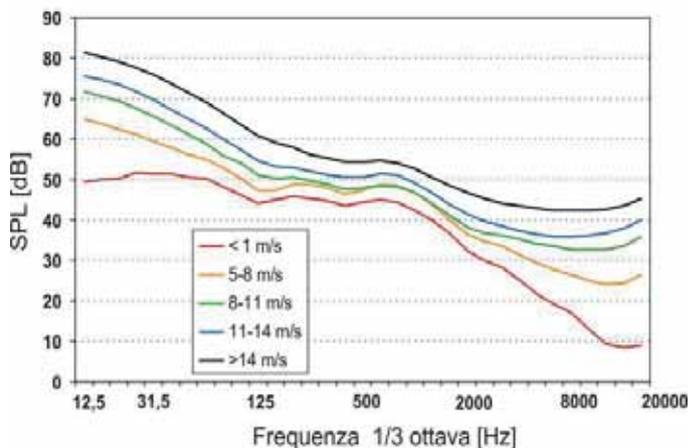


Figura 15: Confronto degli spettri medi del rumore ambientale per classi di velocità con quello in assenza di vento (linea rossa)

In termini di livello complessivo in dB(A), i dati esaminati mostrano un aumento progressivo dei valori in presenza di vento favorevole alla propagazione sonora e velocità

crescente, come illustrato in Figura 16 ove sono riportati i valori della moda dei dati sperimentali in dB(A) ottenuti per le varie classi di velocità del vento considerate.

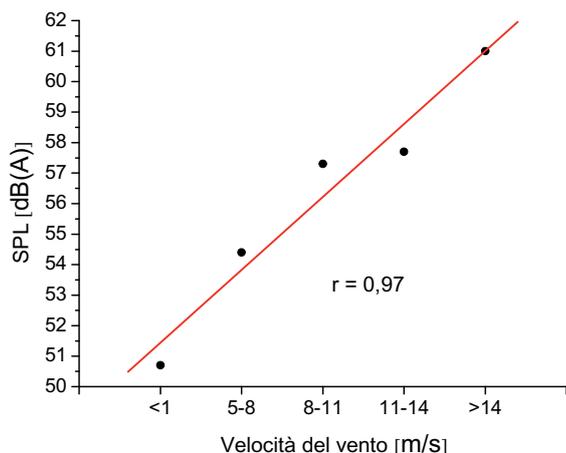


Figura 16: Andamento del livello complessivo in dB(A) per classi di velocità del vento (• valori modal, r coefficiente di correlazione)

## CONCLUSIONI

L'elaborazione dei dati anemometrici rilevati nei due siti e l'associazione con i dati della rumorosità ambientale monitorati in uno di tali siti ha evidenziato, limitatamente alle configurazioni di propagazione sonora esaminate (campo aperto pianeggiante e scarsamente edificato), i seguenti aspetti:

- la possibilità di utilizzare dati meteorologici rilevati anche a sensibile distanza dal sito di monitoraggio acustico senza eccessivo degrado dell'accuratezza;
- la determinazione della variabilità dell'immissione sonora al ricevitore in assenza di vento e, quindi, imputabile alle variazioni della emissione della sorgente acustica (traffico autostradale nel caso in esame);
- l'influenza sullo spettro del rumore ambientale prodotta dal vento con velocità superiori a 5 m/s e lungo direzioni favorevoli alla propagazione sonora dalla sorgente al ricevitore, che è risultata più accentuata alle basse (< 31,5 Hz) e alte (> 10.000 Hz) frequenze.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. D.Lgs. 19 agosto 2005 n. 194, Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale, *Gazzetta Ufficiale*, Serie generale n. 222, pp. 4-11, 23/9/2005.
2. Direttiva 2002/49/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002 relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale, *Gazzetta ufficiale delle Comunità europee*, L 189/12, 18/7/2002.
3. D. Heimann and E.M. Salomons, Testing meteorological classifications for the prediction of long-term average sound levels, *Applied Acoustics*, vol. 65(10), pp. 925-950, 2004.
4. S. Kephelopoulos, M. Paviotti, D. Knauss and M. Bérengier, Uncertainties in long-term road noise monitoring including meteorological influences, *Noise Control Eng. J.*, vol. 55(1), pp. 133-141, 2007.
5. A. Iacoponi and F. Dolinich, La determinazione dell'anno medio meteorologico nella valutazione dell'indicatore europeo  $L_{den}$ , Atti 34° Convegno AIA, paper 1C10, Firenze, 2007.
6. G. Brambilla, A. Cerniglia and P. Verardi, New potential of long term real time noise monitoring systems, Proc. EURONOISE 2006, paper 326, 2006.
7. A. Spena, C. Cornaro and S. Serafini, Outdoor ESTER test facility for advanced technologies PV modules, To be presented at 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA-USA, 2008.
8. ISO 1996-2:2007, Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise levels, 2007.