

# LE ESPERIENZE RACCOLTE ED I PROGRAMMI DI VALUTAZIONE DEL SUPERAMENTO DELLA NORMALE TOLLERABILITA' DELL'IMMISSIONE DI RUMORE E VIBRAZIONI

D' Alessandro D\*, Rini F\*\*, Vasapollo R\*, Chiarello G\*\*, Fara GM\*\*  
\*DAUI & \*\*DSSP, Università "La Sapienza" di Roma

## 1 INTRODUZIONE

L'inquinamento acustico è oggi riconosciuto tra i principali problemi ambientali capaci di determinare un peggioramento della qualità della vita in ambiente urbano.

Il livello di rumorosità presente attualmente nei grandi insediamenti urbani interferisce sia sul riposo che sulle attività umane, compromettendo il benessere degli individui esposti e favorendo la comparsa di effetti patologici da esposizione al rumore.

Ad oggi si stima che circa il 20% della popolazione dell'Europa occidentale sia esposta in continuazione a livelli di rumore superiori a quelli considerati accettabili [1].

Nell'area urbana di Roma, come nella maggior parte delle aree urbane dei paesi sviluppati, sono le infrastrutture di trasporto (soprattutto stradali) a rappresentare le principali sorgenti di inquinamento acustico, mentre il contributo delle sorgenti fisse, seppure localmente non trascurabile, appare meno significativo in una scala più vasta, anche a causa del ridimensionamento e del progressivo allontanamento di gran parte delle aree industriali e produttive dai centri urbani.

Con un parco effettivamente circolante di circa 2 milioni di veicoli, ed un rapporto tra numero di abitanti e numero di autovetture pari a 1.51 (fonte ACI, 2000), il **traffico veicolare** rappresenta, per il Comune di Roma la principale fonte di inquinamento acustico. Gli studi maggiormente significativi hanno concentrato infatti l'attenzione sulle grandi arterie di traffico (es. vie consolari nel loro tratto urbano), su quartieri ad esse adiacenti e prossimi a scali ferroviari.

Il rumore da **traffico ferroviario**, a differenza di quello stradale, interessa un numero di persone esposte sicuramente inferiore. Le reti ferroviarie presenti sul territorio comunale di Roma sono riconducibili essenzialmente a due categorie:

- la rete di trasporto pubblico urbano (linee FM, rete in concessione),
- i tratti urbani della rete ferroviaria nazionale.

Una sorgente di rumore sicuramente evidente nel Comune di Roma è rappresentata dalle **piccole industrie e attività artigianali** che, seppur caratterizzate da emissioni acustiche contenute, per la loro alta densità e concentrazione in zone residenziali contribuiscono ad incrementare il disturbo sulla popolazione. Nel centro storico della città, ad esempio, la densità di unità locali per km<sup>2</sup> raggiunge il valore di 137,4 rispetto ad una media cittadina di 11,8 [2].

La rumorosità proveniente da **attività culturali e ricreative** (quali discoteche, circoli musicali, stadi) risulta fra le più significative sorgenti di disturbo da rumore, sia durante l'esercizio sia nei tempi che precedono o seguono a causa del traffico indotto. Ancora più importante è il fatto che questa tipologia di sorgente si concentra nelle ore serali e notturne, aumentando il disagio reale della popolazione esposta in quanto colpisce nelle ore del riposo notturno.

**Ulteriori tipologie** di sorgenti di rumore sono rappresentate da impianti di depurazione e ventilazione installati all'esterno degli edifici industriali, torri di raffreddamento, gruppi frigoriferi, sottostazioni elettriche, trasformatori, nonché la rumorosità derivante da centri commerciali e da altre attività terziarie/commerciali attrattive di traffico [2].

## 2 EFFETTI SULLA SALUTE

La patologia causata da rumore più studiata e conosciuta è quella a carico dell'apparato uditivo; tuttavia numerosi sono gli studi che dimostrano un aumento di diversi tipi di effetti sfavorevoli sulla salute causati dall'esposizione al rumore.

Nonostante ciò, non si è ancora provveduto ad un chiaro inquadramento eziopatogenetico e nosologico di questi effetti. Le difficoltà provengono essenzialmente dall'esistenza di dati contrastanti, dalla non specificità degli effetti riscontrati e dall'impossibilità di individuare una definita correlazione tra gli effetti e le diverse caratteristiche fisiche del rumore.

Da un punto di vista neurofisiologico, il rumore si comporta come uno *stressor*, ovvero come uno stimolo in grado di produrre nell'organismo una tipica reazione da stress.

Lo *stress* fu definito negli anni '30 da Selye come "una risposta non specifica dell'organismo ad ogni richiesta effettuata su di esso"; la risposta allo stress è del tutto aspecifica e stereotipata ed assume un significato difensivo per l'organismo, inquadrandosi nella cosiddetta "*sindrome generale di adattamento*".

Tale sindrome si sviluppa attraverso tre momenti fondamentali [3]. Il primo momento è rappresentato da una *reazione d'allarme*, caratterizzata da una prima fase, in cui prevale un'attivazione del sistema parasimpatico (che determina una brusca caduta della pressione arteriosa, ipotermia, riduzione della diuresi, ecc.), a cui fa seguito una seconda fase in cui si attiva il sistema simpatico che determina aumento della pressione arteriosa e della frequenza cardiaca, vasocostrizione periferica, riduzione del flusso ematico a livello splancnico con aumento in altri distretti (cuore, cervello), una maggiore utilizzazione del glucosio, ecc. Questo status complessivo corrisponde alla messa in atto di meccanismi di attacco.

Alla reazione d'allarme segue la cosiddetta *fase di resistenza*, nella quale l'organismo continua la propria difesa cercando di trovare una forma di adattamento e di compensazione alla situazione di stress.

Se però quest'ultima si protrae troppo a lungo, si arriva alla terza ed ultima fase, che è quella di *esaurimento*. In questo caso si determina uno stato di inibizione diffusa che coinvolge i vari sistemi (neurovegetativo, endocrino, ecc.) che si erano attivati per far fronte alla situazione di stress, e ciò comporta un danneggiamento diretto ed irreversibile, di grado variabile, di alcune delle strutture coinvolte.

La risposta ai differenti *stressor* si realizza attraverso l'attivazione di numerosi assi ormonali, ma l'attivazione dell'asse ipotalamo-ipofisi-surrene e del sistema catecolaminergico surrenale e neurovegetativo assumono una rilevanza particolare: si verifica, in altri termini, un movimento neuroendocrino complesso atto alla difesa biologica ed al sostegno energetico dell'organismo (*reazione di attacco e fuga*); se però lo *stressor* non viene eliminato, lo stress può divenire una condizione patogena che porta l'organismo alla fase di esaurimento.

Il rumore, quindi, si inserisce fra gli stimoli capaci di instaurare una tipica reazione da stress, come un arco riflesso in cui la zona reticolare e ipotalamica del sistema nervoso centrale costituiscono il centro dell'arco, le vie acustiche rappresentano la branca afferente e le fibre nervose ascendenti e discendenti la branca efferente.

Gli organi bersaglio di questa reazione sono rappresentati da organi interni innervati dal sistema neurovegetativo (cuore, vasi sanguigni, intestino, ghiandole endocrine) e dai centri ipotalmo-diencefalici che regolano le secrezioni endocrine, il ritmo sonno-veglia ed altre funzioni.

Il rumore è soltanto uno dei molti elementi di *stress* che possono stimolare le stesse risposte fisiologiche, ed inoltre la reazione del singolo individuo ad un elemento di *stress* può essere mediata e/o modificata in modo complesso da molti fattori [4]. Per il rumore questi fattori includono il significato che il rumore stesso assume per l'individuo e la percezione soggettiva riguardo alla possibilità di controllarlo, l'atteggiamento generale nei confronti della sorgente, la prevedibilità e la durata del rumore.

Inoltre l'entità e la durata degli effetti del rumore sono influenzate dalla sensibilità individuale, dallo stile di vita e dalle condizioni ambientali.

Nel seguito analizzeremo i diversi effetti del rumore sul soggetto esposto, rilevati dalla letteratura di settore.

## 2.1 EFFETTI PSICOSOCIALI E COMPORTAMENTALI

Il rumore urbano è spesso causa di disturbo per la comunità esposta e provoca malcontento e lamentele, tanto più gravi quanto più il livello sonoro è elevato o il rumore stesso appare non necessario, e quindi evitabile.

La risposta della comunità all'esposizione al rumore può manifestarsi con una serie di effetti che vengono comunemente definiti "psicosociali" o "comportamentali", intesi come un insieme di sensazioni negative percepite dagli individui esposti, che non hanno come bersaglio un organo o un apparato specifico, ma che possono influenzare sia il comportamento individuale, sia le relazioni interpersonali ed i rapporti tra individuo e collettività.

Aspetto peculiare di questi effetti è che la loro entità dipende da tutta una serie di caratteristiche soggettive ed ambientali; esiste, infatti, una grande variabilità, sia nelle risposte dello stesso individuo allo stesso rumore in situazioni diverse, sia tra individui diversi nella stessa situazione.

Il più immediato di tali effetti è ritenuto l'*annoyance*, definita come "un sentimento di scontentezza associato a qualsiasi agente o condizione che si sa, o si ritiene, ci riguardi e ci coinvolga in maniera negativa [5]". Altri effetti psicosociali e comportamentali, indotti dall'esposizione al rumore, si possono manifestare come [5]:

- modifica di modelli comportamentali quotidiani: impossibilità di usufruire di spazi esterni; chiusura di finestre per consentire lo svolgimento delle normali attività quotidiane (conversazione, ascolto di radio e televisione, lettura, studio, lavoro, ecc);
- disturbi del sonno;
- riduzione delle prestazioni relative a specifiche attività: apprendimento scolastico, concentrazione in attività intellettuali, ecc;
- modifica del comportamento sociale: aumento di aggressività, scortesia, asocialità; difficoltà di comunicazione verbale, ecc;
- variazione di indicatori sociali: aumento della mobilità residenziale verso aree meno rumorose; utilizzo di farmaci sedativi e ipnoinducenti; aumento delle percentuali di incidenti; incremento del numero di esposti/lamentele presentati alle autorità;
- cambiamenti di umore: nervosismo, irritabilità, ansia, senso di stanchezza, apatia, ecc..

Questi effetti debbono essere considerati il risultato dell'interazione tra le caratteristiche del rumore (livello di pressione sonora, sorgente di emissione, periodo di esposizione, distribuzione in frequenza ecc) con un certo numero di variabili non-acustiche come la sensibilità individuale, la capacità di far fronte al disagio, la possibilità di essere tutelati; le variabili demografiche, come età, sesso e livello di istruzione, condizione lavorativa, dimensione del nucleo familiare, proprietà o

meno dell'abitazione, dipendenza economica dalla sorgente di rumore e utilizzo della sorgente, sembrano invece essere meno influenti [6].

A questo proposito è stato osservato, ad esempio, che a parità di livello di pressione sonora l'annoyance aumenta quanto più aumenta il contenuto in alte frequenze del rumore, probabilmente perché le alte frequenze hanno un effetto interferente con le comunicazioni verbali [7].

Un aumento dell'annoyance si verifica anche se il rumore è caratterizzato, al contrario, da basse frequenze ed è associato a vibrazioni: le componenti in bassa frequenza risultano particolarmente insidiose per la notevole capacità di propagazione all'interno degli ambienti abitativi e per la ridotta efficacia di schermi e pareti nell'attenuazione di tali componenti. Inoltre, il rumore con componenti a bassa frequenza (ad esempio quello prodotto dagli aerei) può mettere in vibrazione porte, finestre ed altri oggetti che divengono sorgenti sonore secondarie, addirittura più fastidiose della sorgente primaria di rumore [5].

Un rumore impulsivo risulta più disturbante di un rumore stazionario, ed uno stesso rumore può diventare intollerabile se la durata dell'esposizione diviene più lunga di quella a cui il soggetto è solitamente sottoposto [5].

Inoltre, da uno studio condotto su giovani donne [8] è emerso che il rumore è in grado di provocare una reazione fisiologica da stress quando non risultino efficaci le strategie utilizzate dal soggetto per abbatterlo: a finestre aperte, il disturbo causato dal rumore è risultato meno disturbante per i soggetti che sapevano di poterlo ridurre chiudendo le finestre.

Lo strumento che permette di ottenere una correlazione tra annoyance, effetti comportamentali e l'esposizione al rumore è l'*indagine socio-acustica*.

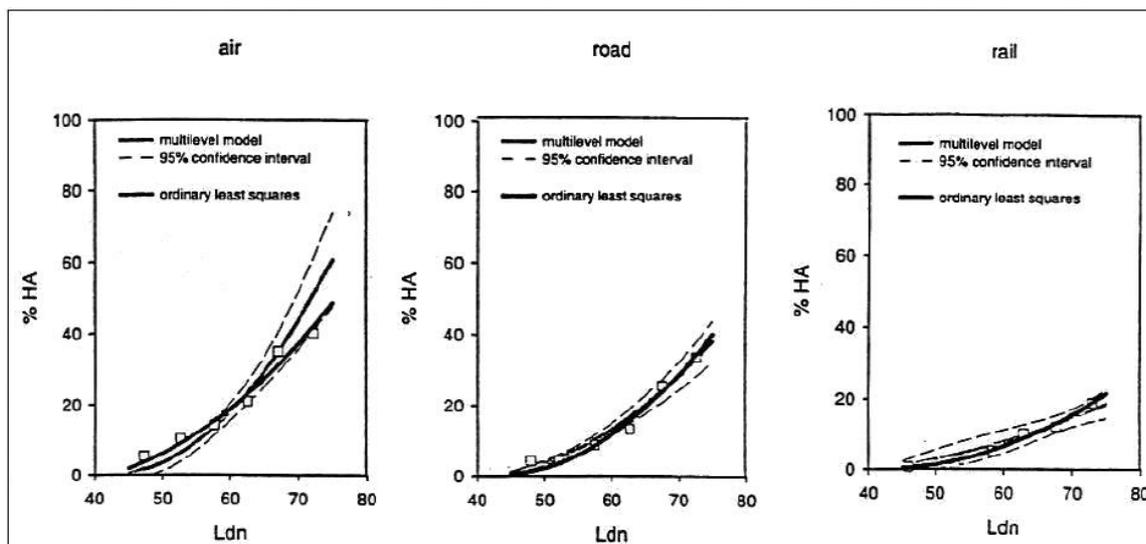
Le modificazioni comportamentali più frequentemente indagate sono la necessità di chiudere le finestre per svolgere determinate attività (in particolare conversare, dormire, leggere, concentrarsi), le modifiche nell'utilizzo dei locali all'interno delle abitazioni, la necessità di isolare acusticamente le abitazioni stesse ed il trasferimento verso aree meno rumorose, sia per periodi brevi (ad esempio il fine settimana), sia in maniera definitiva (mobilità residenziale).

## **2.2 ANNOYANCE**

Molte indagini in campo, che hanno studiato le reazioni della popolazione al rumore, hanno preso in esame la relazione che lega il livello di rumore ad un grado di *annoyance* relativamente elevato. Questa relazione mostra un aumento regolare dell'*annoyance* all'aumentare del rumore ambientale.

La sintesi più recente e più completa in questo senso, è quella di Miedema e Vos [9], nella quale sono state elaborate tre curve (riportate in Fig. 1) che rappresentano la relazione fra

l'*annoyance*, sperimentata negli ambienti di vita, ed il rumore provocato dai sistemi di trasporto (aereo, stradale e ferroviario).



**Figura 1. Percentuale di persone molto disturbate (% HA) in funzione del DNL: curve di sintesi per i diversi sistemi di trasporto (Tratto da Miedema e Vos, 1998)**

I risultati indicano che la percentuale di persone “molto” disturbate appare praticamente nulla per  $L_{dn}$  inferiore a 40-45 dBA e aumenta progressivamente al crescere del rumore.

Le curve mostrano inoltre che, a parità di  $L_{dn}$ , la percentuale di persone molto disturbate è maggiore per il traffico aereo in rapporto al traffico stradale ed è maggiore per il traffico stradale rispetto al traffico ferroviario.

Le curve ricavate da Miedema e Vos potrebbero risultare utili nel processo di definizione di valori limite di esposizione e di standard di qualità ambientale, ad esempio per valutare il diverso impatto, sulla popolazione residente, di differenti alternative progettuali di infrastrutture. In generale, sulla base dei dati disponibili in letteratura, si può affermare che rumori esterni caratterizzati da  $LA_{eq}$  diurni inferiori a 50 dBA non sono in grado di provocare seri effetti di *annoyance* sulla popolazione.

Per proteggere la maggioranza della popolazione dall'essere *fortemente* disturbata, il livello diurno di un rumore continuo e stazionario non dovrebbe superare nelle aree esterne (terrazzi, balconi, ecc.) il valore di  $LA_{eq}$  di 55 dBA; al di sotto dei 50 dBA si protegge la maggioranza della popolazione dall'essere *moderatamente* disturbata.

Durante il periodo serale e notturno i livelli  $LA_{eq}$  dovrebbero mantenersi 5-10 dBA al di sotto dei corrispondenti valori diurni; per rumori con componenti a bassa frequenza sono suggeriti valori di riferimento anche inferiori a quelli suddetti.

Nei paragrafi seguenti saranno descritti più in dettaglio i principali effetti psicosociali e comportamentali citati in precedenza.

## 2.3 EFFETTI DI DISTURBO DEL SONNO

Il disturbo del sonno è considerato uno dei più importanti effetti del rumore ambientale; effetti misurabili si registrano a partire da valori di LAeq di 30 dBA [5] e crescono all'aumentare del livello di pressione sonora.

Uno studio di popolazione condotto su 3600 donne giapponesi ha rivelato che l'abitare vicino ad una strada con un grande volume di traffico notturno può essere considerato uno dei fattori di rischio per l'insonnia; il rischio di insonnia, nei soggetti che risiedevano fino a 20 metri di distanza dalla strada, cresceva linearmente con il volume di traffico notturno [10].

Per valutare il disturbo del sonno indotto dal rumore esistono differenti metodologie:

- *inchieste socioacustiche* effettuate attraverso questionari (riferite in particolare alla popolazione residente in prossimità di strade trafficate, aeroporti, ecc.);
- *questionari* relativi al sonno proposti ai soggetti il mattino successivo ad un'esposizione notturna al rumore, utilizzati soprattutto in laboratorio dove l'ambiente sonoro è controllato;
- *registrazioni del sonno* che si possono ottenere misurando l'attività elettrica dell'encefalo (EEG), insieme con l'attività elettrica a livello oculare (EOG) e muscolare (EMG)
- *prove di performance* e di *vigilanza* condotte su soggetti il mattino successivo ad un'esposizione notturna al rumore

Gli effetti riscontrati dalla letteratura sono sia di tipo quantitativo che qualitativo e vengono distinti in *primari* e *secondari*.

Gli *effetti primari* individuati sono:

- prolungamento del tempo di addormentamento (aumento del *tempo di latenza* del sonno, ovvero del tempo che intercorre tra la fine della veglia e la fine dello stadio I del sonno);
- risvegli, sia durante il sonno, sia precoci al mattino;
- alterazioni delle fasi del sonno;
- altri effetti fisiologici che compaiono durante il sonno per attivazione del sistema neurovegetativo indotto dal rumore: aumento della pressione arteriosa, aumento della gittata cardiaca, vasocostrizione, aritmia, aumento dei movimenti corporei, variazioni della funzione respiratoria [14].

Il livello d'intensità sonora al di sopra del quale si manifestano tali effetti fisiologici può variare da soggetto a soggetto; può influenzarne la comparsa anche la diversa informazione contenuta nel rumore.

L'esposizione al rumore notturno può altresì indurre *effetti secondari*, che si identificano con la sindrome da *sleep deprivation*: questi effetti possono comparire il giorno dopo l'esposizione al rumore notturno, quando l'individuo è sveglio. Gli effetti secondari includono:

- sensazione di un peggioramento della qualità del sonno e diminuzione della sua capacità ristoratrice;
- affaticamento, stanchezza;
- episodi di caduta della vigilanza e accessi di sonno leggero (*microsleeps*);
- diminuzione del rendimento;
- atteggiamento depresso e apatico.

C'è altresì qualche evidenza di *effetti a lungo termine* sullo stato di salute psicosociale e sul benessere della popolazione: il disturbo da rumore nelle ore notturne accresce in maniera apprezzabile l'annoyance totale espressa dalla popolazione, incrementa il consumo di farmaci ipnoinducenti e sedativi, determina modificazioni comportamentali negli individui.

Tra gli effetti primari, un **allungamento del tempo di addormentamento** di almeno 20 minuti si riscontra in soggetti adulti esposti ad un rumore continuo, con fluttuazioni massime di  $\pm 5$  dB e con un livello superiore ai 35 dBA. Il tempo di addormentamento può prolungarsi fino a 90 minuti o più per livelli di 50 dBA. In presenza di livelli di 60-70 dBA si può ancora riuscire a dormire, ma l'inizio del sonno è notevolmente ritardato e la qualità e la durata del sonno risultano notevolmente pregiudicate [11].

Si è osservato, sia in studi di laboratorio sia di campo, che livelli di rumore prodotti dal traffico stradale con  $LA_{max}$  superiori a 40 dBA provocano **reazioni psicofisiologiche** durante il sonno, in termini di effetti sul ritmo cardiaco e sulla respirazione.

Per tali reazioni difficilmente si verifica un'assuefazione nel corso della notte e fra le diverse notti. I bambini manifestano una maggiore reattività dal punto di vista psicofisiologico rispetto agli adulti. Anche in questo caso, la differenza fra il livello di fondo ed il livello massimo di pressione sonora risulta significativa in riferimento a tali effetti più di quanto non lo sia il livello assoluto di pressione sonora [5].

Gli effetti del rumore ambientale sulla distribuzione degli **stadi del sonno** sono stati investigati soprattutto per quel che riguarda il rumore da traffico stradale: vari studi sembrano convergere nell'evidenziare una diminuzione degli stadi III e IV del sonno e della fase di sonno REM. L'aspetto sorprendente di queste modificazioni è che esse conducono ad una struttura del sonno simile a quella comunemente considerata caratteristica della maggioranza dei pazienti depressi.

Quando si consideri l'esposizione complessiva al rumore sulle 24 ore, la durata della fase REM sembra ridursi proporzionalmente alla dose di rumore ricevuta globalmente durante tutto l'arco

della giornata: ciò sta a significare che esiste un effetto cumulativo fra il rumore cui si è esposti durante il periodo diurno e quello del periodo notturno.

Alcuni fattori possono influire sulla manifestazione dei disturbi del sonno. Per quanto riguarda l'influenza dell'età del soggetto esposto, alcuni studi sembrano indicare che il sonno dei bambini e delle persone giovani è meno disturbato dal rumore rispetto a quello delle persone anziane o di media età.

Maggiormente sensibili ai disturbi del sonno provocati dal rumore sembrano essere i soggetti stressati o affetti da disturbi d'ansia e quelli affetti da patologie di tipo fisico o mentale.

L'OMS e la Commissione della UE indicano un valore ottimale di 30 dBA di Leq notturno all'interno degli ambienti abitativi, con livelli massimi ( $L_{A_{max}}$ ) non eccedenti 45 dBA, quale garanzia di una buona qualità del sonno per soggetti normali; per proteggere dal disturbo del sonno gli individui maggiormente sensibili, dovrebbero essere fissati valori anche inferiori.

Un ulteriore criterio di correlazione della interferenza del rumore sul sonno è basato sulla valutazione dello scarto tra rumore di picco e rumore di fondo ( $L_{10}-L_{90}$ ) o tra rumore di picco e rumorosità media ( $L_{10}-L_{50}$ ); in particolare, per quest'ultimo parametro, è stato constatato che il suo valore deve risultare inferiore a 10 dBA affinché non insorgano disturbi [5].

Alla luce dei dati emersi, le misure di riduzione del disturbo del sonno nella prima parte della notte risulterebbero maggiormente efficaci, poiché faciliterebbero la fase dell'addormentamento.

Inoltre, negli interventi di mitigazione del rumore, dovrebbe essere data priorità alla riduzione del livello massimo di pressione sonora degli eventi rumorosi e del loro numero, prima di concentrare l'attenzione sulla riduzione del livello di fondo [14].

## **2.4 EFFETTI DEL RUMORE SULLA SALUTE MENTALE**

Gli studi sugli effetti del rumore sulla salute mentale riguardano un ampio insieme di sintomi fra cui ansia, stress emotivo, cefalee, instabilità emotiva, impotenza sessuale, come pure disturbi psichiatrici maggiori come nevrosi, psicosi, isterismo.

Il rumore non risulta essere una causa diretta di malattie mentali, ma sembra possa accelerare ed intensificare lo sviluppo di una nevrosi latente, soprattutto per esposizioni professionali ad elevati livelli di rumore [5].

Una rassegna della letteratura sugli effetti sulla salute mentale del rumore ambientale da traffico veicolare ed aereo ha concluso che questo non provoca disturbi psichiatrici clinicamente definiti [12] sui soggetti esposti. Tuttavia, si è rilevata una correlazione tra i disturbi psicologici e la sensibilità al rumore dell'individuo, nel senso che la percentuale di individui con disturbi psicologici è risultata più alta fra i soggetti più sensibili al rumore.

Questi risultati evidenziano l'importanza di tutelare i gruppi più vulnerabili al rumore ambientale, come bambini, anziani e soggetti con disturbi psichiatrici preesistenti (in particolare depressione), poiché gli stessi potrebbero non essere sufficientemente capaci di far fronte al disturbo subito.

## **2.5 INTERFERENZA CON LA COMUNICAZIONE VERBALE**

L'interferenza del rumore con la comunicazione verbale è stata oggetto di numerosi studi, per l'importanza che la corretta interpretazione delle comunicazioni riveste nell'ambito delle relazioni umane.

L'interferenza del rumore con la comunicazione verbale è un processo di *mascheramento*, per cui un rumore simultaneo disturba o annulla l'intelligibilità del contenuto semantico del messaggio verbale.

In pratica si è in presenza del fenomeno di mascheramento quando un rumore è in grado di rendere difficoltosa o impossibile la comprensione di un suono o di comunicazioni verbali, innalzando la soglia uditiva per il segnale in arrivo; quanto più le frequenze del rumore mascherante e quelle del suono mascherato sono vicine [11] e quanto più elevato è il livello del rumore interferente, tanto maggiore sarà la percentuale di suoni della comunicazione verbale che non risulteranno comprensibili per chi ascolta.

Una comunicazione verbale dovrebbe possedere un livello di pressione sonora superiore di almeno 12 dB (nelle frequenze che interessano la trasmissione verbale) rispetto al livello di rumore ambientale, per poter essere correttamente percepita a 3-4 metri di distanza [11].

Durante una conversazione tranquilla nell'ambiente domestico, il livello sonoro della stessa è approssimativamente pari a 40-65 dBA, mentre il rumore da traffico veicolare, in particolar modo a livello di strade molto trafficate, oscilla mediamente, in termini di LAeq, fra 45-50 ed 75-80 dBA: si comprende, quindi, come all'interno dell'ambiente abitativo il rumore esterno possa facilmente determinare fenomeni di interferenza con la voce parlata e quindi con la comprensione di un messaggio verbale.

Tuttavia, a causa della ridondanza del linguaggio, molte frasi di un comune discorso possono essere abbastanza ben comprese anche quando un gran numero di singoli suoni verbali risulta mascherato da un rumore interferente.

D'altro canto, l'aumentato sforzo di interpretazione richiesto per compensare l'effetto di mascheramento è motivo di tensione e affaticamento psicologico nell'ascoltatore [5] e può, infine, tradursi in modificazioni comportamentali inconse.

E' stato osservato, a questo proposito, che, se il rumore interferisce con la comunicazione, i soggetti esposti possono reagire interrompendo la comunicazione, cambiando il contenuto della loro conversazione, parlando solo quando è assolutamente necessario o ripetendosi continuamente [13]; altre modificazioni comportamentali frequentemente osservate sono, ad esempio, la necessità di parlare costantemente con un tono di voce elevato per essere compresi, la chiusura delle finestre per tenere una conversazione, anche telefonica, o per ascoltare tranquillamente la tv o la radio.

Al riguardo, si è constatato che circa il 75% degli abitanti residenti in zone ove la rumorosità stradale supera un LAeq di 70 dBA tende a tenere le finestre chiuse per attenuare proprio il disturbo alla conversazione [14].

Questi aspetti, già disturbanti per l'individuo adulto, possono essere determinanti nel bambino, in quanto interferenti sui processi di apprendimento del linguaggio e sulla fonazione: essi possono favorire l'insorgenza di fenomeni di disfonia e dislessia per mancato o ridotto controllo della fonazione. La maggiore gravità di questi fenomeni si manifesta soprattutto durante la formazione e lo sviluppo mentale dei bambini più piccoli (da 1 a 7 anni), determinando spesso un apprendimento ritardato ed una notevole tendenza alla mancanza di iniziativa (che si manifesta già in presenza di valori di LAeq di 57 dBA nell'ambiente in cui vivono) [15]. Gli effetti sull'apprendimento non si riferiscono solo al linguaggio parlato in sè, ma anche alle altre funzioni correlate al linguaggio, ovvero la lettura e l'ascolto.

L'effetto di mascheramento del rumore nella discriminazione del linguaggio parlato risulta più pronunciato per le persone con danni uditivi, per gli anziani e per i soggetti con patologie che compromettano il linguaggio parlato stesso: è da notare come queste fasce di popolazione vulnerabili rappresentino una importante quota della popolazione totale.

Sono stati fatti numerosi tentativi di sviluppare indici, basati sulle caratteristiche del rumore, che potessero direttamente indicare il grado di interferenza con la percezione e la comprensione della parola; ovviamente tali indici comportano un certo grado di approssimazione.

I tre indici più affidabili sono:

- l'Indice di Articolazione (*Articulation Index*, AI), una misura complessa che valuta la capacità del rumore di fondo di mascherare un suono alle diverse frequenze;
- il Livello di Interferenza con la Parola (*Speech Interference Level*, SIL), livello di rumore mediato sulle frequenze di 500, 1000, 2000, 4000 Hz (frequenze tipiche del linguaggio parlato);
- il Livello di Pressione sonora ponderato A (*Sound Pressure Level A-weighted*, SPL-A) che riflette la sensibilità dell'orecchio umano al rumore.

Per i rumori che rivestono un interesse di tipo pratico, tuttavia, il semplice livello di pressione sonora ponderato A risulta essere l'indice più utilizzato dell'interferenza del rumore sulla comunicazione verbale.

## 2.6 EFFETTI SULLE PRESTAZIONI

Gli effetti del rumore sulle prestazioni, vale a dire sullo svolgimento di attività (in particolare di tipo cognitivo), sulla produttività, sul rendimento, sull'attenzione e sull'apprendimento sono molto complessi da valutare, poiché vengono coinvolti meccanismi di tipo neurale e modalità di risposta di tipo neurovegetativo.

Gli effetti riscontrati sono funzione sia delle caratteristiche fisiche del rumore stesso (soprattutto del livello di pressione sonora), sia delle specifiche connotazioni delle attività svolte dal soggetto esposto, nonché della sensibilità individuale al rumore [16].

Il rumore può agire come stimolo *distraente*, in dipendenza della significatività dello stimolo e dello stato psicofisiologico del soggetto.

In generale, il sistema sensoriale umano, ricevendo più informazioni di quante ne possa analizzare a livello corticale, adotta un "*filtro mentale*", per filtrare e scartare quelle prive di utilità e di significato, come il rumore; tale filtro avrebbe però alcune limitazioni in quanto, ad esempio [16]:

- la sua azione può venire annullata da stimoli irrilevanti, ma che richiamino l'attenzione a causa della novità, dell'intensità, dell'imprevedibilità, ecc..
- uno stato soggettivo di *stress* o affaticamento può ostacolare la capacità discriminativa del filtro.

Un evento nuovo, come la comparsa di un rumore non familiare, tenderà a distrarre il soggetto ed interferirà con molti suoi processi fisiologici (in particolare apprendimento, memorizzazione, concentrazione); in ogni caso l'effetto scomparirà appena la novità non sarà più tale.

Le modifiche nelle stimolazioni non solo danno inizio alle appropriate risposte corticali, ma attivano o eccitano aree della corteccia cerebrale diverse da quelle coinvolte nella risposta. Quest'ampia attività di stimolazione ha origine nella formazione reticolare (alla quale anche le vie acustiche danno numerose collaterali), ed interessa sia lo stato psicologico, sia i sistemi fisiologici del soggetto coinvolto.

Quindi un livello troppo elevato di rumore può causare inefficienza attraverso reazioni eccessive e quindi distrazione: pertanto l'esposizione al rumore può produrre una diminuzione del livello della prestazione.

Gli studi in proposito, condotti in ambiente di lavoro, hanno evidenziato che i compiti che richiedono un continuo ed attento monitoraggio di segnali, i compiti di tipo cognitivo, o che richiedono attenzione ai dettagli o a molteplici fattori, possono essere influenzati negativamente dal rumore (il numero di errori commessi o di incidenti in relazione al livello di rumorosità è, infatti, usato come indicatore di questo effetto). Generalmente, si può affermare che il rumore riduce l'accuratezza con cui un'attività viene condotta, piuttosto che la quantità totale del lavoro svolto. D'altro canto, attività monotone e ripetitive possono essere meglio condotte se il soggetto è esposto ad un rumore di fondo moderato, poiché il rumore accresce il grado di vigilanza (*arousal*) e maschera altri stimoli sonori che potrebbero avere un'azione distraente [16].

Tra gli altri effetti, viene descritto il cosiddetto “*effetto fatica*”, cioè una sensazione di stanchezza che l'individuo percepisce quando è continuamente esposto al rumore. Il rumore è uno stimolo sensoriale che non trasmette generalmente informazioni utilizzabili ma che, tuttavia, richiede, da parte dell'ascoltatore, un particolare sforzo di attenzione proprio per riconoscere questa sua mancanza di contenuto semantico. Sarebbe proprio questo “sovraccarico” di informazioni sensoriali a livello corticale il maggior responsabile degli effetti sulle prestazioni.

Questo stato neuropsicologico può anche interferire nella *traduzione motoria* degli impulsi nervosi [11].

L'esposizione continuativa al rumore provoca, altresì, *diminuzione nell'acuità visiva* già a livelli superiori a 75 dBA.

Questa situazione può costituire un fattore di rischio, ad esempio, per l'automobilista: l'abbassamento della concentrazione, l'instaurarsi dell'effetto fatica, la parziale compromissione dell'attività psicomotoria, con conseguente riduzione del grado di attenzione del soggetto, la diminuzione dell'acuità visiva, possono determinare, insieme ad altri fattori, condizioni pericolose per la guida.

E' importante segnalare che tutte queste modificazioni coinvolgenti le funzioni corticali superiori, si manifestano già a partire da 40 dBA, livello comunemente accettato come soglia di disturbo/fastidio.

Numerosi studi hanno analizzato gli effetti dell'esposizione al rumore ambientale nei bambini per ciò che riguarda gli effetti di tipo cognitivo e motivazionale, vale a dire relativi all'apprendimento, al grado di interesse, di motivazione e di stimolo.

Da uno studio effettuato su una popolazione di bambini che vivevano vicino all'aeroporto di Los Angeles è emerso che questi non erano in grado di eseguire alcuni compiti difficili e complessi altrettanto bene rispetto ad un gruppo di controllo composto da bambini abitanti nei quartieri

silenziosi della stessa città. Inoltre i bambini che vivevano nelle vicinanze dell'aeroporto si scoraggiavano più facilmente, rinunciando all'esecuzione dei compiti [17].

Uno studio prospettico su scolari esposti al rumore, realizzato in concomitanza con il trasferimento dell'aeroporto di Monaco di Baviera, ha confermato i risultati dello studio relativo all'aeroporto di Los Angeles.

C'è anche qualche evidenza che i bambini esposti a sorgenti di rumore intenso sia a scuola, sia presso la loro abitazione, abbiano maggiori probabilità di presentare deficit nella lettura rispetto ai compagni esposti soltanto nell'ambiente scolastico. I bambini con preesistenti difficoltà nel parlare o nell'esprimersi appaiono ancora più vulnerabili a questi effetti dannosi.

L'esposizione al rumore produce, inoltre, effetti negativi sullo svolgimento di attività intellettuali condotte, non solo durante, ma anche immediatamente dopo l'esposizione stessa (*after effects*). La variabile più critica sembra essere l'incontrollabilità del rumore piuttosto che la sua intensità.

Attualmente, le informazioni disponibili sugli effetti negativi del rumore sui bambini, in riferimento alle prestazioni, al grado di interesse, di stimolo e di motivazione, non sono sufficienti a consentire la determinazione di specifici valori-guida: è chiaro tuttavia che asili e scuole non dovrebbero essere collocati in prossimità di sorgenti di rumore rilevanti quali strade molto trafficate o zone con intensa attività umana e produttiva.

In questo senso, l'attuale normativa<sup>1</sup> inserisce le scuole fra le "aree protette", ovvero aree in cui i livelli di pressione sonora non dovrebbero superare i 47dBA di giorno, anche se resta il problema di tutelare i bambini, risultati più vulnerabili, durante il tempo che trascorrono nella loro abitazione.

## **2.7 EFFETTI DI TIPO PSICOSOMATICO.**

Gli effetti psicosomatici del rumore sono indubbiamente inquadrabili nella dinamica della reazione da stress e, come tali, condizionati dall'atteggiamento psicologico del soggetto, nonché dalla capacità di adattamento del suo organismo.

Gli effetti principali di tipo psicosomatico su organi bersaglio si distinguono in:

- effetti sull'apparato cardiovascolare;
- effetti sull'apparato digerente;
- effetti sul sistema endocrino;
- effetti sull'apparato respiratorio;

---

<sup>1</sup> L.447/95

- effetti sulla funzione visiva.

Molte indagini sul rumore occupazionale ed ambientale hanno studiato l'ipotesi che l'esposizione al rumore potesse rappresentare un fattore di rischio per effetti sull'**apparato cardiovascolare**, in particolare ipertensione, disturbi del ritmo e patologia ischemica del miocardio.

Gli studi condotti in ambienti di lavoro sono quelli che hanno evidenziato la più forte associazione fra rumore ed ipertensione [18].

Popolazioni di lavoratori esposti a rumore continuo di intensità superiore a 85 dBA per periodi di tempo prolungati [19,20], oppure a livelli particolarmente elevati (>95 dBA) per periodi di pochi anni [21] presentano livelli di pressione arteriosa più elevati rispetto ai controlli.

Di contro, solo pochi studi sul rumore ambientale hanno dimostrato che la popolazione residente in aree rumorose (nei dintorni di aeroporti o strade trafficate) hanno un rischio aumentato di ipertensione.

Le ricerche ad oggi maggiormente significative sul rumore da traffico, cioè gli studi prospettici su un periodo di 10 anni condotti a Speedwell e Caerphilly, non hanno evidenziato incrementi nella pressione sanguigna con esposizione ad elevati livelli di rumore [22].

Diversi studi offrono una certa evidenza di lievi aumenti della pressione sanguigna in bambini che risiedono in aree prossime a importanti sorgenti sonore (traffico stradale ed aereo) o che frequentano scuole collocate in tali aree [23,24]; al momento queste variazioni sono ritenute temporanee, ma suggeriscono che i bambini possano costituire un gruppo "sensibile" sul quale dovranno essere condotte in futuro ricerche approfondite.

Complessivamente i dati attualmente disponibili suggeriscono una debole associazione fra l'esposizione a lungo termine al rumore ambientale e l'ipertensione e non può essere attualmente stabilita nessuna relazione dose-risposta [5]

L'evidenza di un effetto dell'esposizione ad elevati livelli di rumore in termini di patologia cardiaca di natura ischemica è in qualche misura più convincente di quanto non sia quella relativa all'ipertensione, sebbene non sia definitiva.

Da una revisione degli studi sull'argomento [25] è emerso che rischi relativi, non significativi, da 1.1 a 1.4 per la cardiopatia ischemica sono stati uniformemente riscontrati per livelli di rumore esterno superiori a 65-70dBA. Quando si tenga conto anche dell'orientamento delle stanze, dell'abitudine di aprire le finestre e del tempo di esposizione, il rischio relativo è risultato leggermente più elevato (1.6).

In conclusione, gli effetti cardiovascolari sono associati debolmente con un'esposizione prolungata ad un LAeq,24h compreso tra 65-70dBA (quindi a valori di LAeq facilmente rilevabili in strade di grande traffico) o maggiore, sia per rumori da traffico veicolare che aereo.

Quest'associazione, seppur contenuta, può essere importante dato il numero di persone abitualmente esposte a questi livelli di rumore; inoltre le stime si riferiscono al rischio medio e non sono ancora stati caratterizzati sufficientemente i gruppi di individui particolarmente sensibili e quindi vulnerabili [5].

Analogamente a quanto si verifica per l'apparato cardiocircolatorio, l'esposizione al rumore può determinare un aumento del rischio per malattie dell'**apparato digerente**, soprattutto per quelle di origine psicosomatica e, in maggior misura, in soggetti predisposti o a rischio (già affetti da gastro-enteropatie croniche).

Sono stati descritti fenomeni di tipo spastico con incremento della peristalsi gastro-duodenale, ipersecrezione cloridrica e pepsinica con persistente abbassamento del pH gastrico, spasmi della regione pilorica, disturbi dispeptici dovuti a discinesia della colecisti e una maggiore incidenza di ulcere gastriche e duodenali nei soggetti esposti rispetto ai controlli [26].

Gli effetti sull'**apparato respiratorio** si hanno, di norma, per esposizione a livelli sonori elevati e consistono essenzialmente in aumento della frequenza respiratoria con riduzione del volume respiratorio corrente.

Il rumore può causare indirettamente l'insorgenza di laringopatie, a causa dello sforzo a cui il soggetto esposto sottopone il suo apparato fonatorio nel tentativo di superare il mascheramento sui messaggi verbali indotto dal rumore stesso. A livello nasale il rumore può provocare l'insorgenza di rinopatie di tipo vasomotorio-congestizio accompagnate spesso da ipertrofia dei turbinati non di rado irreversibile [11, 27].

Sono stati descritti effetti del rumore sulla **funzione visiva**, effetti che si manifestano a partire da livelli di rumore compresi tra 80-110 dBA: in questi casi può comparire una midriasi piuttosto accentuata (che permane per almeno 8-10 minuti dopo la cessazione dello stimolo), oltre a restringimento del campo visivo e disturbi dell'accomodazione.

L'esposizione combinata a rumore urbano e professionale sembra possa avere effetti sull'**apparato riproduttivo**, con diminuzione della fertilità maschile e calo della libido.

La ricerca sulle conseguenze negative del rumore sulle donne in gravidanza che vivono o lavorano in ambienti rumorosi rimane al momento limitata. Negli studi sull'esposizione professionale [28, 29], la dimensione dell'effetto dovuto al rumore, in termini di esiti sfavorevoli della gravidanza, è uniformemente risultata modesta in confronto ad altri fattori di rischio quali, ad esempio, il lavoro a turni e l'esposizione ad agenti chimici.

Le possibili influenze del rumore sul feto umano, più frequentemente studiate, sono le anomalie congenite e le alterazioni del peso alla nascita.

Un gruppo di ricerca del CDC ha condotto un'indagine accurata sulla popolazione residente in prossimità dell'Aeroporto Internazionale Hartsfield di Atlanta e non ha evidenziato nessuna relazione fra 17 categorie identificate di difetti alla nascita e livelli di rumore aereo con  $L_{dn} > 65$  dB [30].

L'unico studio prospettico [31] in cui è stata misurata l'esposizione al rumore (professionale e ambientale) per 24 ore con dosimetri personali durante il primo, il secondo ed il terzo trimestre della gravidanza, non ha evidenziato alcun'associazione fra l'esposizione personale al rumore a livelli di LAeq inferiori a 85 dBA ed il peso alla nascita.

Si può pertanto affermare, in conclusione, che non vi è al momento alcuna certezza riguardo alla relazione fra l'esposizione al rumore e le conseguenze sulla gravidanza e sul feto.

### **3 QUADRO NORMATIVO**

L'approccio italiano alla risoluzione del problema "inquinamento acustico" si basa su due linee principali: una normativa completa che tende a regolamentare qualsiasi attività rumorosa e una pianificazione territoriale e urbanistica che tenga in debito conto anche il clima acustico delle aree urbane.

Il quadro normativo in materia di inquinamento acustico è costituito dall'art. 659 del codice penale, dalla Legge 26 ottobre 1995 n. 447 e suoi decreti applicativi (DPCM 01.03.1991, DLgs 15.08.1991 n. 277, DPCM 14.11.1997, DM 16.3.1998) e dall'art. 844 del codice civile (immissioni di rumore nel rapporto fra privati).

La L. 447/95, ed i suoi decreti attuativi, ha una finalità di *interesse collettivo*, di tutela della salute pubblica e della qualità della vita in un determinato contesto ambientale e trova applicazione ogni qual volta le immissioni acustiche ledano il bene della salute. In particolare, pone delle specifiche competenze a carico dello stato, delle regioni, delle province e dei comuni, stabilendo che debbano essere realizzati dei piani nei quali inquadrare le varie zone del paese a seconda delle immissioni sonore che vi si propagano, permettendo così di distinguere le aree residenziali da quelle industriali, agrarie e così via, e collegando ad ogni singola area individuata il limite massimo di tollerabilità per i rumori che qui si producono. A difesa della salute collettiva le autorità amministrative (sindaco, presidente della provincia, presidente della giunta regionale, prefetto, ministro dell'ambiente) possono prendere i provvedimenti d'urgenza di cui all'art. 9 L. 447/95. Si tratta di provvedimenti motivati che permettono il ricorso temporaneo a speciali forme di contenimento e di abbattimento delle immissioni anche attraverso l'inibitoria totale o parziale delle attività, e la possibilità di irrogare sanzioni pecuniarie ai trasgressori.

Dal lato privatistico la materia delle immissioni di rumori è regolata dall' art. 844 del Codice Civile. che tutela il godimento fondiario rispetto alle immissioni sonore e di altro tipo.

Il criterio a cui viene fatto maggiore riferimento è, come noto, la *normale tollerabilità*, che non ha un carattere assoluto, ma relativo, rispetto alla situazione oggetto dell'esame. In particolare, con riferimento alle immissioni sonore, occorre sempre valutare la situazione ambientale, che varia da luogo a luogo, le caratteristiche della zona, le abitudini degli abitanti e soprattutto il cosiddetto rumore di fondo (Cassazione, 83/5157). Il rumore di fondo è la fascia rumorosa costante presente in una data zona e composta dal complesso di suoni di origine varia e non sempre identificabile, continui e caratteristici, su cui si innestano di volta in volta rumori più intensi prodotti da voci, veicoli ecc. Posto che i valori contenuti nelle leggi sull'inquinamento acustico non sono richiamabili per valutare la tollerabilità delle immissioni ai sensi dell'art. 844 Codice Civile, il limite oltre il quale le immissioni diventano intollerabili si colloca nel punto in cui la differenza tra il livello di intensità dei rumori in contestazione e quello del cosiddetto rumore di fondo non superi un dato valore. Si ritiene non tollerabile una immissione rumorosa prodotta dalla sorgente oggetto di esame che superi di oltre 5 dB di giorno e di 3 dB di notte il rumore di fondo.

Quindi, mentre la legge 447/95 persegue l'interesse della collettività disciplinando i livelli di *accettabilità* delle emissioni sonore, l'art. 844 del Codice Civile tutela il diritto del singolo cittadino allo sfruttamento del bene di sua proprietà senza limitare il proprio effetto ai casi di superamento dei livelli fissati dalle norme di interesse generale: **i limiti normativi di accettabilità possono essere rispettati pur non essendolo affatto quelli di tollerabilità []**.

Oltre ad un'accurata produzione normativa, gli strumenti fondamentali che la legge individua per una sensibile politica di riduzione dell'inquinamento ambientale da rumore a livello locale sono essenzialmente due:

1. la zonizzazione acustica (classificazione del territorio comunale in 6 classi in base ai livelli di rumore);
2. il piano di risanamento acustico comunale.

#### **4 CAMPAGNE DI MISURA DEI LIVELLI DI RUMORE NEL COMUNE DI ROMA**

La valutazione dei livelli di rumore nel territorio comunale costituisce il primo passo per la stima della popolazione esposta e per l'analisi dei possibili effetti sulla salute da questa subiti.

In generale, la raccolta dei dati acustici necessari per una descrizione complessiva del livello di inquinamento presente nel territorio comunale dovrebbe essere pianificata al fine di garantire la corretta rappresentatività delle misure svolte e la disponibilità dei dati necessari per le elaborazioni che si intendono eseguire. È anche possibile riutilizzare dati raccolti in precedenza in maniera non

pianificata, purché questi siano associati ad informazioni adeguate relative alla metodologia di misura e vi siano garanzie sufficienti sulla corretta gestione della strumentazione da parte dei rilevatori [32].

Nel Comune di Roma non viene effettuato un monitoraggio sistematico dell'inquinamento acustico per le difficoltà legate alla realizzazione di un monitoraggio completo nel territorio comunale.

La disponibilità dei dati dei livelli di rumore è legata ai risultati di particolari iniziative, organizzate sia a livello nazionale che comunale, nonché a specifiche campagne di misura legate a segnalazioni della cittadinanza o ad indagini mirate degli organi sanitari.

Il limite principale nell'analisi di questi studi e campagne di monitoraggio è l'impossibilità di confrontarne i risultati a causa delle diverse metodologie di rilevamento adottate (tempi di misura, luoghi, posizionamento del microfono del fonometro, etc.); inoltre, tali indagini interessano spesso ambiti territoriali circoscritti.

Allo scopo di stimare il grado di disturbo della popolazione esposta al rumore ambientale è comunque possibile ricavare da tali campagne alcune indicazioni generali sui livelli di pressione sonora presenti in diverse zone del territorio comunale (con particolare riguardo per i luoghi protetti quali ospedali, scuole, etc.).

In realtà per il calcolo esatto dell'indicatore di *popolazione esposta* sarebbe necessario determinare i valori di rumorosità presenti in facciata delle abitazioni per poterli associare col numero dei residenti. Tale obiettivo potrebbe essere perseguito con una misurazione diretta, ma questo comporterebbe un notevole dispendio di energie e tempo, tale da rendere poco praticabile la caratterizzazione di un campione sufficientemente ampio di popolazione sul quale consentire la stima dell'indice.

La valutazione del clima acustico della città può essere condotta sulla base dei risultati di alcune importanti campagne di misura fonometriche condotte negli ultimi 15 anni e precisamente:

1. la campagna di misura effettuata dall'ENEA, su incarico del comune di Roma (1993/1994);
2. la campagna di misura nel quartiere Nomentano (1987) [33];
3. la campagna di misura nel quartiere Trastevere (1990) [34];
4. la campagna effettuata da Legambiente, in collaborazione con il Corriere della Sera (2002) [35];
5. la campagna "Treno Verde" di Legambiente, in collaborazione con l'Istituto Sperimentale Ferrovie dello Stato (1988-2003) [36].

Come esempio, in Figura 1, si riportano i valori dei livelli sonori, in fascia diurna e notturna, ricavati da tre campagne per il quartiere Nomentano di Roma.

Sebbene i risultati di queste campagne di monitoraggio non siano rigorosamente confrontabili per via delle diverse metodologie adottate, un dato generale può comunque essere messo in evidenza: i livelli sonori rilevati sono sempre apparsi significativamente elevati (sia in fascia diurna che notturna) e sempre al di sopra dei limiti definiti dall'attuale normativa in base alla destinazione d'uso del territorio.

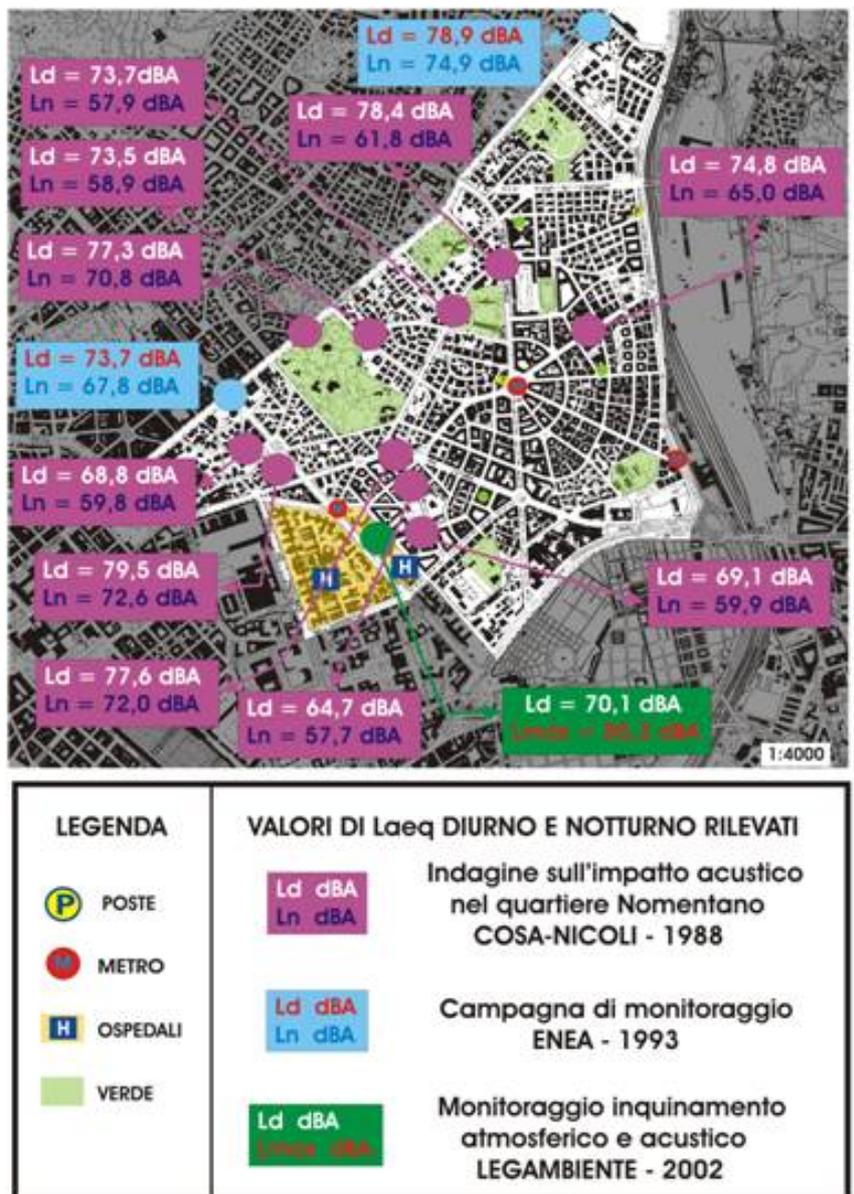


Figura 1: Risultati delle campagne di misura condotte nel quartiere Nomentano negli ultimi 15 anni.

## **5 INDAGINE SULL'INQUINAMENTO ACUSTICO NEL QUARTIERE NOMENTANO DI ROMA E VALUTAZIONE DEL DISTURBO PERCEPITO DAI RESIDENTI.**

Alla luce di quanto detto, si è ravvisata l'opportunità di intraprendere una ricerca sperimentale (SIAR: *Studio sull'Inquinamento Acustico di Roma*) mirante a correlare le varie classi di livello sonoro, rilevabili in quartieri rappresentativi del Comune di Roma, con la reazione soggettiva e comportamentale di un campione di popolazione residente nei quartieri medesimi.

Per l'indagine pilota la scelta è stata indirizzata sul quartiere Nomentano, poiché è costituito da una varietà di insediamenti edilizi e da una differenziazione della entità e della composizione del traffico tali da poter rappresentare un modello di riferimento dell'intero contesto urbano.

Inoltre, per questo stesso quartiere, si dispone di precedenti campagne di misure fonometriche con i risultati della quale, adattando opportunamente la metodologia d'indagine, sono stati confrontati gli attuali livelli di rumore rilevati per valutare l'evoluzione del clima acustico nel tempo.

L'indagine si è articolata in tre parti fondamentali:

1. *analisi del territorio*, per l'individuazione dei principali centri di attrazione del quartiere, delle aree verdi, del sistema dei trasporti e dei flussi veicolari associati alle diverse tipologie di strade (così come definite dal Nuovo Codice della Strada).
2. *studio epidemiologico* per la valutazione del disagio percepito dalla popolazione residente a causa dell'inquinamento acustico condotto tramite somministrazione di un questionario costruito ad hoc ad una popolazione campione.
3. *misure fonometriche* del livello di rumore condotte in siti rappresentativi del quartiere considerato, effettuate secondo le più recenti normative in materia di inquinamento acustico.

Lo studio epidemiologico e l'elaborazione delle indagini fonometriche ha permesso di realizzare una mappatura acustica strategica della distribuzione sul territorio degli effetti da esposizione al rumore in relazione ai livelli equivalenti monitorati, mentre l'applicazione degli strumenti statistici ci ha permesso di delineare il profilo dei soggetti che avevano dichiarato di essere disturbati dal rumore.

## 5.1 METODOLOGIA

### 5.1.1 Analisi del territorio

Si è proceduto all'acquisizione delle informazioni esistenti inerenti l'area di studio (cartografie, piano regolatore generale, carta dei servizi, piano generale del traffico urbano) e delle informazioni sulle condizioni e caratteristiche funzionali e strutturali delle strade. I dati raccolti sono stati elaborati e rappresentati graficamente mediante l'utilizzo del software di grafica Corel draw 10.

### 5.1.2 Rilievi fonometrici.

Ai fini dell'esecuzione dell'indagine è stata adottata la *classificazione stradale* prevista dall'art. 2 del NCdS che distingue le strade urbane in tre categorie in ordine decrescente d'importanza funzionale:

- *strade urbane di scorrimento (S)*, le cui funzioni sono quelle di soddisfare le relazioni con origine e destinazione esterne al centro abitato, i movimenti di scambio fra il territorio extraurbano ed urbano;
- *strade urbane di quartiere (Q)*, che svolgono funzione di collegamento tra settori e quartieri limitrofi o tra zone esterne di un medesimo quartiere, a servizio delle principali attrezzature di livello urbano e di quartiere;
- *strade urbane locali (L)*, comprendono tutte le altre strade e sono a servizio preminente degli spostamenti pedonali, della sosta e degli spostamenti generati dagli insediamenti ubicati lungo esse.

Considerando la distribuzione delle tre tipologie stradali nel quartiere, lungo la rete viaria dell'area presa in esame sono stati selezionati 19 punti di campionamento per il rumore da traffico: 2 dei 19 siti di rilevamento sono stati disposti lungo l'unica strada di "scorrimento" presente, ovvero la Circonvallazione Nomentana, 8 lungo strade di "quartiere" e 9 lungo strade "locali"(vedi Figura 2).

I rilevamenti sono state effettuati ogni 2 ore negli intervalli di riferimento *diurno* (07:00-19:00), *serale* (19:00-23:00) e *notturmo* (23:00-07:00), con un tempo di misura di 20 minuti. E' stata utilizzata una strumentazione conforme agli standard IEC 651 e 804: fonometro integratore di classe I, modello CEL-553; calibratore a 114 dB (1KHz) CEL-284/2; preamplificatore CEL-525; microfono CEL-250.

Sono stati determinati, quali indicatori acustici, il  $Leq$  (dB) e il  $LAeq$  (dBA). Dall'elaborazione dei dati acquisiti si sono calcolati i valori di  $LAeq$  medio (dBA) nella fascia giornaliera diurna (06:00-22:00) e notturna (22:00-06:00).

Nel caso di edifici con facciata a filo della sede stradale , il microfono è stato posto ad una distanza di 1m dalla facciata stessa, nel caso di edifici con distacco dalla sede stradale o di spazi liberi, il microfono è stato collocato a non meno di 1m dall'edificio (secondo quanto prescritto dall'art.3, comma 6 del DM 16/3/98).

Le misure sono state effettuate in condizioni atmosferiche consone, ovvero in assenza di pioggia, neve e vento con velocità superiore ai 5m/s.

Per ogni sito è stata redatta una scheda di rilevamento acustico nella quale sono stati riportati, oltre ai risultati dei rilievi fonometrici, i flussi veicolari orari, le caratteristiche del manto stradale, la presenza continua o meno di edifici a bordo strada e la loro altezza , il tipo di traffico presente(scorrevole, rallentato), la relativa documentazione fotografica.

I rilievi fonometrici sono stati eseguiti nei giorni feriali che non precedevano o seguivano festività e in cui non vi erano condizioni di traffico anomalo (ad es.:blocchi del traffico, scioperi degli autotrasportatori e benzinai, chiusure scolastiche).

### ***5.1.3 Inchiesta sul disturbo percepito dalla popolazione.***

L'inchiesta ha applicato come metodo di raccolta dei dati la somministrazione, per intervista diretta, di un questionario anonimo ad un campione rappresentativo della popolazione residente.

In mancanza di un modello normalizzato, si è proceduto alla *formulazione* del questionario attraverso una ricerca bibliografica nella letteratura di settore [19;37;46] a seguito della quale sono stati individuati i principali punti oggetto di valutazione.

Il **questionario** è configurato in sequenze di items e strutturato su scala di intensità; è composto da 17 domande, di cui 6 a risposta multipla, organizzate in due *sezioni*:

1. *dati personali* (sesso,età, professione, via di residenza);
2. *valutazione del grado di disturbo percepito nell'ambiente abitativo per sorgente di rumore; per esposizione spaziale e temporale.*

Il numero di tentativi di interviste definito per lo svolgimento dell'indagine pilota è stato pari a 1568 unità (3,5% della popolazione residente).

Per garantire la casualità nella selezione del campione si è scelto di effettuare le interviste direttamente sul territorio: i candidati sono stati individuati nei luoghi del quartiere maggiormente frequentati; in particolare, nei pressi di mercati rionali, di supermercati e attività commerciali e ricreative, nelle piazze e nei giardini pubblici, nei luoghi noti di ritrovo; parte delle interviste sono state condotte presso il Poliambulatorio del I Distretto Asl RM B. Le interviste sono state altresì realizzate sia nei giorni lavorativi che nei giorni festivi e sono state saggiate diverse fasce orarie

(diurna, pomeridiana, serale) al fine di assicurare la presenza, all'interno del campione, di soggetti con abitudini e stili di vita differenti.

Requisiti minimi ed indispensabili richiesti ai potenziali candidati per poter essere ammessi alla somministrazione del questionario sono stati la residenza nel quartiere Nomentano ed un'età superiore ai 10 anni (per assicurare la comprensibilità del questionario). L'intervista è stata sempre preceduta da una presentazione al candidato degli scopi dell'indagine supportata da una lettera di presentazione del progetto.

Per l'analisi statistica dei dati rilevati è stato preparato un *manuale di codifica* del questionario con assegnazione di scale numeriche di intensità ai alle possibili risposte e si è fatto ricorso strumenti informatici (foglio di calcolo in ambiente Microsoft Excel).

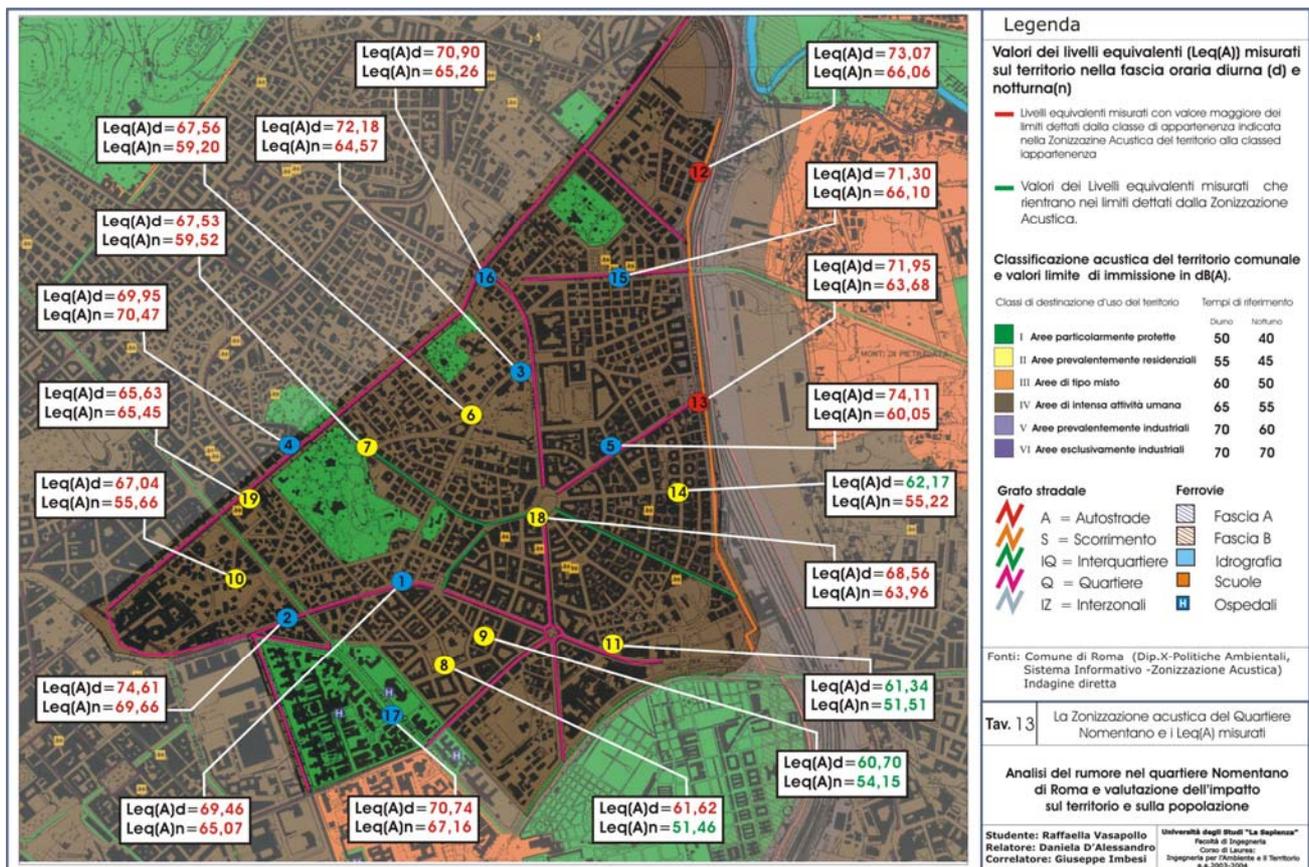
## **5.2 RISULTATI DEI RILEVAMENTI**

Nella Figura 2 sono riportati i valori medi dei livelli equivalenti (LAeq) riferiti all'intervallo di riferimento diurno (ore 06:00-22:00), e notturno (ore 22:00-06:00) misurati in corrispondenza dei 19 punti di rilevamento.

Dall'esame dei dati si rileva che i livelli più elevati di rumorosità si sono avuti, per tutte le strade ad eccezione della Via Nomentana, nel periodo di riferimento diurno a causa del fatto che il flusso veicolare, specie nelle strade locali, si riduce notevolmente durante le ore della notte.

E' interessante notare come, contrariamente a quanto atteso in relazione ai flussi di traffico presenti, i livelli di rumorosità rilevati in alcune strade di quartiere siano sostanzialmente simili (in alcuni siti anche superiori) rispetto ai livelli dell'unica strada di scorrimento.

E' evidente come, oltre l'entità del flusso veicolare, altri fattori concorrano ad accrescere i livelli di rumorosità da traffico nelle strade di quartiere: il flusso veicolare discontinuo (incroci semaforizzati, fermate autobus, manovre di parcheggio, ecc.), la presenza di veicoli particolarmente rumorosi (autobus, autocarri per carico e scarico merci in zone con presenza di attività commerciali, ecc.), il passaggio di automezzi di emergenza con sirene attivate, i sistemi di segnalazione acustica dei veicoli; le diverse condizioni acustiche del centro metropolitano (effetti di riverbero per la presenza di un'alta densità di edificato, morfologie particolari del fondo stradale).



**Figura 2: Siti di misura, risultati dei rilievi fonometrici e livelli previsti dalla normativa.**

A distanza di circa 15 anni si può constatare, a fronte di un presumibile aumento del parco veicolare, una *riduzione* dei livelli di rumore in quasi tutti i siti monitorati seppur apprezzabili differenze tra i due periodi di riferimento. La diminuzione osservata nel tempo può essere giustificata dall'entrata in vigore della normativa specifica in materia di inquinamento acustico (L.447/95 e suoi decreti attuativi) e dai conseguenti provvedimenti messi in atto: abbassamento dei limiti di immissione degli autoveicoli e mezzi pesanti, regolamentazione del traffico e ottimizzazione della mobilità urbana, messa in posa di asfalti fonoassorbenti.

Tuttavia, quando si confrontino gli attuali livelli di rumore con i valori limite previsti dalla normativa nazionale vigente (DPCM 14/11/97), il clima acustico del quartiere risulta tutt'altro che risanato. La zonizzazione acustica del Comune di Roma [45] classifica il quartiere Nomentano come territorio di classe IV ("area di intensa attività umana") per il quale sono previsti valori limite di immissione pari a 65 dBA in fascia diurna e 55dBA in fascia notturna.

Per i siti ubicati nelle strade di scorrimento e di quartiere le misure fonometriche hanno riscontrato un sistematico superamento dei valori limite sia in fascia diurna (fino a 9 dBA) che in fascia notturna (fino a 15dBA); le strade "locali" rientrano nei limiti previsti o presentano superamenti inferiori a 3dba in fascia diurna e 5dba in fascia notturna.

### 5.3 RISPOSTE AL QUESTIONARIO

Su 1568 tentativi di intervista, 255 soggetti hanno accettato di rispondere al questionario (*questionari compilati*), pari al 16,3% del campione totale e allo 0,6% della popolazione residente di età superiore a 10 anni.

Le risposte sono riferite nel 3% dei casi a residenti in strade di “scorrimento” (**S**), nel 42% a residenti in strade di quartiere (**Q**) e nel 55% dei casi a residenti in strade “locali” (**L**); la distribuzione degli intervistati per tipologia di strada rispecchia la ripartizione delle categorie stradali presenti nel quartiere.

Gli intervistati appartenevano per il 46% al sesso maschile, con un’età media di 42 anni.

Gli intervistati si distribuivano all’interno categorie professionali come segue: 32% studente, il 18% pensionato/a, il 15% impiegato/a, il 13% casalinga, il 4% disoccupato/a, il restante 18% altro (insegnante, commerciante, artigiano, libero professionista).

La permanenza media nelle 24<sup>h</sup> in ambiente abitativo degli intervistati è risultata pari a 16<sup>h</sup>35’ nei giorni lavorativi, 15<sup>h</sup>70’ nei giorni non lavorativi, risultando le casalinghe (19<sup>h</sup>), i pensionati (19<sup>h</sup>) e i disoccupati (18<sup>h</sup>) le categorie professionali che trascorrono il maggior numero di ore in casa e, quindi, quelle potenzialmente più a lungo esposte al rumore.

Alla domanda a risposta multipla circa il disturbo percepito per sorgenti di rumore il 76,5% si dichiara disturbato dalle sorgenti *di tipo mobile* (traffico veicolare, aereo, ferroviario) e l’86% da almeno una sorgente *di tipo fisso*, risultando i mezzi di raccolta dei rifiuti urbani quelli in assoluto più segnalati (vedi Figura 3).

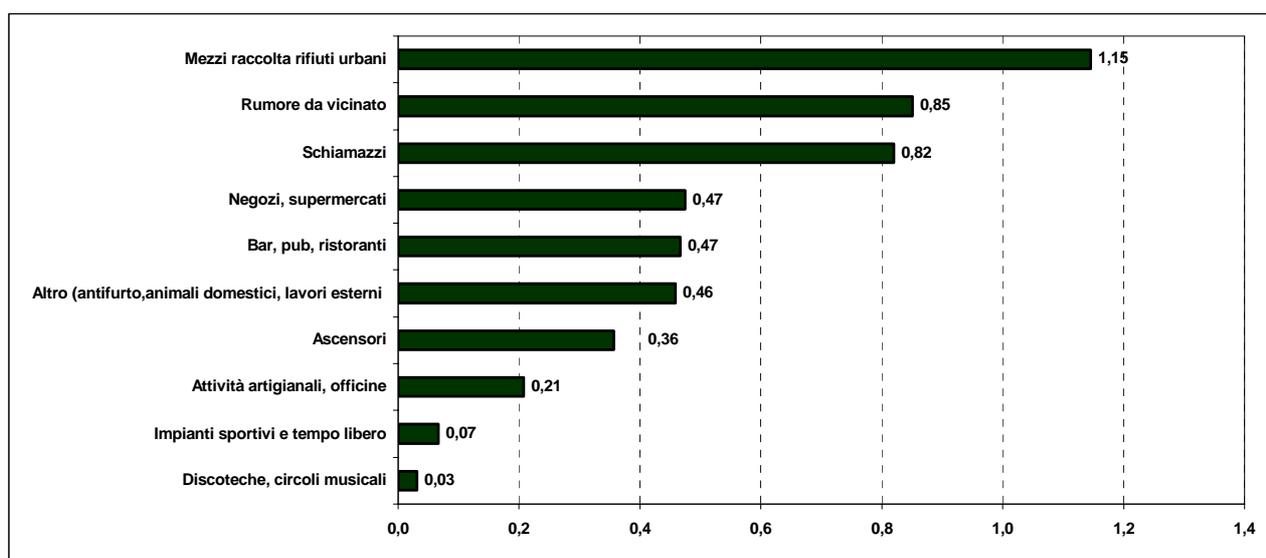
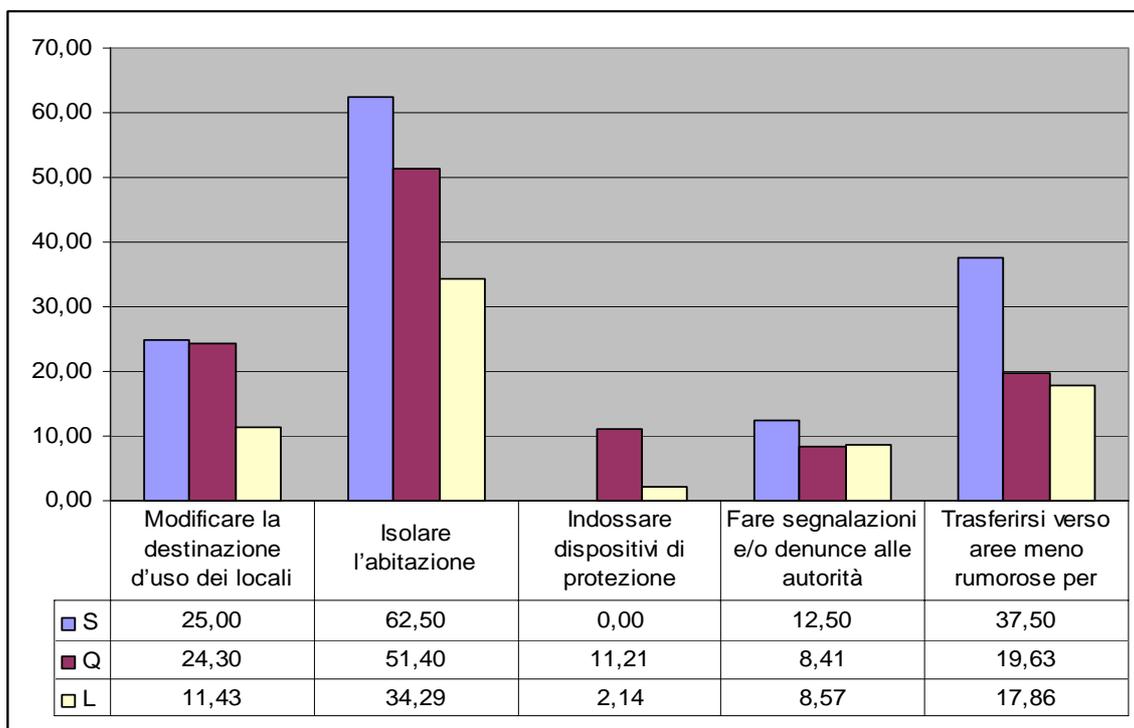


Figura 3: "Peso" del disturbo causato da altre sorgenti di rumore.

Ben il 59,2% di essi ha sentito la necessità di adottare dei provvedimenti per difendersi dal rumore, la distribuzione dei quali, in funzione della tipologia di strada, è mostrata in Figura 4.



**Figura 4:Provvedimenti adottati dagli intervistati per difendersi dal rumore**

Solo una minima parte degli intervistati ha fatto segnalazioni/lamentele alle Autorità a causa del rumore; questo dato si accorda con la tipologia di sorgente maggiormente indicata come disturbante, ovvero il traffico veicolare, verso la quale notoriamente l'individuo non ha possibilità di tutela.

## 5.4 CONCLUSIONI

Anche a distanza di 15 anni i livelli sonori rilevati nel quartiere Nomentano di Roma, seppur diminuiti, appaiono significativamente elevati (sia in fascia diurna che notturna) e sempre al di sopra dei limiti definiti dall'attuale normativa in base alla destinazione d'uso del territorio. Ciò è vero soprattutto per le strade con maggiore importanza funzionale nell'ambito del territorio.

Luoghi particolarmente sensibili (per la tipologia di utenti che ne usufruiscono) come scuole e ospedali, non risultano tutelati a sufficienza in quanto inseriti in un contesto urbano che attualmente non ne consente la separazione e li equipara di fatto, come ricettori, alle zone di intensa attività umana e produttiva.

Si può ipotizzare che la popolazione residente sia a rischio di subire gli effetti lesivi derivanti dall'esposizione al rumore sia in termini di qualità di vita che di benessere psicofisico.

A questo proposito, l'esame del questionario ha chiaramente indicato come la condizione di disagio nell'ambito della popolazione esposta sia proporzionale ai livelli di rumore presenti e come sia il traffico veicolare la principale fonte di tale disturbo nel quartiere.

Dall'integrazione delle informazioni desunte dai rilievi fonometrici e dall'inchiesta, si può ipotizzare che, al di sopra di un LAeq medio di 70dBA ci sia un significativo aumento degli effetti di disturbo nella popolazione; la soglia di tollerabilità è pertanto oltrepassata almeno nelle strade di quartiere e di scorrimento.

In conclusione, l'indagine pilota ha trovato un primo riscontro all'ipotesi di un clima acustico urbano insalubre in cui quotidianamente migliaia di persone sono costrette a immergersi per via della loro abitazione. Gli interventi di mitigazione, dimostratisi ancora insufficienti seppur necessari, dovrebbero altresì privilegiare le aree più densamente popolate e nelle quali i limiti di superamento risultano più elevati.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Working Group on noise indicators, Commission of the European Communities “ *Position paper on EU noise indicators*”, - Directorate General XI., 6 aprile 1999
- [2] Comune di Roma “*Relazione sullo stato dell'ambiente a Roma*”,- Maggioli Editore, 1997
- [3] Lalli N. “*Manuale di psichiatria e psicoterapia*”,- Liguori Editore, 1999.
- [4] Lundberg U. “*Coping with stress: neuroendocrine reactions and implications for health*”,-Noise and Health, 1999;4:67-74.
- [5] Berglund B., Lindvall T., Schwela D.H “*Guidelines for Community Noise*”,- WHO, Geneva, 1998
- [6] Miedema H.M., Vos H “*Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise*”,- J. Acoust. Soc. Am. 1999;105.
- [7] Ishiyama T., Hashimoto T. “*The impact of sound quality on annoyance caused by road traffic noise: an influence of frequency spectra on annoyance*”,- JSAE Review, 2000; 225:2230.
- [8] Babisch W., Fromme H., Beyer A., Ising H. “*Increased catecholamine levels in urine in subjects exposed to road traffic noise. The role of stress hormones in noise research*”,- Environment International, 2001; 26:475-481
- [9] Miedema H. M., Vos H. “ *Exposure-response relationships for transportation noise*”,- J. Acoust. Soc. Am. 1998; 104
- [10] Kageyama T., Taira K., Suzuki S., Takemoto T. “*A cross-sectional study on insomnia among japanese adult women in relation to night-time road traffic noise*”,- Journal of Sound and Vibration, 1997;205:387-391.
- [11] Cosa M. “*L'inquinamento da rumore*”,-Ed. La Nuova Scientifica Italiana, 1992.
- [12] Stansfeld S.A. “*Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder: epidemiological and psychophysical studies*”,-Psychological Medicine Monograph, Suppl.,1992; 22:1-44.
- [13] U.S. Environmental Protection Agency “*Noise effects handbook*” ,- Office of Noise Abatement and Control, 1981
- [14] O.C.D.E.“*L'impact du bruit: constat et prevision*”,- 1983
- [15] Cosa M. “*Rumore e vibrazioni*”,- Maggioli Ed., 1990.
- [16] Berglund B., Lindvall T “*Community Noise*”, Document prepared for the World Health Organization, Archives of the Center for Sensory Research, Stockholm University and Karolinska Institute, 1995.
- [17] Cohen S., Evans G.W., Krantz D.S., Stokols D “*Physiological, motivational and cognitive effects of aircraft noise on children*”,- American Psychologist 1980;35:231-243.

- [18] Thompson S.J. “ *Dose/Effect, State of knowledge, Psychophysiological effects of environmental noise and dose-response relationships*”,- EU’s Future Noise Policy, WG2, 1999.
- [19] Verbeek J.H.A.M., van Dijk F.J.H., DeVries F.F. “*Non-auditory effects of noise in industry. IV . A field study on industrial noise and blood pressure.*”,- International Archives Occupational Environmental Health , 1987; 59:51-54.
- [20] Lang T., Fouriaud C., Jacquinet-Salord M.C “*Length of occupational noise exposure and blood pressure*”,- International Archives of Occupational and Environmental Health 1992;63: 369-372.
- Zhao Y.M., Zhang S.Z., Spear R.C. “*A dose-response relation for noise-induced hypertension*”,- British Journal of Industrial Medicine 1991; 48: 179-184.
- [21] Babisch W., Ising H., Elwood P.C., Sharp D.S., Bainton D. “*Traffic noise and cardiovascular risk: The Caerphilly and Speedwell Studies, Second Phase. Risk estimation, prevalence, and incidence of ischemic heart disease.*”,- Archives of Environmental Health, 1993; 48: 406-413.
- [22] Regecova V.& Kellerova E “*Effects of urban noise pollution on blood pressure and heart rate in preschool children*”,- Journal of Hypertension 1995;13:405-412.
- [23] Evans G.W., Bullinger M., Hygge S. “ *Chronic noise exposure and physiological response: a prospective study of children living under environmental stress.*”,- Psychological science 1998;9:75-77.
- [24] Babish W., Ising H., Gallacher J.E.J., Sweetnam P.M. “*Traffic noise and cardiovascular risk: the Caerphilly and Speedwell studies, Third Phase-10-year follow up*”,- Elwood P.C., Archives of Environmental Health 1999;54: 210-216.
- [25] Cosa M., Cosa G. “*Annoyance, disturbo e danno da rumore e da vibrazioni*”,- Annali di igiene, medicina preventiva e di comunità, 1989; I,133.
- [26] Maugeri U. “*Respiratory effects of industrial noise*”, - Lav. Umato, 1965;17: 331.
- [27] Nurminen T. “*Female noise exposure, shift work, and reproduction*”,- Journal of Occupational Environmental Medicine, 1995; 37: 945-950.
- [28] Hoffman S., Hatch M.C. “*Stress, social support and pregnancy outcome: a reassessment based on recent research.*”,- Paediatric and Perinatal Epidemiology, 1996; 10:380-405.
- [29] Edmonds L.D., Erickson J.D. “*Airport noise and teratogenesis*”,- Archives of Environmental Health 1979; 34: 243-247.
- [30] Wu T-N., Chen L-J., Lai J-s., Ko G-N., Shen C-Y., Chang P-Y. “ *Prospective study of noise exposure during pregnancy on birth weight.*”, -American Journal of Epidemiology 1996; 143(8): 792-796.
- [31] Porter N.D., Berry B.F., Flindell I.H “*Noise and Nuisance Policy. Health Effect Based Noise Assessment Methods: a Review and Feasibility Study*”,- Department for Environment, Food & Rural Affairs, U.K., 1998
- [32] A. Poggi, C. Fagotti, D. Casini, G. Brambilla, T. Gabrieli. “*Linee guida per la rilevazione di dati utili per la stesura della relazione biennale sullo stato acustico del comune*”, - ANPA-Dipartimento Stato dell’Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi, 2001.
- [33] M. Cosa, M. Nicoli, G. Cosa, R. Fuselli, P. Savini “*Indagine sull’impatto acustico nel quartiere Nomentano di Roma*”, - Annali Istituto Superiore di Sanità- 1988; N.2, vol.24:323-330.
- [34] Cosa M., Orsi G.B., Cosa G., Capozzi S., Palazzo U., Fara G.M. “*Rumore da traffico e risposta della popolazione nel quartiere di Trastevere a Roma*”,- Annali di Igiene, 1991; 3:85-90.
- [35] Lagambiente Lazio e Corriere della Sera “*Monitoraggio inquinamento atmosferico e acustico: 21 Gennaio-2 Marzo 2002*”-
- [36] Legambiente “ *Treno Verde*”,edizioni 1988-2003.