

Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente
Settore tecnico scientifico e dell'informazione
Unità organizzativa inquinamento acustico

Piazza Vittoria, 5
38100 - TRENTO

Tel. (0461) 49.77.02 Fax (0461) 23.65.74

E.Mail: APPA@PROVINCIA.TN.IT

Controllo della Rumorosità da Traffico Veicolare

La misura, gli effetti, l'analisi dei dati per l'anno
1996 e i sistemi di contenimento

A cura di:

Fabrizio Gerola
Luciano Mattevi

Ha collaborato:

Bruno Abrami

Grafici e tabelle:

Stefano Trolla

Disegni:

Massimo Armellini

Progetto grafico:

Lorenzo Nainer

Si ringraziano Mauro Masini, della società Atesina S.p.A. di Trento, Vincenzo Bertozzi, del Servizio statistica della Provincia autonoma di Trento e Mauro Neri, dell'Azienda per la promozione turistica del Trentino.

INDICE DEGLI ARGOMENTI

1. PREFERAZIONE	6
2. INTRODUZIONE	7
3. GRANDEZZE E UNITÀ DI MISURA	8
3.1 Evoluzione dei livelli sonori prodotti da alcune sorgenti urbane	10
3.2 La misura dei livelli sonori equivalenti	14
3.3 Il monitoraggio del rumore da traffico autoveicolare urbano (TAU) .	14
4. LE SORGENTI DI RUMORE NELLE CITTÀ	18
5. EFFETTI DELL'INQUINAMENTO SONORO SULL'UOMO ..	20
5.1 Esposizione a suoni e rumori in ambiente di vita	22
5.2 Impatto sulla popolazione del rumore da TAU	25
6. LA LEGGE PROVINCIALE 18 marzo 1991, n° 6	28
6.1 Il nuovo disegno di legge	29
7. LA RETE DI MONITORAGGIO	30
7.1 Obiettivi del monitoraggio	35
7.2 Impostazione della tecnica di rilevamento	36
7.3 Parametri e indici statistici rilevati	36
7.4 Rappresentazione grafica dei dati	39
8. ANALISI DEI RISULTATI	43
8.1 Analisi degli andamenti mensili	46
8.2 Analisi degli andamenti delle giornate tipo	49
8.2.1 <i>Confronto degli andamenti dei livelli orari nei giorni lavorativi</i> ..	49
8.2.2 <i>Confronto degli andamenti dei livelli orari nei giorni prefestivi</i> ...	50
8.2.3 <i>Confronto degli andamenti dei livelli orari nei giorni festivi</i> ..	51

8.3	Analisi statistica dei risultati del monitoraggio	52
8.4	Confronto tra la L.P. n° 6/91 ed il D.P.C.M. 1° marzo 1991	53
8.5	Confronto dei livelli di rumorosità con le concentrazioni di ossido di carbonio nella città di Trento	54
8.6	Conclusioni	56
9.	L'ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO	57
9.1	I programmi di controllo dell'Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente	57
9.2	I livelli sonori equivalenti e l'esperienza del silenzio	59
10.	SISTEMI DI CONTENIMENTO DEL RUMORE	63
10.1	Interventi attivi	64
10.1.1	<i>Interventi sui veicoli</i>	64
10.1.2	<i>Interventi sulla circolazione</i>	65
10.1.3	<i>Interventi sulla sede viaria</i>	67
10.2	Interventi passivi	68
10.2.1	<i>Pianificazione urbanistica</i>	68
10.2.2	<i>Tipologie edilizie</i>	71
10.2.3	<i>Barriere anti rumore</i>	73
10.3	Iniziative di prevenzione	74
11.	BIBLIOGRAFIA	77

1. Prefazione

La presente pubblicazione ha lo scopo di fornire ai cittadini un quadro informativo circa la situazione dell'inquinamento acustico prodotto dal traffico veicolare nei centri abitati di Trento e Rovereto.

Abbiamo, inoltre, ritenuto utile soffermarci su alcuni concetti fondamentali dell'acustica (grandezze, unità di misura, metodologie, definizione di rumore e gli effetti del rumore sull'uomo) allo scopo di agevolare la lettura a tutti coloro che intendono affrontare, per la prima volta, l'argomento.

Non manca, tuttavia, l'intenzione di voler fornire, attraverso le esperienze maturate e le analisi dei dati raccolti, alcuni elementi a supporto di quelle amministrazioni che sono chiamate ad affrontare problemi legati alla scelta degli interventi da attuare per il contenimento del rumore urbano.

Grazie al prezioso contributo del signor Bruno Abrami è stato possibile predisporre un documento che, nell'intenzione degli autori, vuole essere un riferimento originale nella discussione dei dati raccolti dalle stazioni di monitoraggio.

Per chi resterà deluso dal contenuto degli argomenti trattati, confidiamo che l'allegria matita del disegnatore Massimo Armellini abbia, perlomeno, reso piacevole il tempo trascorso in nostra compagnia.

Ringraziamo infine il nostro responsabile, Paolo Simonetti, per aver incoraggiato la realizzazione del presente lavoro.

2. Introduzione

Il problema dell'inquinamento da rumore nell'ambiente di vita negli ultimi anni sta interessando aree urbane sempre più vaste e porzioni di popolazione sempre maggiori a causa non solo dello sviluppo industriale, ma anche, e soprattutto, di una costante diffusione dei mezzi di trasporto terrestre e aereo. I suoi effetti lesivi, disturbanti o semplicemente fastidiosi, costituiscono ormai un elemento di grande rilievo nel definire le condizioni dello stato di qualità dell'ambiente in cui viviamo.

Preme evidenziare come il problema dell'inquinamento acustico sia stato spesso affrontato superficialmente, malgrado in Europa circa 130 milioni di individui siano esposti a livelli di rumore considerati inaccettabili, con il risultato che l'85% di costoro ne riceve danni non trascurabili e molteplici. Le principali cause di questo fenomeno sono, come già accennato, da imputare al notevole incremento dei veicoli di superficie, che nell'ultimo ventennio si sono circa triplicati. Pertanto, se non verranno adottate idonee prescrizioni per l'abbattimento del rumore prodotto dai veicoli a motore, in futuro dovremmo assistere a un inevitabile ulteriore peggioramento della situazione. Per far fronte in via urgente a questa crescente situazione di degrado ambientale, in Italia è entrato in vigore il D.P.C.M. 1° marzo 1991 che prescrive i "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno", seguito dall'emanazione di linee guida e regolamenti locali con il compito di definire i criteri per il contenimento del rumore e la pianificazione acustica del territorio. Nello stesso contesto si inserisce la L.P. n° 6 del 18 marzo 1991, con il relativo regolamento di esecuzione, che riguarda la tutela dell'ambiente e la salvaguardia della salute pubblica da alterazioni conseguenti all'inquinamento acustico prodotto dalle attività antropiche, disciplinandone l'esercizio al fine di contenerne la rumorosità entro i limiti di accettabilità stabiliti.

In adempimento a quanto previsto dall'articolo 21, comma 3, della menzionata legge provinciale, è stata realizzata una rete di monitoraggio permanente composta da due stazioni di rilevamento, una collocata nel centro urbano di Trento, l'altra in quello di Rovereto, le due città più importanti della provincia, per numero di abitanti e volumi di traffico.

Restando in tema di disposizioni normative attinenti le finalità di cui sopra, sono degni di menzione il "Nuovo codice della strada" ed il relativo

regolamento, approvati rispettivamente con il D.Lgs. 30 aprile 1992, n° 285 e il D.P.R. 16 dicembre 1992, n°495. In particolare, gli articoli 227 del Codice e 404 del regolamento prevedono, oltre all'installazione di dispositivi per il rilevamento dell'inquinamento acustico lungo le strade, analogamente a quanto disposto dalla legge provinciale, la comunicazione mensile dei dati all'archivio nazionale delle strade presso il Ministero dei lavori pubblici e il Ministero dell'ambiente.

3. Grandezze e unità di misura

Il fenomeno acustico consiste in una perturbazione della pressione atmosferica di carattere oscillatorio che si propaga attraverso un mezzo elastico (gas, liquido o solido). Tali perturbazioni possono venir generate da vibrazioni meccaniche e/o turbolenze aereodinamiche. Le oscillazioni sono caratterizzate oltre che dalla loro ampiezza anche dalla loro rapidità o frequenza. Solo un campo definito di ampiezze e frequenze può diventare ciò che sperimentiamo come suono. Possiamo pertanto dire che una sorgente sonora è qualcosa che attraverso le vibrazioni meccaniche o la turbolenza dell'aria genera dell'energia acustica nel campo di frequenze e ampiezze udibili.

Una pressione sonora troppo elevata può causare danni all'udito, a livelli più moderati può essere sperimentata come suono o come rumore.

Per poter quantificare il tipo di risposta umana all'energia sonora in termini di sonorità, di disturbo e di rischio occorre misurare la pressione sonora; questa è di per sé relativamente facile da misurare: le variazioni di pressione sul timpano, che vengono percepite come suono, sono le stesse variazioni che agiscono sul diaframma del microfono di un fonometro (strumento impiegato per le misure dei livelli sonori) permettendone la misura. L'orecchio umano è un organo sensibile a variazioni di pressione sonora comprese fra i 0,00002 Pa (20 μ Pa) e 100 Pa in una gamma di frequenze che va dai 20 Hz fino ai 20.000 Hz. La sensazione uditiva in un soggetto normoudente non è legata a una variazione lineare della pressione sonora, bensì da una relazione di tipo logaritmico; per tale motivo le grandezze acustiche vengono espresse in deciBel (dB). *Il deciBel non è un'unità di misura, ma un'unità di relazione logaritmica.* Più precisamente, il livello

della pressione sonora, espresso in deciBel (dB), è uguale a 10 volte il logaritmo in base dieci del rapporto tra il valore della pressione misurato e il valore di riferimento. Il valore di riferimento, pari a $20 \mu\text{Pa}$, corrisponde al valore della pressione sonora minimo, percepibile da un individuo normudente alla frequenza di 1000 Hz, ovvero 0 dB.

Tuttavia come abbiamo già accennato non è sufficiente considerare il livello della pressione sonora, in quanto il nostro apparato uditivo presenta una diversa sensibilità ai suoni caratterizzati da una diversa composizione in frequenza; ossia ha una sensibilità maggiore alle alte frequenze e una minore alle basse frequenze. Nella tecnica fonometrica si usa perciò un filtro che simula tale risposta. Tale filtro viene indicato come curva di ponderazione "A".

La curva di ponderazione "A" è stata ottenuta a seguito di alcune indagini condotte su differenti gruppi di popolazione, distinti per età e sesso, che hanno portato all'individuazione delle "proprietà medie" dell'orecchio; in particolare, la curva "A" approssima l'inverso della isofonica a 40 phon (il phon è l'unità di misura del livello di intensità soggettiva del suono). Nella Fig. 3.1 viene riportata la famiglia di curve isofoniche normalizzate dalla ISO 226; tale famiglia di curve isofoniche si scostano alquanto dalla stessa famiglia prodotta a suo tempo da Robinson e Dadson, ma rappresentano attualmente lo standard più comunemente impiegato.

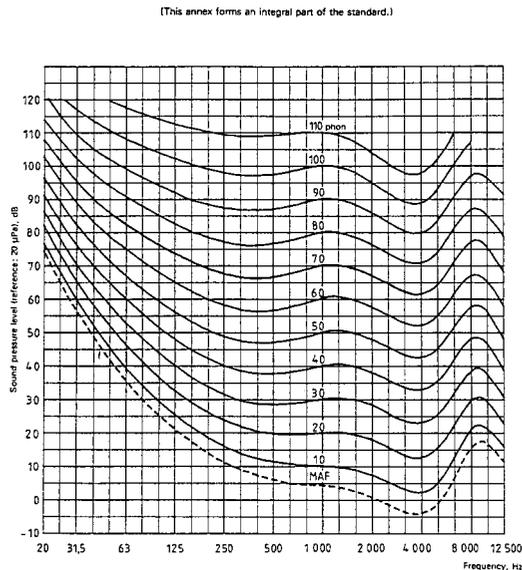


Fig. 3.1 - Curve isofoniche normalizzate dalla ISO 226

Per simulare la velocità di risposta del nostro udito viene usato un processo di media temporale indicato come costante di tempo “Fast”. Misure eseguite con la curva di ponderazione “A” e costante di tempo “Fast” (L_{AF}) consentono di riprodurre con buona approssimazione l’esperienza sonora dei ricettori (coloro che sperimentano i suoni o i rumori).

Per poter ricavare l’energia sonora complessivamente assorbita e quindi poter determinare il potenziale nocivo o disturbante di un ambiente sonoro, occorre considerare nella misura sia il livello sonoro che la durata della esposizione. Viene perciò usato l’algoritmo del livello continuo equivalente di rumore ponderato secondo la curva “A” ($L_{Aeq,T}$), definito dalle seguente relazione (1):

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right]$$

(1) Livello continuo equivalente

dove ($t_2 - t_1$) è l’intervallo di tempo di misura, $p_A(t)$ è la pressione sonora istantanea ponderata secondo la curva “A” e p_0 è la pressione sonora di riferimento pari a 20 μ Pascal.

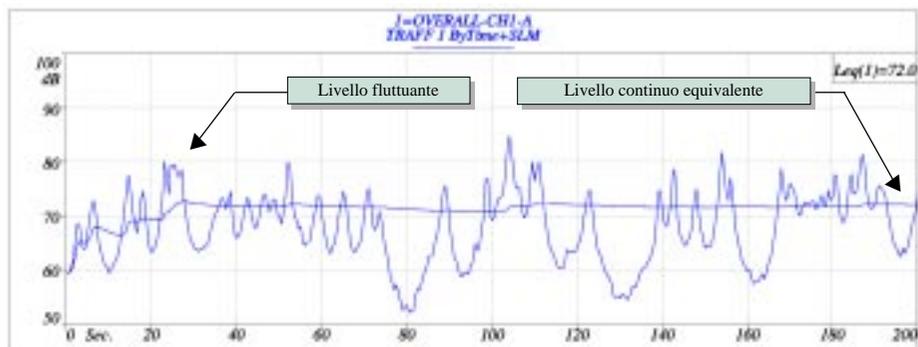


Fig. 3.2 - Livello continuo equivalente

3.1 Evoluzione dei livelli sonori prodotti da alcune sorgenti urbane

Nei diagrammi delle figure di seguito riportate viene dimostrata l’evolu-

zione dei livelli sonori (L_{AF}), ovvero di misure eseguite con la curva di ponderazione "A" e la risposta temporale "Fast". Tali diagrammi si riferiscono al transito di alcuni tipi di veicoli che comunemente vediamo circolare sulle strade delle nostre città. La misura così ottenuta consente di ricostruire con buona fedeltà l'esperienza uditiva.

Nel leggere tali diagrammi dobbiamo tenere conto del fatto che 1.0 dB(A)F corrisponde alla minima fluttuazione dei livelli sonori avvertibile come fluttuazione della sonorità, e che un incremento di 10 dB(A)F corrisponde a un raddoppio della sensazione sonora; rispettivamente un decremento di 10 dB(A)F corrisponde ad un dimezzamento della sensazione sonora.

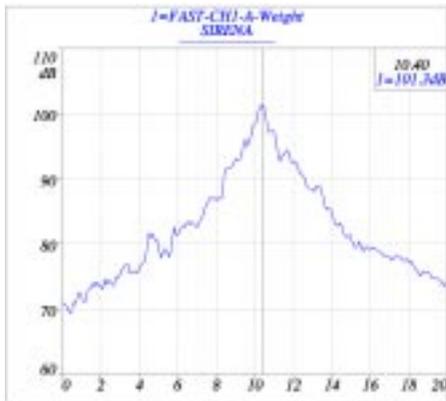


Fig. 3.3 - Profilo sono del passaggio di una sirena

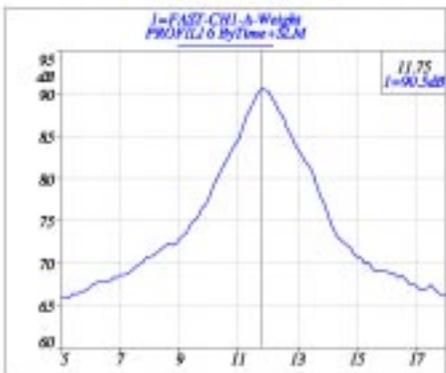


Fig. 3.4 - Profilo sonoro del passaggio di un autobus

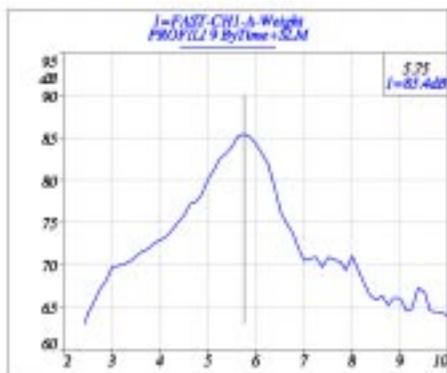


Fig. 3.5 - Profilo sonoro del transito di un motocarro (tipo APE)

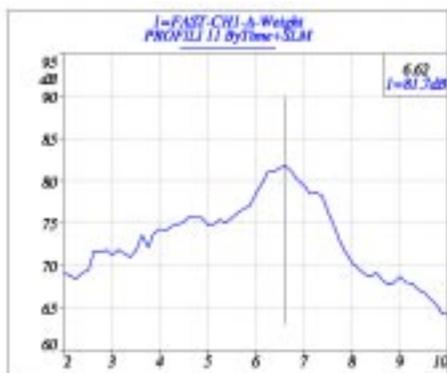


Fig. 3.6 - Profilo sonoro del transito di un motociclo

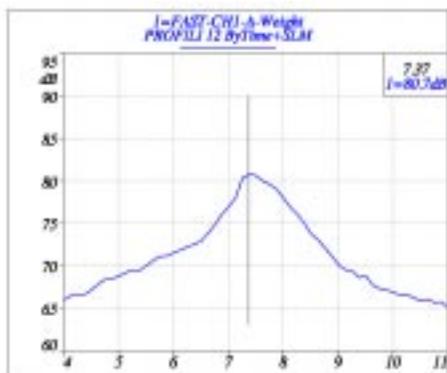


Fig. 3.7 - Profilo sonoro del transito di un pollicino elettrico

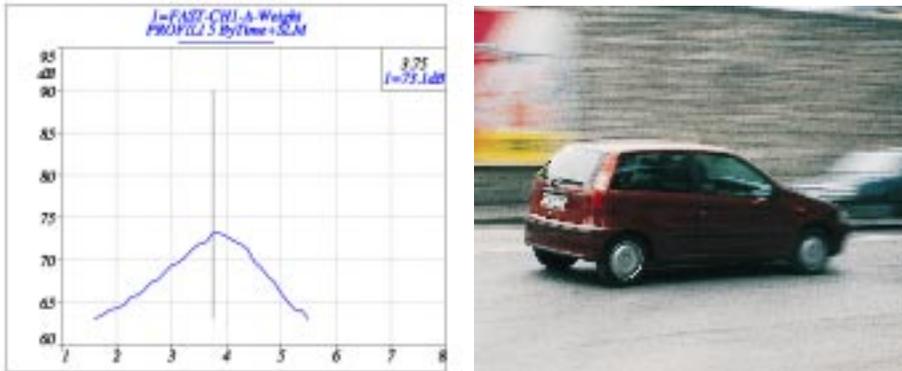


Fig. 3.8 - Profilo sonoro del transito di un'automobile

Considerando, quindi, che i livelli indicati nei diagrammi corrispondono a un effettivo sviluppo della nostra esperienza sonora nella misura indicata nelle righe precedenti, ne consegue che le misure eseguite con l'uso del dB(A) "Fast" consentono di riconoscere, con buona approssimazione, dall'evoluzione temporale della misura, la natura della sorgente. Tale affermazione trova il suo limite nelle sorgenti a carattere temporale stazionario-continuo (es. impianto di aspirazione) e stazionario-fluttuante (es. il parlato dell'audio televisivo e l'impianto di condizionamento). Trova invece il massimo della accuratezza nella dimostrazione di sorgenti mobili ad alto contenuto di energia sonora. Quest'ultimo aspetto risulta particolarmente importante, soprattutto quando dobbiamo depurare dal $L_{Aeq,T}$ il contributo di singole sorgenti sonore non pertinenti con il fenomeno analizzato; ad esempio, nel caso specifico del rumore da TAU, è possibile eliminare il contributo di sorvoli aerei, sirene, lavori stradali, manutenzione impianti pubblici ed altro (vedi Fig. 3.9).

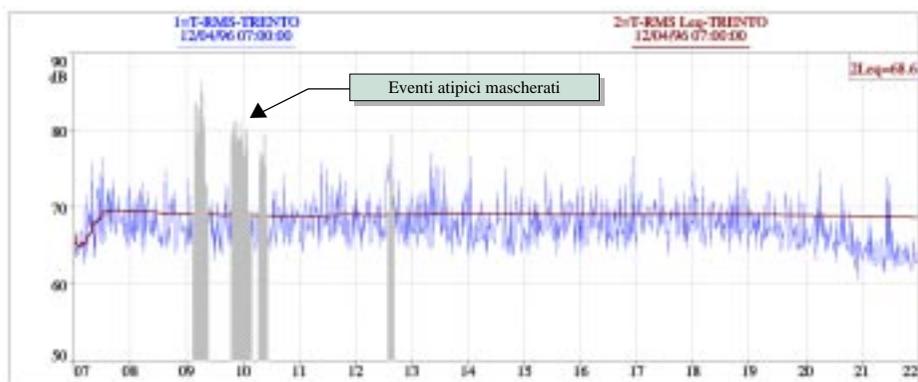


Fig. 3.9 - Eliminazione nel periodo diurno del contributo di eventi non pertinenti con il rumore da TAU. Il valore del $L_{Aeq,7-22}$ prima della depurazione era di 70.6 dB(A), dopo la depurazione è risultato pari a 68.6 dB(A)

3.2 La misura dei livelli sonori equivalenti

Per una sorgente a carattere temporale stazionario-continuo il risultato della misura in LAF darà lo stesso risultato della misura in $L_{Aeq,T}$, diversamente per una sorgente a carattere stazionario-fluttuante o stazionario-periodico il risultato della misura in L_{AF} presenterà una serie di valori diversi, rendendo difficile il confronto fra sorgenti diverse; motivo per cui per ottenere un unico valore si ricorre alla misura in $L_{Aeq,T}$ (Fig. 3.2).

Affinché il valore di $L_{Aeq,T}$ sia utilizzabile per confronti fra vari tipi di sorgenti o, su una stessa sorgente, serva per dimostrare la variazione di sonorità (es. dopo intervento di bonifica), diventa importante la scelta del tempo di misura (T).

Il tempo di misura deve comprendere tutte le variazioni possibili dei livelli sonori. Se la sorgente ha carattere stazionario-aleatorio (traffico autoveicolare urbano) il tempo di misura deve essere, perlomeno, uguale al ciclo urbano sulle 24 ore.

3.3 Il monitoraggio del rumore da traffico autoveicolare urbano (TAU)

Viene definito monitoraggio un metodo di misura che, basandosi su tempi

di rilevamento molto lunghi, consente di avere una visione complessiva dell'energia sonora presente nel luogo indagato.

Le misure di monitoraggio del rumore da TAU hanno lo scopo di fornire dei valori di riferimento per controllare nel tempo la bontà del complesso delle azioni di bonifica rivolte a questo tipo di sorgente.

Per comprendere l'entità delle variazioni di $L_{Aeq,T}$ da TAU che realisticamente ci possiamo aspettare dobbiamo considerare i seguenti fattori:

1. eventuali variazioni importanti dei flussi di TAU (es. giornata lavorativa e festiva) portano delle variazioni di $L_{Aeq07-22}$ (livello sonoro equivalente misurato dalle ore 07.00 alle ore 22.00) dell'ordine dei 2.0 - 3.0 dB(A);
2. il progressivo abbassamento del limite massimo di rumorosità ammesso per gli autoveicoli dalle norme di omologazione CEE produrrà un abbattimento del rumore prodotto dal parco veicoli effettivamente circolante di 2.0 dB(A)/decennio;
3. l'unico provvedimento capace di produrre variazioni di L_{Aeq} diurno, dell'ordine dei 3.0 - 9.0 dB(A) consiste, in alcuni casi, nella eliminazione dei mezzi pesanti e dei mezzi pubblici obsoleti.

Di fronte a variazioni di questo ordine di grandezza, nell'impostare la tecnica di monitoraggio bisogna rispondere alla domanda: in quale misura possiamo prendere come riferimento i risultati delle misure di monitoraggio? La risposta a tale domanda sta nella scelta dei tempi di misura. Ad esempio un approccio di misura basato su di un tempo limitato (15-60 minuti) che fornisca un giorno 70 dB(A) e il giorno successivo, a condizioni di traffico complessivamente invariate, 65 dB(A) non può essere considerato un metodo affidabile in quanto, come abbiamo già premesso, l'affidabilità del risultato dipende, in prima analisi, dal tempo di misura.

Chiamiamo indipendenza statistica la capacità di un metodo di misura di fornire risultati proiettabili nel tempo, ovvero ripetibili in tempi diversi, a condizioni generali invariate.

Prima di definire cosa sia una misura statisticamente indipendente dobbiamo considerare l'entità dell'errore di precisione, ovvero di quella variazione dei risultati delle misure dovuta, non tanto alla variabilità delle sor-

genti, quanto alla instabilità intrinseca dello strumento di misura stesso. Per un misuratore di livello sonoro classe 1 (I.E.C. 651 e 804) tale errore di precisione è pari a ± 0.3 dB. Misure statisticamente dipendenti, a causa di una scelta inopportuna del tempo di misura, dimostreranno variazioni maggiori di ± 0.3 dB.

A tal proposito, dalle Tab. 3.1 e Tab. 3.2, si può osservare come misure di 15 minuti o di un'ora, eseguite nel medesimo arco temporale ma in giornate diverse, siano di fatto inaffidabili, specie se riferite al periodo notturno, a causa dell'ampia oscillazione fra i valori minimi e massimi.

Misure eseguite con un tempo di misura uguale al periodo diurno (7.00 - 22.00) evidenziano uno scarto di 0,4 dB(A) (prossimo all'errore di precisione), mentre quelle eseguite con un tempo di misura uguale al periodo notturno (22.00-7.00) dimostrano uno scarto pari a 1,7 dB(A). Si può quindi osservare che, per il carattere del rumore da TAU notturno, le otto ore del periodo notturno non sono un tempo di misura sufficiente a fornire un dato statisticamente indipendente. È interessante a tal scopo confrontare i valori medi settimanali dei L_{Aeq} notturni dai quali si osserva uno scarto di 0,4 dB(A) (vedi Tab. 3.3).

Giorni	$L_{Aeq,10.00-10.15}$	$L_{Aeq,10.00-11.00}$	$L_{Aeq,07.00-22.00}$
Lunedì	71,0	69,9	69,2
Martedì	69,5	68,9	69,1
Mercoledì	71,7	69,9	69,1
Giovedì	70,9	69,3	69,2
Venerdì	70,5	69,7	69,5
Lmax-Lmin	2,2	1	0,4

Tab. 3.1 - Livelli diurni rilevati dalla stazione di monitoraggio di Rovereto nel periodo 4-8 marzo 1996

Giorni	$L_{Aeq,03.00-03.15}$	$L_{Aeq,03.00-04.00}$	$L_{Aeq,22.00-07.00}$
Lunedì	54,6	56,8	62
Martedì	46	50	62
Mercoledì	51,1	51,5	61
Giovedì	54,9	56,2	62
Venerdì	47,3	50,2	62,7
Lmax-Lmin	8,9	6,8	1,7

Tab. 3.2 - Livelli notturni rilevati dalla stazione di monitoraggio di Rovereto nel periodo 4-8 marzo 1996

Settimana	$L_{Aeq,7.00-22.00}$	$L_{Aeq,22.00-7.00}$
1^	69,2	62
2^	69,3	62,2
3^	69,3	62,4
4^	69,5	62,2
Lmax-Lmin	0,3	0,4

Tab. 3.3 - Livelli diurni e notturni settimanali rilevati nel mese di marzo 1996 a Rovereto

Va inoltre considerato che, come da riferimenti della letteratura del settore, la dipendenza statistica delle misure aumenta al diminuire dei livelli sonori. Questa instabilità dei risultati delle misure è dovuta al transito occasionale di sorgenti ad alto contenuto di energia sonora del tipo moto di grossa cilindrata, sirene di ambulanze, polizia, carabinieri e pompieri. Per migliorare la qualità statistica dei risultati sarà necessario riconoscere ed eliminare questi eventi, dal risultato della misura, in sede di post-elaborazione.

Al riguardo merita qui essere ricordato lo studio sull'influenza del tempo di misura da TAU e sull'indipendenza statistica delle misure, condotto nell'anno 1992-1993 da G.Brambilla e L.Cipelletti.

Riteniamo a questo punto importante evidenziare il fatto che, anche nei casi in cui è necessario valutare l'inquinamento da rumore prodotto da sorgenti sonore fisse situate in prossimità di vie di traffico, è importante garantire l'indipendenza statistica della misura. La valutazione dell'inquinamento da rumore prodotto da sorgenti sonore fisse richiede, infatti, la definizione dell'incremento di LAeq prodotto dalla sorgente disturbante, ovvero la differenza fra il rumore ambientale (prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e da quello prodotto dalle specifiche sorgenti disturbanti) e il rumore residuo (quello senza le specifiche sorgenti disturbanti).

Risulta evidente che i livelli di rumorosità da traffico veicolare giocano un ruolo importante nello stabilire l'effettivo contributo delle sorgenti specifiche di disturbo; essendo la componente traffico presente sia nel rumore ambientale che in quello residuo; pertanto eventuali sue variazioni, anche nell'ordine di qualche dB(A), possono erroneamente essere attribuite alla sorgente sonora.

La soluzione a questo complesso problema non è semplice, sia perché nel corso degli accertamenti non è possibile condurre misure di lunga durata

(qualche giorno), sia perché misure di lunga durata non sono in grado di garantire la presenza costante del tecnico preposto alla verifica.

Al riguardo crediamo che una soluzione al problema possa essere l'eliminazione degli eventi da traffico veicolare particolarmente intensi, sia nel rumore ambientale sia in quello residuo, stabilendo di volta in volta il metodo più idoneo (es. analisi statistica, depurazione manuale dei singoli transiti di veicoli, ecc.).

4. Le sorgenti di rumore nelle città

Negli ultimi decenni il disturbo causato dal rumore nelle aree urbane è gradualmente aumentato. Sinteticamente si può dire che tale fenomeno si è manifestato in due fasi; nella prima fase è stato rilevato un incremento dei livelli di rumorosità, nella seconda si è, invece, assistito a una estensione delle aree "inquinata" a fronte di una sempre maggiore espansione edilizia.

Il rumore urbano è il risultato del contributo di molteplici sorgenti che possono essere così distinte:

1. traffico veicolare;
2. traffico aereo;
3. traffico ferroviario;
4. attività artigianali;
5. attività industriali;
6. attività commerciali;
7. attività temporanee (cantieri, concerti, ecc.);
8. attività ricreative.

Come già sottolineato, il tipo di rumore che coinvolge la maggior parte della popolazione europea è il rumore da traffico autoveicolare urbano. Il rumore da TAU è causato da *veicoli pesanti* (camion, autotreni, autobus e in generale veicoli con peso complessivo superiore a 35 quintali), *veicoli leggeri* (automobili, furgoni e in generale veicoli con peso complessivo inferiore a 35 quintali) e *motocicli*.



La rumorosità prodotta dai veicoli ha origine da diverse componenti, in particolare: *motore*, *resistenza dell'aria*, *rotolamento dei pneumatici*, *motorizzazioni accessorie* (impianto di condizionamento, ventola del radiatore, ecc.), nonché *l'azionamento dei freni*.

Il *motore* è sede di compressioni, scoppi e decompressioni che producono una quantità di rumore in funzione diretta del numero di giri.

Il *rotolamento dei pneumatici* sull'asfalto è fonte di rumore a seguito dell'intrappolamento e successivo rilascio di aria dalle cavità, nonché di vibrazioni sulla carrozzeria.

Il rumore derivante dalla *resistenza dell'aria* si rileva in genere solo a velocità superiore a 200 Km/h, quindi in un campo estraneo al normale flusso del traffico stradale urbano.

Infine *l'azione dei freni* che si manifesta attraverso lo sfregamento fra ferodo e disco; se la pressione fra i due elementi è elevata si può provocare il trascinarsi del pneumatico sull'asfalto; l'azione combinata dei due fenomeni è causa di elevati livelli di rumorosità.

Il rumore prodotto dal motore degli autoveicoli risulta, alle basse velocità,

superiore a quello prodotto dal rotolamento dei pneumatici sull'asfalto. Mano a mano che la velocità cresce la rumorosità di rotolamento si fa più intensa fino a prevalere su quella prodotta dal motore. Diversamente, per quanto riguarda i mezzi pesanti, la componente motore predomina sempre sulla componente pneumatici.

Va inoltre considerato quel particolare aspetto del rumore urbano costituito dal suono delle sirene che informano dell'attività di vari servizi di pubblica utilità (ambulanze, polizia, carabinieri e pompieri). I livelli sonori generati dal transito di una sirena sono sempre dell'ordine dei 100/106 dB(A)_{Fmax} e hanno quindi il potere di alterare significativamente e in maniera casuale il valore di $L_{Aeq,T}$. Per questo motivo andrebbero sempre eliminati, in fase di post-elaborazione, dal risultato di $L_{Aeq,T}$. Abbiamo detto andrebbero perché nella nostra esperienza, orientativamente, sono ininfluenti per $L_{Aeq,T}$ dell'ordine dei 70 dB(A) o più e diventano influenti per valori inferiori.

In generale, con l'eliminazione dalla misura degli eventi casuali ad alto contenuto energetico, si osserva una stretta relazione tra il valore di livello equivalente rilevato ed il numero di veicoli (pesanti e leggeri) transitanti lungo un tratto stradale.

5. Effetti dell'inquinamento sonoro sull'uomo

L'inquinamento sonoro è un fenomeno che coinvolge tanto gli ambienti di lavoro che gli ambienti di vita. All'interno degli ambienti di lavoro si colloca la problematica del rischio di perdita della facoltà uditiva in quanto vi si trovano condizioni di esposizione a valori superiori agli 80 dB(A) quotidiani per decine di anni. Per i livelli di rumore riscontrabili nell'ambiente di vita non vi è evidenza epidemiologica di un rischio analogo; si osservano però degli altri effetti, che nel complesso minacciano la salute e che andiamo ora ad esaminare.

L'insieme delle sorgenti che nell'ambiente di vita producono energia sonora costituiscono quello che con felice intuizione R.M. Schafer chiamò "il panorama sonoro", indicandolo come elemento costituente dell'ambiente umano. All'interno di questo panorama sonoro troviamo suoni che per la

popolazione costituiscono l'identità sonora del loro ambiente e suoni non graditi che alterano tale identità sonora.

Vengono indicati come rumori quei suoni che degradano l'identità sonora dell'ambiente. I rumori producono nelle popolazioni esposte degli effetti che nel loro complesso, deteriorano, la qualità della vita. Questi effetti sono di carattere extrauditivo o di alterazione dei comportamenti.



Se i soggetti esposti a rumore non possono o non riescono a sottrarsi al fattore inquinante, il prolungarsi dell'esposizione dà luogo a quelli che vengono indicati come effetti extrauditivi, i quali possono avere come risultato ultimo ripercussioni negative sulla salute.

Gli *effetti extrauditivi* sono contraddistinti da conseguenze di ordine psicosomatico quali problemi al sistema cardiovascolare, all'apparato digerente, a quello respiratorio nonché visivo e riproduttivo. Tali effetti si originano in sede cocleare, là dove fluisce l'eccitazione nervosa che è di-

rettamente e indirettamente connessa con il sistema nervoso. Il rumore quindi interagisce con numerosi organi ed apparati attraverso una complessa azione sui sistemi neuro-regolatori.

Gli *effetti di alterazione dei comportamenti o annoyance* sono riconducibili all'alterazione del panorama sonoro. L'alterazione del panorama sonoro provoca sensazioni di scontentezza verso il rumore, vissuto come il responsabile di difficoltà o lentezza nell'addormentamento, risveglio durante il sonno, risveglio precoce, influenza sulle relazioni umane come interferenza alla comprensione della parola, difficoltà di concentrazione e quindi riduzione dell'efficienza sul rendimento lavorativo e sulla capacità di apprendimento. I soggetti esposti a rumore e impossibilitati a sottrarsi a tale esposizione intraprendono delle azioni per liberarsi di questa condizione che sentono sgradita e pericolosa per la loro salute. Tali azioni possono essere:

- invitare il responsabile della sorgente a desistere dall'attività rumorosa;
- adottare serramenti antirumore;
- cambiare destinazione d'uso dei locali dell'appartamento;
- cambiare abitazione o studio;
- cercare protezione dalle autorità competenti;
- organizzarsi in comitati antirumore;
- organizzare vigorose manifestazioni di protesta.

5.1 Esposizione a suoni e rumori in ambiente di vita

In ogni momento della giornata lavorativa e non lavorativa siamo immersi in un universo di suoni e rumori originati da attività umane e naturali. Suoni e rumori ci trasmettono informazioni utili, senza le quali difficilmente potremmo vivere.

La semplice misura di livelli sonori non ci fornisce informazioni sulla presenza di rumori. A dimostrazione di quanto affermato abbiamo misurato l'esposizione ai livelli sonori in una giornata trascorsa in ufficio ed una trascorsa prevalentemente a casa (domenica di Pasqua).

A tale scopo abbiamo utilizzato un analizzatore statistico che, grazie alle sue ridotte dimensioni, è stato infilato nella tasca interna della giacca, indossata da uno degli autori durante una giornata in ufficio, lasciando spor-

gere il microfono dalla camicia all'altezza del petto.

Nel diagramma di Fig. 5.1, di seguito riportato, è rappresentata la storia dei livelli equivalenti, misurati minuto per minuto, dalle ore 8.00 alle ore 16.15, orario d'ufficio. Il valore del livello equivalente misurato nell'intera giornata è risultato pari a 69,5 dB(A).

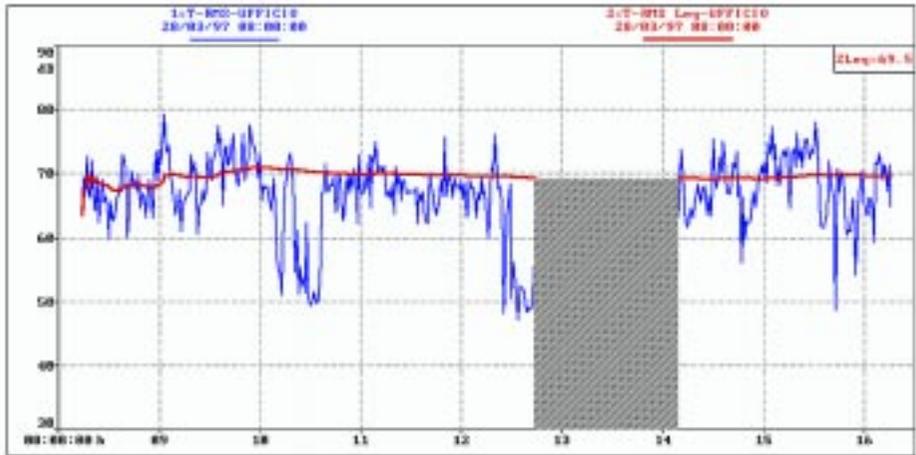


Fig. 5.1 - Livello equivalente rilevato in una giornata lavorativa trascorsa in ufficio ($L_{Aeq} = 69,5$ dB)

L'andamento dei livelli è essenzialmente controllato dal dialogo intercorso fra gli autori, durante una fase di revisione del presente documento, davanti al PC. Al fine di considerare il solo periodo lavorativo si è provveduto, nella fase di post-elaborazione dati, a mascherare la rumorosità rilevata nella pausa del pranzo.

Tale clima sonoro non si può considerare rumore ma, in questo caso, comunicazione. Il fatto che un'attività socialmente utile produca valori di $L_{Aeq,T}$ dell'ordine dei 70 dB(A) sta a dimostrare quanto precedentemente esposto. Avendo riscontrato un livello, per certi versi, inatteso (si consideri che non è stato fatto uso di attrezzature rumorose quali stampanti ad aghi, ecc.), si è ritenuto di dover estendere tale esperienza anche a una giornata festiva trascorsa a casa.

Nella Fig. 5.2 è riportata la storia temporale dei livelli equivalenti rilevati impostando lo strumento in modo analogo a quanto fatto nella giornata in ufficio.

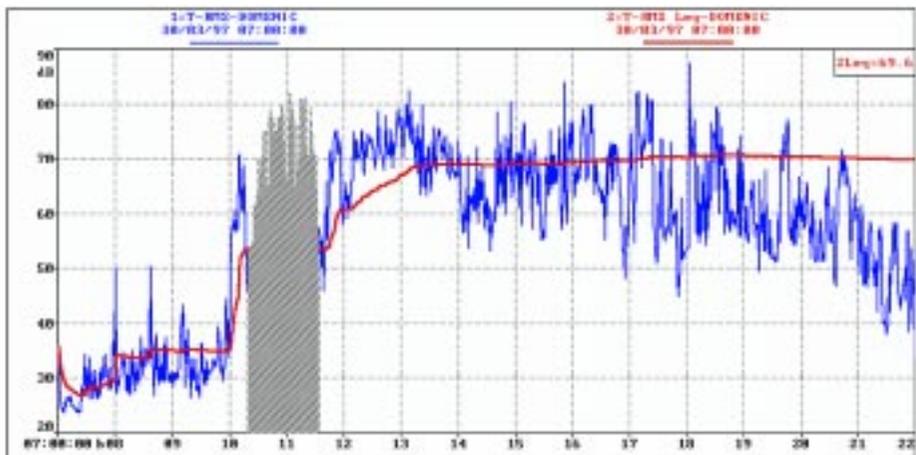


Fig. 5.2 - Livello equivalente rilevato in una giornata trascorsa a casa ($L_{Aeq} = 69,6$ dB)

In particolare, la giornata considerata è stata quella di Pasqua, trascorsa prevalentemente a casa. È evidente, dalla storia dei livelli sonori sopra riportata, che il soggetto dell'indagine si è svegliato alle ore 10.00, successivamente ha partecipato alla S. Messa (dalle ore 10.30 alle ore 11.30) al termine della quale si è recato a casa dei famigliari per il pranzo (12.15 - 14.00). Nel pomeriggio, a conclusione di un periodo di relax trascorso in compagnia dei propri cari, ha assistito al G.P. di F.1 del Brasile trasmesso in TV. La serata, dopo cena, è terminata lavorando davanti al PC in compagnia di un sottofondo musicale.

Si fa notare come, durante la S. Messa, la vicinanza del coro abbia causato livelli di rumorosità elevati, pertanto si è ritenuto opportuno mascherare il contributo dell'intero periodo (10:30 - 11:30) ritenendolo non rappresentativo di una situazione "normale".

Al termine della giornata il valore del livello equivalente complessivo è risultato quindi pari a 69,6 dB(A).

Vediamo come, anche in questo caso, un'esposizione a livelli sonori dell'ordine di 70 dB(A) non è in alcun modo da considerare esposizione al rumore, ovvero *i soli valori di L_{Aeq} da esposizione a sorgenti sonore non sono sempre rappresentativi di condizioni di disturbo; è infatti importante stabilire una dipendenza tra i livelli sonori e la natura delle sorgenti che li generano, integrando le valutazioni con considerazioni di tipo qualitativo oltre che quantitativo.*

Al riguardo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) definisce il rumore come “suono non gradito”. Si noti nella definizione l'assenza di ogni concetto legato al livello sonoro assoluto, il quale sancirebbe il passaggio da suono a rumore.

Le condizioni perché possa sussistere un problema di esposizione al rumore sono dunque la percettibilità di un suono, il giudizio che se ne fa il soggetto percettore e la reazione che tale suono provoca.

5.2 Impatto sulla popolazione del rumore da TAU

Individuare limiti specifici per tipologia di sorgente sonora (es. traffico veicolare, aereo e ferroviario, sorgenti fisse, ecc.) significa riferire tali limiti a indagini sulle reazioni delle comunità.

Le indagini socioacustiche producono dei risultati che esprimono, di regola, la percentuale dei fortemente disturbati (%FD) per un dato $L_{Aeq,T}$ controllato da un specifico tipo di sorgente.

Dall'analisi della letteratura internazionale sull'argomento risulta con evidenza il fatto che a parità di $L_{Aeq,T}$ si trovano %FD molto diverse a seconda della natura della sorgente che controlla il valore di $L_{Aeq,T}$. Se consideriamo %FD decrescenti a parità di $L_{Aeq,T}$ troviamo la seguente gerarchia nel potenziale disturbante delle sorgenti:

- sorgenti fisse impulsive;
- sorgenti fisse non impulsive;
- traffico aeromobile;
- traffico autostradale;
- traffico autoveicolare urbano;
- traffico ferroviario e tranviario.

Da quanto analizzato nel presente paragrafo risulta con evidenza un fatto: la presenza di un certo valore del livello sonoro (come L_{AF} o $L_{Aeq,T}$) non dimostra di per sé la presenza di rumore. Quando la rappresenta, ovvero quando oltre a un valore di $L_{Aeq,T}$, conosciamo anche la natura disturbante della sorgente, dobbiamo chiederci in quale misura quel rumore potrà alterare i comportamenti degli esposti.

A conferma di quanto poc'anzi citato, prendendo spunto dagli studi di

Miedema, nel diagramma riportato nella Fig. 5.3 si evince come la percentuale di soggetti fortemente disturbati sia strettamente legata alla tipologia della sorgente ed al livello di rumorosità prodotto. Ad esempio, si può osservare che per un L_{dn} (day-night level, parametro che ha lo stesso significato del $L_{Aeq,24h}$, con l'eccezione che, nel L_{dn} , il livello notturno è penalizzato di 10 dB) di 65 dB(A) la percentuale di FD risulta essere pari a 37% nel caso di rumore aereo, si riduce a 18% per rumore da TAU ed infine diminuisce ancora per rumore ferroviario (12%).

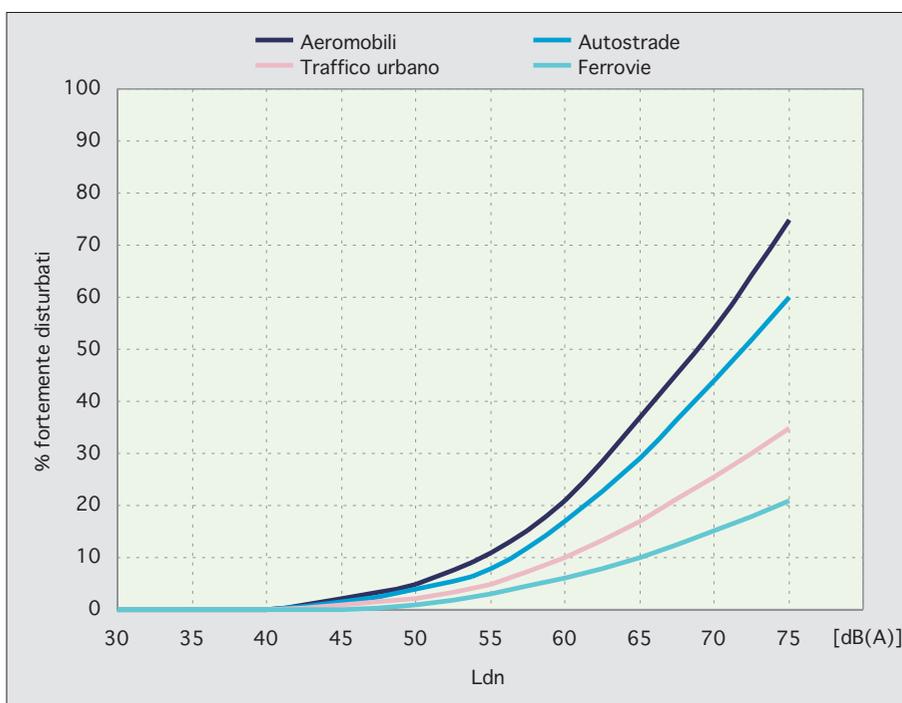


Fig. 5.3 - Grafico di Miedema

Un'esperienza analoga è stata condotta, a livello nazionale, all'interno di uno studio sulla collettività modenese, a conclusione della quale viene evidenziato come i valori di accettabilità indicati dalla tabella 2 del citato D.P.C.M., validi per qualsiasi fonte di rumore, non rispecchiano le reali condizioni di disturbo lamentate dalla popolazione esposta al TAU.

Nel diagramma di Fig. 5.4, relativo allo studio condotto sulla città di Mo-

dena, viene indicato l'andamento della percentuale di popolazione disturbata in relazione al livello equivalente ($L_{Aeq,08-22}$) rilevato a finestre aperte. Da ciò si può osservare come per valori inferiori a 50 dB(A) la percentuale di disturbati tende allo zero, mentre una significativa percentuale di disturbati, dal 30 al 60%, si ha con livelli compresi fra 60 e 65 dB(A).

Va osservato, confrontando i risultati dei due studi, che essi variano nella pseudo-metrologia utilizzata: lo studio di Miedema riporta la percentuale di fortemente disturbati, mentre lo studio di Modena riporta la percentuale di disturbati. A parità di L_{Aeq} troveremo quindi percentuali più basse in Miedema.

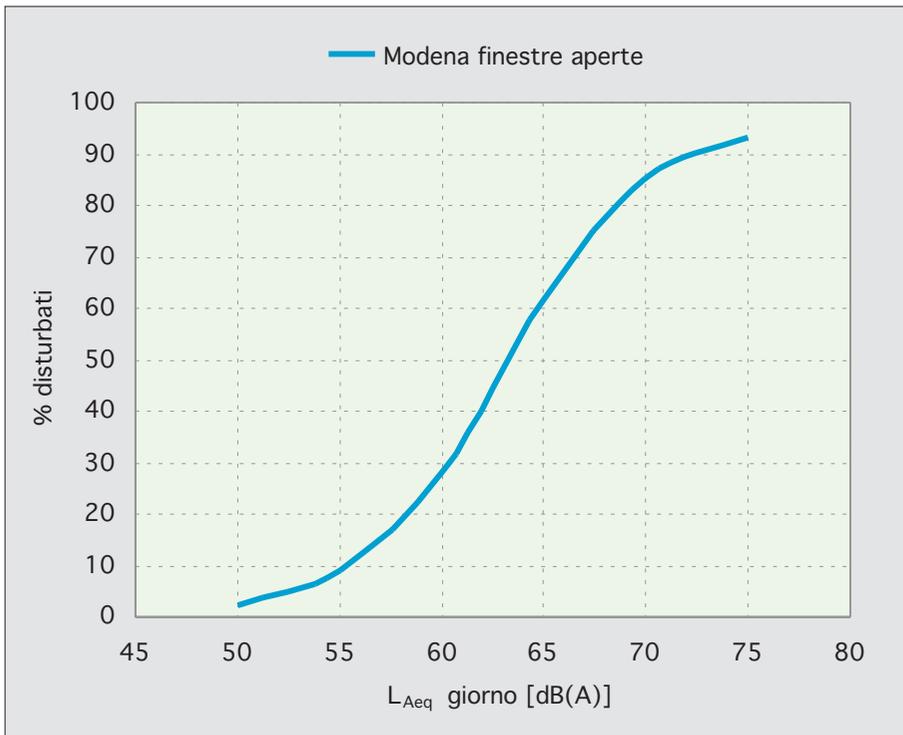


Fig. 5.4 - Grafico dello studio sulla collettività modenese

Pertanto, per individuare i limiti specifici per tipologia di sorgente sonora (es. traffico veicolare, aereo e ferroviario, sorgenti fisse, ecc.) occorre riferi-

re tali limiti ai risultati delle indagini socioacustiche citate. Nel contempo, una politica efficace di limitazione delle immissioni sonore in ambiente di vita dovrebbe aver chiari i propri obiettivi. Un obiettivo possibile potrebbe essere, nella gestione delle varie sorgenti di rumore, prefissare di raggiungere un 20% di FD entro 10 anni e 10% di FD entro 20 anni.

6. La legge provinciale 18 marzo 1991, n° 6

La disciplina provinciale, rappresentata dalla Legge provinciale 18 marzo 1991, n° 6 “Provvedimenti per la prevenzione ed il risanamento ambientale in materia di inquinamento acustico”, è praticamente contemporanea al D.P.C.M. 1° marzo 1991.

Ciò non toglie, in linea di principio, che i due atti normativi, statale e provinciale, presentino sostanziali elementi di convergenza, sia nella loro strutturazione concettuale sia nella concreta disciplina degli obblighi e degli adempimenti. Né poteva essere diversamente, posto che entrambi gli atti scaturiscono nello stesso periodo dal medesimo substrato tecnico-culturale. La Legge provinciale n° 6 si compone di 5 titoli e 33 articoli ed è entrata in piena operatività in coincidenza con l’entrata in vigore del regolamento di esecuzione, approvato con D.P.G.P. 4 agosto 1992, n°12-65/Leg. - pubblicato nel Bollettino Ufficiale 10 novembre 1992, n° 46 - vale a dire a far tempo dal 25 novembre 1992.

La disciplina provinciale si articola delle seguenti partizioni:

- a) *disposizioni generali*: sono contrassegnate dalla precisazione degli obiettivi di legge, dalle definizioni tecniche e dalle tecniche di rilevamento e misura dell’inquinamento acustico. Per quanto possibile le definizioni riprendono i contenuti già presenti nel D.P.C.M. 1° marzo 1991;
- b) *inquinamento acustico esterno*: vengono disciplinati gli ambiti di tutela, i limiti di accettabilità, i piani di risanamento comunali, le classificazioni delle aree e le zonizzazioni comunali, i piani di risanamento aziendali nei confronti dell’ambiente esterno, il rumore prodotto dal traffico veicolare (pubblico e privato), ferroviario e aereo ed il rumore prodotto da attività svolte all’aperto;

- c) *inquinamento acustico interno*: sono definiti i limiti massimi di rumore provenienti da sorgenti interne all'edificio, sede del luogo disturbato. Vengono determinati i requisiti acustici degli edifici che, a tenore del regolamento, assumono carattere orientativo nella prima applicazione della legge per la progettazione degli edifici; per quanto concerne gli ambienti di lavoro, si rinvia in toto alla disciplina statale di cui al decreto legislativo 15 agosto 1991, n° 277.
- d) *vigilanza*: sono coinvolti i comuni, il Servizio protezione ambiente e il servizio per l'igiene e la sanità pubblica; le relative attribuzioni sono dettagliatamente specificate dall'articolo 18 del regolamento di esecuzione.

6.1 Il nuovo disegno di legge

Il quadro normativo in vigore è attualmente in fase di rivisitazione sia per adeguarlo alle recenti indicazioni assunte dalla Legge n° 447 del 26 ottobre 1995 recante "Legge quadro sull'inquinamento acustico" sia per apportare i necessari correttivi sulla scorta dell'esperienza maturata nei precedenti anni di applicazione.

Gli aspetti più interessanti che si intendono introdurre con il nuovo disegno di legge riguardano principalmente la ridefinizione del ruolo della zonizzazione acustica, la nuova organizzazione dei piani di risanamento, nonché una forte delegificazione mirata ad ampliare l'autonomia operativa dei comuni.

L'istituzione dell'Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente ha comportato inoltre la necessità di accentrare tutte le attività connesse con la vigilanza e controllo in quest'unica struttura, sollevando pertanto i comuni dal dover espletare una serie di incombenze particolarmente onerose dal punto di vista tecnico.

Infine, vale la pena ricordare che il nuovo testo mantiene le previsioni di contribuzione nei confronti dei soggetti pubblici e privati per il miglioramento dell'isolamento acustico degli edifici stabilite dalla L.P. n. 6/91, limitando peraltro l'intervento della Provincia nei confronti degli edifici situati in aree ove i piani di risanamento ammettono il superamento dei valori limite per motivate ragioni tecnico economiche.



Vista di Largo Porta Nuova a Trento



Fig. 7.2 - Posizione stazione di rilevamento di Rovereto (●)



Vista di Via Dante a Rovereto

Le due stazioni permanenti impiegate nella rete di monitoraggio sono composte da una cabina per esterni, opportunamente climatizzata, all'interno della quale vi è un analizzatore statistico collegato, tramite linea telefonica commutata, al centro di raccolta-elaborazione dati, posto presso l'Unità Organizzativa inquinamento acustico. Il microfono per esterni è posizionato ad un'altezza di 3,5÷4 metri da terra e a una distanza di almeno 1,5 metri da superfici riflettenti.

Oltre alle due stazioni permanenti si è resa necessaria l'implementazione della rete con una *stazione mobile* e due *stazioni portatili* in grado di soddisfare le diverse tipologie di rilevamento.

Nella Fig. 7.3 è riportato lo schema a blocchi della rete di monitoraggio da cui si possono distinguere i seguenti elementi:

Centro di raccolta-elaborazione dati (C.R.D.): è fornito di un apposito software di gestione ed acquisizione dati che consente il collegamento, a mezzo di linea telefonica o linea cellulare, con le stazioni permanenti e con quella mobile per l'acquisizione dei dati memorizzati o per la verifica del corretto funzionamento delle stesse. Il centro di raccolta dati, abilitato

da un timer, alla mezza notte di ogni giorno avvia il software per lo scarico dei dati dalle stazioni di rilevamento. Al termine dell'operazione, il centro di raccolta viene disattivato dal timer. Compete successivamente ai tecnici verificare che tali operazioni siano avvenute correttamente.

Stazioni permanenti: sono costituite da una cabina per esterni impermeabile all'acqua ed internamente coibentata. Al suo interno è previsto un sistema di areazione ed una batteria tampone in grado di alimentare l'intera catena strumentale nel caso di temporanea mancanza della tensione di rete. L'unità microfonica per esterni è collocata alla sommità di un palo di sostegno. Questa unità ha la caratteristica di funzionare correttamente in un range di umidità relativa e temperatura molto ampie. L'unità è dotata di un generatore di segnale di riferimento utilizzato per il controllo della calibrazione di tutta la catena di misura e di un riscaldatore, attivato dall'analizzatore solo nei casi in cui le condizioni climatiche lo richiedano. Il sistema di acquisizione è costituito da un analizzatore statistico avente una capacità di memoria tale da permettere la memorizzazione dei dati per più giorni, ciò consente di ovviare all'eventualità che non sia, temporaneamente, possibile lo scarico degli stessi nel centro di raccolta dati.

Mezzo mobile: particolare attenzione, in termini di flessibilità, è stata posta nell'allestimento della stazione mobile. La strumentazione installata può essere facilmente rimossa e impiegata in altri tipi di rilevazione. Il mezzo impiegato per l'allestimento è un Fiat Fiorino dotato di un impianto elettrico predisposto in funzione dell'alimentazione della strumentazione installata. Lo strumento per il rilevamento dell'inquinamento acustico è inoltre affiancato da quello per il rilevamento dei flussi veicolari. Quest'ultimo è in grado di rilevare, a mezzo di appositi sensori a superficie, il numero di veicoli pesanti e leggeri transitati in un tempo preimpostato, nonché le velocità medie di transito. I dati memorizzati possono essere acquisiti e gestiti dal software del centro di raccolta dati, il quale, per mezzo di rappresentazioni grafiche, consente una correlazione fra i livelli equivalenti orari ed il numero di veicoli orari. La comunicazione tra la stazione mobile e il centro di raccolta dati è garantita da un collegamento con linea telefonica cellulare. Il sistema di comunicazione è risultato particolarmente utile per la verifica del corretto funzionamento della strumentazione, mediante collegamento real-time i dati rilevati vengono

visualizzati sullo schermo del C.R.D.; non altrettanto si può dire per quanto riguarda lo scarico dei dati, in quanto la comunicazione non garantisce, fino ad ora, velocità di trasmissione e affidabilità paragonabili a quelle delle normali linee commutate (linee via cavo). Per ovviare a questo inconveniente, l'analizzatore statistico è stato acquistato con una espansione di memoria di 1 Mbyte per consentire una sola operazione di scarico dati al termine delle campagne di rilevamento.

Stazioni portatili: in numero di due, sono solitamente impiegate per monitoraggi limitati nel tempo; utilizzano microfoni per esterno semplificati, idonee batterie e sufficiente memoria per garantire un'autonomia di monitoraggio di circa 10-15 giorni. La catena strumentale è collocata all'interno di una valigetta di dimensioni contenute tale da favorire un'agevole installazione ed un facile trasporto. Il sistema di acquisizione è costituito da un analizzatore statistico con caratteristiche semplificate rispetto a quelli impiegati nelle altre stazioni. Lo scarico dei dati avviene solo in modo manuale.

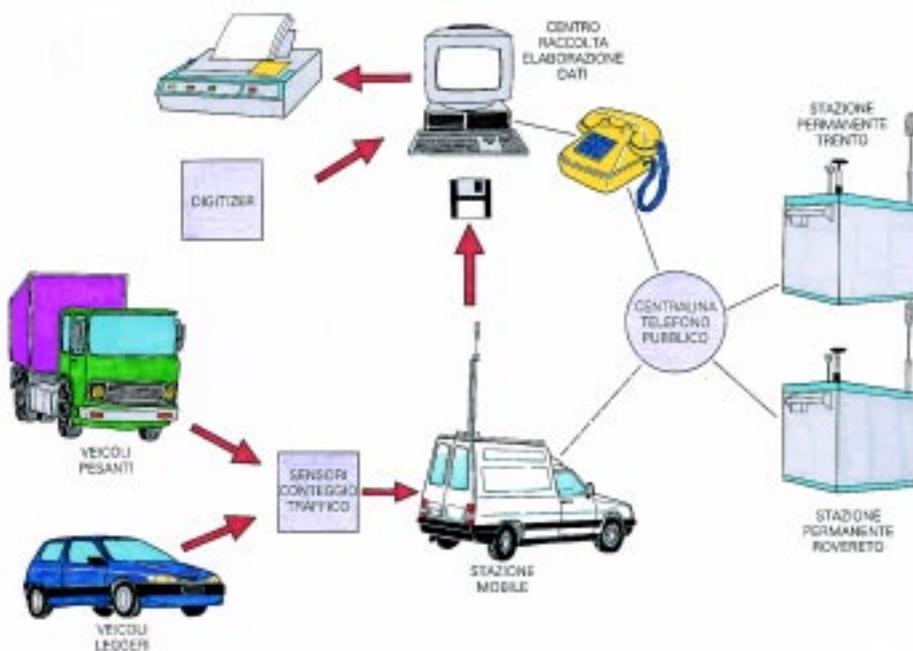


Fig. 7.3 - Schema a blocchi di funzionamento della rete di monitoraggio

7.1 Obiettivi del monitoraggio

Quanto ai vantaggi offerti dalla tecnica di monitoraggio in continuo della rumorosità abbiamo già diffusamente parlato nei precedenti capitoli; merita ora invece evidenziare quali siano gli obiettivi che si intendono conseguire con la rete di monitoraggio, fra i quali vale la pena ricordare:

1. acquisizione di serie storiche di dati che possano caratterizzare l'andamento dei livelli di inquinamento acustico nel lungo periodo e in determinati siti significativi in riferimento al traffico veicolare ivi presente (stazioni permanenti);
2. fornire alla popolazione interessata un'informazione sulla qualità dell'ambiente di vita in tema di inquinamento da rumore (stazioni permanenti);
3. riscontro a richieste puntuali da parte dei Comuni per campagne di rilevamento mirate, anche in ragione alla necessità di valutare l'efficacia degli interventi di mitigazione connessi alla fluidificazione del traffico ovvero a singole opere di risanamento passivo (stazione mobile e stazioni portatili);
4. verifiche relative a sorgenti sonore fisse qualora siano necessarie rilevazioni prolungate nel tempo (stazione mobile e stazioni portatili).

Relativamente al punto uno, il presente documento costituisce la base per lo studio delle variazioni dell'andamento dei livelli di rumorosità nel lungo periodo. Risultati più esaustivi saranno disponibili solo dopo alcuni anni di rilevamento, tempo ritenuto necessario affinché variazioni nella viabilità e l'incessante evoluzione tecnologica sui veicoli siano in grado di produrre effetti sui livelli di rumorosità.

L'utilizzo della stazione mobile e delle stazioni portatili ha agevolato il lavoro di collaborazione con le amministrazioni comunali locali per l'espletamento di campagne di rilevamento rivolte alla misura della rumorosità prodotta dal traffico veicolare e di quella prodotta dalle sorgenti sonore fisse.

7.2 Impostazione della tecnica di rilevamento

Le modalità di misura, la posizione del microfono e i parametri di acquisizione, sono legate alla natura e allo scopo dell'indagine, ovvero *analizzare le variazioni di rumorosità del TAU o verificare i livelli sonori in prossimità di comunità disturbate*.

Nel primo caso la posizione del microfono, per tratti omogenei di strada, risulta ininfluenza in quanto variazioni di rumorosità in un punto si riflettono, in eguale misura, anche su tutti gli altri punti della stessa strada; differenze di 1 dB(A) in un punto corrisponderanno a differenze di 1 dB(A) in qualsiasi altro punto.

Nel secondo caso il microfono dovrà, invece, essere posizionato in un luogo rappresentativo dell'energia sonora cui sono esposti i disturbati.

Alcune indicazioni per operare secondo i criteri di buona tecnica sono contenute nelle norme ISO 1996/1/2/3-1882, le quali prevedono la collocazione del microfono in prossimità di edifici ad una distanza di 1÷2 metri dalla facciata esterna ad un'altezza da 3 a 11 metri dal piano stradale mentre la bozza di D.L. per il rumore stradale (settembre 1997) prevede un'altezza del microfono dal piano stradale di 4 metri.

Dal confronto dei risultati delle misure con i limiti di zona sorgono alcune ambiguità legate alla particolare natura del TAU. Tali ambiguità consistono nel fatto che, in generale, i L_{Aeq} diurni o notturni inferiori a circa 65 dB(A) dimostrano una grande variabilità da un giorno all'altro. Pertanto ci si chiede: si considera superato il limite anche quando viene superato una sola giornata su dieci? Rispondere a questa domanda sarà possibile solo nel momento in cui verranno emanati i previsti regolamenti attuativi alla menzionata Legge n° 447.

7.3 Parametri e indici statistici rilevati

Come precedentemente accennato, nelle stazioni di monitoraggio permanenti sono impiegati due analizzatori statistici di livello.

L'analizzatore statistico funziona con lo stesso principio di un fonometro integratore ma a differenza dello stesso è in grado di fornire una serie di altre informazioni utili al riconoscimento della natura delle sorgenti che

controllano un determinato clima sonoro. Un analizzatore statistico è fondamentalmente un tipo di strumento di misura fatto per lavorare in condizioni non assistite (senza la presenza dell'operatore).

Se si osservano i valori di L_{AF} riscontrabili in ambito urbano nell'arco di un monitoraggio si troveranno valori compresi tra 25-35 e 105-115dB(A). Per poter misurare correttamente questa escursione l'analizzatore statistico deve possedere una dinamica di misura coincidente con il campo di misura. Ad esempio uno strumento che misuri da 30 a 130dB(A) (campo di misura) deve poterlo fare in un'unica portata ovvero disporre di una gamma dinamica pari a 100dB(A) (dinamica di misura).

L'analizzatore statistico dispone inoltre di specifici circuiti che consentono l'analisi statistica dei livelli sonori (*livelli percentili*). Lo strumento è altresì conforme alle specifiche delle norme internazionali I.E.C. 651 e I.E.C. 804 tipo 1 (di precisione). La sonda microfonica, del tipo per esterni, è munita di cuffia antivento e protezione antiuccelli.

L'analizzatore statistico impiegato permette di gestire quattro diversi tipi di acquisizione dati: *livelli giornalieri*, *livelli e percentili ad intervalli regolari (intervalli)*, *storia dei livelli sonori e andamento temporale di tutti gli eventi individuati dal superamento di una soglia di attenzione predefinita*. Relativamente all'impostazione del sistema di monitoraggio è bene chiarire che i vari tipi di acquisizione assolvono a specifiche funzioni di verifica, di diagnosi e di interpretazione.

Giornalieri: i livelli equivalenti $L_{Aeq,07-22}$ e $L_{Aeq,22-07}$ sintetizzano l'energia sonora rilevata nel sito di misura.

Intervalli: per l'acquisizione dei dati ad intervalli regolari è stata scelta una cadenza di lettura oraria. Per ogni lettura vengono forniti dallo strumento i valori di L_{Aeq} , **$L_{max}(A)$** (livello di pressione sonora massimo rilevato nell'intervallo di un'ora con la costante di tempo "Fast"), **$L_{min}(A)$** (livello di pressione sonora minimo rilevato nell'intervallo di un'ora con la costante di tempo "Fast"), nonché i livelli percentili L_1 , L_{10} , L_{50} , L_{90} e L_{95} rilevati in "Fast" con una frequenza di campionamento di 32 letture al secondo. L'intervallo di un'ora è stato scelto in quanto rappresentativo delle variazioni tipiche della storia naturale del rumore da TAU, i percentili assolvono una funzione di verifica della bontà del $L_{Aeq,h}$ (leggi non interferenza di sorgenti continue).

Storia: la storia, nel nostro caso, rappresenta una sequenza di L_{Aeq} di un minuto (sul grafico indicati con **RMS**). Tale approccio consente come argomentato e dimostrato in Fig. 3.9 di eliminare l'influenza di eventi sonori di breve durata (atipici) dalla formazione di $L_{Aeq,h}$ diurno e notturno.

Eventi: consentono la registrazione del profilo sonoro (LAF) di eventi che superino una soglia predefinita di livello e durata (vedi Fig. 3.3). Tali eventi possono riconoscersi dalla storia per la loro capacità di influenzare il valore del L_{Aeq} diurno e notturno, il profilo storico consente di riconoscerne la natura.

Nelle valutazioni riportate nei successivi capitoli si farà più volte riferimento ai parametri sotto riportati:

- $L_{Aeq,h}$ esprime il livello continuo equivalente di rumore ponderato secondo la curva (A) rilevato in un ora;
- $L_{Aeq,07-22}$ esprime il livello continuo equivalente di rumore ponderato secondo la curva (A) rilevato nel periodo di riferimento diurno - definito dalle ore 7.00 alle ore 22.00 (per un totale di 15 ore) - così come indicato dall'allegato A della L.P. n°6/91. Tale parametro può anche essere calcolato eseguendo una media logaritmica dei $L_{Aeq,h}$ rilevati nel periodo diurno. **D'ora innanzi tale parametro verrà indicato con L_d ;**
- $L_{Aeq,22-07}$ esprime il livello continuo equivalente di rumore ponderato secondo la curva (A) rilevato nel periodo di riferimento notturno, definito dalle ore 22.00 alle ore 7.00 (per un totale di 9 ore). Vale a dire che il livello notturno deve essere considerato come la media logaritmica dei livelli orari ($L_{Aeq,h}$) rilevati dalle ore 22:00 alle ore 24:00 e quelli rilevati dalle ore 00:00 alle ore 07:00 dello stesso giorno. **D'ora innanzi tale parametro verrà indicato con L_n ;**
- L_x esprimono la percentuale di tempo durante il periodo di misurazione in cui il livello indicato è stato superato. Ad esempio L_{90} pari a 40 dB(A) indica che tale livello è stato superato per il 90% del tempo di misura. I livelli L_{10} e L_{90} sono particolarmente significativi in quanto, in presenza di un rumore fluttuante, quale quello prodotto dal traffico veicolare, ca-

ratterizzano il clima acustico della zona; inoltre tali livelli sono particolarmente significativi in quanto la loro differenza da una buona indicazione dell'entità del flusso del traffico. Bassi flussi saranno indicati da una differenza forte, flussi elevati saranno indicati da una differenza più contenuta. Le informazioni ricavate dai percentili vengono utilizzate per certificare la non interferenza di sorgenti continue sul valore di $L_{Aeq,h}$;

7.4 Rappresentazione grafica dei dati

Nella rappresentazione dei dati si sono utilizzati tre modelli grafici, uno mensile, con la relativa tabella dei livelli, uno settimanale e uno riportante l'andamento tipico dei livelli giornalieri. Tali modelli, oltre a consentire una facile e chiara lettura dei livelli di rumorosità rilevata, consentono il confronto fra i valori dei livelli orari rilevati nei giorni della settimana ed i valori dei livelli giornalieri.

Mensile

Nel modello mensile è riportato il diagramma a barre tridimensionali dei livelli equivalenti diurni-notturni per ciascun mese dell'anno. Le barre di colore azzurro raffigurano il livello equivalente diurno (L_d), rilevato dalle ore 7.00 alle ore 22.00, mentre quelle di colore blu raffigurano il livello equivalente notturno (L_n), rilevato dalle ore 22.00 alle ore 7.00 dello stesso giorno.

La scelta di incolonnare i livelli di rumorosità per ciascun giorno della settimana (tutti i lunedì, tutti i martedì, ecc.) consente un facile raffronto delle variazioni dei livelli nel corso del mese; con lo stesso criterio sono riportate le medie logaritmiche (M_d , M_n) e le differenze (Δ_d e Δ_n) tra i valori massimi e minimi dei livelli diurni e notturni.

La mancanza di dati per alcuni giorni di monitoraggio è da imputare ad un cattivo funzionamento del sistema di trasmissione dati. In particolare, per la stazione di Trento, tale inconveniente si è verificato per 22 giorni, mentre per la stazione di Rovereto per 40 giorni.

Settimanale

Il modello settimanale include tre rappresentazioni grafiche (vedi Fig. 7.4), relative ai *livelli giornalieri*, ai *livelli orari* e alla *storia dell'evoluzione tem-*

porale dei livelli equivalenti minuto per minuto. Per ragioni di spazio, nella presente relazione tali modelli non vengono riportati in allegato ma sono comunque disponibili presso l'Unità organizzativa inquinamento acustico.

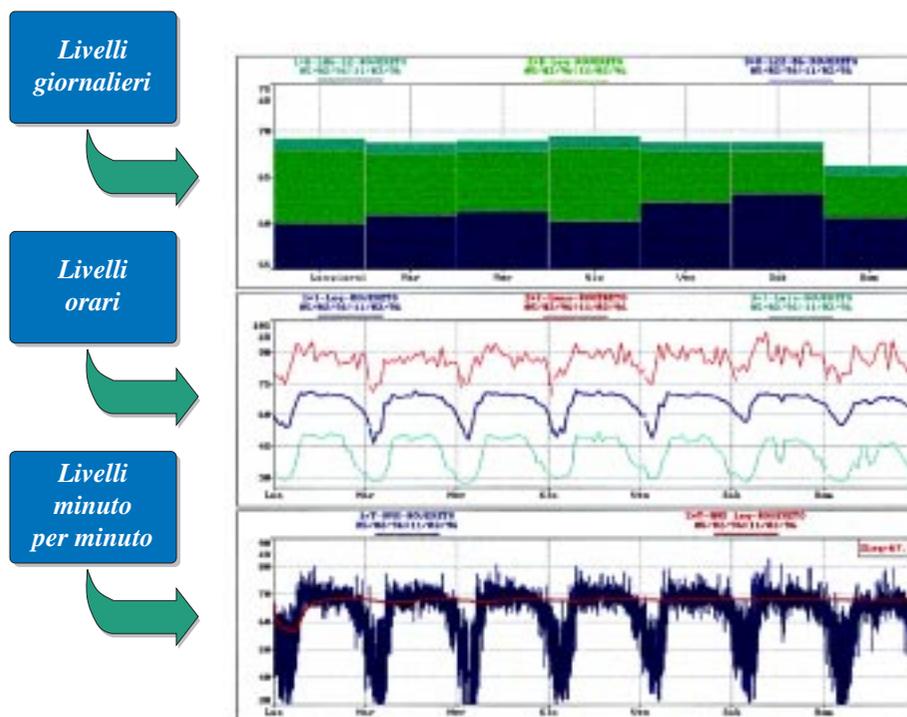


Fig. 7.4 - Modello settimanale

Nel **grafico dei livelli giornalieri** sono indicati i seguenti parametri:

- *livello equivalente diurno* rilevato dalle ore 7.00 alle ore 22.00;
- *livello equivalente notturno* rilevato dalle ore 22.00 alle ore 7.00 dello stesso giorno;
- *livello equivalente complessivo* rilevato sulle intere 24 ore.

Nel **grafico dei livelli orari** sono indicati:

- l'andamento orario dei livelli massimi. Tale parametro è indicativo della presenza di eventi ad alto contenuto energetico ed è utile per spiega-

re eventuali forti variazioni dei livelli equivalenti orari ($L_{Aeq,h}$). E' raffigurato dalla curva "**Lmax**" di colore rosso;

- l'andamento orario dei livelli equivalenti rilevati con la curva di ponderazione "A". Tale parametro rappresenta il contenuto energetico orario medio della rumorosità prodotta dal traffico veicolare. E' raffigurato dalla curva "**Leq**" di colore blu;
- l'andamento orario dei livelli minimi rappresentati con la curva "**Lmin**" di colore azzurro. Tale parametro è utile per individuare le ore di punta del traffico.

Nel *grafico dei livelli minuto per minuto* sono indicati:

- l'evoluzione temporale dei livelli equivalenti rilevati minuto per minuto raffigurata dalla curva "**T-RMS**" di colore blu. La storia dei livelli sonori, o evoluzione temporale, dà la possibilità di post-elaborare i risultati della misura allo scopo, ad esempio, di ripulire i valori finali da eventi atipici che limiterebbero l'indipendenza statistica nel livello dei risultati;
- l'andamento del livello equivalente progressivo, calcolato a partire dai valori di RMS, che fornisce il L_{Aeq} settimanale ed è raffigurato dalla curva "**T-RMS Leq**" di colore rosso.

Giornate tipo

Le giornate tipo riportano l'andamento giornaliero "tipo", ovvero la media logaritmica dei livelli equivalenti orari rilevati nei giorni *lavorativi* (dal lunedì al venerdì), *prefestivi* (sabato) e *festivi* (domenica) con la relativa deviazione standard (indicata con la linea spezzata di colore rosso). La suddivisione dei dati in stagioni ha lo scopo di evidenziare le variazioni dei livelli medi orari, anche in relazione alle diverse abitudini della popolazione.

La deviazione standard (o scarto quadratico medio) fornisce l'indicazione di quanto i valori orari rilevati si discostano dal valore medio. Ovviamente tale parametro dà un'informazione di carattere orientativo circa la variabilità del rumore; indicativo in quanto l'espressione utilizzata trova un corretto impiego solo per grandezze lineari e non logaritmiche come nel caso delle misure di rumore. La deviazione standard (D.S.) è definita dalla seguente relazione:

$$D.S. = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n(n-1)}}$$

(5) Formula per il calcolo della deviazione standard

dove x_i rappresenta i valori ed n rappresenta il numero complessivo dei valori. Nel caso di specie i valori di x_i sono i $L_{Aeq,1h}$ (livelli equivalenti orari) ed n indica il numero considerato nel calcolo dello scarto quadratico medio.

L'andamento tipico giornaliero, nei grafici, è indicato da una linea spezzata bicolore, azzurra per il periodo diurno e blu per quello notturno. In alto a destra di ciascun grafico è inoltre riportato il livello medio stagionale diurno e notturno.

È importante precisare che le ore riportate sull'asse delle ascisse sono riferite alle ore di inizio della misura. Vale a dire che, considerato un valore di 68 dB(A) alle ore 20.00, esso corrisponde al livello equivalente misurato nell'intervallo compreso fra le ore 20.00 e le ore 21.00.

Nel calcolo dei livelli orari si sono depurati gli eventi anomali caratterizzati da livelli elevati e le giornate festive infrasettimanali non sono state considerate.

Con una siffatta scelta grafica riteniamo di aver sintetizzato i dati rilevati nell'anno di monitoraggio, facilitando nel contempo un facile raffronto con quelli futuri.

Statistica

L'analisi di un fenomeno complesso, qual è il rumore, non può essere operata solo attraverso il livello equivalente, in quanto tale parametro non fornisce indicazioni esaustive relativamente alla variazione nel tempo del livello sonoro. Risulta pertanto d'aiuto l'impiego di specifici descrittori forniti dalla statistica, quali i *livelli statistici* o *percentili*, utili per descrivere rumori fluttuanti come quelli prodotti dal traffico stradale. I tipi di analisi più utilizzati sono:

- a) l'analisi distributiva;
- b) l'analisi cumulativa.

L'analisi distributiva risponde alla domanda: "Per quanto tempo il livello sonoro è stato presente all'interno di un determinato intervallo fra due livelli [ad esempio fra 55.0 e 56.0 dB(A)]?" Tale intervallo chiamato "classe di intervallo" nel nostro caso è pari a 1.0 dB(A). In condizioni di flusso veicolare costante si osserverà il coinvolgimento di un numero limitato di classi di intervallo; mentre in condizioni di flusso veicolare variabile si osserverà un coinvolgimento più esteso.

L'analisi cumulativa risponde alla domanda: "Per quanto tempo un determinato livello sonoro è stato raggiunto o superato?" In questo modo possiamo valutare in maniera sintetica i risultati degli interventi di contenimento del rumore. Ad esempio se in un dato momento storico le indagini fonometriche dimostrano che un determinato limite è stato superato per il 95% del tempo (diurno o notturno); e dopo un anno le medesime indagini dimostrano che il limite è stato superato per l'80% del tempo; dopo due anni del 70% e così via, avremo modo di valutare l'efficacia dei piani di intervento adottati.

Nella nostra analisi abbiamo ritenuto significativo l'impiego dell'analisi distributiva eseguita sui livelli equivalenti orari rilevati nell'intero anno di monitoraggio, suddivisi in relazione al periodo stagionale e alla tipologia dei giorni (*lavorativi, prefestivi e festivi*) in maniera analoga a quanto precedentemente fatto per le giornate tipo.

8. Analisi dei risultati

Da una prima analisi dei dati relativi ai modelli settimanali si possono già individuare alcuni andamenti tipici dei livelli diurni e notturni dovuti a variazioni naturali nel flusso del TAU. Si possono altresì osservare, all'interno di queste variazioni naturali, eventi atipici relativi a manifestazioni o a ricorrenze particolari. Ad esempio, i livelli notturni rilevati il 1° gennaio 1996 dalla stazione di Trento indicano un livello equivalente notturno [77 dB(A)], come era peraltro logico attendersi, superiore a quello rilevato nel periodo diurno. Tale fenomeno è imputabile ai festeggiamenti della notte di capodanno in cui si annuncia l'arrivo dell'anno nuovo a suoni di botti (vedi Fig. 8.1).



Fig. 8.1 - Storia dei livelli notturni rilevati nella notte di capodanno a Trento

Una situazione analoga si è rilevata anche al termine della partita di calcio Juventus - Ajax, per la finale di coppa campioni. I dati rilevati dalle due stazioni permanenti evidenziano un sensibile aumento dei livelli di rumorosità nella notte del 22 maggio 1996, con valori di punta prossimi a 90 dB(A); ma si può anche osservare che i tifosi di Trento, a differenza di quelli di Rovereto, hanno prolungato i festeggiamenti fin oltre la mezzanotte, causando, di conseguenza, anche l'innalzamento del livello notturno del giorno successivo, che è risultato pari a 69 dB(A), rispetto ad una media annuale di 62 dB(A).

Infine, il luogo scelto per l'installazione della stazione di Trento è risultato essere condizionato da eventi anomali, tra i quali va evidenziata la presenza della fontana di P.zza Venezia, denominata "Lavaman del sindaco" (Fig. 8.2), fonte di livelli minimi notturni elevati (valori di L_{90} attorno a 50 dB(A) con fontana attiva, contro i 43 dB(A) circa a fontana spenta). Tale fenomeno è peraltro avvertibile solo a partire dal giorno 16 aprile 1996, essendo la stessa stata riattivata a conclusione del periodo invernale.



Fig. 8.2 - Vista della fontana "Lavaman del sindaco" in P.zza Venezia a Trento dalla centralina di monitoraggio

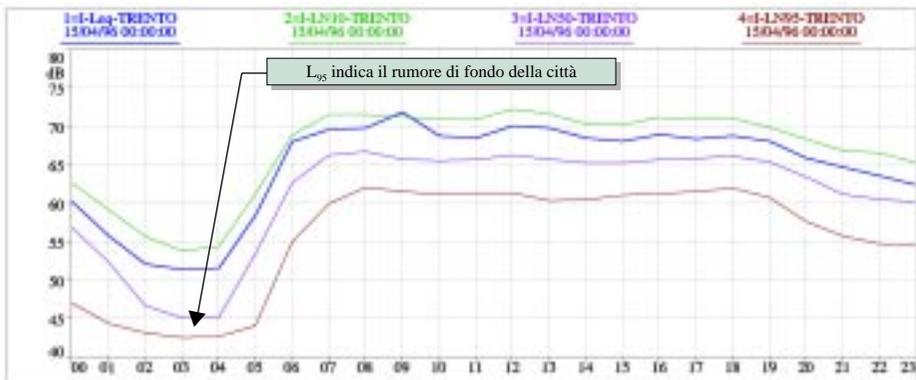


Fig. 8.3 - Andamento degli intervalli nel periodo di chiusura della fontana "Lavaman del sindaco" (P.zza Venezia) di Trento

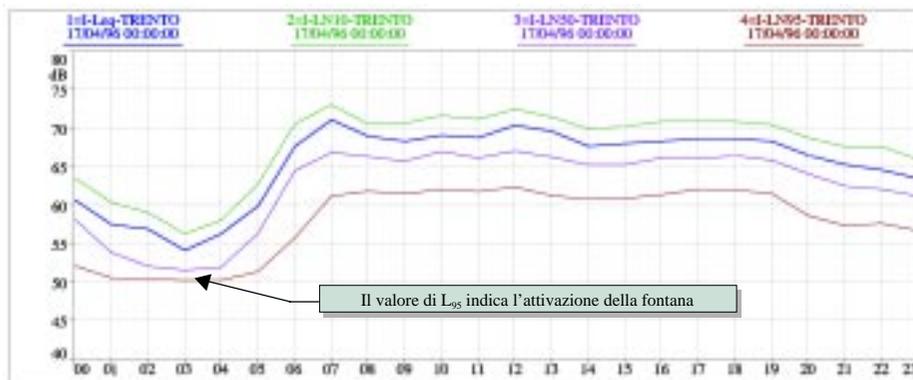


Fig. 8.4 - Andamento degli intervalli nel periodo di attivazione della fontana “Lavaman del sindaco” (P.zza Venezia) di Trento

8.1 Analisi degli andamenti mensili

La valutazione delle variazioni dei livelli giornalieri su base mensile consente di evidenziare le differenze in termini di $L_{Aeq,T}$, dei giorni di sabato e di domenica con i giorni lavorativi (allegati n°1 e n°6).

Nelle tabelle (Tab. 8.1 e 8.2) vengono indicati i livelli L_d e L_n mensili ricavati come livelli medi giornalieri distinti in *giorni lavorativi*, *giorni prefestivi* e *giorni festivi* sia per la stazione di Trento sia per quella di Rovereto.

Esaminando i dati rilevati dalla stazione di Trento si osserva che il valore diurno del sabato è, mediamente, 1,1 dB(A) inferiore a quello registrato nei giorni lavorativi, mentre quello della domenica è, mediamente, inferiore di 3,2 dB(A).

Per quanto riguarda invece il periodo notturno, il valore di rumorosità del sabato e della domenica risultano rispettivamente superiore di 0,4 dB(A) e inferiore di 1,1 dB(A) rispetto a quelli registrati nei giorni lavorativi.

Per la sola stazione di Trento, avendo rilevato nel mese di ottobre valori di rumorosità non rappresentativi, a causa di lavori che hanno determinato modifiche nella viabilità della zona, si è ritenuto opportuno non considerarli nel calcolo del livello medio e della differenza media annuale.

Le osservazioni relative alle variazioni dei livelli nei giorni lavorativi, prefestivi e festivi prodotte per la stazione di Trento possono essere anche estese a quella di Rovereto.

Mese	Ld _{7,22} dB(A)			differenze		Ln _{22,7} dB(A)			differenze	
	lavorativi	sabato	domenica	lav.-sab	lav.-dom	lavorativi	sabato	domenica	lav.-sab	lav.-dom
gennaio	69,8	68,5	66,4	1,3	3,4	61,7	62,6	61,8	-0,9	-0,1
febbraio	69,2	68,5	65,7	0,7	3,5	61,1	62,1	60,5	-1	0,6
marzo	69	68,1	65,7	0,9	3,3	61	62,9	60,2	-1,9	0,8
aprile	68,7	67,2	65,6	1,5	3,1	63,2	62,7	60,4	0,5	2,8
maggio	69,1	68,3	66,2	0,8	2,9	65,3	63,5	61	1,8	4,3
giugno	69,1	68,3	65,5	0,8	3,6	62,2	62,7	61,6	-0,5	0,6
luglio	68,4	66,7	65	1,7	3,4	61,8	62,3	60,7	-0,5	1,1
agosto	67,7	66,4	64,9	1,3	2,8	60,6	61,2	60,1	-0,6	0,5
settembre	68,8	67,9	65,6	0,9	3,2	61,3	61,6	60,5	-0,3	0,8
ottobre*	67	67,8	67,8	-0,8	-0,8	60,7	60,5	60,4	0,2	0,3
novembre	70	68,8	66,8	1,2	3,2	63	63,3	62	-0,3	1
dicembre	69,5	68,5	66,6	1	2,9	61,6	62,2	61,4	-0,6	0,2
Media	69,0	67,9	65,8	1,1	3,2	62,1	62,5	60,9	-0,4	1,1
Deviazione Standard				0,3	0,3				0,9	1,3

*: valore non significativo a seguito di variazioni anomale nella viabilità

Tab. 8.1 - Confronto fra i livelli di rumorosità mensili lavorativi, prefestivi e festivi per la stazione di Trento

Mese	Ld _{7,22} dB(A)			differenze		Ln _{22,7} dB(A)			differenze	
	lavorativi	sabato	domenica	lav.-sab	lav.-dom	lavorativi	sabato	domenica	lav.-sab	lav.-dom
gennaio	69,4	68,8	66,7	0,6	2,7	62,2	63,8	61,1	-1,6	1,1
febbraio	69,3	68,8	66,4	0,5	2,9	62,3	63,5	60,8	-1,2	1,5
marzo	69,3	68,9	66,6	0,4	2,7	62,1	63,3	60,7	-1,2	1,4
aprile	68,9	68,1	66,8	0,8	2,1	64	64,2	59,8	-0,2	4,2
maggio	69,3	68,7	67,3	0,6	2	64,1	64,1	61,5	0	2,6
giugno	69,1	68,5	66,2	0,6	2,9	62,4	62,5	61,1	-0,1	1,3
luglio	68,6	67,9	65,5	0,7	3,1	62,1	62,1	60,2	0	1,9
agosto	68,3	67,4	66,1	0,9	2,2	61,8	61,7	60,6	0,1	1,2
settembre	69,1	68,8	68,3	0,3	0,8	63,1	64,2	63,3	-1,1	-0,2
ottobre	69	68,4	66,4	0,6	2,6	63,2	64,8	61,2	-1,6	2
novembre	69,7	68,8	66,4	0,9	3,3	62,4	63,1	61,1	-0,7	1,3
dicembre	69,1	68,9	66,7	0,2	2,4	62,5	62,8	61,2	-0,3	1,3
Media	69,1	68,5	66,6	0,6	2,5	62,7	63,3	61,1	-0,7	1,6
Deviazione Standard				0,2	0,7				0,7	1,0

Tab. 8.2 - Confronto fra i livelli di rumorosità mensili lavorativi, prefestivi e festivi per la stazione di Rovereto

I livelli diurni registrati nelle domeniche hanno dimostrato, per entrambe le stazioni, dei valori normalmente più bassi di quelli misurati negli altri giorni della settimana. La differenza dimostrata da -2,5 dB a -3,2 dB è imputabile alle particolari abitudini della popolazione; basti pensare che la domenica molta gente non lavora ed i negozi sono chiusi. Insomma, la domenica è un giorno dedicato al riposo ad allo svago e pertanto i veicoli circolanti in città sono pochi.

Da ciò si osserva che solo attraverso forti riduzioni del flusso veicolare si possono conseguire dei miglioramenti apprezzabili dei livelli di rumorosità. A fronte di queste considerazioni risulta peraltro impensabile adottare, nei restanti giorni della settimana, riduzioni dei flussi veicolari paragonabili a quelli della domenica, in quanto ciò comporterebbe la quasi totale chiusura della città al traffico privato e pubblico. Diversamente, ipotizzando di adottare nella viabilità cittadina delle riduzioni di flussi veicolari vicine a quelle verificatesi nel mese di agosto i risultati ottenibili sarebbero quelli indicati nelle tabelle 8.3 e 8.4.

Per quanto riguarda la stazione di Trento si è osservato che i livelli di rumorosità diurni del mese di agosto sono mediamente 1,3 dB(A) inferiori rispetto a quelli rilevati nei restanti mesi dell'anno; differenze analoghe sono state ottenute per i livelli notturni. Per la stazione di Rovereto, invece, la differenza rilevata risulta essere più contenuta, quantificabile in 0,8 dB(A) per il periodo diurno e in 0,9 dB(A) per quello notturno.

Da questo confronto si osserva che la politica di contenimento dell'inquinamento da rumore da TAU non è perseguibile attraverso la sola riduzione dei flussi veicolari, deve essere bensì il frutto della combinazione di più fattori, alcuni dei quali a decorrenza decennale, che attraverso riduzioni di qualche dB(A) per fattore, contribuiranno globalmente in maniera significativa alla riduzione dei livelli di rumorosità diurni e notturni.

Mese	Ld _{7,22} dB(A)			Ln _{22,7} dB(A)			Ld-Ln mese
	mese	agosto	diff.	mese	agosto	diff.	
gennaio	69,8	67,7	2,1	61,7	60,6	1,1	8,1
febbraio	69,2	67,7	1,5	61,1	60,6	0,5	8,1
marzo	69	67,7	1,3	61	60,6	0,4	8
aprile	68,7	67,7	1	63,2	60,6	2,6	5,5
maggio	69,1	67,7	1,4	65,3	60,6	4,7	3,8
giugno	69,1	67,7	1,4	62,2	60,6	1,6	6,9
luglio	68,4	67,7	0,7	61,8	60,6	1,2	6,6
agosto	67,7	67,7	0	60,6	60,6	0	7,1
settembre	68,8	67,7	1,1	61,3	60,6	0,7	7,5
ottobre*	67	67,7	-0,7	60,7	60,6	0,1	6,3
novembre	70	67,7	2,3	63	60,6	2,4	7
dicembre	69,5	67,7	1,8	61,6	60,6	1	7,9
Media	69,0	67,7	1,3	62,1	60,6	1,5	7,0
Deviazione Standard			0,6			1,3	1,3

*: valore non significativo a seguito di variazioni anomale nella viabilità

Tab. 8.3 - Confronto dei livelli di rumorosità mensili dei giorni lavorativi con il mese di agosto per la stazione di Trento

Mese	Ld ₇₋₂₂ dB(A)			Ln ₂₃₋₇ dB(A)			Ld-Ln
	mese	agosto	diff.	mese	agosto	diff.	
gennaio	69,4	68,3	1,1	62,2	61,8	0,4	7,2
febbraio	69,3	68,3	1	62,3	61,8	0,5	7
marzo	69,3	68,3	1	62,1	61,8	0,3	7,2
aprile	68,9	68,3	0,6	64	61,8	2,2	4,9
maggio	69,3	68,3	1	64,1	61,8	2,3	5,2
giugno	69,1	68,3	0,8	62,4	61,8	0,6	6,7
luglio	68,6	68,3	0,3	62,1	61,8	0,3	6,5
agosto	68,3	68,3	0	61,8	61,8	0	6,5
settembre	69,1	68,3	0,8	63,1	61,8	1,3	6
ottobre	69	68,3	0,7	63,2	61,8	1,4	5,8
novembre	69,7	68,3	1,4	62,4	61,8	0,6	7,3
dicembre	69,1	68,3	0,8	62,5	61,8	0,7	6,6
Media	69,1	68,3	0,8	62,7	61,8	0,9	6,4
Deviazione Standard			0,4			0,7	0,8

Tab. 8.4 - Confronto dei livelli di rumorosità mensili dei giorni lavorativi con il mese di agosto per la stazione di Rovereto

8.2 Analisi degli andamenti delle giornate tipo

Mentre con l'analisi degli andamenti mensili mentre si sono valutate le variazioni dei livelli di rumorosità notturni e diurni, con l'esame delle giornate tipo è possibile dare delle valutazioni circa l'evoluzione temporale dei livelli equivalenti orari nell'arco della giornata, e quindi delle abitudini orarie della popolazione per quanto riguarda il TAU (allegati n° 2 e n° 7). A tal fine abbiamo indicato, per ciascun periodo stagionale, la storia degli intervalli (vedi paragrafo 7.4, Giornate tipo) distinti come giorni *lavorativi*, *prefestivi* e *festivi*. Vengono di seguito riportate alcune considerazioni attinenti la sola stazione di Trento.

8.2.1 Confronto degli andamenti dei livelli orari nei giorni lavorativi

Esaminando i dati, riportati nei grafici di cui all'allegato n° 2, è possibile esprimere alcune considerazioni in merito alla differenti abitudini della popolazione nei diversi periodi stagionali dell'anno; in altre parole, da un'attenta osservazione delle ore di punta e dei relativi livelli, è possibile risalire alla storia evolutiva dei volumi di traffico. In questo modo possiamo constatare, ad esempio, come nel periodo autunnale e in quello invernale le ore di punta coincidano, in ragione del fatto che, con la stagione

estiva oramai alle spalle, lo spostamento della popolazione è quasi esclusivamente legato ad esigenze di lavoro.

Un importante indice di valutazione viene reso al riguardo dalla deviazione standard, la quale, vale la pena ricordare, dà un'indicazione di quanto i valori orari rilevati si discostano dal valore medio. Se analizziamo i periodi autunnale e invernale vediamo come, per entrambe le stagioni, i livelli diurni orari si discostano, fra loro, per non più di 1 dB(A), mentre quelli notturni offrono oscillazioni più marcate in autunno piuttosto che in inverno. Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto si può concludere che i livelli orari, nel periodo invernale, dimostrano un grado di ripetitività maggiore o, in altre parole, presentano una fluttuazione più contenuta rispetto a quelli autunnali.

In primavera e ancor più in estate si notano i cambiamenti di abitudine della popolazione a seguito dell'arrivo della bella stagione; infatti si osserva che i livelli orari diurni dell'estate sono costantemente al di sotto di 70 dB(A), tant'è che, con un livello diurno pari a 67,5 dB(A), l'estate è risultata essere il periodo "meno rumoroso" dell'anno. Ma le novità non finiscono qui; l'estendersi del periodo di luce e l'innalzarsi della temperatura invitano la popolazione a restare fuori di casa più a lungo, motivo per cui i livelli di rumorosità subiscono un forte calo solo dopo le ore 01.00 (condizione che nelle tabelle 8.5 e 8.6 viene indicata con "*tendenza alla diminuzione*"), mentre in autunno ed in inverno ciò avviene a partire dalle ore 24.00.

8.2.2 Confronto degli andamenti dei livelli orari nei giorni prefestivi

Nei giorni prefestivi, diversamente a quanto visto per i giorni lavorativi, i livelli notturni sono contraddistinti da valori più elevati.

Come abbiamo già avuto modo di spiegare nel corso dei precedenti capitoli, la causa più probabile è da attribuire a volumi di traffico elevati a conseguenza di una vita notturna intensa per l'abituale tendenza alle serate in discoteca o fuori di casa.

Se confrontiamo le storie delle giornate tipo nelle diverse stagioni, notiamo delle differenze legate, più che ai livelli, alla morfologia o, se vogliamo, all'andamento delle ore di punta. Il periodo in cui tali differenze sono più marcate è l'estate, non solo perché i livelli sono mediamente più contenuti, ma soprattutto perché l'andamento degli intervalli è caratterizzato da un andamento costante, ovvero privo di quei picchi che, nella restante parte dell'anno, sono la testimonianza delle ore di punta.

8.2.3 Confronto degli andamenti dei livelli orari nei giorni festivi

I giorni festivi sono contraddistinti da livelli diurni e notturni più bassi rispetto a quelli registrati nei restanti giorni della settimana e, situazione del tutto particolare, non sono riscontrabili ore di punta nell'intervallo dalle ore 7.00 alle ore 10.00; anzi, possiamo dire che i livelli di rumorosità sono tendenzialmente in continuo aumento fino alle ore 18.00, momento in cui iniziano a diminuire.

Il criterio di analisi adottato per i dati della stazione di Trento può essere analogamente esteso a quelli della stazione di Rovereto.

Allo scopo di agevolare il compito di chi intendesse approfondire l'argomento abbiamo predisposto di seguito, per entrambe le città oggetto di discussione, due tabelle riassuntive riportanti i dati relativi alle *ore di punta*, alla *tendenza alla diminuzione* (quando cioè il livello di rumorosità subisce una progressiva diminuzione), ai *livelli minimi*, diurni e notturni. Ovviamente i dati sono distinti per stagioni e, all'interno di ogni stagione, per tipologia giornaliera (lavorativi, prefestivi e festivi).

STAZIONE DI TRENTO		Primavera		Estate		Autunno		Inverno	
giorni	descrizione	ore	L _{Aeq}	ore	L _{Aeq}	ore	L _{Aeq}	ore	L _{Aeq}
lavorativi	ora di punta	07-08	69,9	10-12	68,9	07-08	71,2	07-08	70,1
	ora di punta	12-13	70,2	***	***	12-13	71,4	12-13	70,8
	ora di punta	***	***	17-18	68,8	17-18	70,1	16-17	69,5
	tend. alla dimin.	01-02	62,3	01-02	60,2	24-01	62	24-01	61
	livelli minimi	03-04	56,4	03-04	56	03-04	56,7	03-04	53,8
	livello diurno	68		67,5		68,8		68,4	
	livello notturno	62		60,8		62,1		60,5	
	prefestivi	ora di punta	07-08	68,9	***	***	07-08	69	07-08
ora di punta		12-13	69,8	11-12	68,2	12-13	70,5	09-10	69
ora di punta		16-17	68,2	***	***	19-20	69	12-13	70
ora di punta		18-19	69	19-20	67,5	***	***	***	***
tend. alla dimin.		02-03	60,5	02-03	60	23-24	65	24-01	63,1
livelli minimi		03-04	58	04-05	57,3	04-05	58	04-05	57,1
livello diurno		68		66,6		67,9		67,4	
livello notturno		62		61,2		62,6		62,1	
festivi	ora di punta	***	***	09-10	65,4	09-10	66,8	***	***
	ora di punta	11-12	66	12-13	65,7	***	***	11-12	66,2
	ora di punta	18-19	67,6	18-19	66,1	18-19	67,2	16-19	67
	ora di punta	***	***	***	***	24-01	64,1	24-01	64
	tend. alla dimin.	01-02	62,1	01-02	61	01-02	63	02-03	60,3
	livelli minimi	04-05	58	05-06	57,2	05-06	58	05-06	56
	livello diurno	66		65,3		66,4		66,3	
	livello notturno	61		60,3		61,5		61,1	

Tab. 8.5 - Confronto degli andamenti dei livelli orari per la stazione di Trento

STAZIONE DI ROVERETO		Primavera		Estate		Autunno		Inverno	
giorni	descrizione	ore	L _{Aeq}	ore	L _{Aeq}	ore	L _{Aeq}	ore	L _{Aeq}
lavorativi	ora di punta	07-08	70,6	08-09	69,6	07-08	0,6	07-08	70,2
	ora di punta	10-11	69,9	***	***	13-14	70,2	13-14	69,9
	ora di punta	***	***	17-18	69,2	***	***	***	***
	tend. alla dimin.	23-24	63,5	00-01	60,7	00-01	59,5	00-01	60
	livelli minimi	03-04	52	03-04	53	03-04	3,5	03-04	52,9
	livello diurno	69		68,2		68,6		68,6	
	livello notturno	62		61,7		61,8		61,4	
prefestivi	ora di punta	08-09	69,6	***	***	08-09	68,9	08-09	69
	ora di punta	11-12	69,8	12-13	68,8	11-12	69,8	11-12	69,4
	ora di punta	***	***	***	***	16-17	69	16-17	69,1
	ora di punta	19-20	68,9	19-20	68	***	***	21-22	68,9
	tend. alla dimin.	01-02	63,2	01-02	62,3	01-02	62,5	01-02	63,3
	livelli minimi	04-05	57,4	04-05	55	04-05	57,4	04-05	56,9
	livello diurno	68		67,6		68,4		68,6	
livello notturno	63		62,1		62,8		63,2		
festivi	ora di punta	***	***	***	***	***	***	***	***
	ora di punta	11-13	66,2	12-13	67,2	12-13	67,1	12-13	67,2
	ora di punta	16-17	67,3	***	***	15-16	67,3	15-16	67,9
	ora di punta	19-20	68	20-21	68,2	18-20	67,3	19-20	67,8
	tend. alla dimin.	02-03	62,8	01-02	62,8	02-03	62,8	03-04	59,8
	livelli minimi	05-06	56,2	05-06	58	05-06	55,3	06-07	55,2
	livello diurno	67		67,1		67		67,1	
livello notturno	62		62		61,8		61,8		

Tab. 8.6 - Confronto degli andamenti dei livelli orari per la stazione di Rovereto

8.3 Analisi statistica dei risultati del monitoraggio

Con l'impiego dell'analisi statistica ed in particolare con la distribuzione delle frequenze (allegati n° 4 e n° 9) appare immediatamente come, per entrambe le stazioni di monitoraggio, i livelli notturni hanno una maggiore dispersione rispetto a quelli diurni in conseguenza di una maggiore discontinuità del flusso veicolare.

Prendendo in esame i digrammi delle distribuzioni delle frequenze, nei quali è stata mantenuta la solita distinzione per tipologia di giorno e stagione, si possono ricavare le osservazioni di seguito riportate, valide per entrambe le stazioni. Di norma nei giorni *lavorativi* le distribuzioni diurne e notturne risultano, per tutte le stagioni, approssimativamente distinte fra loro. Nei giorni *festivi*, invece, la diminuzione dei livelli diurni e per contro l'aumento di quelli notturni, determina la tendenza alla sovrapposizione fra le due mode.

Il periodo notturno, indipendentemente dalle stagioni e dai giorni, è caratterizzato da una distribuzione di tipo bimodale e in alcuni casi plurimodale.

Dall'analisi delle cumulative annuali si nota ancora un andamento differenziato per tipologia di giorno (allegati n° 5 e n° 10). In particolare nei giorni *lavorativi* la curva cumulativa notturna evidenzia dei livelli di rumorosità, presenti per il 100% del tempo di misura, inferiori a quelli del fine settimana. Diversamente, nei giorni *prefestivi e festivi* l'andamento della curva cumulativa notturna dimostra la presenza di livelli dominanti con valori tipici di una città che "vive la notte".

8.4 Confronto tra la L.P. n° 6/91 ed il D.P.C.M. 1° marzo 1991

Molti sono gli elementi che differenziano la L.P. n° 6/91 dal D.P.C.M. 1° marzo 1991 ma non è nostra intenzione stare qui ad elencarli. Tuttavia ci è parso interessante mettere a confronto, uno fra tutti, la diversa scelta attuata nella definizione dei periodi di riferimento, diurno e notturno. Infatti, mentre la normativa provinciale definisce il periodo notturno dalle ore 22.00 alle ore 7.00, quella nazionale lo identifica dalle ore 22.00 alle ore 6.00.

Per risaltare le differenze, dovute alla diversificazione dei periodi di riferimento, dai dati orari rilevati in una settimana campione (18÷24 novembre 1996), si è eseguito il calcolo dei livelli diurni (Ld) e notturni (Ln) seguendo la definizione prevista dalle due normative; i risultati ottenuti sono riportati nella Tab. 8.7.

Giorno	L.P. n°6/91		D.P.C.M.		Differenze	
	Ld	Ln	Ld	Ln	Ld	Ln
Lunedì	69,9	62,7	69,8	60,8	0,1	1,9
Martedì	69,5	62,2	69,4	60,6	0,1	1,6
Mercoledì	69,7	62,3	69,5	61	0,2	1,3
Giovedì	69,8	62,8	69,7	60,9	0,1	1,9
Venerdì	70,1	62,3	69,9	61,6	0,2	0,7
Sabato	68,9	62,7	68,8	62,2	0,1	0,5
Domenica	66,1	60,6	65,8	60,9	0,3	-0,3
Valori medi					0,2	1,1

Tab. 8.7 - Confronto fra i periodi diurno e notturno della L.P. n° 6/91 e del D.P.C.M. 1/3/91 per la stazione di Trento

È interessante far notare come, mentre nel periodo di riferimento diurno la differenza media dei livelli rilevati è decisamente contenuta [0,2 dB(A)], nel periodo notturno, invece, tale differenza risulta essere più marcata con un valore medio di 1,1 dB(A).

Risulta evidente che se nel periodo diurno il contributo di un'ora di misura, con livelli vicini a quelli rilevati nella restante parte della giornata, influenza poco il livello diurno giornaliero, nel periodo notturno l'intervallo dalle ore 6.00 alle ore 7.00, periodo in cui il traffico veicolare inizia ad essere sostenuto, costituisce un contributo importante nella definizione del livello di rumorosità notturno.

L'estensione dell'intervallo orario che definisce il periodo notturno è quindi testimone di una volontà politica rivolta ad una maggior tutela ambientale ed al conseguente miglioramento della salute e del riposo della popolazione.

8.5 Confronto dei livelli di rumorosità con le concentrazioni di ossido di carbonio nella città di Trento

L'ossido di carbonio (CO) è un composto inodore, incolore, insapore e deriva principalmente dai processi di combustione incompleti per difetto d'aria. Le fonti principali sono il traffico veicolare e gli impianti di riscaldamento, seguiti dagli incendi di foreste e di rifiuti dell'agricoltura.



Nella stazione di Trento, contemporaneamente ai livelli di rumorosità, vengono anche rilevate le percentuali di concentrazione di ossido di carbonio. Avendo pertanto a disposizione entrambe le serie di dati abbiamo provveduto a un loro confronto sulla base della rappresentazione grafica riportata in Fig. 8.5, in cui sono indicati gli andamenti medi dei $L_{Aeq,1h}$ e del CO orari relativi a una settimana del mese di maggio.

Per favorire il raffronto della serie relativa alle concentrazioni di CO, i livelli di rumorosità sono riportati in una scala lineare, ovvero quella dei Pascal. Preme evidenziare come ci sia una relazione fra l'andamento dei livelli di rumore e l'andamento delle concentrazioni di CO. Nelle prime ore del mattino, infatti, osserviamo che entrambi gli inquinanti subiscono un costante incremento fino a raggiungere un valore massimo in corrispondenza delle ore di punta del traffico. Nelle ore serali, similmente, avviene un calo pressoché contemporaneo di entrambi gli inquinanti. Non deve impressionare l'apparente contraddittorietà del separarsi delle due curve nel periodo orario dalle ore 09 alle ore 17.00 in quanto nel periodo di punta il TAU presenta elevati flussi veicolari a bassa velocità mentre nelle ore intermedie i flussi diminuiscono ma aumenta la velocità.

Tuttavia non si devono trascurare possibili variazioni legate alle differenti condizioni meteorologiche a cui il CO è fortemente sensibile, specie per la presenza del vento, che può facilmente disperderlo, avendo questi un peso molecolare più basso di quello dell'aria. Pertanto ne consegue che, a parità di volumi di traffico, le concentrazioni di CO possono subire grosse variazioni stagionali.

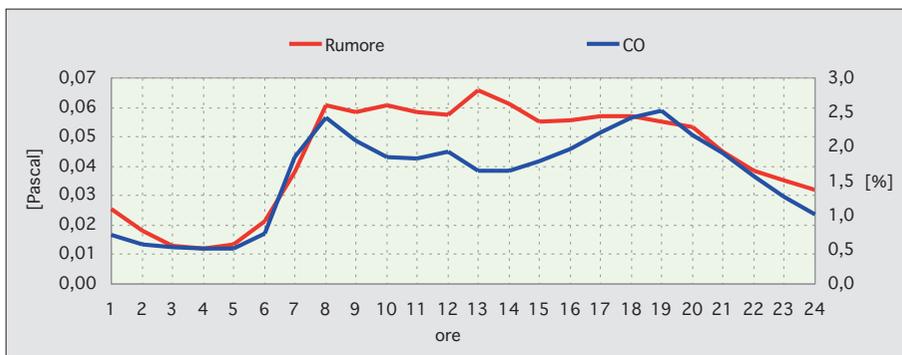


Fig. 8.5 - Grafico di raffronto dei livelli equivalenti orari medi con le concentrazioni di CO medie in una settimana del mese di maggio

8.6 Conclusioni

Va innanzitutto sottolineato come a tutt'oggi non vi sia un chiaro riferimento normativo che dia una precisa indicazione di come debba essere accertato il superamento dei limiti di rumorosità prodotto da TAU; vale a dire che non esiste una norma che stabilisca per quanto tempo e con quale ricorrenza un determinato livello di rumorosità sia da considerare eccedente i limiti di accettabilità.

L'entrata in vigore della Legge n° 447 del 26 ottobre 1995 recante "Legge quadro sull'inquinamento acustico" ha determinato notevoli mutamenti nella disciplina dell'inquinamento acustico, ossia, per la prima volta, tale problema viene affrontato in chiave preventiva incidendo finalmente sulle scelte globali che la pubblica amministrazione compie sul territorio. Tuttavia l'effettiva applicabilità della legge è subordinata all'emanazione di numerosi decreti attuativi; in particolare per il TAU è prevista un'apposita regolamentazione per il rumore da esso prodotto.

I punti significativi di tale decreto sono la determinazione di limiti massimi di rumorosità per le infrastrutture stradali esistenti e per quelle di futura realizzazione.

Pertanto, alla luce di un quadro normativo in fase di aggiornamento, non è possibile stabilire se i valori di rumorosità rilevati nelle città di Trento e Rovereto sono da ritenersi accettabili e nel caso non lo siano quali interventi adottare nel breve periodo.

In ogni caso, non dobbiamo trascurare, come più volte evidenziato nel corso di questa pubblicazione, l'importanza dei monitoraggi nella misura del rumore da TAU i quali, congiuntamente ai rilevamenti della rete di monitoraggio della qualità dell'aria, forniscono ai cittadini importanti informazioni sullo stato di salute dell'ambiente in cui viviamo, dando nel contempo un parametro di valutazione circa l'efficacia degli interventi adottati dalle amministrazioni comunali nella viabilità cittadina (es. Piani urbani del traffico).

Attraverso questo lavoro è stato altresì possibile approfondire lo studio sugli andamenti dei livelli di rumorosità prodotti dal TAU nel corso del 1996, confrontando i livelli di rumorosità diurni e notturni fra giorni lavorativi e giorni festivi, le variazioni dei livelli nei diversi periodi stagionali, gli andamenti tipici dei livelli orari, nonché quantificare le variazioni di rumorosità connesse a forti riduzioni dei flussi veicolari o a modifiche sulla composizione del TAU, quali l'eliminazione del traffico pesante o dei mezzi di trasporto pubblico.

9. L'attività di monitoraggio

Nella provincia di Trento circa il 60% della popolazione risiede lungo il corso del fiume Adige e in zone di fondovalle.

I dati relativi al censimento del 1991 registrano una popolazione residente di 449.562 abitanti con una densità media di 71 abitanti/Kmq (la media nazionale è di 187 abitanti/Kmq).

Le presenze turistiche annue sono quantificabili in 24.482.000 unità (dato del 1990), con delle punte massime registrate nel periodo estivo.

In un territorio montano ove la disponibilità di aree edificabili è per lo più limitata alle zone di fondovalle, dove trovano anche sede le più importanti vie di comunicazioni quali l'autostrada del Brennero A22, la ferrovia, le strade statali e provinciali, si è venuta a creare una concentrazione delle zone ad elevato grado di inquinamento acustico ed è proprio in queste zone che è necessario procedere con monitoraggi puntuali ad un controllo dei livelli di rumorosità.

9.1 I programmi di controllo dell'Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente

Oltre ai monitoraggi permanenti condotti nelle città di Trento e Rovereto nell'anno 1996, l'U.O. inquinamento acustico si è attivata con una serie di indagini, anche a seguito di specifiche richieste delle amministrazioni comunali, in diversi centri della provincia, nella fattispecie:

- campagna di rilevamento negli abitati di Isera, Cornalé e Marano eseguita al fine di valutare l'inquinamento acustico prodotto dalla S.P. destra Adige e dall'autostrada A22 del Brennero. Nella campagna di rilevamento sono stati coperti 3 punti di misura nel periodo relativo ai mesi di agosto-settembre;
- campagna di rilevamento nell'abitato di Mezzolombardo eseguita al fine di valutare la rumorosità prodotta dal traffico veicolare sulla strada provinciale della Valle di Non. Nella campagna di rilevamento sono stati coperti 3 punti di misura nei mesi di luglio-agosto;
- campagna di rilevamento di Arco finalizzata alla valutazione dei bene-

fici derivanti dalla realizzazione della nuova circonvallazione. Nella campagna di rilevamento sono stati coperti 6 punti di misura nei mesi di giugno-luglio;

- campagna di rilevamento della rumorosità prodotta dal traffico veicolare transitante sulla strada statale della Valsugana. Nella campagna di rilevamento sono stati coperti 4 punti di misura nel mese di marzo;
- campagna di monitoraggio della rumorosità prodotta dal transito delle auto da gara del Rally di San Martino. Nella campagna di rilevamento sono stati coperti 5 punti di misura nel mese di luglio;
- monitoraggio della rumorosità prodotta dalle operazioni di scalo merci presso lo scalo intermodale di Roncafort. Nella campagna di rilevamento sono stati coperti 3 punti di misura nei mesi di ottobre-novembre;
- monitoraggio della rumorosità prodotta dalle manifestazioni ricreative presso l'area ex-Zuffo di Trento. Nella campagna di rilevamento è stato coperto un punto di misura nel mese di ottobre;
- monitoraggio della rumorosità prodotta dal traffico veicolare, nel periodo di maggior flusso turistico, a passo Pordoi. Nella campagna di rilevamento è stato coperto un punto di misura nel mese di agosto;
- monitoraggio della rumorosità nel centro urbano di Rovereto a seguito dell'adozione del nuovo piano traffico (OIKOS). Nella campagna di rilevamento sono stati coperti 18 punti di misura, con la tecnica a campionamento, nei mesi di settembre-ottobre;

Per consentire una migliore razionalizzazione delle risorse umane e dei costi di gestione le future campagne di monitoraggio saranno orientate allo sviluppo del piano di risanamento provinciale. Attraverso verifiche puntuali, atte ad individuare le aree con maggiore priorità di intervento, sarà possibile fornire utili informazioni per la corretta progettazione degli interventi, nonché valutare, successivamente, l'efficacia degli stessi.

A tal proposito, in Provincia di Trento i comuni che hanno già predisposto il piano di zonizzazione acustica sono, a tutt'oggi, settantuno; altri sono nella fase conclusiva, anche in seguito alle disposizioni contenute nella revisione della normativa provinciale.

Il piano di risanamento provinciale va a collocarsi nella seconda fase; fase in cui si dovrà descrivere le condizioni dell'inquinamento acustico, determinare lo stato delle opere e degli interventi di risanamento, le priorità e i

tempi di realizzazione quantificando le risorse da impiegare e individuando i comuni tenuti alla predisposizione del piano di risanamento comunale.

Nei prossimi programmi di monitoraggio si ritiene utile impiegare almeno una delle due stazioni permanenti in altri siti del tessuto urbano o in altre località della provincia, ripetendo i monitoraggi ad intervalli regolari negli stessi punti (almeno ogni cinque anni), anche in considerazione del fatto che le variazioni della rumorosità prodotta da TAU risultano significative solo dopo diversi anni.

9.2 I livelli sonori equivalenti e l'esperienza del silenzio

“... In montagna riacquista valore il ritmo, spesso perduto e inavvertito, del giorno e della notte, del sole e della luna e del volgere della volta stellata. Per un po' esso ci libera dalla tirannia dei motori e delle accelerazioni, dell'elettronica e degli appuntamenti, delle molte altre incombenze, in una parola dallo stress della nostra esistenza.

Ammaestrati dalla montagna riusciamo a comprendere quel vecchio indiano che, passata un'ora, volle scendere dall'auto sulla quale per la prima volta si era messo in viaggio. Stai male?, gli chiesero. No - rispose - devo solo aspettare che arrivi fin qui anche il mio cuore.

Sui monti, il cuore può farcela a starci dietro. Lassù dove il folto bosco si chiude al panorama o dove ci si riposa presso un laghetto alpino oppure ci si ferma a guardare il vagare delle nebbie o il dipanarsi delle nuvole. Un frammento di quel contegno sovrano dei monti può passare a noi. Lassù i figli della fretta apprendono la rara arte di saper soffermarsi.” (*Reinhold Stecher*).

Per considerare un ambiente “tranquillo” riteniamo prerogativa necessaria la condizione di “silenzio”. Ma siamo certi di sapere cosa significhi silenzio in termini di livelli sonori?



Nel corso delle nostre campagne di monitoraggio abbiamo, in alcune occasioni, condotto delle misure di livelli sonori in ambienti montani isolati da attività umane. Al riguardo viene qui riportata un'esperienza condotta durante una campagna di rilevamento nel parco di Paneveggio, parco naturale inserito nell'ambiente scenico offerto dalle Pale di San Martino. Come Vi sarà possibile constatare, in ambienti naturali protetti valori di rumorosità di 0 dB(A) non esistono.

Nel caso in questione avevamo predisposto un monitoraggio in continuo dei livelli sonori presso la baita "Brenzi" (1402 s.l.m.), sita in Val Cadino. La baita è inserita in un ambiente boschivo raggiungibile a piedi ed è protetta dalla rumorosità della strada di fondovalle, peraltro poco trafficata. L'ambiente circostante è ricco di svariate specie animali quali il capriolo, il camoscio, il cervo, la marmotta, la lepre, lo scoiattolo, la volpe, la martora e l'ermellino, oltre a molteplici varietà di uccelli tra cui il gallo cedrone, il gallo forcello, il francolino, l'aquila reale, il gufo, l'allocco e la pernice bianca ed insetti quali grilli, cicale, ecc.

I livelli sonori rilevati risultano quindi controllati, oltre che dalla vita ani-

male, di cui la zona risulta esserne ricca, dall'azione del vento che soffia fra le fronde degli alberi.



Baita Brenzi sita a quota 1402 s.l.m.



Vista panoramica dalla baita Brenzi

Nel grafico di Fig. 9.1 vengono indicati i valori di rumorosità rilevati nella giornata del 22 luglio 1996 i quali hanno fornito un livello equivalente diurno di 42 dB(A) e notturno di 40,1 dB(A).

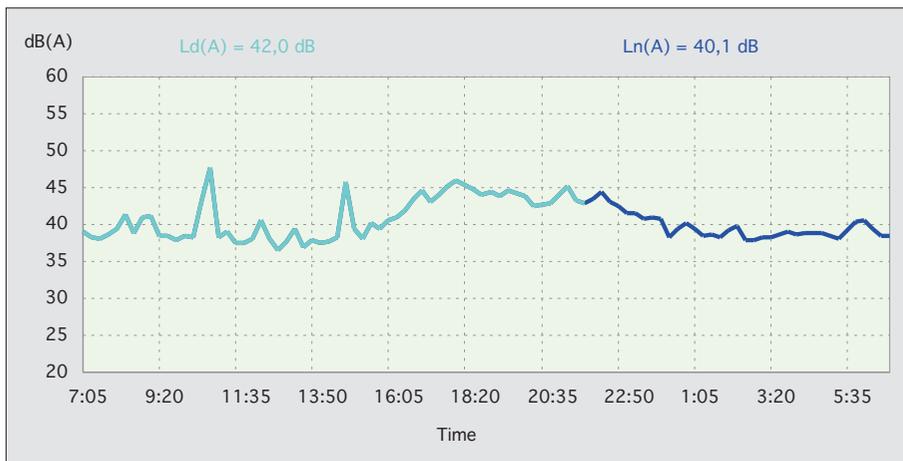


Fig. 9.1 - Livelli di rumorosità rilevati presso la baita "Brenzi" (Parco di Paneveggio)

Si noti come i livelli di rumorosità rilevati non scendano mai, nemmeno la notte, al di sotto dei 36-37 dB(A) e come, per contro, la differenza fra livelli diurni e quelli notturni sia contenuta in 2 dB(A) circa.

I dati raccolti oltre a fornire un'ulteriore dimostrazione di quanto già descritto nel par. 5.1 circa il fatto che suono e rumore non si differenziano per il solo livello sonoro, sono anche una chiara dimostrazione di come, ancora una volta, i limiti di accettabilità previsti dalla vigente normativa non tengano conto della natura della sorgente a cui gli stessi devono essere riferiti, tant'è che i limiti di accettabilità previsti per le "Aree a parco e riserva naturale e biotopo" sono di 40 dB(A) nel periodo diurno e 30 dB(A) nel periodo notturno.

10. Sistemi di contenimento del rumore

Nella stesura di un piano di risanamento ambientale risulta di fondamentale importanza stabilire una scala di valori che tenga conto della classificazione delle sorgenti di rumore e della individuazione delle priorità e dei tempi di realizzazione degli interventi. Si deve, quindi, stabilire un criterio oggettivo di valutazione sulla base di alcuni principali parametri, come ad esempio *dati sulla rumorosità, classificazione delle aree, entità del superamento dei limiti di accettabilità, numero di abitanti esposti al rumore e valutazione economica delle opere*, oltre che stabilire un programma di priorità d'intervento allo scopo di perseguire l'ottimizzazione del rapporto costo/beneficio.

La vigente normativa, infatti, ha assegnato dei limiti di accettabilità oltremodo restrittivi che attualmente non trovano riscontro nella realtà territoriale. Risulta pertanto improponibile un'opera di risanamento estesa a tutti quei casi in cui i previsti limiti sono superati.

Dobbiamo considerare, in questa prima fase, la necessità di interventi mirati a risolvere, o quantomeno contenere, le situazioni più gravose, quelle cioè che, dal confronto dei parametri sopra riportati, risultano essere maggiormente penalizzate.

Nel momento in cui vengono individuate le aree con livelli di rumorosità elevati e quantificata l'entità del superamento dei limiti di accettabilità è necessario passare alla fase di risanamento attraverso l'adozione di una serie di sistemi di contenimento del rumore. I sistemi di contenimento del rumore possono essere del tipo: *interventi attivi, interventi passivi e iniziative di prevenzione*.

Vengono definiti interventi attivi l'insieme degli accorgimenti adottati direttamente sulla sorgente; si definiscono, invece, interventi passivi quelli che ostacolano o riducono la propagazione del rumore nell'ambiente circostante. Per quanto riguarda le iniziative di prevenzione deve essere posta particolare attenzione *all'educazione del cittadino* quale primo attore nella vita quotidiana della città.



10.1 Interventi attivi

Gli interventi sulla sorgente possono essere perseguiti attraverso: *interventi sui veicoli*, *interventi sulla sede viaria* e *interventi sulla circolazione*.

Si ricorda che per sorgente di rumore si intende l'intero tratto stradale (sorgente lineare) sul quale transitano più sorgenti puntiformi (veicoli).

10.1.1 Interventi sui veicoli

Sono attuabili riducendo, per le varie categorie di veicoli, i limiti di rumorosità consentiti attraverso vincoli per le case costruttrici di adeguamento alla normativa. In sede europea, sono già state emanate una serie di direttive CEE le quali impongono alle case automobilistiche valori massimi di emissione sonora gradualmente più restrittivi.

L'industria automobilistica ha pertanto reagito prontamente con la produzione di camion "silenziosi" che rappresentano oggi in tutta l'Europa il livello standard raggiunto dalla tecnologia in questo settore. Per gli autoveicoli adibiti a trasporto passeggeri questo sviluppo è stato introdotto molto prima e ha già portato a una notevole riduzione del rumore.

Una potenzialità non ancora sfruttata appieno è quella della riduzione del rumore prodotto dai pneumatici. Si sta studiando la questione in tutto il mondo, ma il “pneumatico silenzioso” ancora non c’è.

10.1.2 Interventi sulla circolazione

Accorgimenti del tipo: limitazione della velocità o riduzione del flusso veicolare orario non comportano guadagni significativi in termini di dB. Si pensi che la riduzione della velocità consente notevoli miglioramenti solo in ambito extraurbano, ove la rumorosità è originata principalmente dal rotolamento del pneumatico sull’asfalto (ad esempio: una riduzione della velocità da 100 a 50 Km/h comporta una attenuazione della rumorosità di circa 10 dB(A)); questa soluzione, applicata al tessuto urbano, non porta a dei risultati altrettanto apprezzabili in quanto, a causa della già ridotta velocità di scorrimento, è prevalente la rumorosità prodotta dal motore.

Una soluzione più incisiva, quale può essere una riduzione importante del traffico veicolare, non dà una altrettanto rilevante riduzione della rumorosità; infatti, il dimezzamento del flusso veicolare determina un calo di 3 dB(A), a condizione che la velocità rimanga costante. Situazione questa riscontrabile solo a livello teorico in quanto, a fronte di una diminuzione del flusso veicolare, si ha per contro un aumento delle velocità di percorrenza che limitano la riduzione reale della rumorosità in soli 1 o 2 dB(A). Da ciò ne consegue che riduzioni di anche 1 dB(A) rappresentano, su volumi di traffico importanti, variazioni considerevoli.

10.1.2.1 Influenza degli autobus, camion e ciclomotori nel rumore da TAU

Una dimostrazione di come modifiche nella viabilità non producono variazioni considerevoli nei livelli di rumorosità prodotti da TAU si ha dall’analisi dei dati sperimentali ottenuti da un’indagine condotta in Via A. Rosmini a Trento. Via A. Rosmini costituisce un’importante tronco di attraversamento della città ed è quindi caratterizzata da un sostenuto traffico veicolare.

La strumentazione impiegata nella misurazione è stata impostata per l’acquisizione dei livelli equivalenti brevi ogni mezzo secondo per un tempo totale di circa un’ora; contemporaneamente alla misura dei livelli di rumorosità sono stati annotati i tempi relativi ai passaggi di autobus, camion e motocicli (sono state escluse dal conteggio le automobili). In totale, nel corso di un’ora, sono transitati 38 autobus, 9 camion e 58 motocicli ottenendo un livello equivalente complessivo di 72,3 dB(A) (vedi Fig. 10.1).

Dai dati di rumorosità rilevati sono stati mascherati i passaggi di autobus (Fig. 10.2), di camion (Fig. 10.3) ed infine di motocicli (Fig. 10.4) ricavando i seguenti valori di livello equivalente di 71,1 dB(A), 71,9 dB(A) e 71,3 dB(A) che confrontati con il livello equivalente complessivo hanno prodotto differenze nell'ordine di 1.2, 0.4 e 1 dB(A).

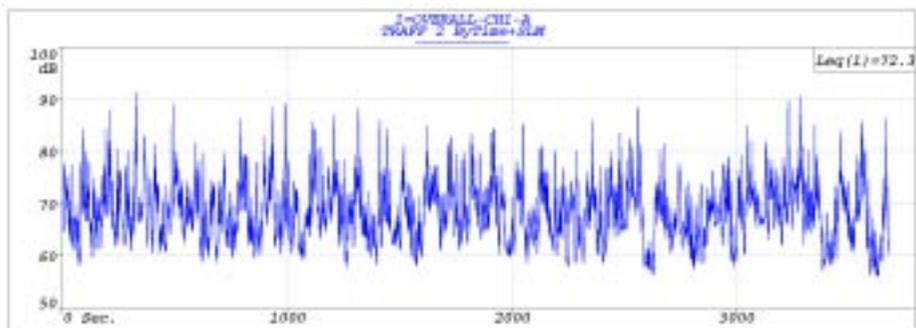


Fig. 10.1 - Andamento complessivo dei livelli di rumorosità, $L_{Aeq} = 72.3$ dB

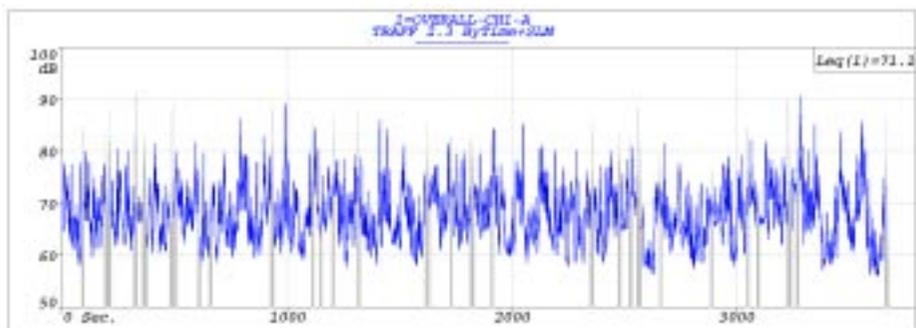


Fig. 10.2 - Andamento dei livelli di rumorosità con l'eliminazione dei passaggi degli autobus, $L_{Aeq} = 71.1$ dB

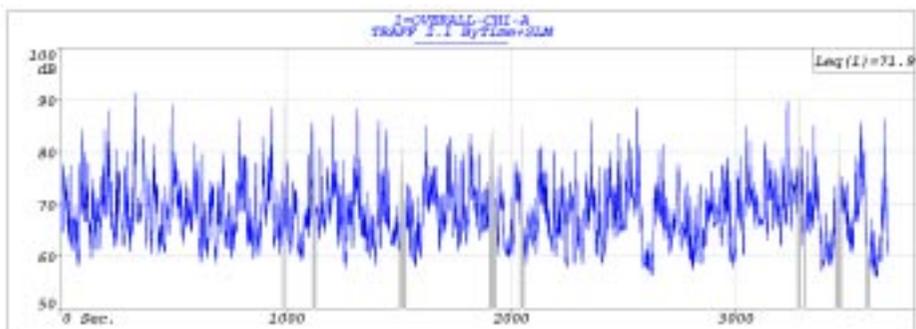


Fig. 10.3 - Andamento dei livelli di rumorosità con l'eliminazione dei passaggi dei camion, $L_{Aeq} = 71.9$ dB

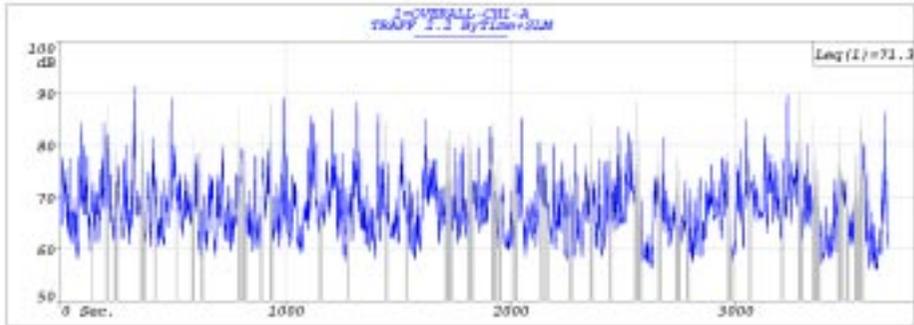


Fig. 10.4 - Andamento dei livelli di rumorosità con l'eliminazione dei passaggi dei ciclomotori, $L_{Aeq} = 71.3$ dB

Rispetto a quanto sarebbe stato prevedibile attendersi la riduzione dei livelli di rumorosità, ottenuta eliminando i passaggi degli autobus, è risultata contenuta in poco più di 1 dB(A). La spiegazione a questa situazione è da ricercare nelle caratteristiche tecniche del parco mezzi gestito dalla società Atesina spa il quale è composto da 140 unità di recente costruzione (età media 10 anni).

La politica intrapresa in questi anni dalla Provincia autonoma di Trento ha favorito il continuo rinnovo e conseguente aggiornamento tecnologico dei mezzi con evidenti benefici sul piano della rumorosità prodotta dagli stessi. In relazione al transito di ciclomotori, si può osservare che oltre ad un contenuto numero di passaggi rilevati, la maggior parte di essi è di recente costruzione; negli ultimi anni, fortunatamente, è venuta meno la cattiva abitudine di elaborare il motore e di installare silenziatori non omologati. Riteniamo infine che miglioramenti ancora più significativi potrebbero essere ottenuti solo ipotizzando la chiusura della strada al traffico veicolare, fatta eccezione agli autobus. In questa condizione si avrebbe, da una stima condotta sui livelli rilevati, un livello equivalente di circa 68 dB(A) con una conseguente riduzione della rumorosità di 4,3 dB(A). Da ciò ne consegue che la pedonalizzazione dei centri storici risulta essere, al momento, una delle soluzioni che è in grado di garantire i migliori risultati.

10.1.3 Interventi sulla sede viaria

Gli interventi sulla sede viaria sono essenzialmente legati all'impiego di asfalti fonoassorbenti i quali, grazie alla loro porosità, consentono una

drastica riduzione del rumore da rotolamento. Essi comunque non danno grossi vantaggi in ambito urbano ma piuttosto trovano ampia applicazione sulle vie di scorrimento ad alta velocità.

I produttori di tali asfalti dichiarano una riduzione di rumore fino a 10 dB(A). Considerato che, come già anticipato, l'effetto di riduzione del rumore è frutto dalla porosità dell'asfalto, si è notato, anche a seguito di varie sperimentazioni, che le cavità, con il tempo, si ostruiscono a causa di polveri e detriti e pertanto l'effetto fonoassorbente si riduce drasticamente; di qui il motivo per cui la diminuzione reale è di circa 3-4 dB(A).

10.2 Interventi passivi

Gli interventi passivi possono essere classificati secondo tre principali gruppi: *pianificazione urbanistica, tipologie edilizie e barriere antirumore*.

10.2.1 Pianificazione urbanistica

Una corretta pianificazione consente di ridurre in modo consistente la propagazione del rumore aereo all'interno delle aree edificate. Alcuni criteri basilari per una corretta pianificazione acustica possono essere così riassunti:

- allontanamento delle vie di traffico dalle zone residenziali;
- strade di penetrazione nei quartieri con tracciati e caratteristiche tali da imporre bassa velocità ai veicoli;
- zone di parcheggio protette da alberi o altri ostacoli;
- inserimento di edifici di protezione (es. negozi, uffici, garages, ecc.) fra le sorgenti di rumore e le aree residenziali (vedi Fig. 10.5). Tale accorgimento permette la protezione al rumore delle aree residenziali a scapito di quelle commerciali in cui la quiete non costituisce un obiettivo primario;
- modifica dell'orografia del territorio in modo tale che le aree da proteggere risultino ribassate rispetto alle sorgenti di rumore o la creazione di terrapieni con funzione di barriera (vedi Fig. 10.6);
- suddivisione del territorio in aree secondo il loro utilizzo (zoning);
- progettazioni degli edifici secondo criteri di protezione al rumore.



Fig. 10.5 - Esempio di disposizione a forma di barriera schermante dei garages (tratto da Arbeitsblätter für die Bauleitplanung nr. 9 - Bayerisches Staatsministerium des Inneren Oberste Baubehörde)

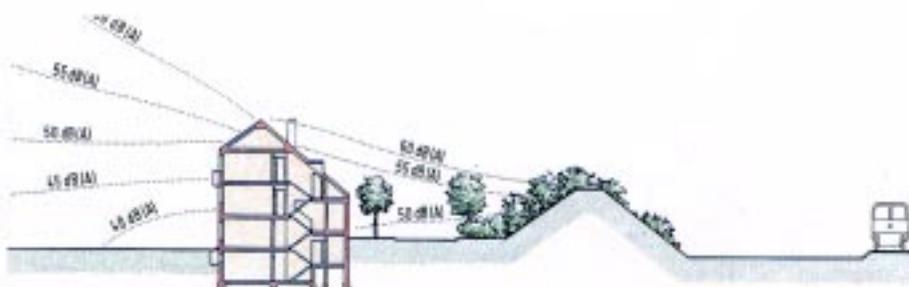


Fig. 10.6 - Orientamento delle case a schiera nell'ottica della protezione da rumore con inserimento di terrapieno (tratto da *Arbeitsblätter für die Bauleitplanung* nr. 9 - Bayerisches Staatsministerium des Inneren Oberste Baubehörde)

10.2.2 Tipologie edilizie

In molte occasioni ci troviamo a dover far fronte a scelte urbanistiche errate che consentono la costruzione di edifici anche in luoghi troppo vicini alla sorgente di rumore o in posizione non sufficientemente schermata.

In questi casi il progettista è chiamato a realizzare degli accorgimenti che garantiscano un'adeguata protezione degli spazi destinati alle attività umane. Al riguardo riportiamo di seguito alcune indicazioni particolarmente utili per un'efficace tecnica di costruzione.

- le facciate rivolte verso la sorgente di rumore dovrebbero essere di elevato spessore e prive di aperture e di balconi;
- se è inevitabile collocare finestre rivolte verso la sorgente di rumore bisogna dotarle di serramenti ad elevato isolamento, garantendo altresì corretta ventilazione ed eventuale condizionamento, in modo che non sia necessario aprirle per cambiare l'aria o rinfrescare l'ambiente;
- gli edifici prossimi alla strada è bene che formino uno schermo continuo in grado di proteggere l'area cortilizia interna;
- le tipologie a corte o a schiera sono più adatte alle casette isolate per realizzare giardini protetti dal rumore della strada;
- le recinzioni murarie sono molto più efficienti delle cancellate seppure di diverso impatto;
- la disposizione dei locali negli appartamenti deve tenere conto delle esigenze di quiete richieste da camere da letto e soggiorni evitando di esporle direttamente sulla facciata più esposta al rumore (vedi Fig. 10.7, Fig. 10.8 e Fig. 10.9);
- nella costruzione dei balconi il parapetto in muratura piena è da preferire a quelli metallici aperti;
- è necessario prevedere dispositivi per il contenimento delle vibrazioni trasmesse alle fondazioni dell'edificio da strade percorse da traffico pesante;



Fig. 10.7 - Le camere da letto sono situate sul lato opposto a quello del rumore; il vano scale ha una doppia intercapedine; i servizi sono posti verso il vano scale. La posizione un po' meno idonea del soggiorno viene migliorata con la presenza di una terrazza protetta da un parapetto massiccio (Direttiva ÖAL n. 26)

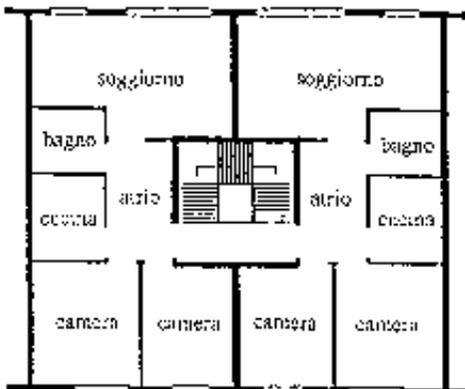


Fig. 10.8 - Il problema legato a due unità abitative confinanti è stato risolto adottando una disposizione simmetrica dei locali (Direttiva ÖAL n. 26)

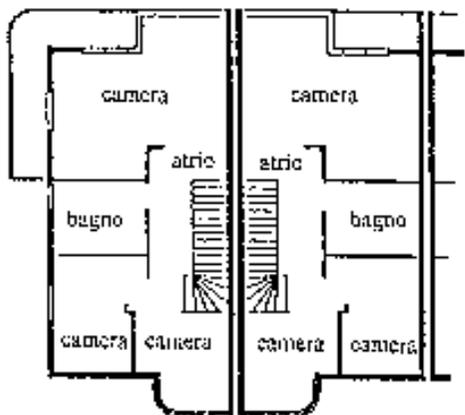


Fig. 10.9 - La casa a schiera dispone di una parete di separazione tra le due abitazioni costruita a doppio guscio con intercapedine ininterrotta dalle fondamenta al tetto; inoltre i locali sono simmetricamente affiancati (Direttiva ÖAL n. 26)

10.2.3 Barriere anti rumore

Quando non è possibile intervenire né sulla sorgente di rumore né sugli edifici o sulle aree che da esso vengono investiti, non rimane che inserire uno schermo, quale difesa passiva dalla propagazione del rumore. Le barriere anti rumore sono oggi installate con sempre maggiore frequenza in prossimità di strade, ferrovie o insediamenti industriali, a protezione di aree residenziali, aree protette e ricreative.



Fig. 10.10 - Esempio di barriera antirumore lungo un tratto stradale

Esistono in commercio vari tipi di barriere diversificate in base al materiale di cui sono fatte: acciaio o alluminio, legno, calcestruzzo, policarbonato, materiali refrattari, ecc. Dal punto di vista acustico tutte queste barriere possono essere divise secondo le loro qualità in: fonoisolanti e fonoassorbenti oppure solo fonoisolanti. Il grado di protezione offerto da queste barriere risulta generalmente compreso fra i 10 e 15 dB(A).

In molti casi possono trovare impiego anche le cosiddette barriere naturali ovvero barriere costituite da alberi, cespugli, ecc. che costringono il rumore a percorsi complessi con conseguente dispersione di energia. L'efficacia di tali barriere è strettamente legata al tipo di vegetazione scelta; ad esempio

una piantumazione di specie a foglie sempreverdi consente caratteristiche di abbattimento costanti per tutto l'anno; tuttavia l'abbattimento offerto da questo tipo di barriere è abbastanza contenuto, nell'ordine dei 5-6 dB(A).

10.3 Iniziative di prevenzione

Educare il cittadino, comprendere che l'ambiente in cui viviamo è un bene comune e che la sua tutela è giovamento per tutta la comunità è uno degli aspetti su cui ancora molto c'è da lavorare.

In questi ultimi anni il continuo progresso tecnologico e l'affermata politica consumistica hanno determinato un incessante aumento del parco mezzi circolante. Basti pensare che nel 1971, in Provincia di Trento, il rapporto auto/residenti era di 0,2 e che nel 1989 tale rapporto è salito a circa 0,5 (la media nazionale è di 0,56) (Rif. "Rapporto sullo stato dell'ambiente 1993").

La conseguenza di questo fenomeno è di aver prodotto un rilevante aumento degli agenti inquinanti, nella fattispecie inquinamento atmosferico ed acustico.

Troppo spesso, lamentandoci di un'eccessiva carenza del servizio pubblico, facciamo uso dell'automobile, anche quando non è necessario. Non neghiamo che, nella realtà di alcune città, questo corrisponda al vero; sta di fatto che a Trento, nonostante i mezzi pubblici offrano una buona copertura del territorio, le persone che usano l'autobus sono ancora poche. Inoltre dobbiamo constatare come, a bordo delle automobili, spesse volte ci sia solo il conducente.

Alcune amministrazioni, anche nel tentativo di arginare questa cattiva abitudine, hanno istituito zone a traffico limitato sempre più estese e parcheggi a tariffa differenziata (le zone del centro hanno una tariffa oraria maggiore rispetto a quelle periferiche). Tuttavia in molti casi queste soluzioni sono criticate, non solo dai commercianti della zona che le considerano responsabili del calo delle vendite, ma persino dagli stessi cittadini i quali ritengono limitata la propria libertà di circolazione.

Imporre alla popolazione un nuovo scenario nella viabilità di una città può costituire motivo di contrasti e malumori che, in taluni casi, sfociano in comitati di protesta. Per questo motivo acquista notevole importanza fornire ai cittadini, o loro rappresentanti, un adeguato strumento di partecipazione ed informazione come assemblee, conferenze e mass media allo sco-

po di stimolare l'interesse all'attività sociale e politica della città. Tuttavia, l'informazione del cittadino trova maggiore efficacia se approntata in età scolare, attraverso programmi di educazione ambientale che formino i giovani a sviluppare un diverso approccio alle abitudini quotidiane. Limitare l'uso dell'automobile, mantenere alla guida del proprio mezzo un comportamento civile, vale a dire uso degli avvisatori acustici nei soli casi di pericolo, evitare le partenze brucianti ai semafori, mantenere efficienti i mezzi di circolazione sono solo alcuni degli esempi attraverso i quali sono possibili dei miglioramenti in termini di rumore.



Molti paesi europei stanno escogitando diversi rimedi a quella che è ormai definita la malattia del secolo, che vanno dalla creazione di grandi parcheggi pubblici sotterranei a pagamento, i cui ricavi servono al potenziamento ed al rinnovo dei mezzi pubblici, alla creazione di corsie preferenziate per linee pubbliche (per ridurre i tempi morti dovuti ad ingorghi stradali). Ciononostante soluzioni che garantiscono buoni risultati in un paese possono risultare inefficaci in un altro, soprattutto per differenti abitudini della popolazione.

Le abitudini non sono facili da cambiare, ed è per questo che acquista notevole importanza “*l’educazione del cittadino*”; un grande investimento per il futuro che, se affrontato con la giusta convinzione, produrrà sicuramente notevoli benefici.

11. Bibliografia

- A.Peretti, A.Betta, A.Franchini, L.Parrino, *Il rumore urbano: effetti e valutazione*, supplemento al n° 100 di “Ambiente Risorse e Salute”, Pitagora Editrice Bologna, giugno 1990.
- Alfred Denk, *Misure di protezione dall'inquinamento acustico dovuta al traffico*, Atti Convegno A.I.A., Trento 12-14 giugno 1996.
- B.Abrami, A. Armani, M.Sergenti, *Il monitoraggio del rumore urbano ed extraurbano: la misura, la diagnosi, la previsione*, Parte prima e seconda.
- B. Abrami, A.Armani, F.Honsell, *Il rumore e la popolazione: misura dei livelli sonori equivalenti e valutazione dell'impatto da rumore*.
- B. Abrami, A.Armani, M.Sergenti, *Correlazione fra il flusso autoveicolare e L50*, Atti XXI Convegno AIA, Abbazia di Praglia (Padova) 31 marzo - 2 aprile 1993 (pag. 387-392).
- B. Abrami, C. Spalletti, *Procedure per le misure del rumore secondo il D.P.C.M. 1° Marzo 1991*, Phoneco Milano 1994 c/o Hoepli.
- B.Abrami. A.Armani, *Le basi per la costruzione di una semeiotica dei climi di rumore finalizzata ad una lettura valutativa e diagnostica dei dati forniti da stazioni di monitoraggio del rumore fisse e semi fisse*, Atti XXI Convegno AIA, Abbazia di Praglia (Padova) 31 marzo 2 aprile 1993 (pag. 293-297).
- C.M. Harris: S.Fidell, in *Handbook of noise control - Community response to noise*, pag. 36.1-36.8. McGraw-Hill Publishing Company 1989.
- *Corso di perfezionamento ed aggiornamento professionale in “Acustica nell'edilizia”*, Università di Ferrara.

- D.Bertoni, A.Franchini, J.Lambert, M.Mangoni, P.L. Tartoni, M.Vallet, *Gli effetti del rumore dei sistemi di trasporto sulla popolazione*, Pitagora Editrice Bologna, 1994.
- E.Zwicker, H.Fastl, *Psychoacoustics, Facts and models*, Springer-Verlag (pag. 181-214).
- F.Gerola, L.Mattevi, *La rete di monitoraggio dell'inquinamento acustico della Provincia Autonoma di Trento*, Atti XXIV Convegno AIA, Trento 12-14 giugno 1996 (pagg. 267-272).
- F.Sanford, *Interpreting findings about community response to environmental noise exposure: what the data say ?*, Euro-noise proceedings Book 2 -1992 (pag. 235-248).
- F.Scalet, *Il quadro normativo*, Seminario "Progettare il silenzio", Trento 1993, Atti.
- G.Brambilla, L. Cipelletti, *Valutazione degli errori associati a tecniche di campionamento nel tempo per il rilievo del rumore ambientale*, Rivista italiana di acustica, gennaio-marzo 1994.
- H.E.Von Gierke. K.Mck Eldred, *Effects of noise on People*, Noise News International giugno 1993.
- H.Myncke., *Study of urban traffic noise and the annoyance felt by the population*, Lab. Acustica Università Cattolica di Luven (Belgio) (Vol. 13/1977).
- *Il silenzio e suoi rumori*, Convegno Terme di Comano, Trento 29-30-31 ottobre 1991, Atti - editoriale Giorgio Mondadori.
- ISO 1996/1-1982 Acoustics, *Description and measurement of environmental noise- Part 1: Basic quantities and procedures*.
- ISO 1999 /1990 Acoustics - *Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment*.

- J.Nakazato, M.Sasaki, *Factor analytical study on the consciousness about "Like-Dislike" for various environmental sounds*, J.Acoust. Soc. Japan N-92-56 -1992.
- K.D.Kryter, *Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise*, Jour. Acoust. Soc. Am. 1982. 72 (pag.1212-1242).
- K.D.Kryter, *Response of K.D.Kryter to modified comments by T.J.Scultz on Kryter's paper "Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise annoyance"*, Jour. Acoust. Soc. Am. 1983. 73 (pag. 1066-1108).
- K.D.Kryter, *The effects of noise on man*, II ed. Accademic Press Inc. 1985 (pag. 389,526-229).
- L.P. 18 marzo 1991, n° 6 *Provvedimenti per la prevenzione ed il risanamento ambientale in materia di inquinamento acustico*.
- M.Cosa, *L'inquinamento da rumore*, Ed. Nuova Italia scientifica 1991.
- M.Cosa, *Rumore e vibrazioni: effetti, valutazione e criteri di difesa - Primo volume*, Maggioli Editore, 1990.
- M.Sasaki, *The preference of the various sounds environment ad the discussion about the concept of the soundscape design*, J.Acoust. Soc. Japan (E) 14,3 - 1993 (pag. 189-195).
- M.Vallet, J.Lambert, *Evaluation and proposal for noise indices to describe the exposure of populations to community noise*, Draft report. March 1994. Report prepared for The Commission of the European Communities- DG XI. Study contract N° B4 3040 (93) 16GJ.
- Mauro Leveghi, Assessore all'urbanistica edilizia abitativa e protezione dell'ambiente, *Le nuove norme in materia di acustica territoriale: profili urbanistici e pianificazione territoriale*, Torino 13 maggio 1997.
- Miedema, *Response functions for environmental noise*, (pag. 428-433).

- P.M.Nelson, *Noise disturbance caused by motorcycles*, *Noise & vibration control worldwide*, May/June 1980 (pag. 148-152).
- P.Simonetti e F.Gerola, *Reti di campionamento del rumore in aree urbane*, Atti Convegno “Le giornate di Corvara”, Corvara 19-21 marzo 1997.
- P.V.Brüel, *Induced hearing loss in industry*, Atti Internoise 1993 (pag. 27-29).
- R.F.S.Job, *Community response to noise: a review of factors influencing the relationship between noise exposure and reactions*, Jour. Acoust. Soc. Am. 83(3) marzo 1988.
- R.M.Schaffer, *The tuning of the world*, Arcana publication Ontario (1977).
- R.Shima, A.Tamura, *Survey on sound environment of central part of Odawara*, J.Acoust. Soc. Japan. (E) 14,3 - 1993 (pag.181-187).
- Reinhold Stecher, *La tranquillità delle montagne*, Trentino 1996.
- S.A.Stansfeld, *Noise sensitivity and psychiatric disorder: epidemiological and psychophysiological studies*, da Psychological Medicine Monograph supplement 22. Cambridge University Press 1991.
- T.J.Schultz, *Comments on K.D.Kryter’s “Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise”*, Jour. Acoust. Soc. Am. 1982 (pag. 1243-1252).
- Th.J.Schultz, *Synthesis of social surveys on annoyance*, Jour. Acoust. Soc. Am. 1978 (pag. 377-405).
- Zanin Paolo Corpo di polizia municipale di Milano, *Analisi dei reclami da inquinamento acustico per gli anni 1991-92-93*.