



inter-noise 2006  
*Engineering a Quieter World*

**La risposta della popolazione al rumore urbano:  
un'indagine socio-acustica  
in un quartiere residenziale del comune di Pisa**

*M. Nolli e G. Licitra*

# Le esperienze di noise survey precedenti in Europa

Il **survey olandese** condotto dal RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu) sull'annoyance ed il disturbo del sonno, nei dintorni dell'aeroporto di Schipol, (**SHIA 1996**) **costituisce un riferimento internazionale per le indagini socio-acustiche.**

A livello europeo, vengono condotti **con regolarità**, indagini socio-acustiche sulla popolazione **nei paesi nordici.**

Al contempo, si evidenzia una **quasi totale carenza** di questo tipo di ricerche **nel Sud Europa.**

Le indagini passate, tuttavia, **non hanno uno standard sufficientemente armonizzato, sia nella metodologia, che nella formulazione dei quesiti.**

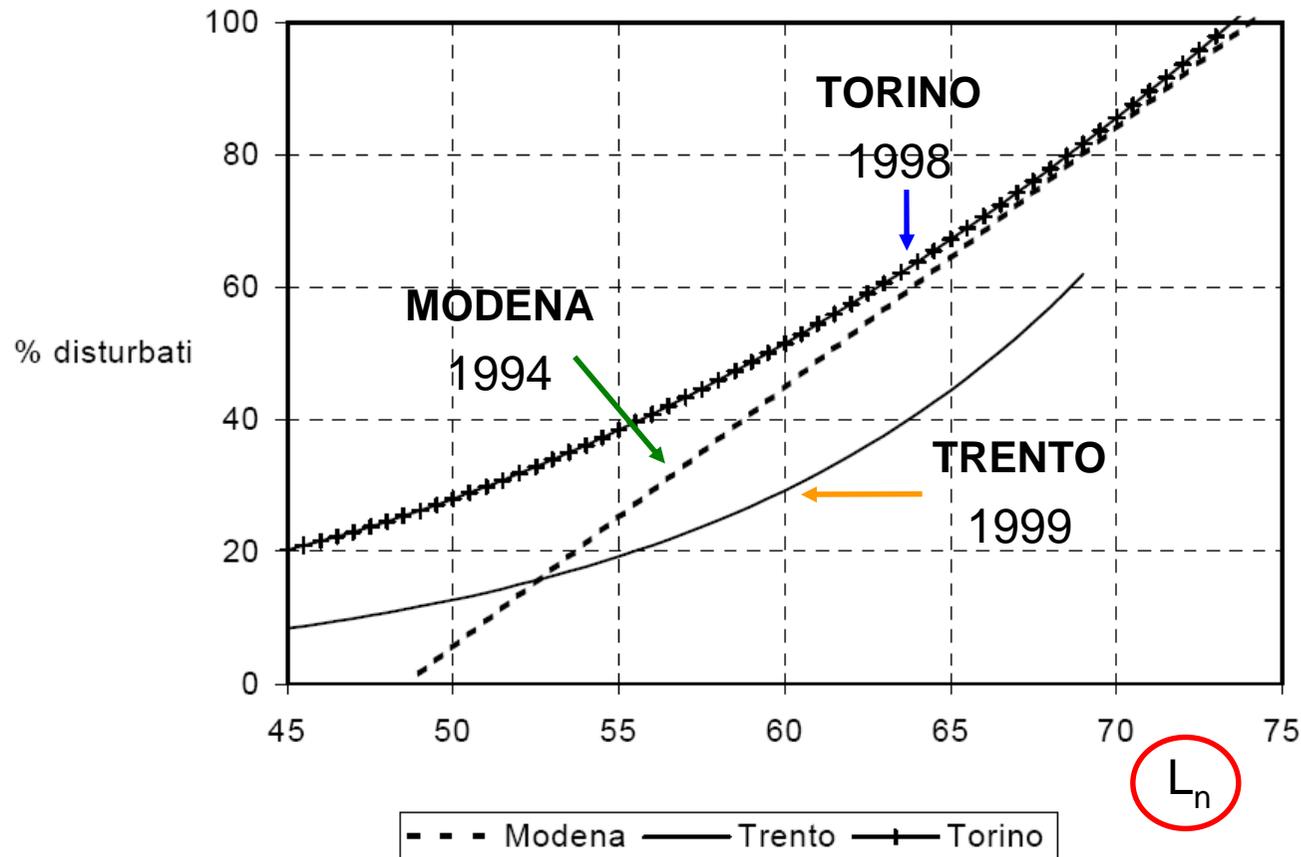
**PROBLEMI DI  
COMPARABILITA'**



*EU Project "HIS and  
HIS/HES evaluations and  
models"*

# Le esperienze di noise survey precedenti in Italia

Confronto fra i noise surveys di:  
Modena. Trento e Torino



**Il campione indagato:**  
**908 u a Mo,**  
**320 u a To;**  
**300 u a Tn.**

$L_n$

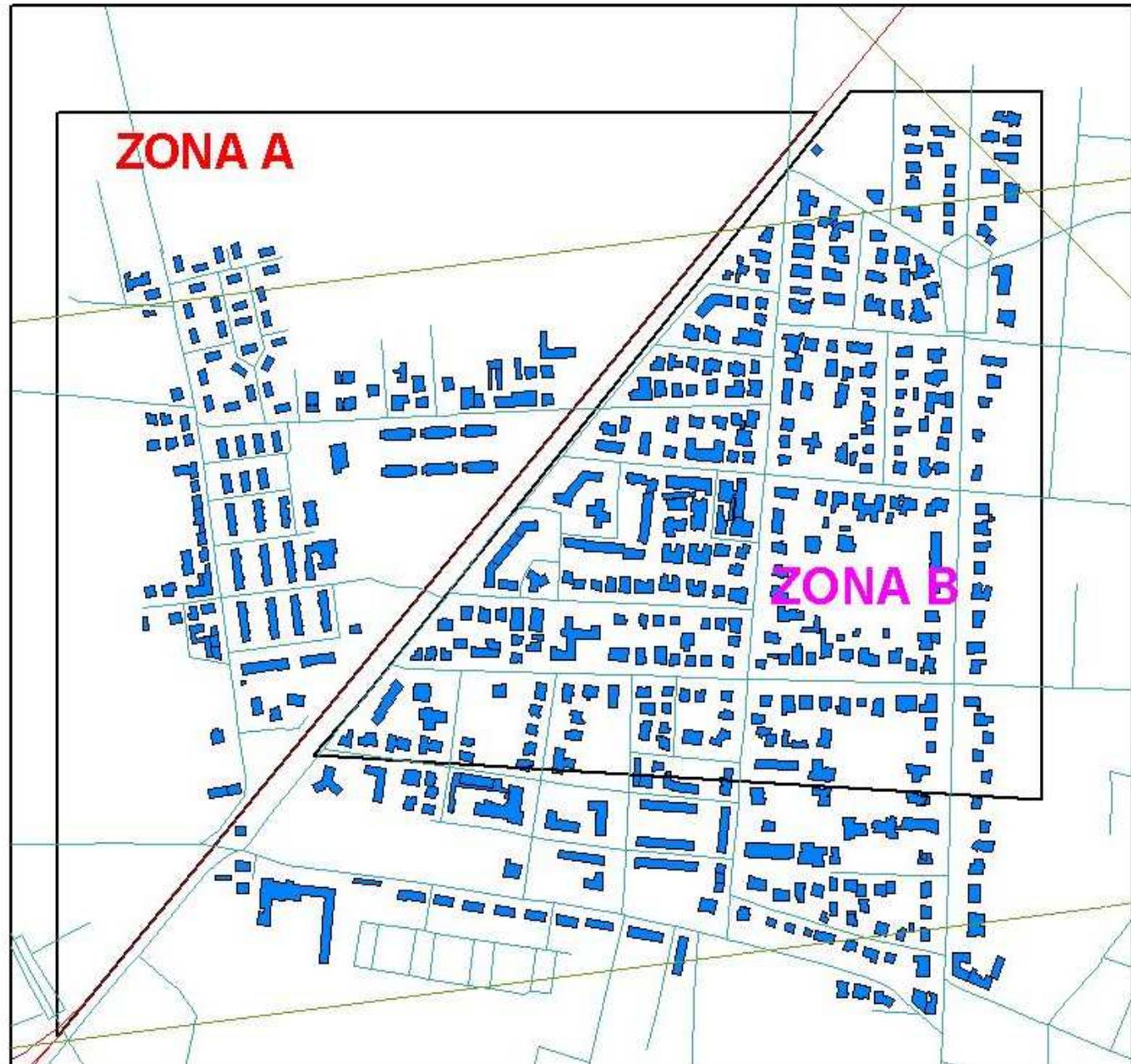
## *Lo studio nella città di Pisa*

### **ZONA A:**

palazzi alti a più  
piani, risalenti alla  
fine degli anni '50

### **ZONA B:**

villette indipendenti  
al più a due piani,  
spesso risalenti ai  
primi decenni del  
secolo scorso,  
circondate da  
giardino.



# LA SIMULAZIONE DEI LIVELLI DI ESPOSIZIONE

La simulazione dei livelli di esposizione è dunque stata:

1. di tipo **source-specific** (si è considerato il solo rumore da **traffico stradale**);
1. effettuata alla **quota specifica** in cui si colloca l'abitazione del potenziale rispondente;
1. ha tenuto conto **della disposizione dei vani interni all'abitazioni e dei tempi di loro frequentazione.**

In particolar modo, si è tenuto conto, nel calcolo degli indici acustici,  $L_{den}$  e  $L_{night}$  dei periodi di tempo trascorsi in un vano **a fronte strada** o **sul retro dell'abitazione.**

## LA SIMULAZIONE DEI LIVELLI DI ESPOSIZIONE

Le simulazioni dei livelli d'emissione sonora **in ambito urbano** sono state eseguite **tramite mappature isolivello**, facendo uso del **software IMMI**, commercializzato dall'azienda tedesca Wolfel Meßsysteme Software GmbH&Co.

La mappatura dei livelli d'esposizione nella zona è consistita in **16 mappe di fasce di livello sonoro d'esposizione per piano di abitazione**, calcolando come sorgenti di emissione, **il solo traffico stradale**, di cui **8 per il periodo notturno ed 8 per il periodo diurno**.

**L'intera fase di creazione del mapping è durata in totale circa 65 giorni.**

La procedura ottimizzata del modello impostata ha presupposto: la considerazione del **solo primo livello di riflessione di ogni raggio sonoro** e la spaziatura dei punti griglia ogni 5 m.

# ESEMPIO DI MAPPATURA

$h = 4 \text{ m}$

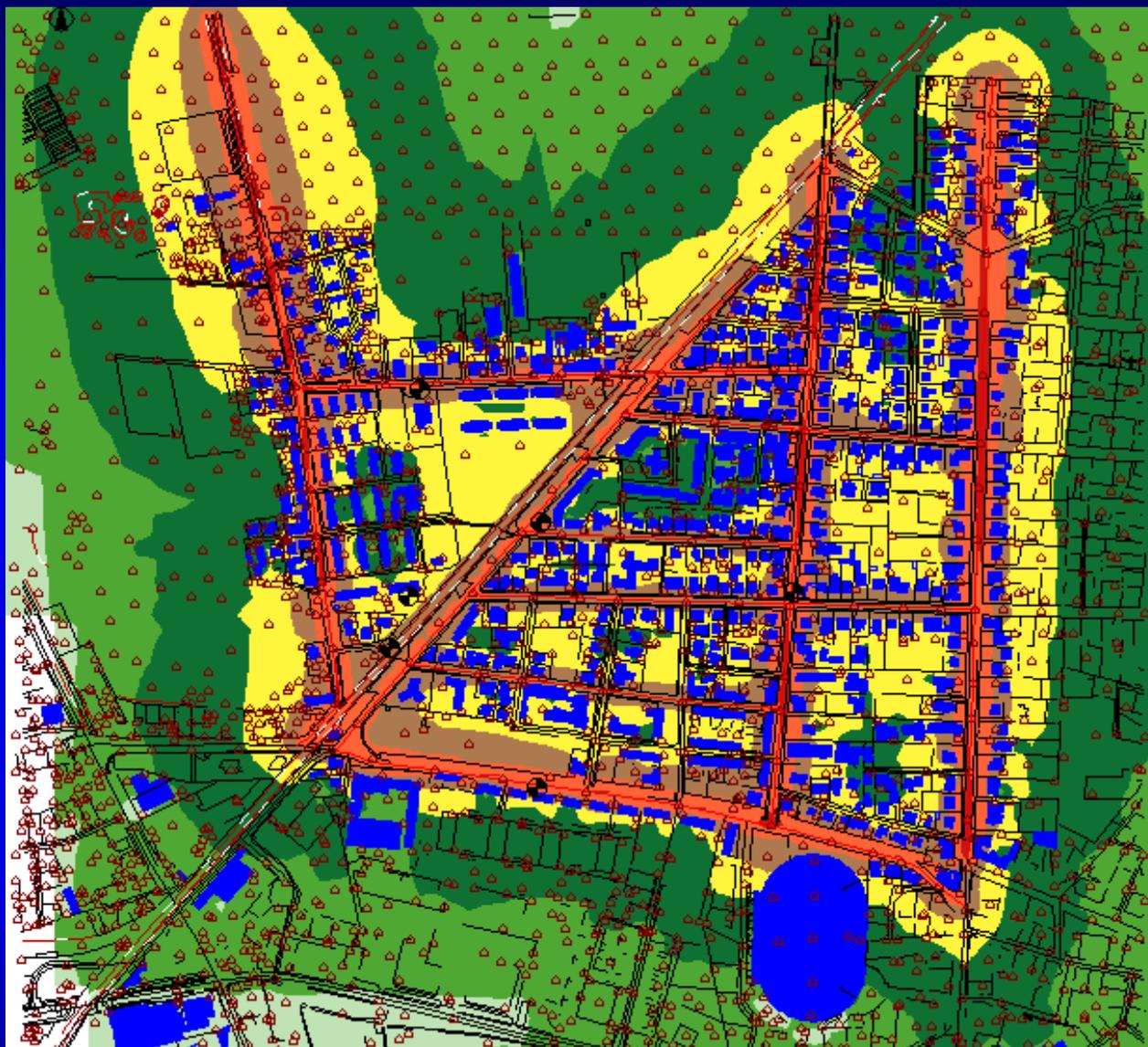
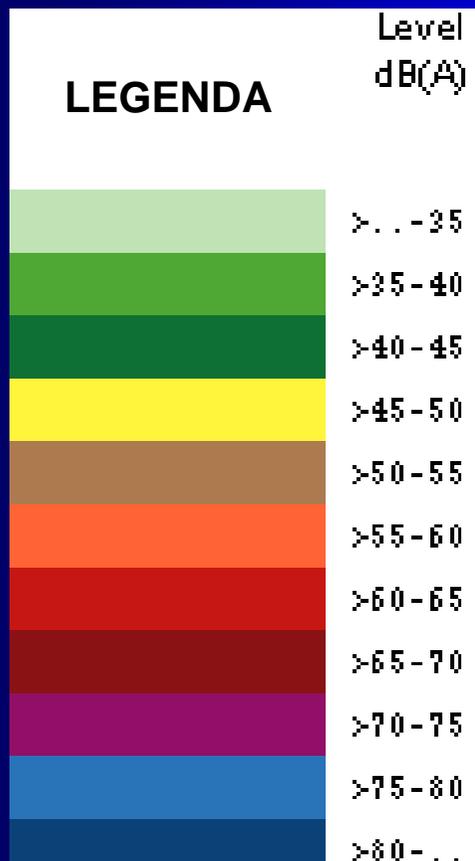
LEGENDA	
	Level dB(A)
	>...-35
	>35-40
	>40-45
	>45-50
	>50-55
	>55-60
	>60-65
	>65-70
	>70-75
	>75-80
	>80-...



*Simulazione dei livelli sonori di emissione per intervalli di 5 dB,  
alla quota di 4 m dal suolo, in  $L_{eq,day}$ .*

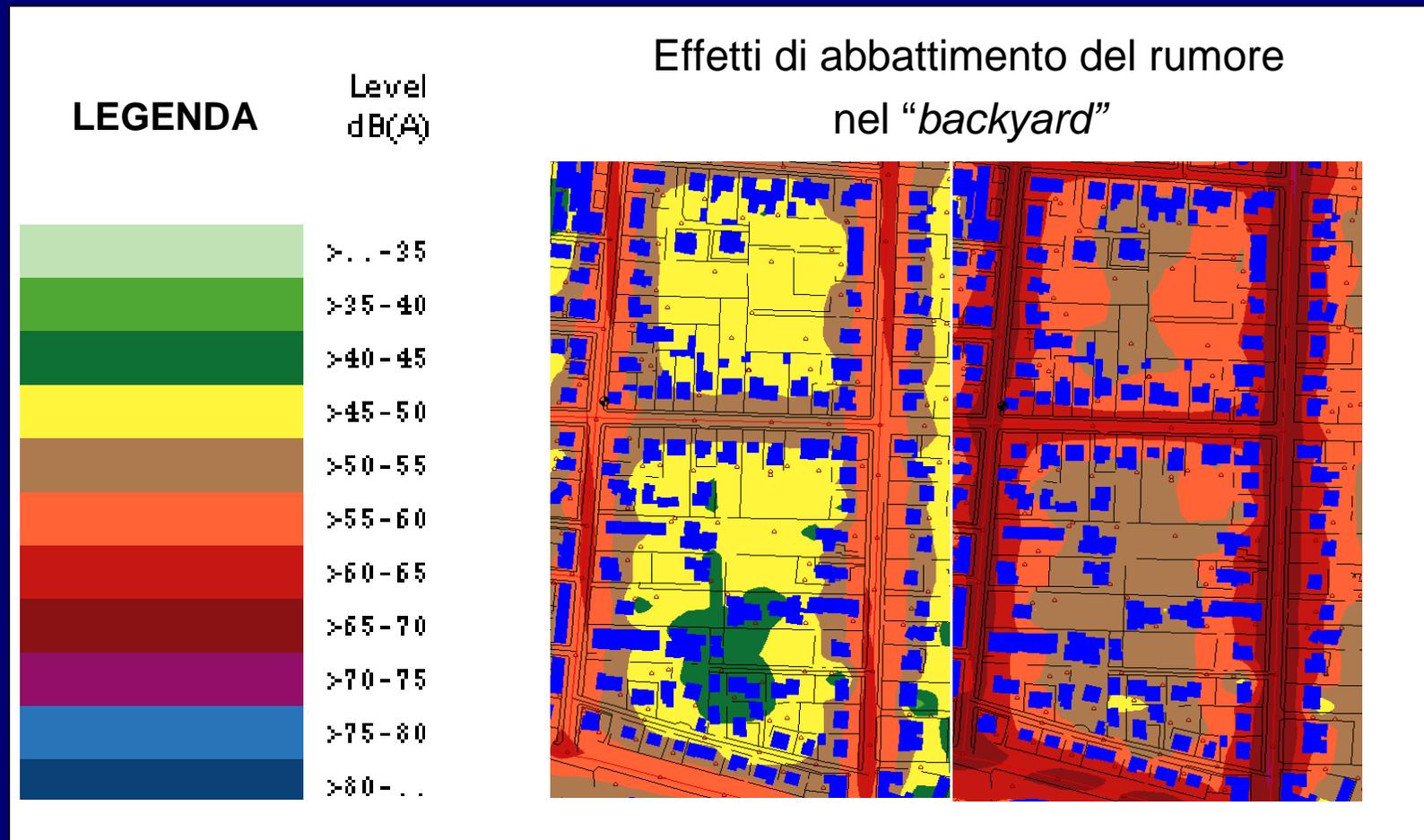
# ESEMPIO DI MAPPATURA

$h = 4 \text{ m}$



*Simulazione dei livelli sonori di emissione per intervalli di 5 dB,  
alla quota di 4 m dal suolo, in  $L_{eq,night}$ \**

# EFFETTI DI BACKYARD



Proprio per questo fenomeno nel calcolo dell'indice acustico di riferimento si sono considerati i valori di **front-facade** e **back-facade** a seconda della collocazione dei più importanti vani interni, quali il **SOGGIORNO** e la **CAMERA DA LETTO**.

## IL QUESTIONARIO

Il questionario consegnato a mano presso ogni abitazione dell'area d'indagine, consisteva in una **serie di domande, suddividibili in cinque sezioni separate**, riguardanti:

1. richieste d'informazioni molto generali di carattere anagrafico (sez. A)
1. le abitudini di vita e le caratteristiche acustico-architettoniche della casa (sez. B)
1. l'annoyance da rumore ed il disturbo del sonno (sez. C)
1. l'auto-giudizio sulla qualità del sonno e sulle influenze del rumore sulla propria salute (sez. D)
1. una serie di quesiti riguardanti lo status socio-economico e culturale (sez. E)

## I QUESITI SUL DISTURBO

*Pensando agli ultimi 12 mesi, quando lei si trova a casa, quale numero fra 0 e 10 esprime in modo migliore quanto lei si ritiene disturbato, infastidito od irritato dalle seguenti potenziali sorgenti di rumore, DURANTE IL PERIODO DIURNO?  
(Espressa analogamente per il periodo notturno)*

Potenziale sorgente di rumore	SCORE
<i>Traffico stradale</i>	(0 - 10)
<i>Autobus e mezzi pesanti</i>	(0 - 10)
<i>Treni</i>	(0 - 10)
<i>Traffico aereo</i>	(0 - 10)
<i>Moto e motorini</i>	(0 - 10)
<i>Cantieri, costruzioni e demolizioni</i>	(0 - 10)
<i>Vicini di casa</i>	(0 - 10)
<i>Attività industriali e commerciali</i>	(0 - 10)
<i>Locali di intrattenimento, bar, similari</i>	(0 - 10)
<i>Allarmi antifurto</i>	(0 - 10)
<i>Condizionatori, impianti interni permanenti di riscaldamento o idraulici, ascensori</i>	(0 - 10)
<i>Raccolta della spazzatura, macchine pulitrici della strada</i>	(0 - 10)
<i>Cani od altri animali</i>	(0 - 10)
<i>Altro</i>	(0 - 10)

# GLI ELEMENTI CONFONDENTI

Tramite i quesiti introdotti nel questionario è stato possibile determinare l'influenza sulla variabile dipendente (*Annoyance*) delle principali variabili confondenti di carattere socio-demografico od attitudinale (*confounders*)



## *Lo studio nella città di Pisa*



- Rispondenti
- Rispondenti post - sollecito

SAMPLE

2148 nuclei familiari

**Response rate: 14,8 %**

- ▲ Misure spot di un'ora
- Conteggi di flusso di traffico
- Monitoraggio in continuo

# PROCEDURE DI CAMPIONAMENTO

Randomizzando sui non rispondenti si è effettuata la correzione per la "mancata risposta selettiva"

*Rispondenti*  
n. 317 (14,8%)

*"Non  
rispondenti"*  
n. 82 (19,3%)

Sampling fraction estesa ad 1 → 2148 elementi campionati

**RESPONSE RATE: 14,8%**

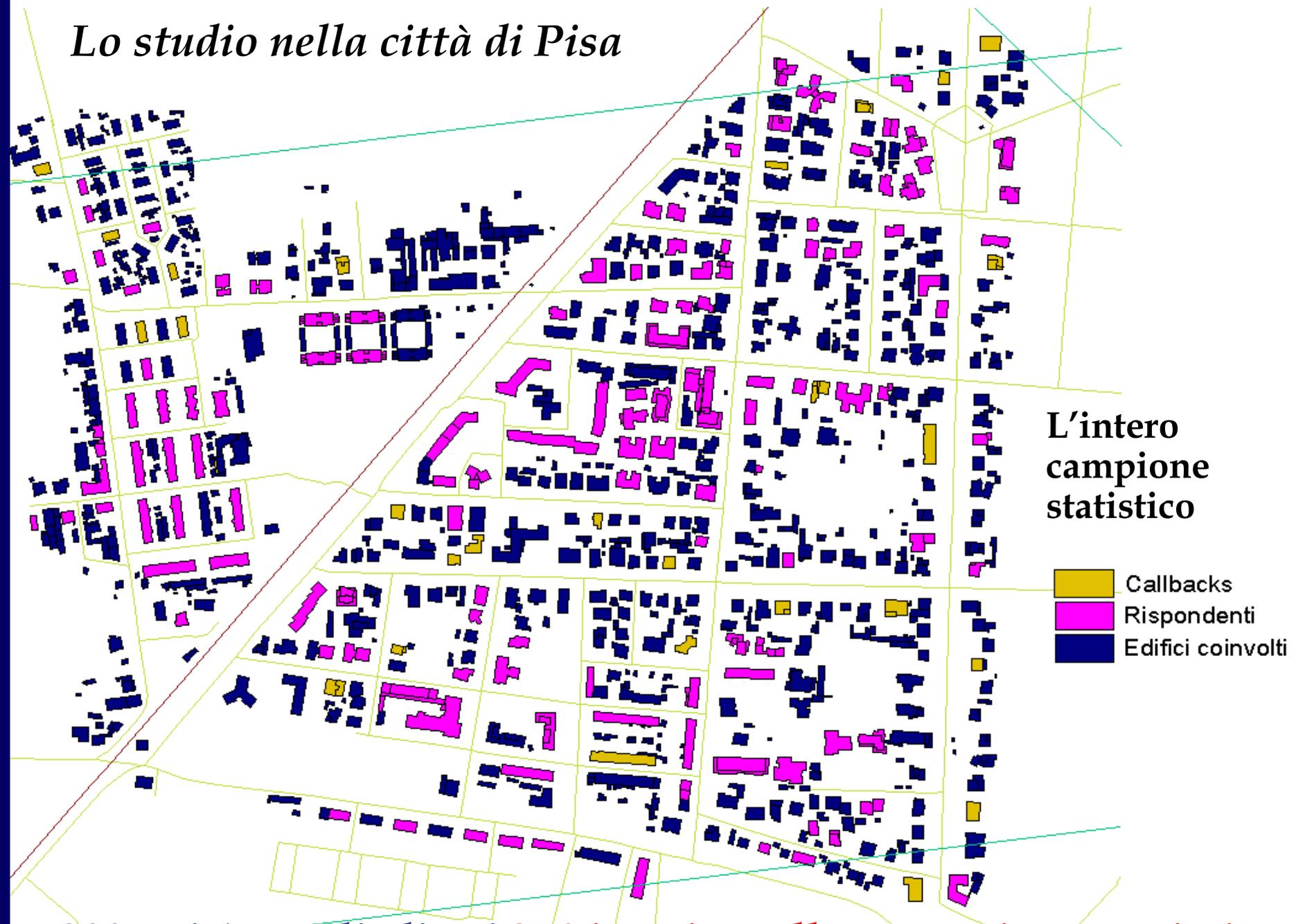
*Rispondenti*  
N. 317 (14,7%)

**C. B.s**  
n. 82  
(19,3%)



**CAMPIONE  
STATISTICO**

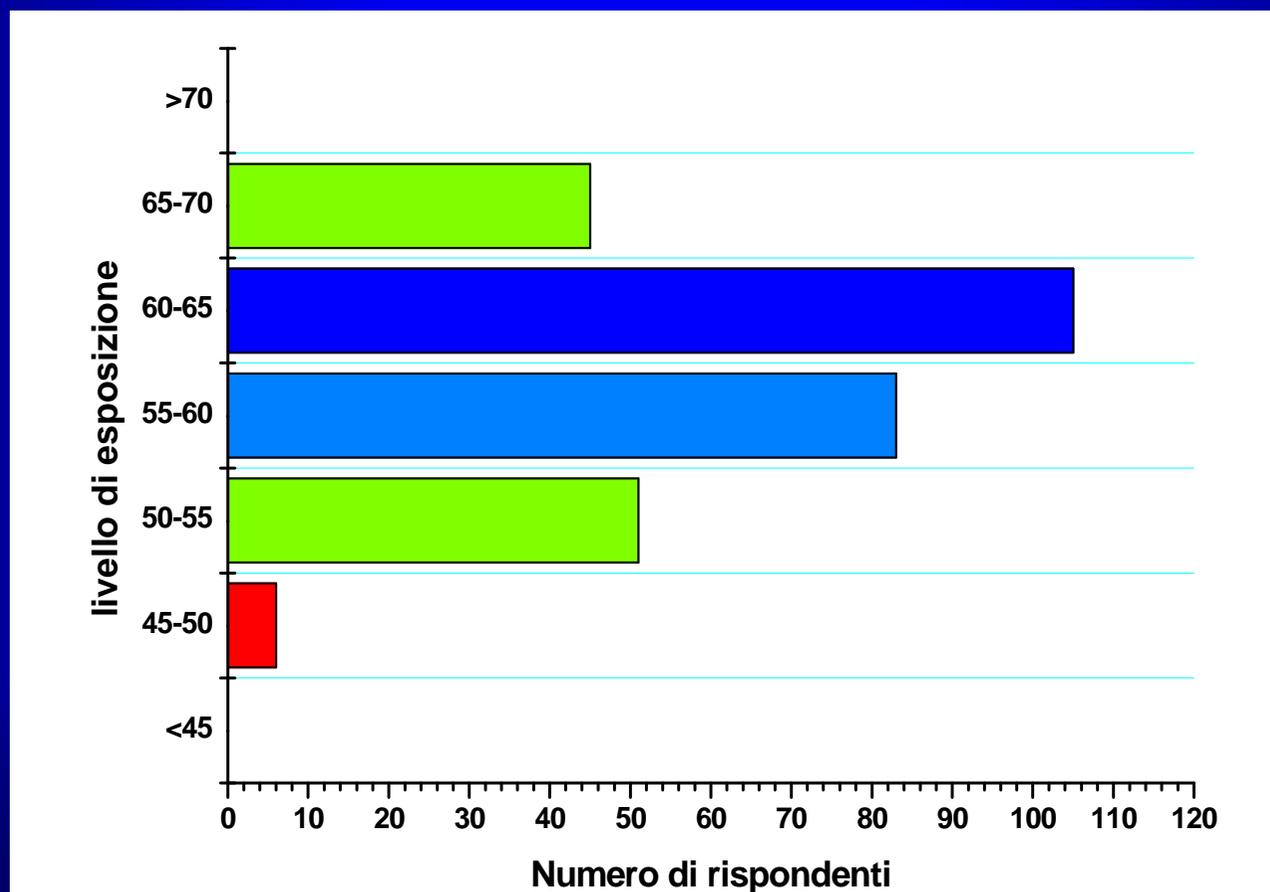
## *Lo studio nella città di Pisa*



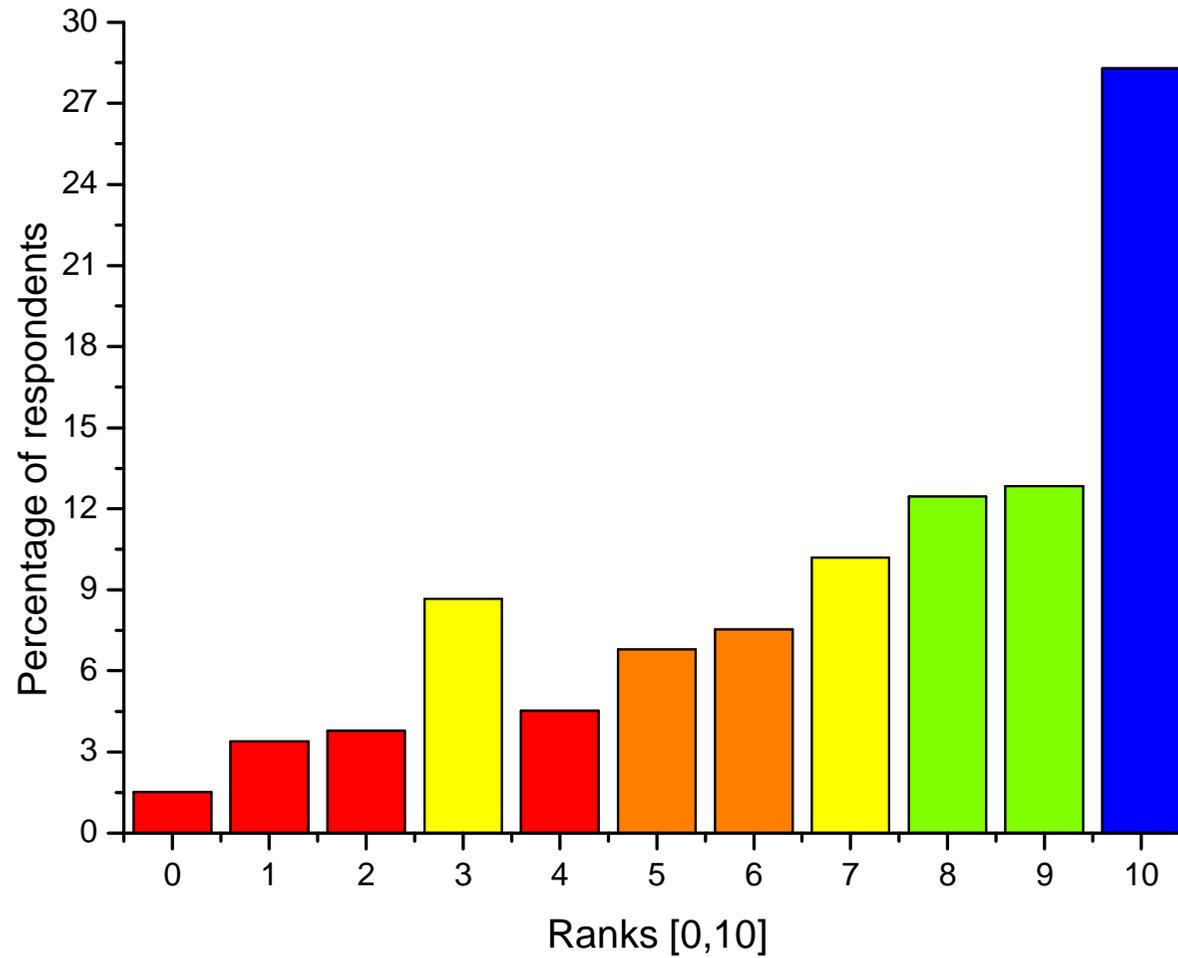
*399 unità totali, di cui 356 inserite nella trattazione statistica*

# STRATIFICAZIONE IN LIVELLI DI ESPOSIZIONE DEL NUMERO DI RISPONDENTI

< 45 dB	45– 49 dB	50– 54 dB	55– 59 dB	60-64 dB	65–69 dB	≥ 70 dB
0	6	51	83	105	45	0

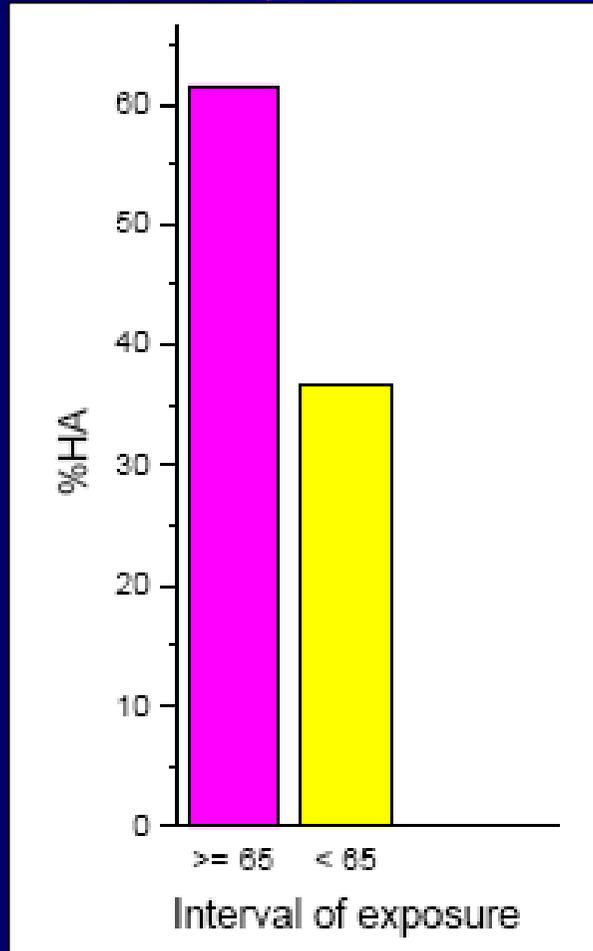


# DISTRIBUZIONE DEI GIUDIZI NELLA AUTO DEL DISTURBO DA RUMORE

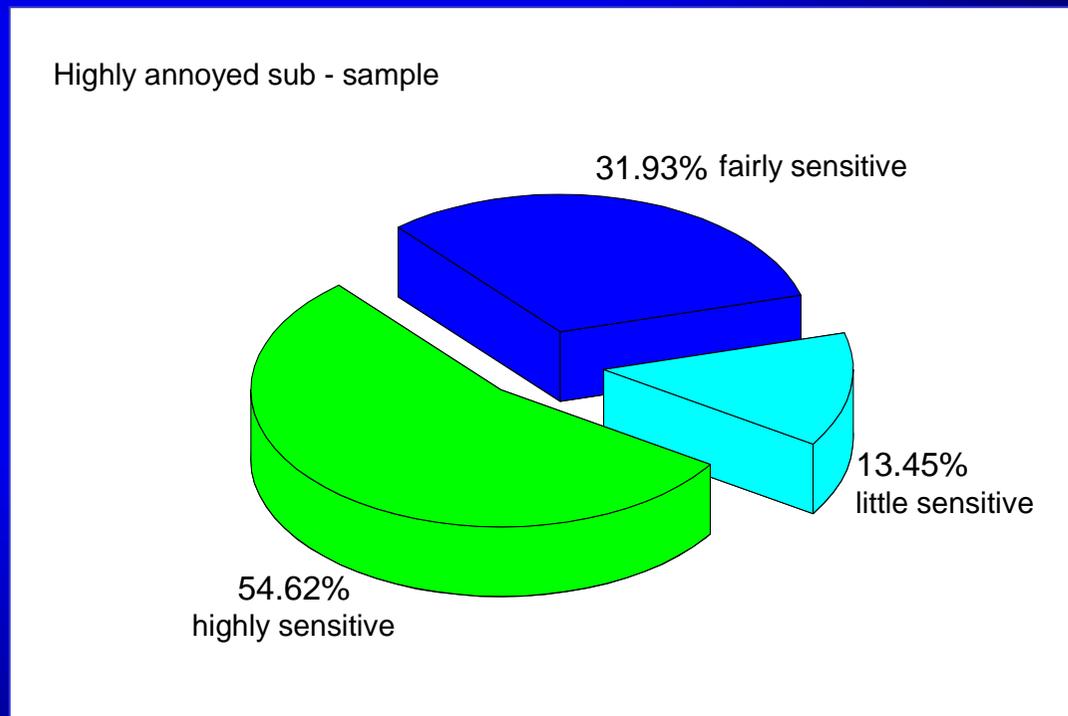


# Perchè sono disturbati?

*Perchè sono  
esposti...*

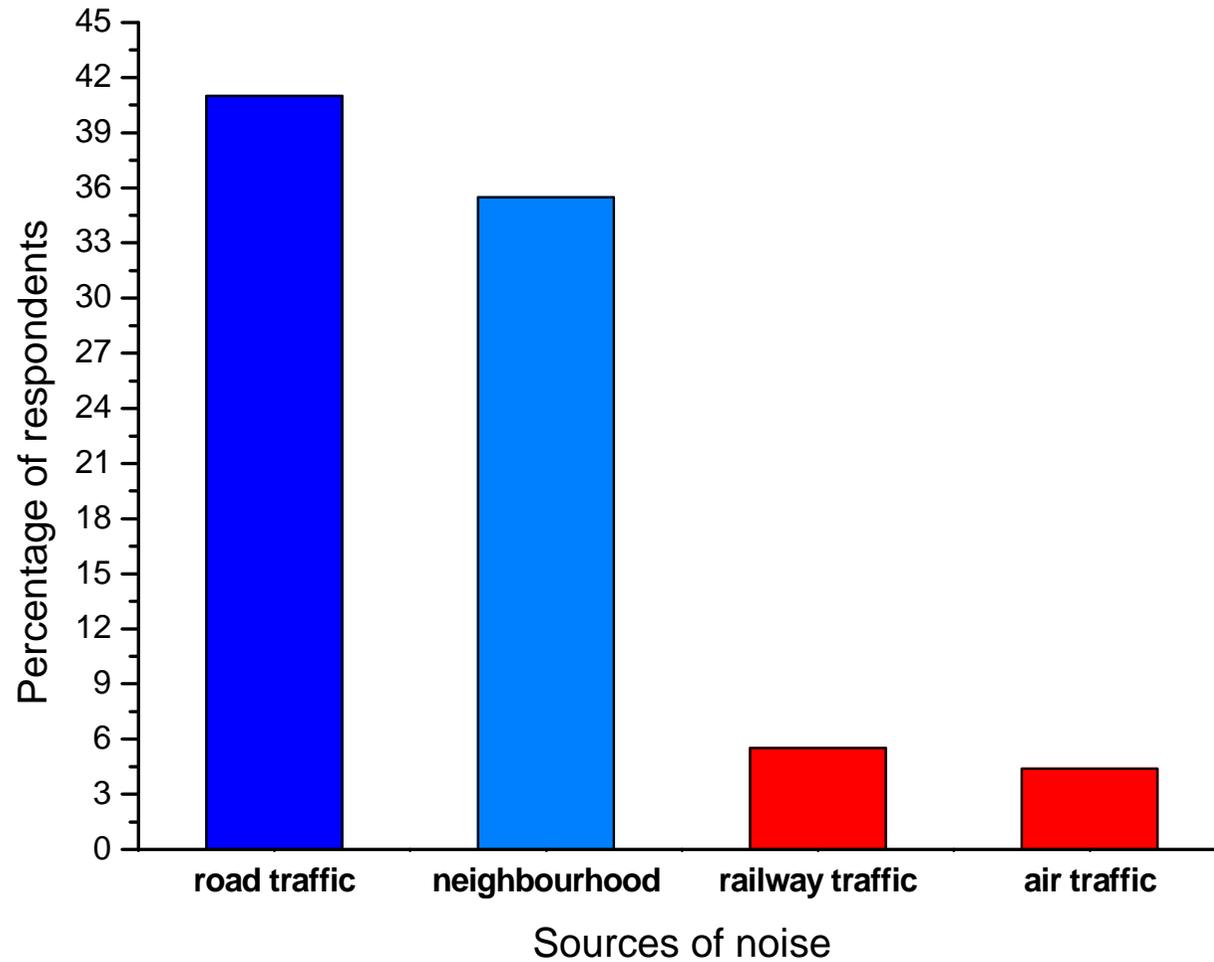


*E perchè sono sensibili...*

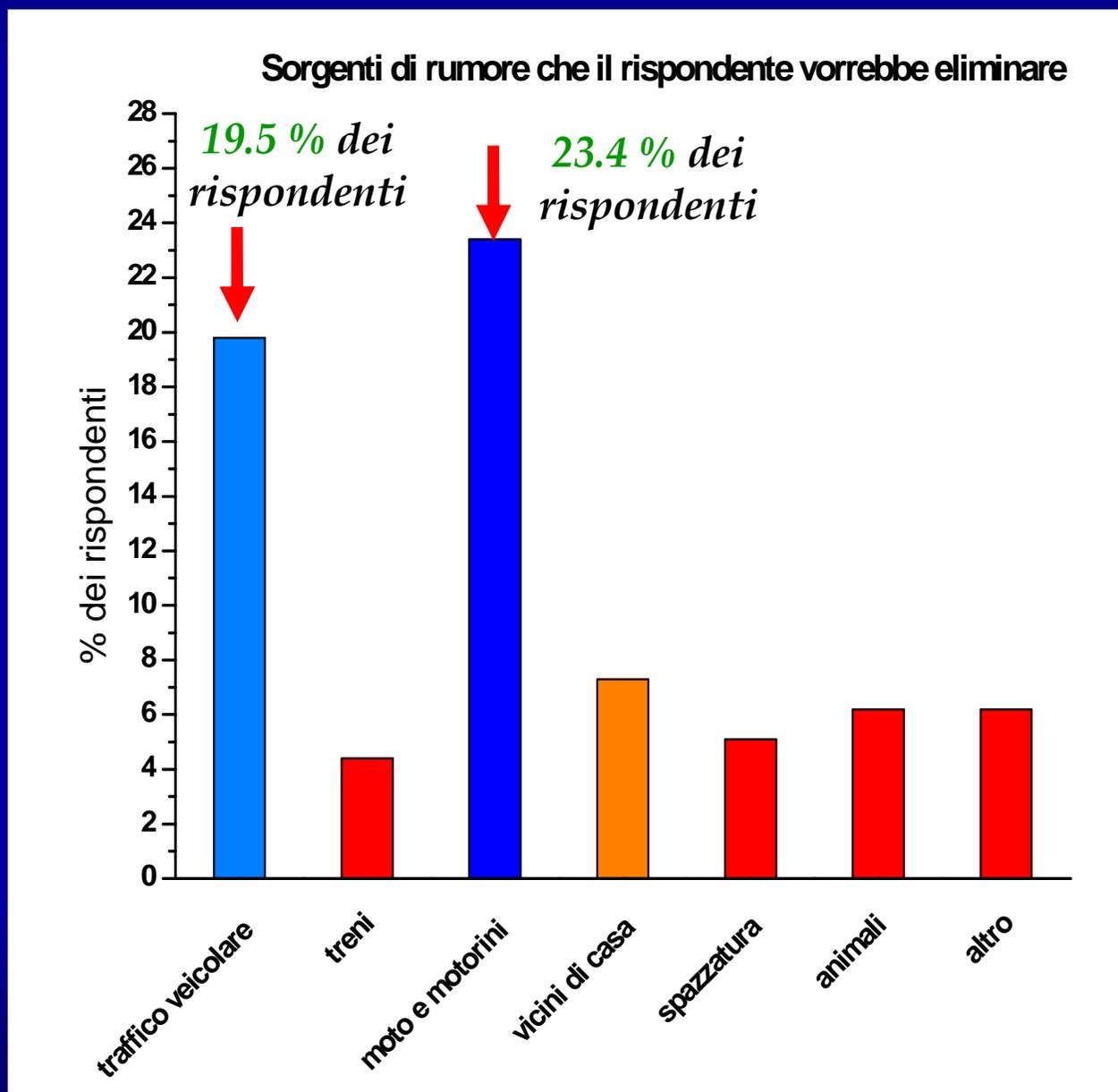


10 items Weinstein test

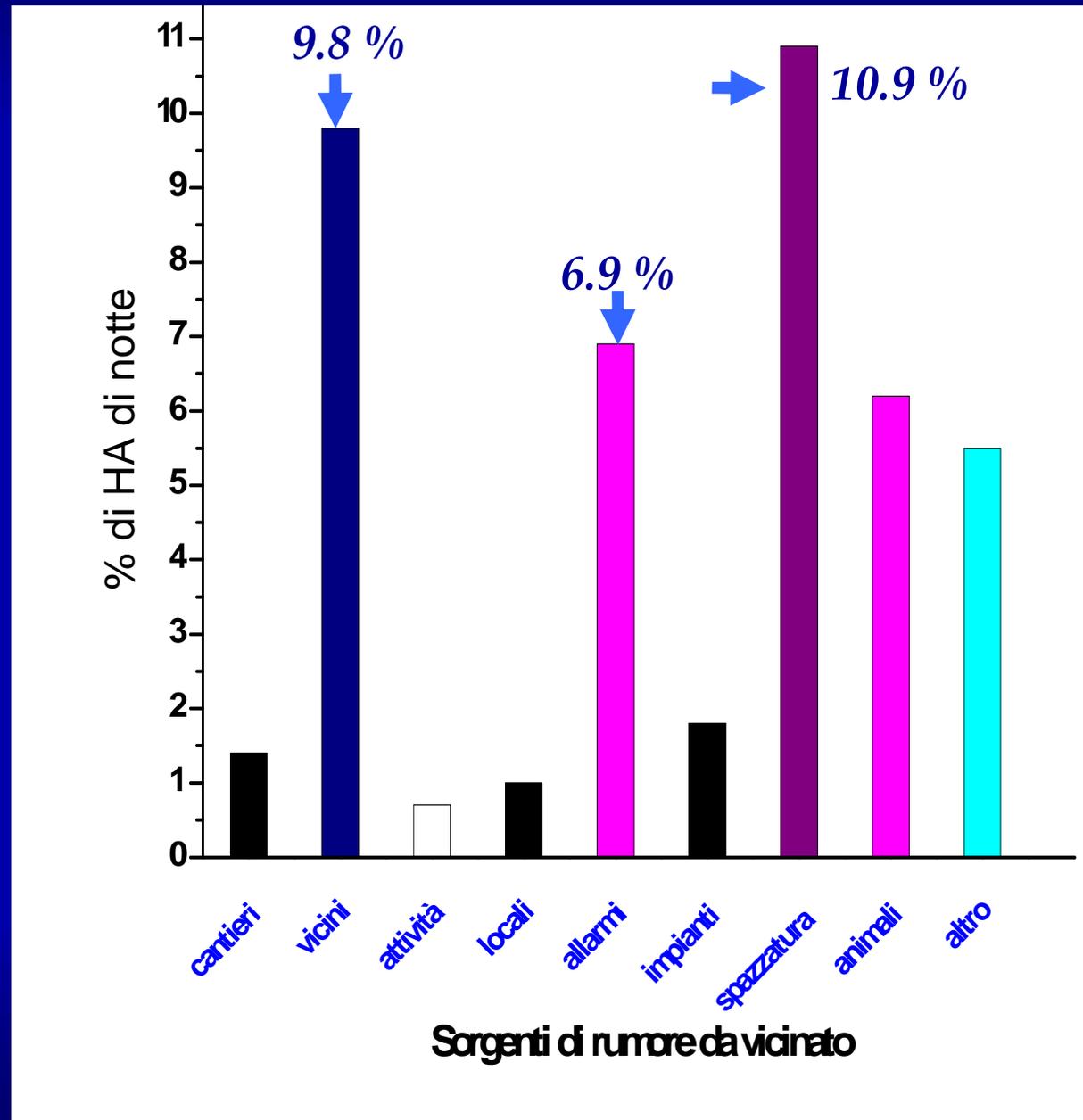
*Quanti sono disturbati?  
E principalmente da cosa?*



## Se si potesse eliminare una sorgente...



## Neighbourhood noise nel periodo notturno



## LA DETERMINAZIONE DELLO SCORE D'ANNOYANCE

La quantificazione dell'annoyance, è avvenuta **convertendo il valore categorico dato dal rispondente ai quesiti specifici di disturbo (0,1,...,10) in un punteggio in centesimi**, applicando la seguente formula (Miedema HE, Vos H, 1998):

$$score_i = \frac{100 \cdot i}{m}$$

La scelta effettuata della scala ad 11 categorie (0 - 10) permette agevolmente il calcolo della percentuale di popolazione altamente disturbata da rumore %HA, **come coloro che hanno utilizzato le categorie 8, 9 ,10** per esprimere il proprio giudizio di disturbo.

**La categoria 8**, infatti, identifica quasi esattamente **il cutoff point di 72/100**, (standard internazionale raccomandato dall'ICBEN).

## STUDIO DI INFERENZA STATISTICA

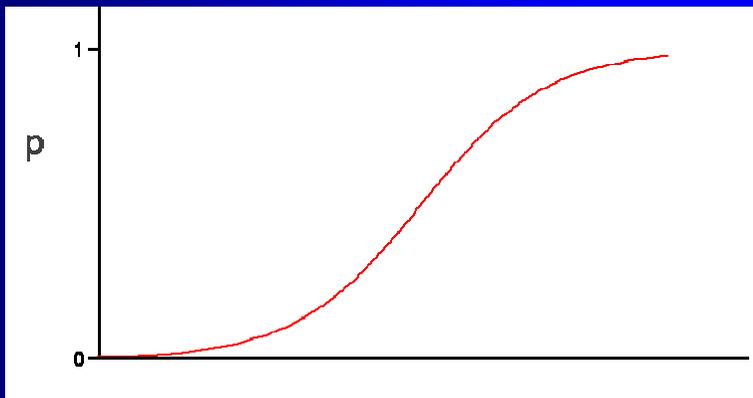
La riduzione in forma dicotomica della variabile indipendente, attribuendo ad  $Y$ (Annoyance) il valore 0, se non si è superata la categoria di cutpoint 8 e valore 1 agli altri casi, fa sì che:

- $Y|1$  descriva la probabilità che il rispondente sia altamente disturbato da rumore;
- $Y|0$  rappresenti la risposta di un individuo il cui stato personale d'*annoyance*, non è da ritenersi così serio.

**La probabilità di *Highly Annoyance* è dunque trattabile con un andamento logistico che risulta essere 0 ai più bassi livelli d'esposizione e tendere ad 1 all'aumentare di questa.**

# STUDIO DI INFERENZA STATISTICA

La **regressione logistica** è una tecnica non parametrica che permette un'estensione dei normali metodi di regressione, ad applicazioni in cui la variabile dipendente è di carattere binomiale (Bernoulliana), o comunque ordinale.



TRASFORMAZIONE  
LOGISTICA

$$\hat{p}_i = \frac{e^{\hat{\alpha} + \hat{\beta}x_i + \dots + \hat{\gamma}z_i}}{1 + e^{\hat{\alpha} + \hat{\beta}x_i + \dots + \hat{\gamma}z_i}}$$

Linearizzando l'espressione sovrastante è possibile introdurre la **funzione matematica logit(p)**, ovvero esprimere:

$$\text{logit}(\hat{p}_i) \equiv \log\left(\frac{\hat{p}_i}{1 - \hat{p}_i}\right) = \hat{\alpha} + \hat{\beta}x_i + \hat{\gamma}y_i + \dots$$

## STUDIO DI INFERENZA STATISTICA

Il caso d'applicazione di un modello multivariato, si riferisce al fatto che l'Annoyance è stata trattata **come funzione di più covariate, 9 in esattezza, di tipo continuo, dicotomico od ordinale.**

Si ha così una **collezione di  $k$  variabili indipendenti policotomiche** che denotano il **vettore delle covariate  $\mathbf{x}$ .**

L'operazione di fit del modello porta alla stima del vettore dei coefficienti della funzione logit:  $\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\gamma}$ .

Il metodo di stima utilizzato è quello della massima verosimiglianza (maximum likelihood).

Tramite la determinazione del vettore stima è possibile applicare il **Wald Test per la significatività** delle variabili predittrici, introdotte nel modello.

## STUDIO DI INFERENZA STATISTICA

Per ogni singola covariata è possibile esprimere:

$$W = \frac{\hat{\beta}_i}{S.E.(\hat{\beta}_i)}$$

Il risultato del rapporto  $W$ , sotto l'ipotesi che  $\hat{\beta}_i$  sia uguale a zero, segue una distribuzione normale. E', quindi calcolabile, la probabilità  $P(|z| > W)$ , dove  $z$  denota una variabile casuale che segue una distribuzione normale standard.

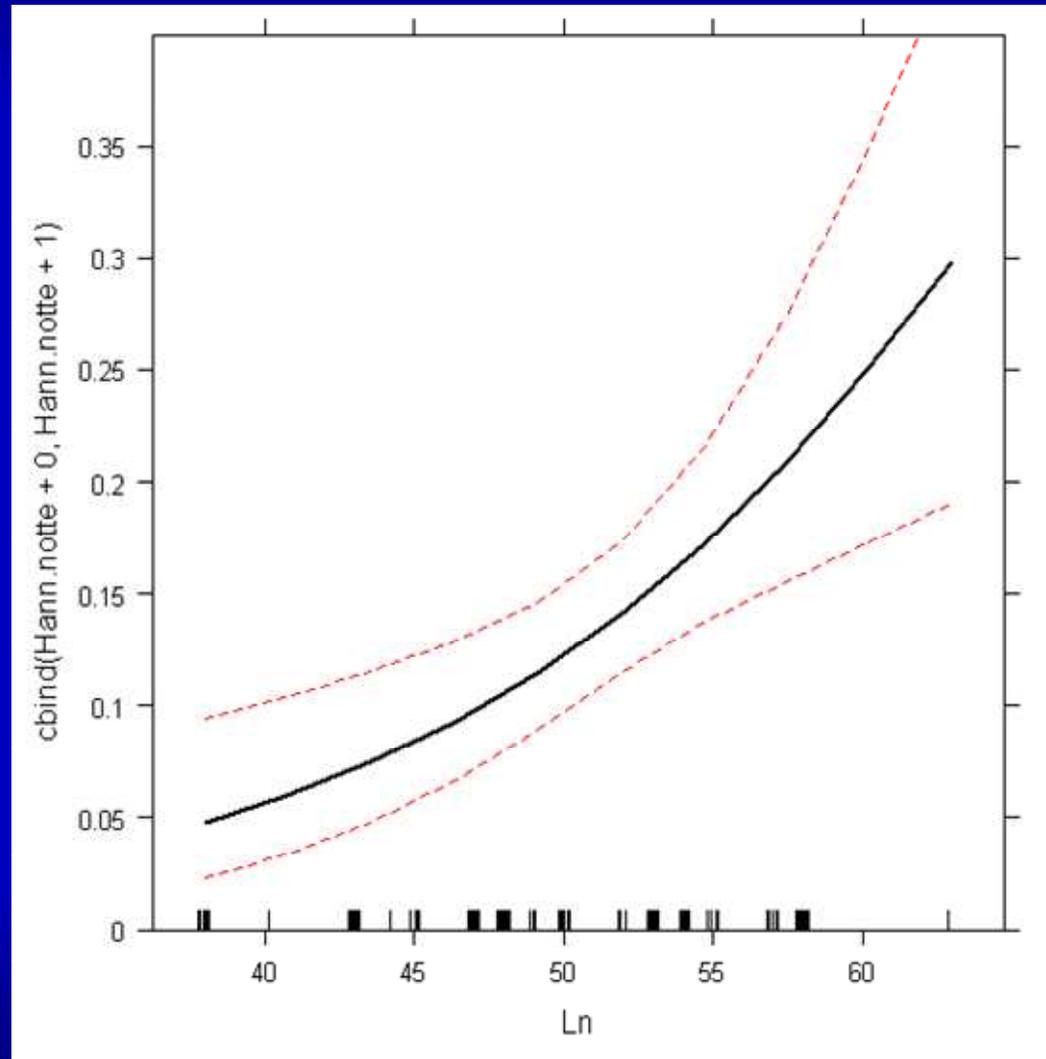
**Al 5% di significatività il valore di  $z$  è pari a ad 1.96 (test a due code).**

**Una covariata sarà ritenuta statisticamente significativa qualora  $W > 1.96$ .**

# Valutazione dell'effetto delle covariate

## EFFETTI SIGNIFICATIVI IN NOTTURNO

**Value: 0.085**  
**SE: 0.025**  
**Z value: 3.406**  
 **$P(> |z|): 0.0007$**



*Probabilità di HA in funzione del valore assunto dall'indice acustico  $L_n$*

# Valutazione dell'effetto delle covariate

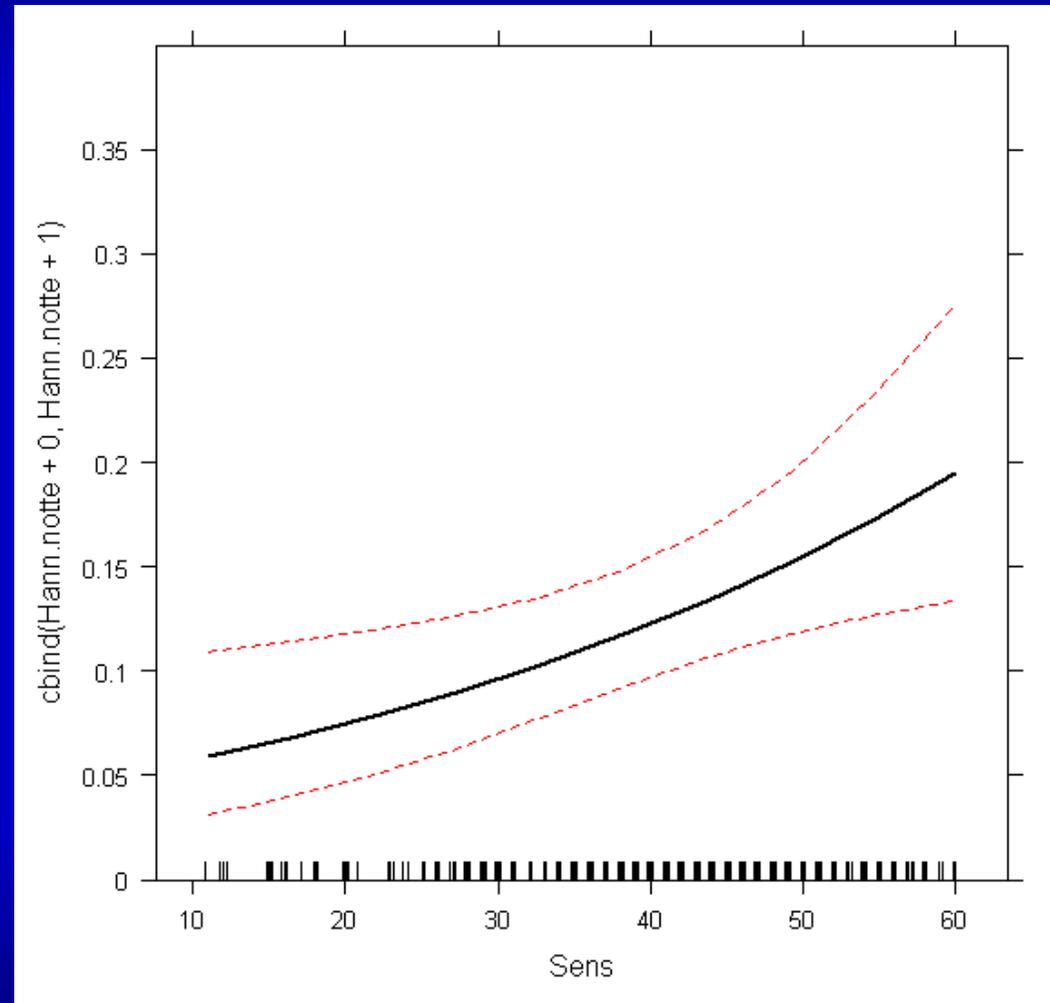
## EFFETTI SIGNIFICATIVI IN NOTTURNO

**Value: 0.027**

**SE: 0.010**

**Z value: 2.683**

**$P(> |z|): 0.007$**



*Probabilità di HA in funzione dello score di sensibilità (0 -60)*

# Valutazione dell'effetto delle covariate

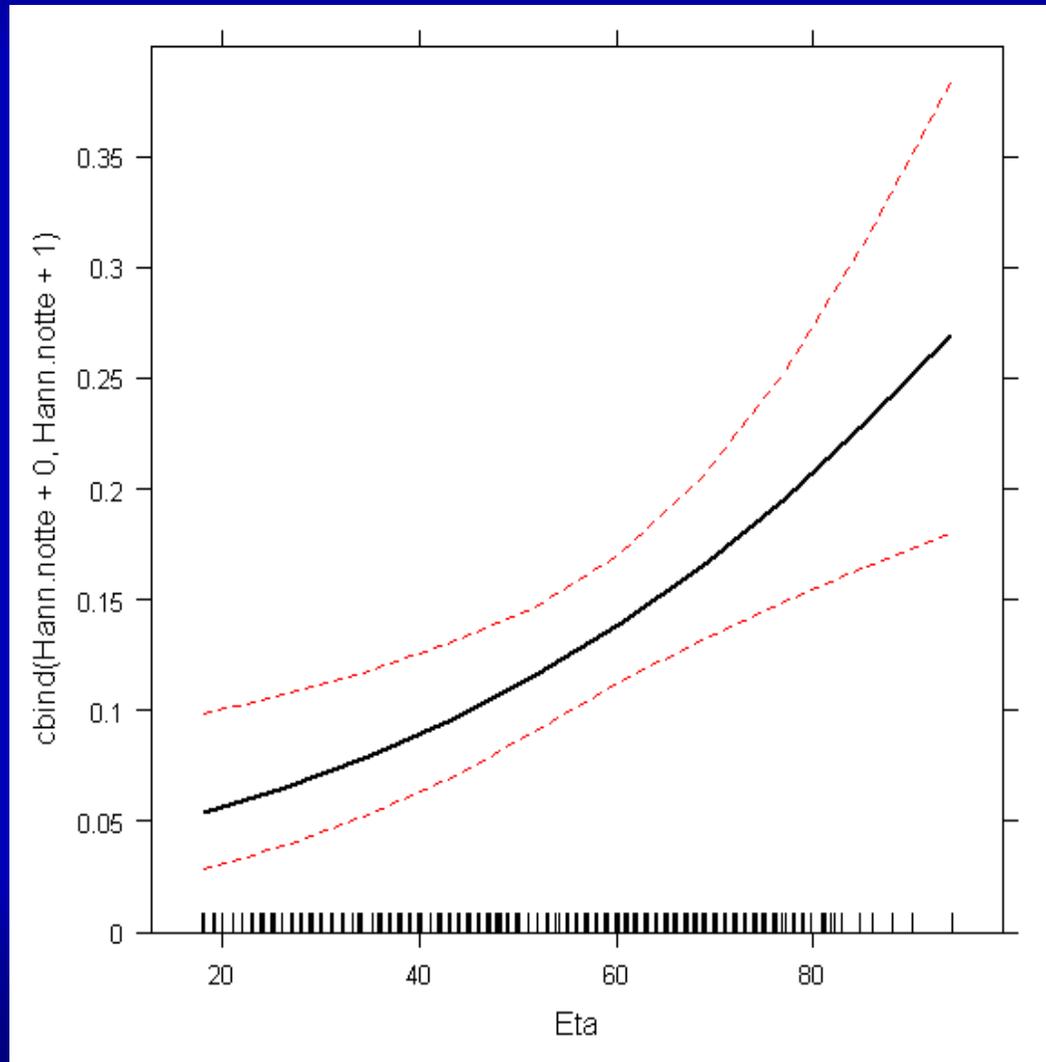
## EFFETTI SIGNIFICATIVI IN NOTTURNO

**Value: 0.025**

**SE: 0.007**

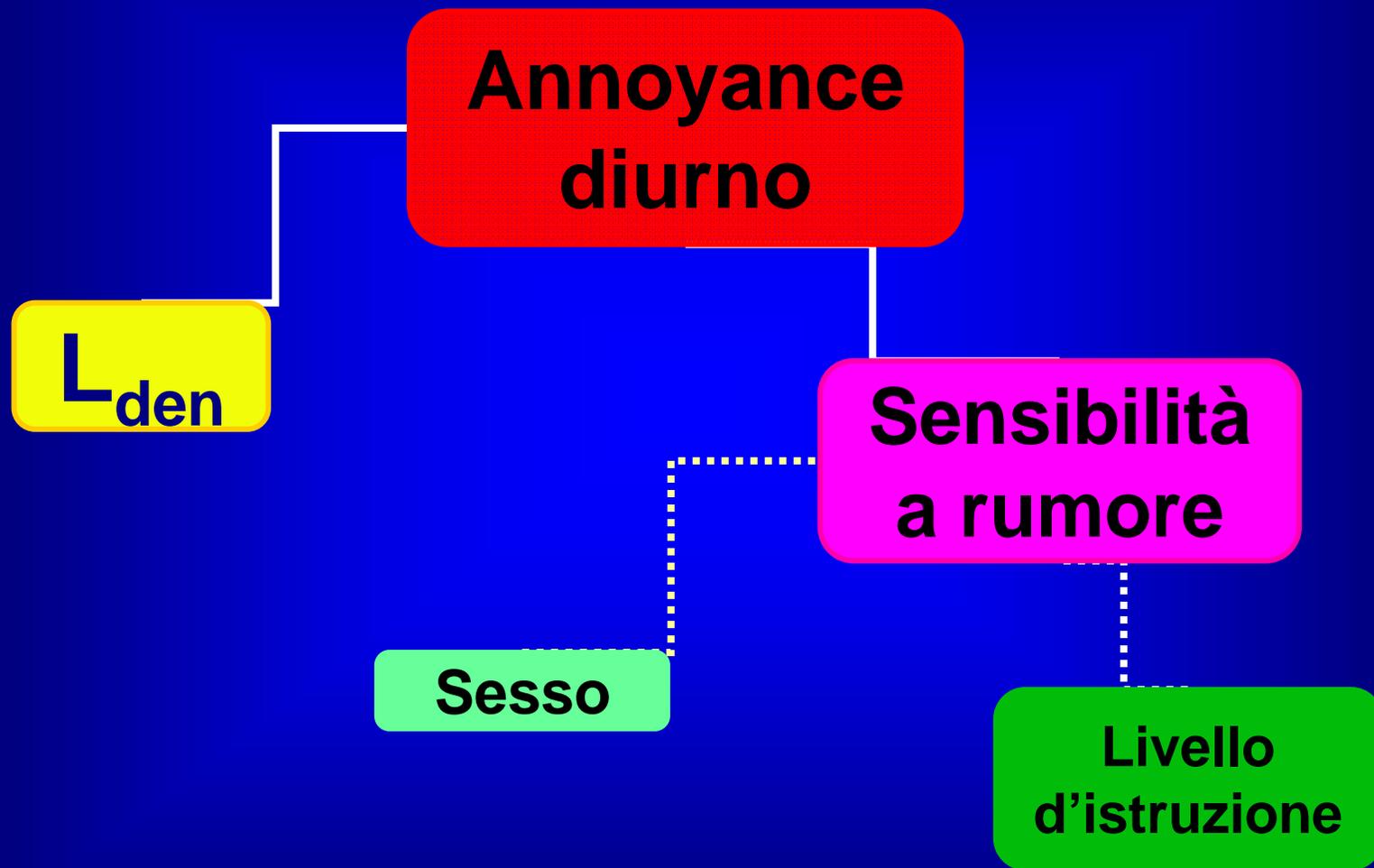
**Z value: 3.441**

**$P(> |z|): 0.0006$**

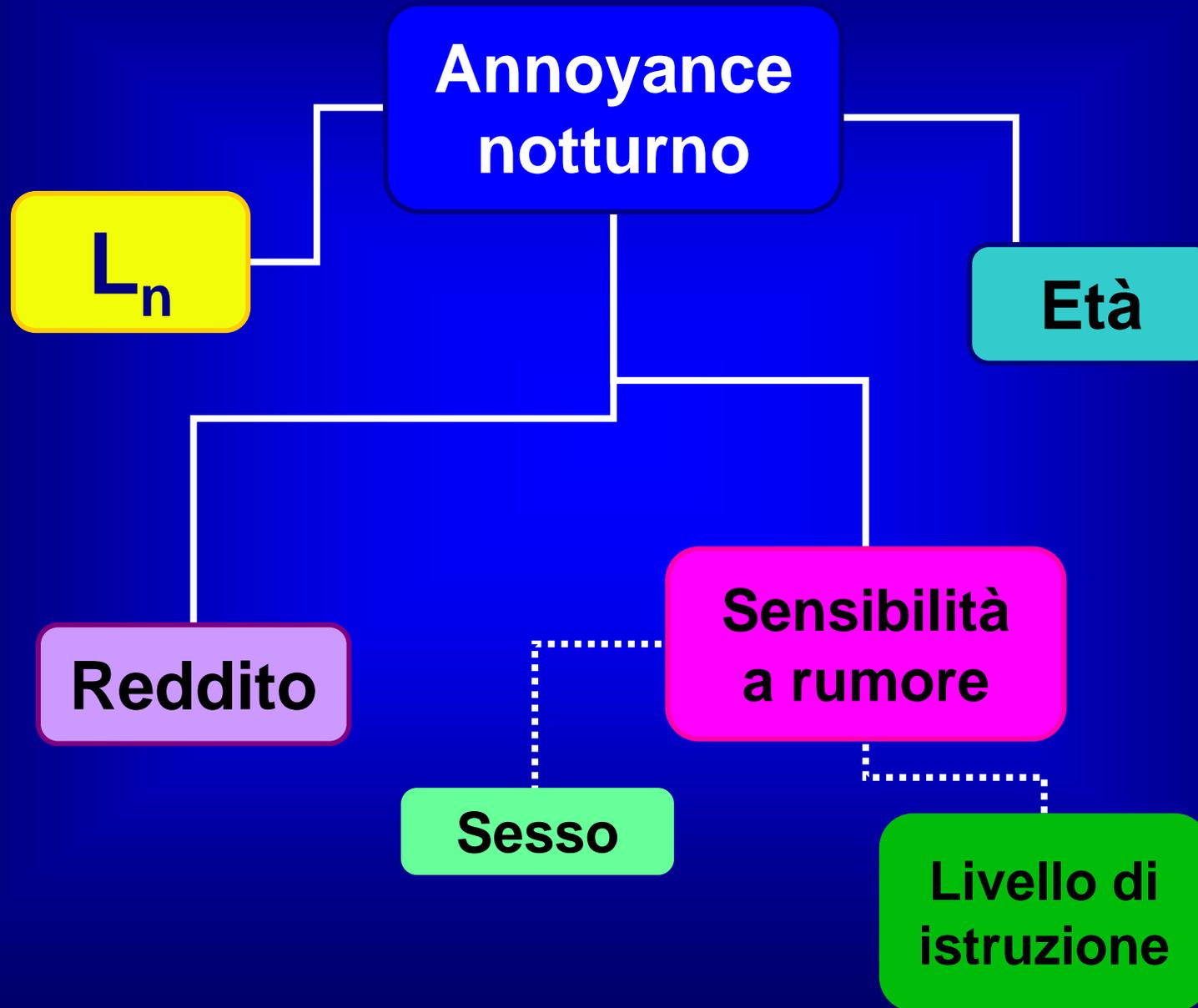


*Probabilità di HA in funzione dell'età del rispondente*

# Diagramma di relazioni intercausali fra annoyance e variabili regressori nel campione statistico totale

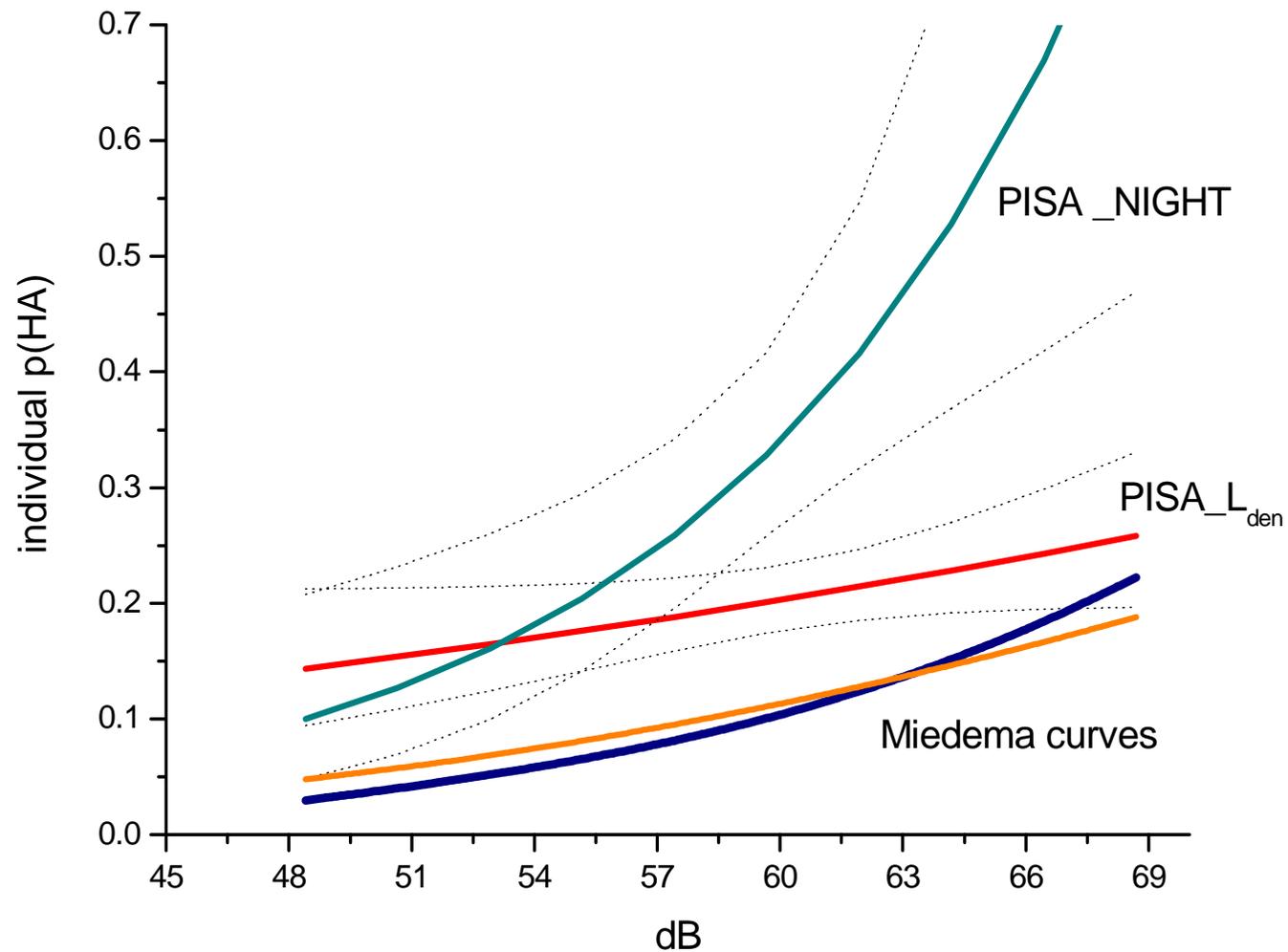


# Diagramma di relazioni intercausali fra annoyance e variabili regressori nel campione statistico totale

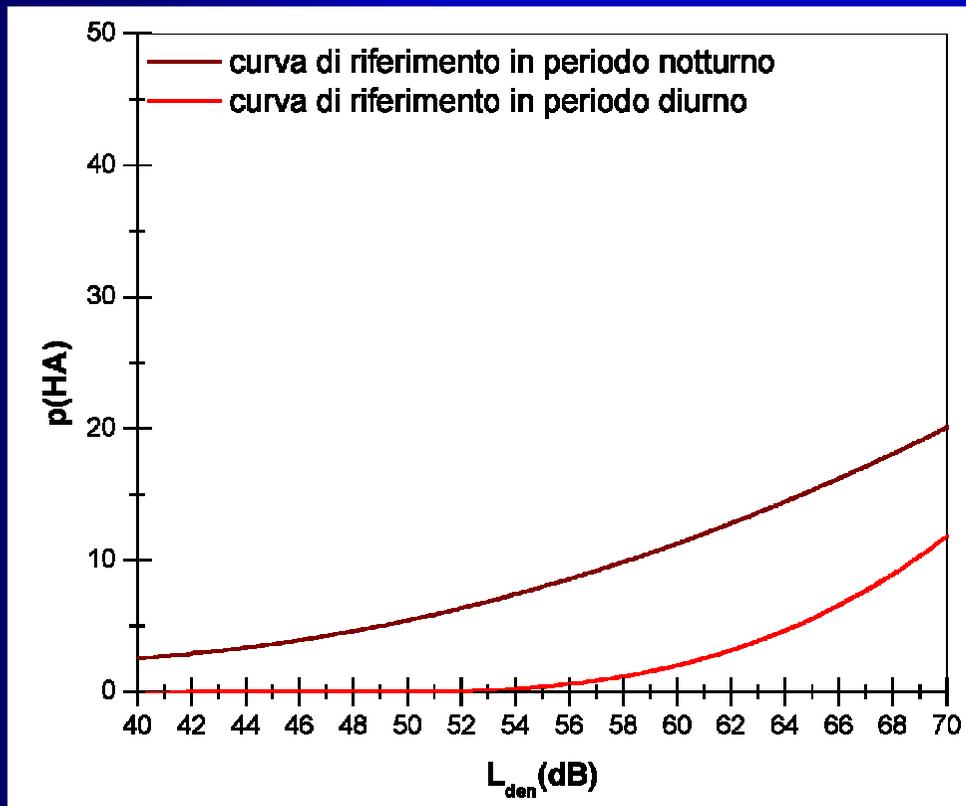


# Le curve dose-risposta

## elaborate dai dati del noise survey di Pisa



# LE CURVE STANDARD DI MIEDEMA PER IL RUMORE DA TRAFFICO STRADALE

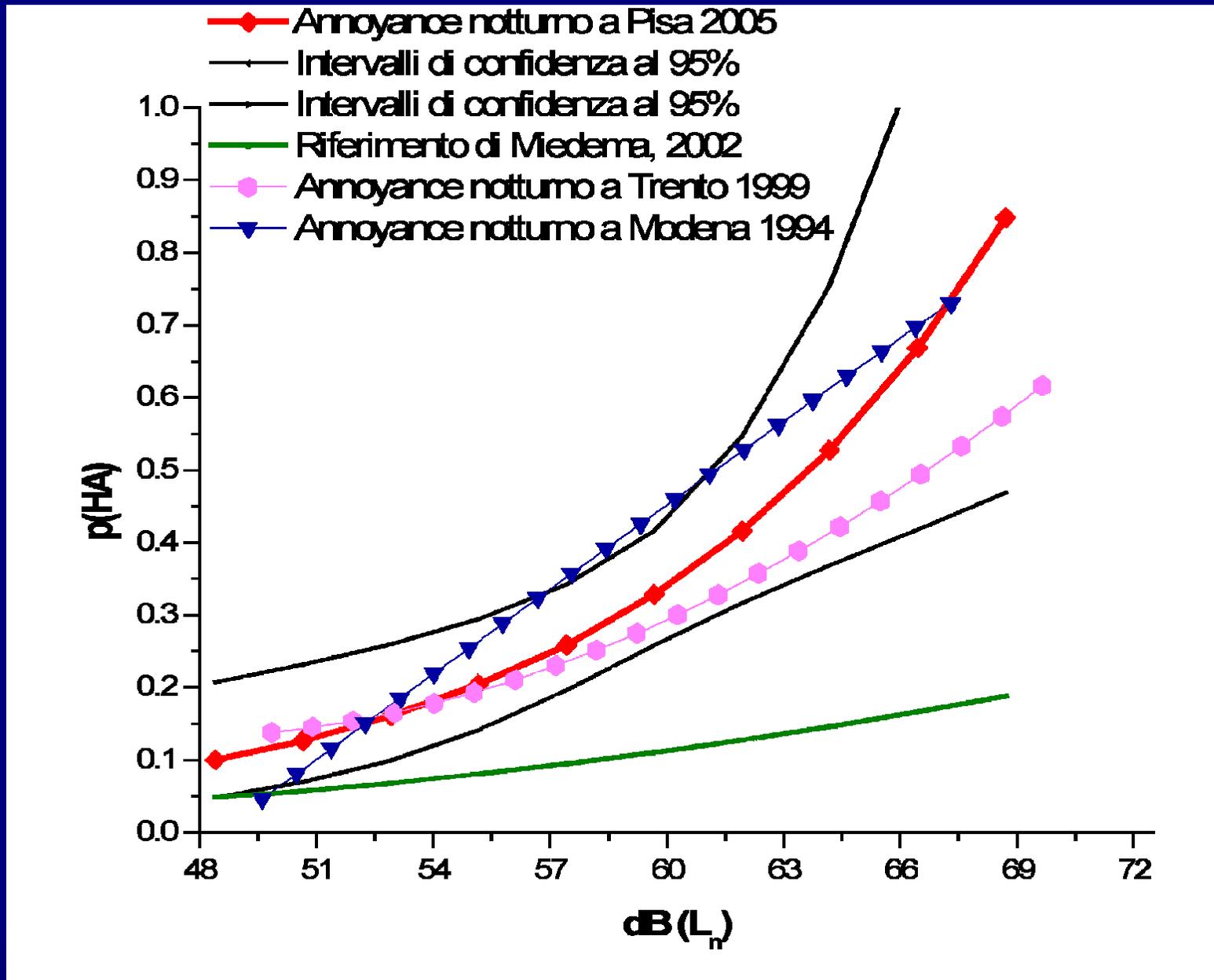


I più recenti *noise survey* hanno **sistematicamente mostrato** che tali sono curve **generalmente sottostimanti**, specialmente ai più bassi livelli di rumore.

Ciò nasce probabilmente dal fatto che l'autore abbia utilizzato datasets che raramente si estendono agli anni '90, e per la maggior parte si concentrano sulla fine degli anni '70.

Questo è vero, in modo particolare, per il rumore da traffico stradale, il *dataset* più recente è datato 1982.

# Il confronto dei risultati ottenuti con quelli di altri noise survey



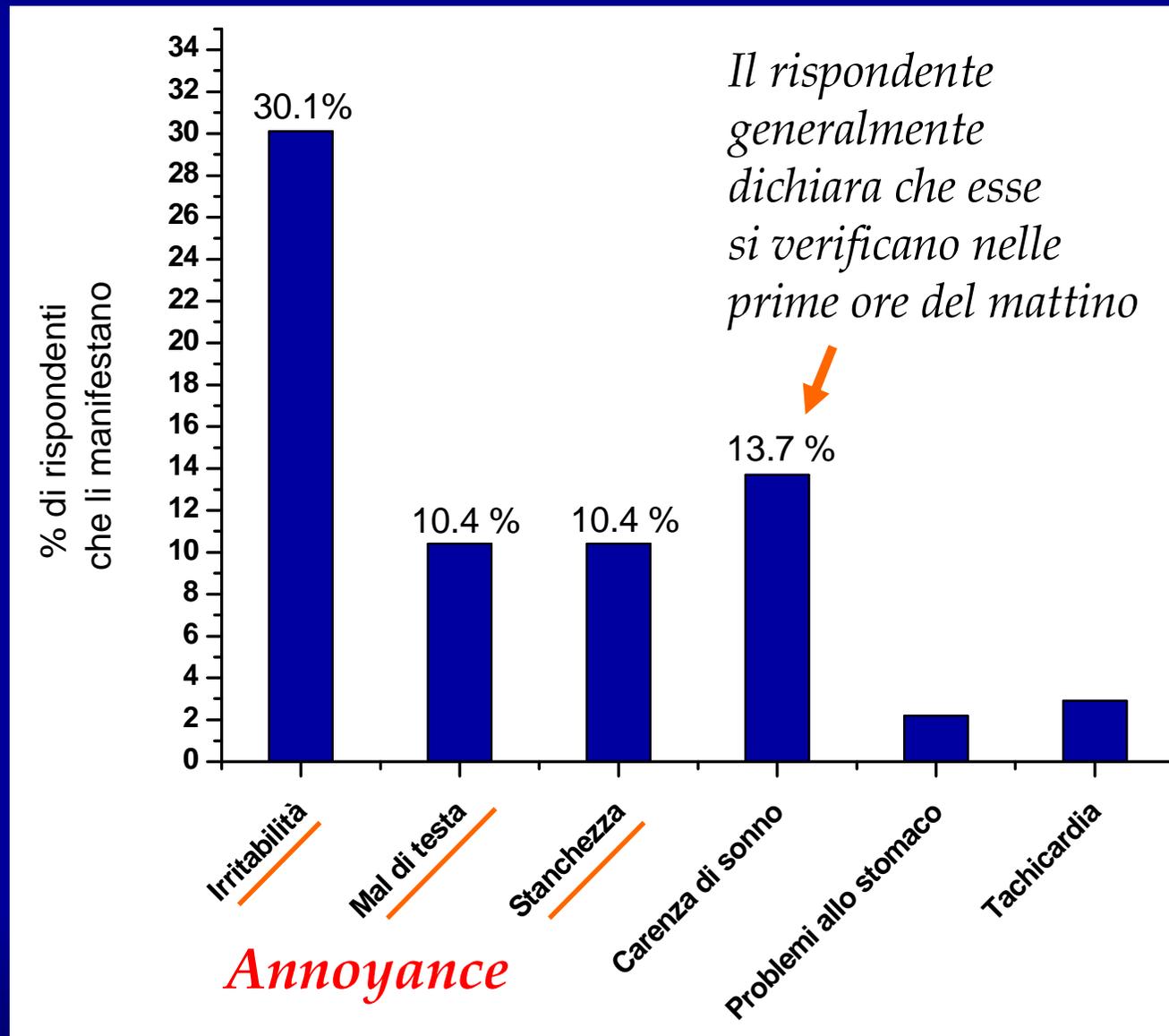
## Percentuale di popolazione altamente disturbata dal rumore da traffico veicolare nel campione indagato

Applicando le formule di calcolo della percentuale di popolazione altamente disturbata da rumore, come suggerito dal WHO, in seguito all'approvazione degli indicatori d'esposizione, **considerando la stratificazione del campione analizzato**, è possibile esprimere che, nel quartiere indagato, il **19,8% dei cittadini si ritiene seriamente disturbato da rumore.**

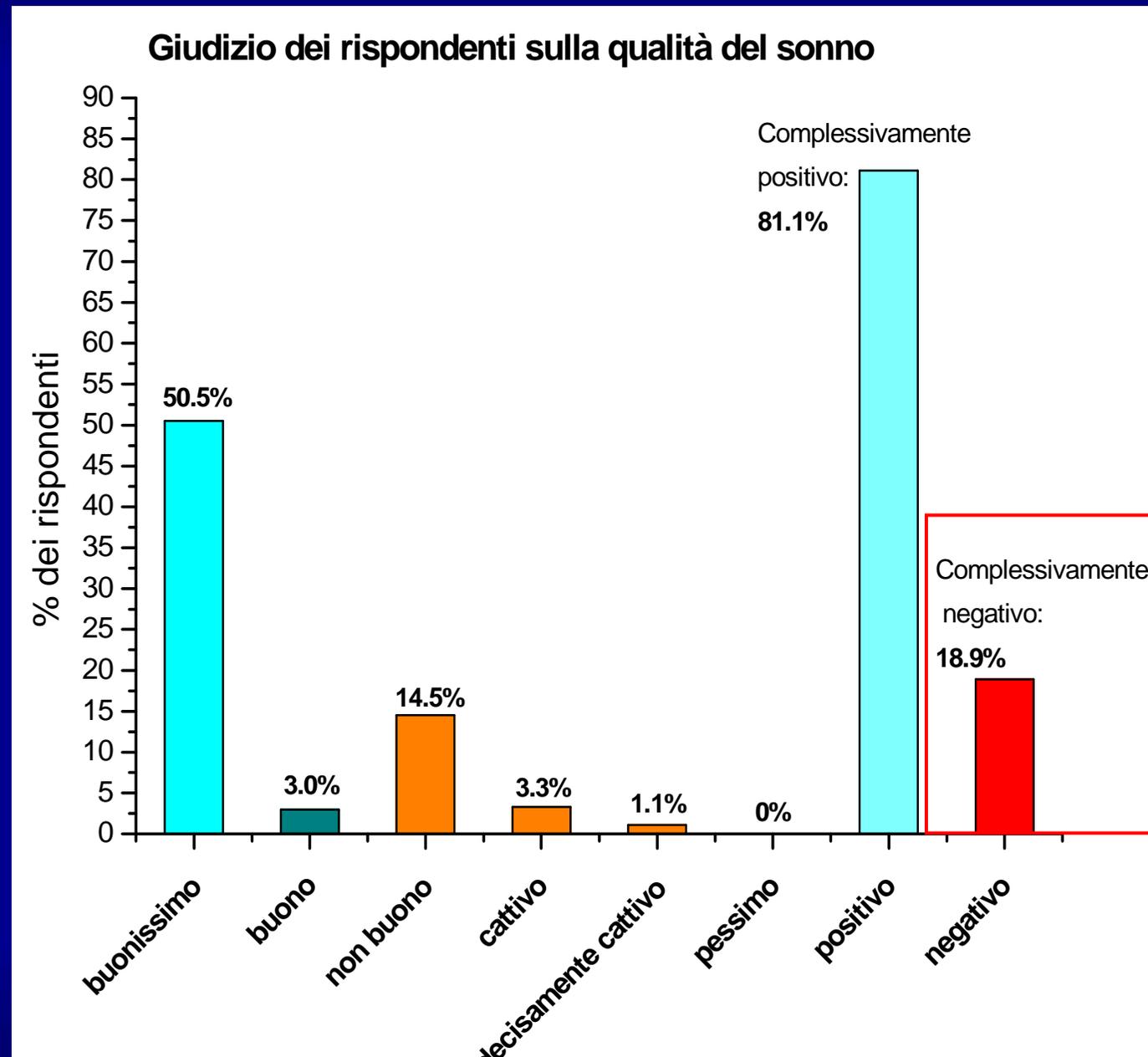
$$P(HA) = \sum_h p(HA)_h * N_h$$

<i>Stratum</i> di esposizione sonora	$N_h$	$p(HA)_h$	%HA	TOTALE
45 – 54 dB	401	<b>0.091</b>	<b>1.7</b>	<b>19.8 %</b>
55 – 59 dB	666	<b>0.192</b>	<b>5.9</b>	
60 – 64 dB	765	<b>0.228</b>	<b>8.13</b>	
65 – 69 dB	316	<b>0.275</b>	<b>4.05</b>	

# Considerazioni qualitative sull'annoyance



# Considerazioni qualitative sul disturbo del sonno



# RISULTATI FINALI

- Prime curve dose-effetto in Italia espresse mediante i due nuovi indici acustici introdotti dalla Direttiva Europea 2002/49/CE  $L_{den}$  e  $L_{night}$  and ciò rende dunque possibili operazioni di paragone con curve standardizzate;
- Le figure di *noise annoyance* sono state corrette dalle influenze dei principali confondenti socio-comportamentali e del fenomeno di non risposta selettiva;
- Stima della percentuale di popolazione HA in contesto urbano a causa del rumore da traffico veicolare per una città Italiana di piccole dimensioni;
- Viene enfatizzato come le moto e i motorini siano la più importante causa di annoyance da traffico viario;
- Vengono analizzate le fonti di rumore da vicinato ed il loro **impatto non trascurabile sull' annoyance della popolazione, secondo dopo il rumore da traffico viario.**

## Conclusioni

Bassa partecipazione spontanea allo studio (15 %), ostacolo socio-culturale.

La sensibilità al rumore sembra essere sempre l'elemento confondente principale, tanto da rimanere costantemente significativo, nella trattazione dei rispondenti, dei "non rispondenti" e della totalità campionaria.

Il numero di persone, che soffrono dell'effetto sanitario di disturbo da rumore, sembra essere costituito in gran parte da un estratto di popolazione esposta a livelli relativamente moderati ed altamente sensibile; non da coloro esposti, invece, a livelli elevati di rumore, ma ad esso assuefatti.

Questo significa che una politica ambientale basata fundamentalmente sulla riduzione dei livelli d'emissione di rumore, porterà sì ad una parallela diminuzione del livello d'*annoyance*, tuttavia, anche ai più esigui livelli di esposizione, l'effetto sanitario in questione rimarrà, poiché strettamente correlato alla crescente sensibilizzazione della popolazione.