



COMUNE DI PARMA

MAPPA ACUSTICA STRATEGICA DELL'AGGLOMERATO DI PARMA

(ai sensi del D. Lgs. 194 del 19/08/2005)



RELAZIONE ILLUSTRATIVA



**COMUNE
DI PARMA**

SETTORE AMBIENTE ED ENERGIA

Dirigente: Ing. Andrea Mancini

**Responsabile Procedimento:
Arch. Enzo Bertolotti**

REPUBBLICA ITALIANA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA



**DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA INDUSTRIALE**

**Il Tecnico Competente in Acustica Ambientale:
Prof. Ing. Angelo Farina**

**Collaboratori:
dott.ssa Elisa Broglia**

Premessa.....	3
Introduzione – Inquadramento dello studio e Documenti di riferimento.....	3
Il Modello di Calcolo CITYMAP.....	4
Introduzione e scopi dell’algoritmo di simulazione.....	4
Rilievi sperimentali per la determinazione delle emissioni sonore.....	5
Rumore da traffico stradale.....	6
Rumore da traffico ferroviario.....	9
Algoritmo di calcolo del programma CITYMAP – valori di emissione.....	11
Interfaccia con l’utente e con altri programmi.....	12
Definizione delle sorgenti.....	19
Rumore Stradale.....	19
Volumi di traffico urbano nei tre periodi di riferimento normativi.....	19
Volumi di traffico autostradale ed extraurbano nei tre periodi di riferimento normativi.....	22
Larghezza, tipo di asfalto e velocità delle strade.....	22
Rumore Ferroviario.....	24
Rumore Industriale.....	26
Piani di Risanamento Acustico.....	26
Rilievi fonometrici eseguiti dal Comune di Parma.....	27
Sistema di monitoraggio MONITOREM.....	29
ALTRI ELEMENTI DEL MODELLO.....	30
Edifici.....	30
Barriere Acustiche.....	30
Modello del Terreno ed effetto Suolo.....	30
Dati Meteorologici.....	30
TARATURA DEL MODELLO.....	31
Emissioni sonore dei veicoli.....	31
Al fine di verificare se il modello Citymap riproduce correttamente le emissioni sonore dei veicoli è stato effettuato un confronto tra i valori di livello continuo equivalente stimati e i rilievi fonometrici effettuati da Comune/Università di Parma non antecedenti all’anno 2008.....	31
Verifica delle emissioni delle aree industriali.....	34
Calibrazione e stima del grado di accuratezza del modello.....	35
Risultati del calcolo in mappatura per punti.....	36

Premessa

Il Decreto Legge 194/2005 prevede l'obbligo da parte degli agglomerati urbani con popolazione maggiore di 100.000 abitanti di elaborare la Mappatura Acustica Strategica nonché i Piani d'Azione per l'abbattimento del rumore ambientale recependo la Direttiva Europea 2002/49/CE.

L'obiettivo della Direttiva è quello di fornire ai paesi membri strumenti e metodi comuni per "fotografare" lo stato dell'inquinamento acustico degli agglomerati urbani maggiori e delle principali infrastrutture di trasporto. L'approccio si fonda sulla determinazione dell'esposizione al rumore ambientale mediante la mappatura acustica realizzata sulla base di metodi comuni, sull'informazione del pubblico e sull'attuazione di piani di azione a livello locale.

La Direttiva considera descrittori nuovi rispetto alla normativa acustica nazionale, pertanto il DLgs 194/2005, in conformità al dettato della Direttiva, prevede l'utilizzo dei seguenti descrittori:

- Lden (livello day-evening-night o livello giorno-sera-notte), per valutare il disturbo legato all'esposizione al rumore nell'intero arco della giornata;
- Lnight (livello notturno), per valutare il disturbo del sonno.

La presente Relazione Illustrativa è stata redatta dal Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Parma nell'ambito della Convenzione "Analisi inquinamento acustico del Comune di Parma", al quale il Comune di Parma ha affidato l'incarico di predisporre la Mappatura Acustica Strategica dell'Agglomerato di Parma (agglomerato con più di 100.000 abitanti) e descrive le attività che sono state svolte per la elaborazione della mappa.

Introduzione – Inquadramento dello studio e Documenti di riferimento

In base a quanto richiesto dal D.Lgs. n.194 del 19/08/2005, quale recepimento ed attuazione della Direttiva Europea 2002/49/CE, il Comune di Parma, identificato come agglomerato, ha l'obbligo di provvedere alla mappatura acustica relativamente alle sorgenti rumorose presenti sul proprio territorio, in particolare infrastrutture viarie e attività industriali.

La normativa vigente prevede l'utilizzo di modelli di calcolo, al fine di prevedere i livelli acustici generati. Il modello utilizzato per simulare il rumore da traffico stradale e ferroviario ed il rumore di origine industriale è Citymap v. 3.2, che utilizza gli algoritmi di calcolo "ad interim" previsti dal vigente D.Lgs. n.194 del 19/08/2005.

Si è tenuto conto anche delle 'Linee Guida per l'elaborazione delle mappe acustiche relative alle strade provinciali ed agli agglomerati delle Regione Emilia-Romagna' a cura del Servizio Risanamento Atmosferico, Acustico, Elettromagnetico della Regione ER.

Le linee guida suddette fanno, inoltre, riferimento al documento 'Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure' (WG-AEN/2007), che fornisce alcuni strumenti e suggerimenti su come reperire i dati di ingresso o sopperire alla loro mancanza, dando anche utili suggerimenti su come valutare le incertezze delle ipotesi assunte.

Il Modello di Calcolo CITYMAP

Il programma Citymap è stato sviluppato dal prof. Angelo Farina dell'Università di Parma, a partire da un progetto di ricerca DISIA denominato "Inquinamento acustico nelle aree urbane", organizzato dal Ministero dell'Ambiente nel 1995. Esso contiene l'intero data-base dei valori di emissione sonora derivanti dalle campagne di rilevamento fonometrico previste nell'ambito del suddetto progetto DISIA, ed è basato su algoritmi di calcolo semplici e comunemente accettati, coerenti con i modelli di calcolo della propagazione sonora in vigore in altri paesi (quali il metodo di calcolo ufficiale francese «NMPB-Routes-96» per il rumore da traffico stradale, il metodo di calcolo ufficiale dei Paesi Bassi pubblicato in «Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai '96 » per il rumore ferroviario, e la tradizionale norma UNI EN ISO 9613 per il rumore delle sorgenti puntuali o delle aree industriali). L'uso di tali metodi di calcolo è attualmente obbligatorio sulla base del decreto legislativo n.194 del 2005, ed il loro uso integrato viene normalmente definito come "calcolo ad interim".

Nell'assieme, comunque, Citymap può fare impiego di 3 metodi di calcolo alternativi:

- 1) Algoritmo "DISIA", coerente al D.M.Amb. 29/11/2000 (piani di risanamento acustico delle infrastrutture di trasporto)
- 2) Algoritmo "ad interim", coerente con il citato D.L. n. 194 del 19/08/2005
- 3) Algoritmo "Harmonoise-Imagine", sviluppata nel corso dei corrispondenti plurimilionari progetti di ricerca finanziati dalla CEE, anche se di fatto questa metodica di calcolo si è poi rivelata lentissima ed assai poco accurata.

Il programma è attualmente a disposizione gratuitamente per le strutture pubbliche (Comuni, Province, Regioni, ARPA, ANPA, USL, Università, etc.), e non è in vendita per i privati.

Si precisa che la versione attualmente in uso pubblico è la 2.5, che opera il calcolo unicamente secondo il primo dei tre algoritmi citati, in quanto allo stato attuale i limiti vigenti in Italia sono tuttora quelli previsti dal DPCM 14/11/1997 ($L_{eq,day}$ ed $L_{eq,night}$).

Ai fini della redazione delle mappe acustiche strategiche, invece, è stata impiegata la versione 3.2 del programma Citymap, che calcola anche i parametri L_{den} ed $L_{evening}$, e consente di usare i modelli di calcolo "ad interim" ed "Imagine".

In questo capitolo viene descritto il programma di calcolo, assieme con i rilievi sperimentali utilizzati per la caratterizzazione delle sorgenti di rumore urbano. Viene poi spiegato in dettaglio l'algoritmo di calcolo, e vengono illustrate l'interfaccia utente del programma e la sua interazione con altri programmi (CAD, GIS, programmi di mappatura).

Introduzione e scopi dell'algoritmo di simulazione

In passato è risultato evidente come l'impiego dei modelli di calcolo, anche i più raffinati, porti a stime della rumorosità estremamente disperse in assenza di qualsiasi forma di taratura del modello mediante rilievi sperimentali: in occasione di un *Round Robin* fra modelli di calcolo europei, alla cui organizzazione ha partecipato anche l'autore del programma Citymap¹, è risultato che anche in casi geometricamente molto semplici si verificano differenze di 4-5 dB(A) fra i vari programmi di calcolo, e che nel caso la situazione geometrica si complichino anche di poco, queste variazioni arrivano fino a 12 dB(A). Si noti poi che le differenze riscontrate non riguardano solo la modellazione di fenomeni di propagazione a lunga distanza (che in ambito urbano sono comunque poco rilevanti), ma anche la vera e propria **emissione** da parte delle sorgenti sonore. Considerando che il *Round Robin* di cui sopra teneva in considerazione solo sorgenti di rumore legate al traffico stradale fluente (tipo autostrada), ci si aspetta una situazione ancora peggiore applicando simili modelli semplificati di emissione in campo urbano, in presenza di traffico non fluente, e magari

¹ Pompoli R., Farina A., Fausti P., Bassanino M., Invernizzi S., Menini L., "Intercomparison of traffic noise computer simulations", in: atti del XXIII Convegno Nazionale AIA - 18th AICB, Bologna, 12-14 settembre 1995, supplemento, p.523-559

anche in presenza di linee ferroviarie che attraversano la città.

Si è pertanto deciso di realizzare un sistema di calcolo che privilegiasse l'accuratezza nella stima delle emissioni sonore, descrivendo con grande dettaglio i tipi di sorgente e le loro modalità di emissione. E' stata dunque realizzata una imponente campagna di rilievi sperimentali, onde disporre di un data-base di emissione, tarato sulla realtà italiana, e comunque sempre modificabile ed aggiornabile in funzione di ulteriori rilievi. In tal modo il modello di calcolo non contiene al suo interno le informazioni legate all'emissione sonora, che sono viceversa disponibili come dati di ingresso, eventualmente modificabili onde adattare il funzionamento del modello a realtà urbane diverse da quelle in cui è stata condotta la sperimentazione.

Ai fini di realizzare con tempi di calcolo ragionevoli la mappatura di una intera città, si è scelto poi di impiegare i dati di emissione come *input* di un algoritmo di calcolo molto semplificato, tenuto conto del fatto che all'interno delle aree urbane non sono solitamente molto importanti i fenomeni di propagazione su lunga distanza². E' ovviamente possibile (e necessario) disporre di un modello molto più raffinato allorchè, anzichè mappare l'intera città, si decide di studiare in dettaglio un singolo gruppo di edifici, onde ad esempio verificare l'efficacia di diversi sistemi di contenimento del rumore: a questo scopo è stato realizzato un diverso programma di calcolo³, che non è stato impiegato in questo lavoro.

Affinchè l'operazione di mappatura dell'area urbana possa venire intrapresa in tempi ragionevoli ed a costi contenuti, è necessario che la base cartografica ed i dati di input del modello siano disponibili in forma informatizzata: pertanto il programma di mappatura del livello sonoro nelle aree urbane, che è stato battezzato CITYMAP, è stato dotato di idonea interfaccia software verso i sistemi CAD comunemente usati per applicazioni di G.I.S. (Geographical Information Services). Tramite questo collegamento, è possibile creare all'interno dei sistemi CAD l'insieme di dati geometrici (tracciato delle strade e dei binari, sorgenti di tipo industriale), agganciare alle entità geometriche i dati di emissione (traffico stradale e ferroviario, emissione delle sorgenti industriali) ed ottenere all'uscita del modello di calcolo una mappatura isolivello acustico perfettamente sovrapponibile alla cartografia digitale.

Rilievi sperimentali per la determinazione delle emissioni sonore

Il modello previsionale sviluppato si basa in primo luogo sull'esistenza di una banca dati di input relativa ai livelli di emissione. Questa banca dati è infatti il frutto di regressioni effettuate su una ampia famiglia di dati di emissione rilevati al transito di veicoli isolati.

Parametrizzando le condizioni di transito è stato possibile quantificare gli effetti acustici associati ad alcune variabili: pendenza della strada, tipo di pavimentazione, velocità del flusso, tipo di veicolo. Dall'emissione dei singoli veicoli, e dal numero degli stessi che transita nel periodo di riferimento considerato (diurno o notturno), il modello calcola un valore di emissione da associare alla strada, tenendo anche conto delle caratteristiche di quest'ultima.

Per far ciò è necessario conoscere il SEL (livello di singolo evento) relativo al transito di un veicolo di ciascun tipo. Pertanto la banca dati di emissione altro non è che una raccolta di valori di SEL, relativi ai diversi tipi di veicolo, alle diverse fasce di velocità, ed agli effetti delle variabili di cui sopra.

Pertanto i rilievi sperimentali sono consistiti nella misurazione di un grande numero di passaggi singoli di veicoli (sia stradali che ferroviari), di ciascuno dei quali è stato misurato il profilo temporale, e dunque il SEL. Ovviamente ciò è possibile soltanto in presenza di transiti isolati in contesti ambientali standardizzati.

² A. Farina, G. Brero, G. Pollone - "Modello numerico basato su rilievi sperimentali per la mappatura acustica delle aree urbane" - Atti del Convegno NOISE & PLANNING '96 - Pisa, 29-31 maggio 1996.

³ Farina A., Brero G. - "Modello numerico basato su rilievi sperimentali per la progettazione di dettaglio delle opere di bonifica acustica in area urbana" - Atti del Convegno NOISE & PLANNING '96 - Pisa, 29-31 maggio 1996.

Rumore da traffico stradale

La distinzione tra rilievi urbani ed extraurbani è in questo caso finalizzata essenzialmente alla possibilità di individuare in questi diversi contesti transiti a velocità medio-basse (ambiente urbano, classi di velocità C1-C4) e transiti a velocità medio-alte (ambiente extra-urbano, classi C5-C8), anche se in realtà tutti questi dati servono poi per calcoli del rumore soltanto in ambito urbano.

In entrambi i casi viene caratterizzato l'effetto pendenza della sede stradale (+5% e -5%). Nel caso urbano viene inoltre caratterizzato l'effetto della superficie stradale in pavé; nel caso autostradale viene caratterizzata la superficie stradale con pavimentazione di tipo drenante-fonoassorbente.

Per la gestione del database di input del modello si è reso necessario uniformare la classificazione dei transiti rilevati. Ne risulta come riferimento lo schema che segue per il riconoscimento delle tipologie di superficie stradale, per la classificazione dei veicoli e per l'identificazione delle classi di velocità.

TIPO DI SEDE STRADALE

- A1 - condizione standard 1: pavimentazione bituminosa tradizionale, pendenza nulla;
- A2 - condizione parametrica 2- pavimentazione bituminosa tradizionale, pendenza +5%;
- A3 - condizione parametrica 3- pavimentazione bituminosa tradizionale, pendenza -5%;
- A4 - condizione parametrica 4- pavimentazione in pavé, pendenza nulla;
- A5 - condizione parametrica 5- pavimentazione bituminosa fonoassorbente, pendenza nulla.

CATEGORIA DI VEICOLI

- V1 - autovetture e veicoli commerciali fino a 5 t;
- V2 - veicoli commerciali medi, con 2 assi più di 4 ruote, autobus extraurbani;
- V3 - veicoli commerciali medio-pesanti, con 3 o più assi e peso totale fino a 10 t;
- V4 - veicoli pesanti con più di 3 assi, con rimorchi o semirimorchi;
- V5 - motocicli.

FASCE DI VELOCITÀ

- C1 - $0 < V \leq 25$ km/h in accelerazione;
- C2 - $25 < V \leq 50$ km/h in accelerazione;
- C3 - $0 < V \leq 25$ km/h in decelerazione;
- C4 - $25 < V \leq 50$ km/h in decelerazione;
- C5 - $50 < V \leq 70$ km/h;
- C6 - $70 < V \leq 90$ km/h;
- C7 - $90 < V \leq 110$ km/h;
- C8 - $V > 110$ km/h.

La metodologia di rilievo prevede l'utilizzo di un microfono posizionato a 7.5m dal centro della corsia di misura, ed 1.2 m al di sopra del piano stradale. Il sito presenta un tratto rettilineo, omogeneo, privo di ostacoli o superfici riflettenti lungo almeno 100m, al cui centro è collocata la postazione di rilievo. Ad essa è associato un sistema di cronometraggio a fotocellula per la determinazione della velocità di ciascun veicolo in transito. La seguente figura riporta un tracciato temporale relativo al passaggio di un veicolo, utilizzato per il calcolo del SEL.

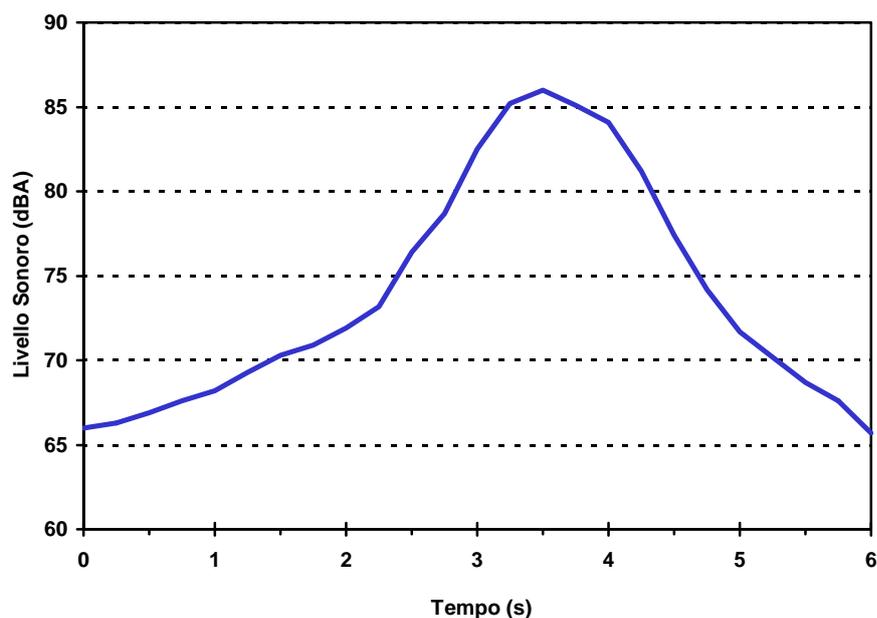


Figura 1 - Profilo temporale del passaggio di un autoveicolo - $d=7.5$ m

I dati di emissione acquisiti sono stati organizzati in forma parametrizzata estraendo per ogni tipo di veicolo ed ogni classe di velocità un valore medio di SEL ottenuto come media logaritmica dei valori corrispondenti dei singoli transiti. In corrispondenza di ciascun SEL medio sono inoltre riportate le corrispondenti correzioni medie associate agli effetti considerati: correzione pavé, asfalto fonoassorbente, discesa e salita. In realtà oltre che misurare soltanto il SEL in dB(A), ciascun rilievo, effettuato tramite analizzatore di spettro in tempo reale, ha fornito un **spettro di SEL**, ed analogamente è stato ottenuto un spettro per ciascuna delle 4 correzioni di cui sopra. Ovviamente il programma Citymap utilizza soltanto il valore in dB(A) sia del SEL medio di emissione, sia delle 4 correzioni.

La seguente tabella riporta il numero di passaggi singoli di cui è stata prevista la misura per ciascuna categoria di veicoli e per ciascuna classe di velocità:

Numero di rilevamenti rum. stradale

Condizione	Tipo veicolo	Cl.Vel. C1	Cl.Vel. C2	Cl.Vel. C3	Cl.Vel. C4	Cl.Vel. C5	Cl.Vel. C6	Cl.Vel. C7	Cl.Vel. C8	Totale
	V1	200	200	200	200	200	200	200	200	400
	V2	50	50	50	50	50	50	50	50	400
A1	V3	50	50	50	50	50	50	50	50	400
	V4	50	50	50	50	50	50	50	50	400
	V5	40	40	40	40	40	40	40	40	320
	V1	100	100	100	100	100	100	100	100	400
	V2	30	30	30	30	30	30	30	30	120
A2	V3	30	30	30	30	30	30	30	30	120
	V4	30	30	30	30	30	30	30	30	120
	V5	20	20	20	20	20	20	20	20	80
	V1	100	100	100	100	100	100	100	100	400
	V2	30	30	30	30	30	30	30	30	120
A3	V3	30	30	30	30	30	30	30	30	120
	V4	30	30	30	30	30	30	30	30	120
	V5	20	20	20	20	20	20	20	20	80
	V1	100	100	100	100	100	100	100	100	400
	V2	30	30	30	30	30	30	30	30	120
A4	V3	30	30	30	30	30	30	30	30	120
	V4	30	30	30	30	30	30	30	30	120
	V5	20	20	20	20	20	20	20	20	80
	V1	100	100	100	100	100	100	100	100	400
	V2	30	30	30	30	30	30	30	30	120
A5	V3	30	30	30	30	30	30	30	30	120
	V4	30	30	30	30	30	30	30	30	120
	V5	20	20	20	20	20	20	20	20	80
		1620	1620	1620	1620	1620	1620	1620	1620	6480

Tabella 1 – Numero di rilevamenti rumore stradale

Rispetto al numero complessivo di rilievi previsti, alcune combinazioni parametriche meno usuali (transiti veloci di mezzi pesanti su strada con pavé o di veicoli in accelerazione su pavimentazione drenante) sono risultate prive di rilievi validi. In questi casi i dati mancanti per la costruzione del data-base sono stati ottenuti mediante tecniche numeriche di interpolazione e/o estrapolazione, sulla base dei dati validi ottenuti nelle classi di velocità contigue. Questo fatto sta peraltro a significare che c'è ancora spazio per un affinamento del data-base di emissione, non appena i risultati di nuove campagne di rilievo saranno disponibili.

Ciascun spettro di SEL con le relative 4 correzioni è organizzato in un file .TXT utilizzato come input da entrambi i modelli di calcolo. Il singolo file è denominato SELSCiVj.txt dove SEL indica la grandezza acustica, S sta per *strada*, Ci è la i-esima fascia di velocità, Vj è la j-esima categoria di veicoli. In totale sono stati ottenuti 40 di questi files (8 fasce di velocità x 5 classi di veicoli), ciascuno dei quali contiene 5 spettri in bande d'ottava + banda "A". La seguente tabella riporta a titolo di esempio i valori contenuti nel file SELSC8V1.TXT (autoveicoli alla massima velocità):

SC8V1	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB(A)
Condizione	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB(A)
Asfalto Liscio	81.7	87.4	81.4	76.2	75.1	73.8	70.6	71.1	81.3
Corr. Pavé'	+1.1	+1.2	+2.1	+2.3	+1.5	+1.6	+1.8	+1.3	+1.9
Corr. Asf.Ass.	-0.1	-0.3	-1.1	-1.8	-2.4	-2.1	-1.2	-1.3	-1.4
Corr. Salita 5°	+2.2	+2.4	+3.1	+2.1	+2.0	+1.3	+1.6	+1.4	+2.2
Corr. Discesa 5°	-1.2	-1.3	-0.8	-1.1	+1.0	-0.2	+0.7	+0.8	+0.1

Tabella 2 - File SELSC8V1.TXT

Rumore da traffico ferroviario

Anche in questo caso sono stati condotti rilievi su singoli passaggi, ma si è dovuto tenere conto della lunghezza variabile dei singoli convogli, normalizzando i valori di SEL rilevati ad una lunghezza standard del convoglio di 100m tramite la relazione:

$$SEL_{norm} = SEL_{sper} + 10 \cdot \lg \left[\frac{100}{L_{eff}} \right]$$

In questo modo è stato possibile mediare energeticamente i valori di SEL ottenuti da passaggi di convogli dello stesso tipo, nella stessa fascia di velocità ma di lunghezza diversa.

Per quanto riguarda il tipo di sede ferroviaria viene caratterizzato l'effetto dovuto a due distinte tipologie di armamento: rotaie lunghe saldate su traversine in c.l.s. + ballast, e rotaie corte con presenza di scambi/deviatoi/incroci. Ne risulta come riferimento lo schema che segue per il riconoscimento delle tipologie di armamento, per la classificazione dei convogli e per l'identificazione delle classi di velocità.

TIPOLOGIA DI ARMAMENTO

A1 - rotaie lunghe saldate su traversine in c.l.s. e ballast;

A2 - rotaie corte con presenza di scambi/deviatoi/incroci.

CATEGORIA DI VEICOLI

V1 - treni merci;

V2 - treni passeggeri a breve percorso (composizione bloccata);

V3 - treni passeggeri a lungo percorso (composizione variabile);

FASCE DI VELOCITÀ

C1 - $V \leq 60$ Km/h;

C2 - $60 < V \leq 90$ Km/h;

C3 - $90 < V \leq 120$ Km/h;

C4 - $V > 120$ Km/h.

La seguente tabella riporta il numero di passaggi singoli elaborati per ciascuna categoria di veicoli e per ciascuna classe di velocità:

Condizione	Tipo Veicolo	Cl. vel. C1	Cl. vel. C2	Cl. vel. C3	Cl. vel. C4	Totale
A1 (binario continuo)	V1	60	60	40	40	200
	V2	60	60	60	40	220
	V3	40	60	60	60	220
A2 (scambi)	V1	40	40	30	30	140
	V2	40	40	40	30	150
	V3	30	40	40	40	150
Totale		270	300	270	240	1080

Tabella 3 - Numero di rilevamenti rum. ferroviario

Ciascun spettro di SEL con le relative correzioni è organizzato in un file .TXT utilizzato come input da entrambi i modelli di calcolo (ovviamente Citymap impiega solo il valore complessivo in dBA di ciascuno spettro). Il singolo file è denominato SELTCiVj.txt dove SEL indica la grandezza acustica, T sta per *treno*, Ci è la i-esima fascia di velocità, Vj è la j-esima categoria di veicoli. In totale sono stati ottenuti 12 di questi files (4 fasce di velocità x 3 classi di veicoli), ciascuno dei quali contiene 3 spettri in bande d'ottava + banda "A". La seguente tabella riporta a titolo di esempio i valori contenuti nel file SELTC1V3.TXT (treni passeggeri lunga percorrenza alla velocità più bassa):

TC1V3									
Condizione	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB(A)
BASE	84.1	81.7	87.3	86.2	86.2	83.5	80.5	72.9	93.3
Corr. Scambio	+3.1	+4.7	+2.6	+1.7	+1	+0.8	+2.3	+3.6	+1.0

Tabella 4 - File SELTC1V3.TXT

Algoritmo di calcolo del programma CITYMAP – valori di emissione

Ogni tratto stradale (o ferroviario) è costituito da una “polyline” (o 3DPOLY) tracciata sul *layer* “STRADE” (o “BINARI”), divisa in numerosi tratti. Dal punto di vista geometrico, ciascun tratto è caratterizzato dalle coordinate dei suoi due estremi, nonché dalla larghezza (se la larghezza iniziale è diversa da quella finale, viene assunto il valore medio). Le informazioni suddette sono desunte dal file .DXF.

All’interno di CityMap vengono poi aggiunte le informazioni di rilevanza acustica, che sono differenti per le strade e le ferrovie. In particolare, per ciascuna categoria di veicoli, viene assegnato il numero degli stessi che transita nel periodo diurno e notturno, la classe di velocità, nonché alcune informazioni morfologiche (pendenza, tipo di pavimentazione o di armamento, altezza degli edifici, etc.).

Il primo problema è dunque calcolare il livello equivalente medio a 7.5m dalla strada (o dalla ferrovia) a partire dai SEL unitari esistenti nel data-base di emissione. A tal proposito si ha questa relazione, valida per il periodo diurno:

$$L_{eq,7.5m} = 10 \cdot \lg \left[\sum_{i=1}^5 \left(10^{\frac{SEL_i + \Delta L_{asfalto,i} + \Delta L_{pendenza,i}}{10}} \cdot \frac{N_i}{16 \cdot 3600} \right) \right]$$

Chiaramente nel periodo notturno il numero di ore è pari ad 8 anziché a 16. Si deve inoltre tenere conto che sia i valori di SEL per i 5 tipi di veicoli, sia i corrispondenti termini correttivi per tipo di asfalto e/o pendenza della strada, sono in generale dipendenti dalla classe di velocità assegnata al corrispondente tipo di veicoli. Pertanto essi andranno letti dal file relativo alla opportuna classe di velocità.

Per quanto riguarda il rumore ferroviario, va osservato che i valori di SEL sono normalizzati ad una lunghezza fissa dei convogli, pari a 100 m. Pertanto è necessario tenere conto della lunghezza effettiva dei convogli, in rapporto al valore fisso pari a 100 m:

$$L_{eq,7.5m} = 10 \cdot \lg \left[\sum_{i=1}^3 \left(10^{\frac{SEL_i + \Delta L_{binario,i} + \Delta L_{pendenza,i}}{10}} \cdot \frac{N_i}{16 \cdot 3600} \cdot \frac{L_i}{100} \right) \right]$$

Una volta ottenuto il Livello equivalente a 7.5 m, non viene considerata alcuna altra differenza fra strade e binari, e la trattazione del rumore emesso da entrambi è dunque unificata. CityMap non tiene conto nè della composizione in frequenza del rumore emesso, nè della direttività dei diversi tipi di sorgenti sonore.

Per operare il calcolo del livello sonoro in ciascun punto della griglia di calcolo, si considera il contributo di tutti i singoli tratti di tutte le strade e binari.

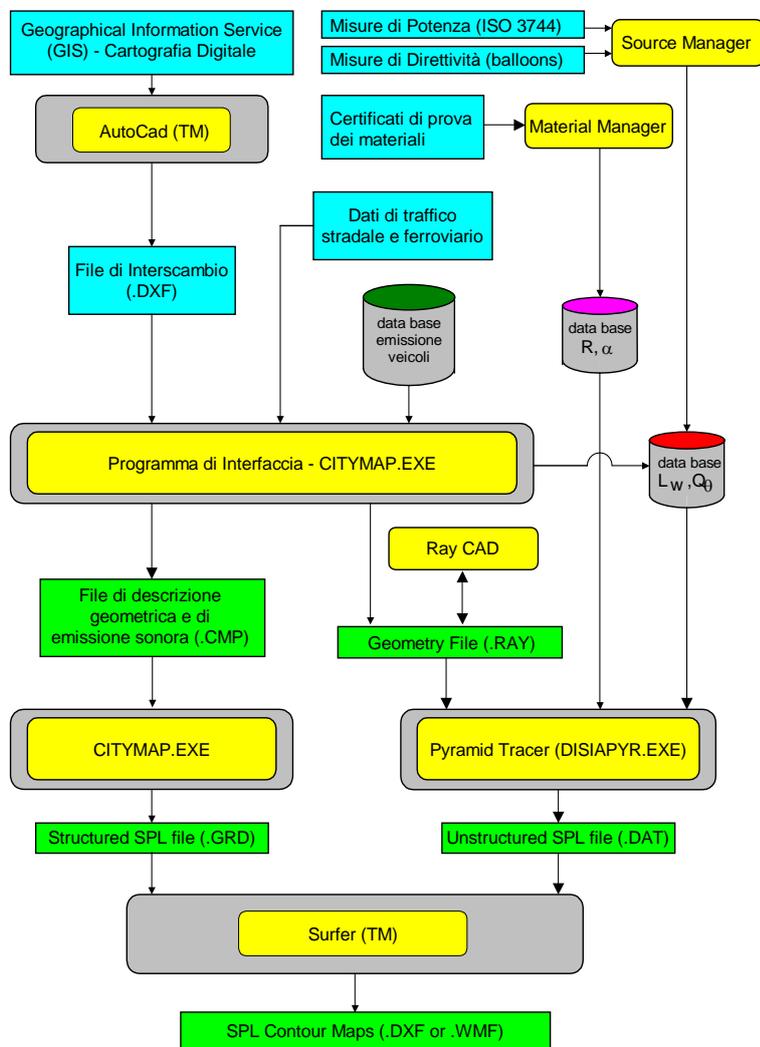
Si verifica anzitutto che la distanza dal centro del tratto al punto di calcolo considerato sia almeno doppia della lunghezza *L* del tratto; se così non è, si procede suddividendo il tratto in due sottotratti uguali, per ciascuno dei quali viene ripetuto tale controllo, eventualmente suddividendo ulteriormente i sottotratti finchè essi non divengono abbastanza corti. In questo modo il re-infittimento viene operato soltanto per i tratti più vicini al punto di calcolo.

A questo punto il calcolo della propagazione viene operato in modo differente a seconda dell’algoritmo di calcolo scelto (DISIA, “ad Interim”, Imagine), utilizzando la formulazione propria di ciascuna metodica.

Per la verità, mentre le formule di calcolo del metodo DISIA e dei tre sottometodi facenti parte del metodo “ad interim” sono pubblicate e ben note, la metodica di calcolo di propagazione del modello Imagine non è mai stata pubblicata in modo chiaro: tuttavia è stata resa disponibile una subroutine di calcolo, in formato DLL, che viene chiamata da Citymap per eseguire il calcolo della propagazione.

Interfaccia con l'utente e con altri programmi

Il seguente diagramma di flusso illustra schematicamente le interazioni fra Citymap e gli altri programmi di calcolo:



equispaziata

Figura 2 – Diagramma di flusso interazioni Citymap con altri programmi

Viene qui di seguito brevemente presentata la sequenza delle operazioni suddette. Innanzitutto si parte dalla rappresentazione digitale della cartografia del sito, in questo caso utilizzando Autocad. All'interno di tale ambiente, occorre organizzare le informazioni contenute nella cartografia digitalizzata affinché esse risultino acusticamente congrue: in particolare le sorgenti sonore (strade e binari) vanno descritte mediante segmenti di polilinea omogenei, ovvero caratterizzati da traffico e caratteristiche morfologiche uniformi. La seguente figura mostra una cartografia digitalizzata con evidenziate le entità di rilevanza acustica che andranno esportate nel file .DXF (strade, binari, case, barriere, sorgenti concentrate, punti di calcolo, etc.).

Come si nota, numerosi programmi sono chiamati ad interagire: di essi due sono programmi commerciali (Autocad™ e Surfer™), mentre gli altri sono stati realizzati in proprio. Si parte da Autocad, che serve per tradurre le informazioni cartografiche in un file DXF leggibile da Citymap. All'interno di Citymap, avviene l'introduzione dei dati di traffico stradale e ferroviario, che vengono "agganciati" alle entità geografiche (strade, binari, sorgenti concentrate). Si provvede poi al calcolo del Livello Equivalente di Emissione, sulla base dei dati di emissione unitari (SEL) dei veicoli. Si salva infine l'insieme delle informazioni geometriche ed acustiche in un file .CMP (ASCII ed autodocumentato), che può ovviamente venire riletto da Citymap.

A questo punto, volendo operare un calcolo della mappa del rumore con l'algoritmo semplificato, si impiega ancora Citymap, che produce un file .GRD leggibile da Surfer, e contenente i valori del livello sonoro su una griglia rettangolare

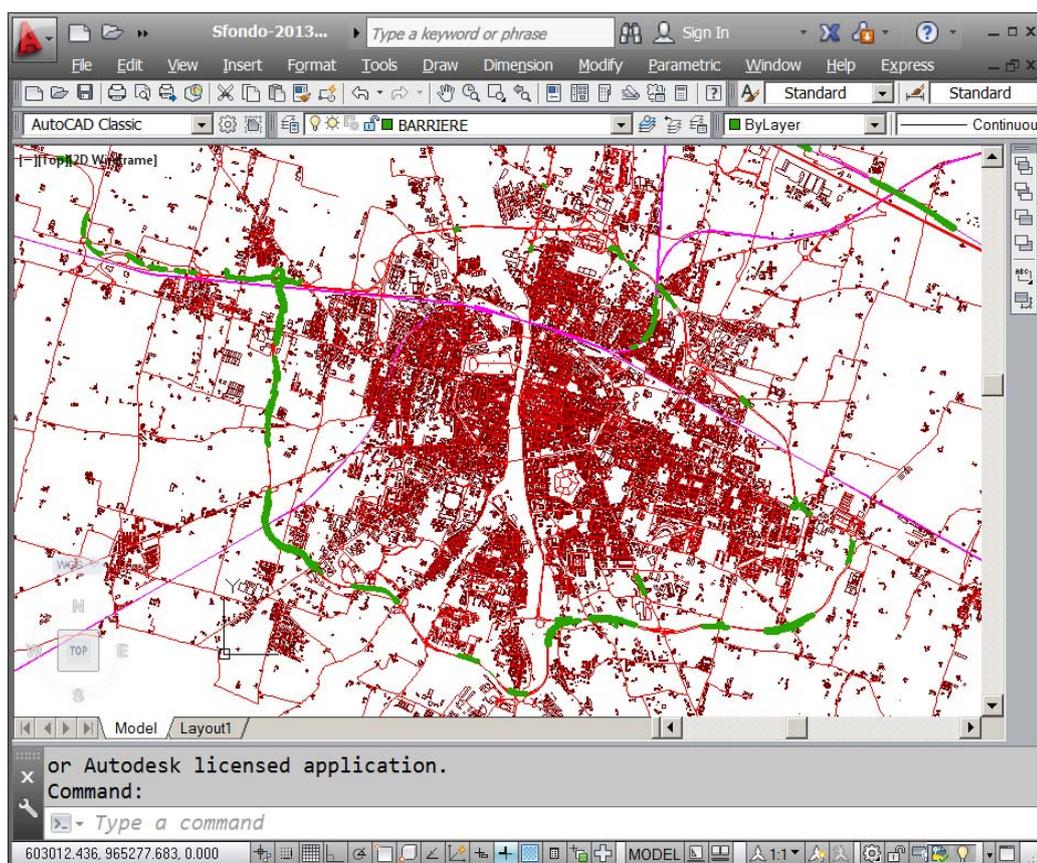


Figura 3 – File Autocad con entità geometriche di rilevanza acustica

Una volta salvate le informazioni geometriche, si lancia il programma Citymap, che consente di rileggerle dal file .DXF.

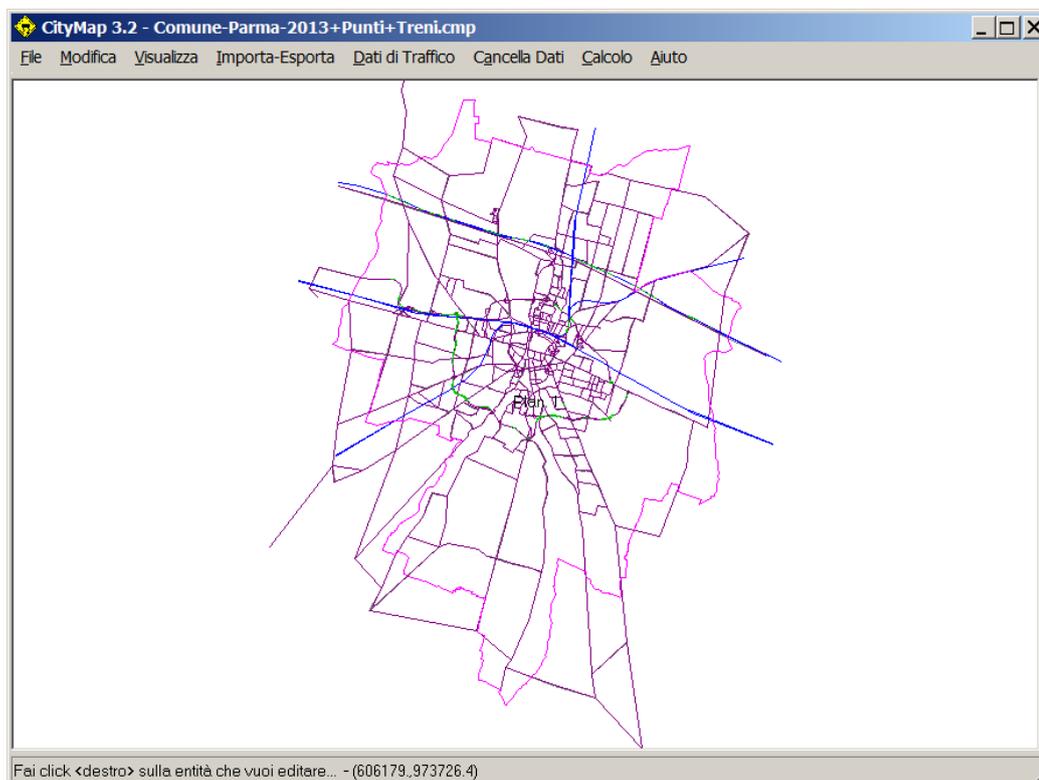
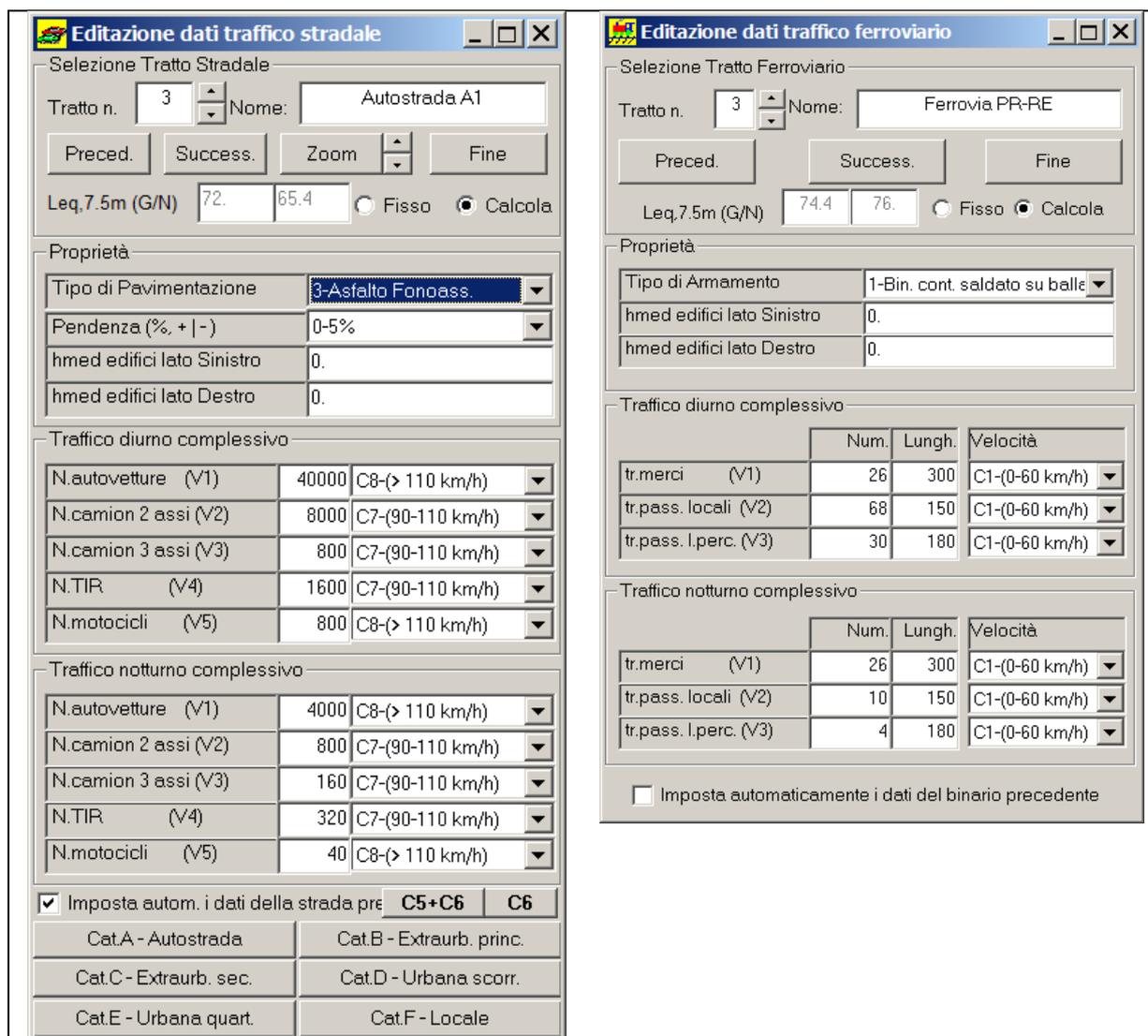


Figura 4 – File Citymap con entità geometriche di rilevanza acustica importate

Dopo aver letto il file .DXF, è possibile effettuare l'aggancio dei dati di traffico alle sorgenti di rumore stradale e ferroviario. Per far ciò si può semplicemente "clickare" su ciascuna entità grafica, oppure si attiva una apposita tendina, che provvede ad evidenziare in sequenza i singoli tratti omogenei di strada o di binario, come mostrato dalla precedente figura.

Contemporaneamente appare sullo schermo una seconda finestra, all'interno della quale occorre specificare i dati di flusso relativi al tratto evidenziato. L'aspetto di questa seconda finestra è diverso a seconda che il tratto evidenziato sia una strada oppure un binario, come mostrato dalla figura:



Editazione dati traffico stradale

Selezione Tratto Stradale

Tratto n. Nome:

Preced. Success. Zoom Fine

Leq.7.5m (G/N) Fisso Calcola

Proprietà

Tipo di Pavimentazione:

Pendenza (%. + | -):

hmed edifici lato Sinistro:

hmed edifici lato Destro:

Traffico diurno complessivo

N.autovetture (V1)	40000	C8-> 110 km/h
N.camion 2 assi (V2)	8000	C7-(90-110 km/h)
N.camion 3 assi (V3)	800	C7-(90-110 km/h)
N.TIR (V4)	1600	C7-(90-110 km/h)
N.motocicli (V5)	800	C8-> 110 km/h)

Traffico notturno complessivo

N.autovetture (V1)	4000	C8-> 110 km/h)
N.camion 2 assi (V2)	800	C7-(90-110 km/h)
N.camion 3 assi (V3)	160	C7-(90-110 km/h)
N.TIR (V4)	320	C7-(90-110 km/h)
N.motocicli (V5)	40	C8-> 110 km/h)

Imposta autom. i dati della strada pre

Cat.A - Autostrada	Cat.B - Extraurb. princ.
Cat.C - Extraurb. sec.	Cat.D - Urbana scorr.
Cat.E - Urbana quart.	Cat.F - Locale

Editazione dati traffico ferroviario

Selezione Tratto Ferroviario

Tratto n. Nome:

Preced. Success. Fine

Leq.7.5m (G/N) Fisso Calcola

Proprietà

Tipo di Armamento:

hmed edifici lato Sinistro:

hmed edifici lato Destro:

Traffico diurno complessivo

	Num.	Lungh.	Velocità
tr.merci (V1)	26	300	C1-(0-60 km/h)
tr.pass. locali (V2)	68	150	C1-(0-60 km/h)
tr.pass. l.perc. (V3)	30	180	C1-(0-60 km/h)

Traffico notturno complessivo

	Num.	Lungh.	Velocità
tr.merci (V1)	26	300	C1-(0-60 km/h)
tr.pass. locali (V2)	10	150	C1-(0-60 km/h)
tr.pass. l.perc. (V3)	4	180	C1-(0-60 km/h)

Imposta automaticamente i dati del binario precedente

Figura 5 – Finestre Cytimap con dati flusso stradale e ferroviario

Come si nota, per le strade sono disponibili 6 "bottoni" che impostano automaticamente i dati di traffico "tipici" di 6 diversi tipi di strade. Per le sorgenti lineari di tipo industriale (caso tipico il perimetro di uno stabilimento), è necessario aver preventivamente disegnato un tratto "pseudostadale" o "pseudoferroviario" 7.5m all'interno del confine dell'area stessa. A tale tratto si assegnerà poi un livello di emissione fisso (non calcolato sulla base di dati traffico), pari al livello sonoro che è stato rilevato sperimentalmente al confine dello stabilimento.

Dopo aver introdotto i dati di traffico di tutte le sorgenti sonore, è possibile salvare l'assieme dei dati geometrici e di emissione in un unico file ASCII autodocumentato, con estensione .CMP, che può poi venire riletto da Cytimap stesso.

Si possono anche inserire i dati di sorgenti puntiformi, poichè Citymap le considera assieme alle sorgenti lineari. Per far ciò si impiega l'apposita tendina, che evidenzia sul disegno le entità di questo tipo, e fa comparire la mascherina qui riportata.

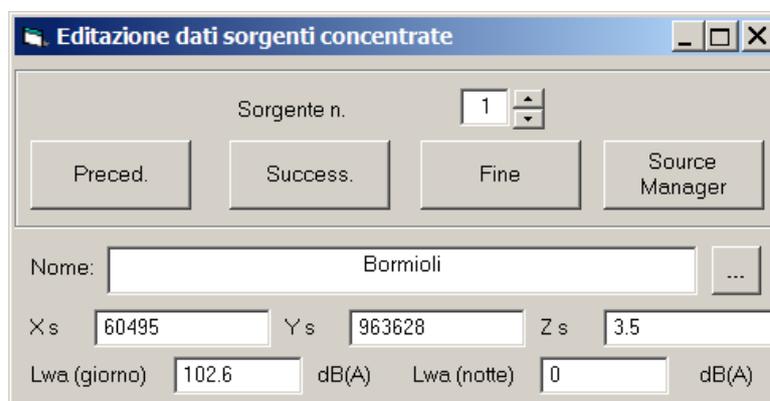
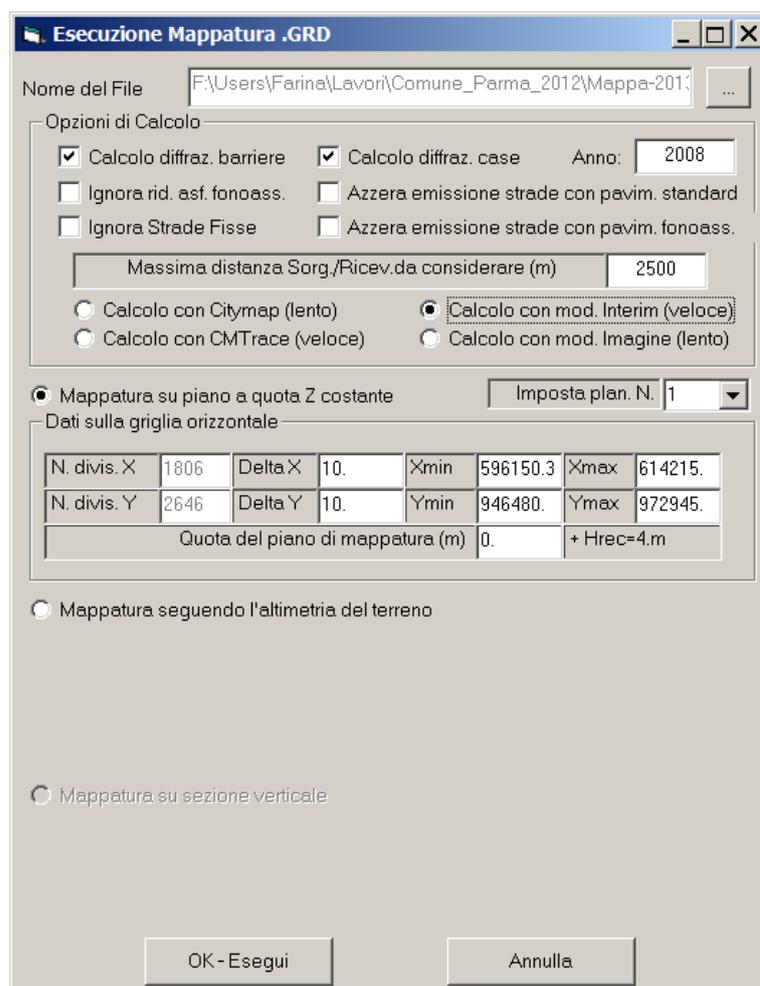


Figura 6 – Finestra Citymap editazione sorgenti puntiformi

A questo punto si può effettuare il calcolo della mappatura isolivello; si deve anzitutto selezionare l'area che interessa mappare, fra quelle definite in fase di importazione da CAD (poligonali in pianta o in sezione, in questo caso usiamo il confine comunale). Poi si lancia il processo di calcolo, specificando l'algoritmo prescelto, il nome del file che conterrà la mappatura (in formato .GRD) e la dimensioni della griglia di calcolo, come mostrato dalla seguente figura:



N. divis. X	1806	Delta X	10.	Xmin	596150.3	Xmax	614215.
N. divis. Y	2646	Delta Y	10.	Ymin	946480.	Ymax	972945.
Quota del piano di mappatura (m)				0.	+ Hrec=4.m		

Figura 7 – Finestra Citymap lancio mappatura

Si nota che si è adottata una griglia di calcolo con risoluzione di m 10x10, e che il calcolo viene effettuato ad una quota di 4.0m sopra al piano di campagna.

Nel corso del calcolo viene mostrato l'avanzamento dello stesso mediante un numero di barre orizzontali pari al numero di "thread" disponibili (8 su un processore i7), l'avanzamento non è mai uniforme in quanto l'area da mappare viene suddivisa in una serie di fasce di uguale ampiezza, ma non necessariamente di uguale "complessità":



Figura 8 – Finestra Citymap stato avanzamento calcolo

Al termine del calcolo, il programma provvede a colorare l'area mappata, in modo da fornire all'utente un'indicazione del lavoro compiuto, come mostra la seguente figura:

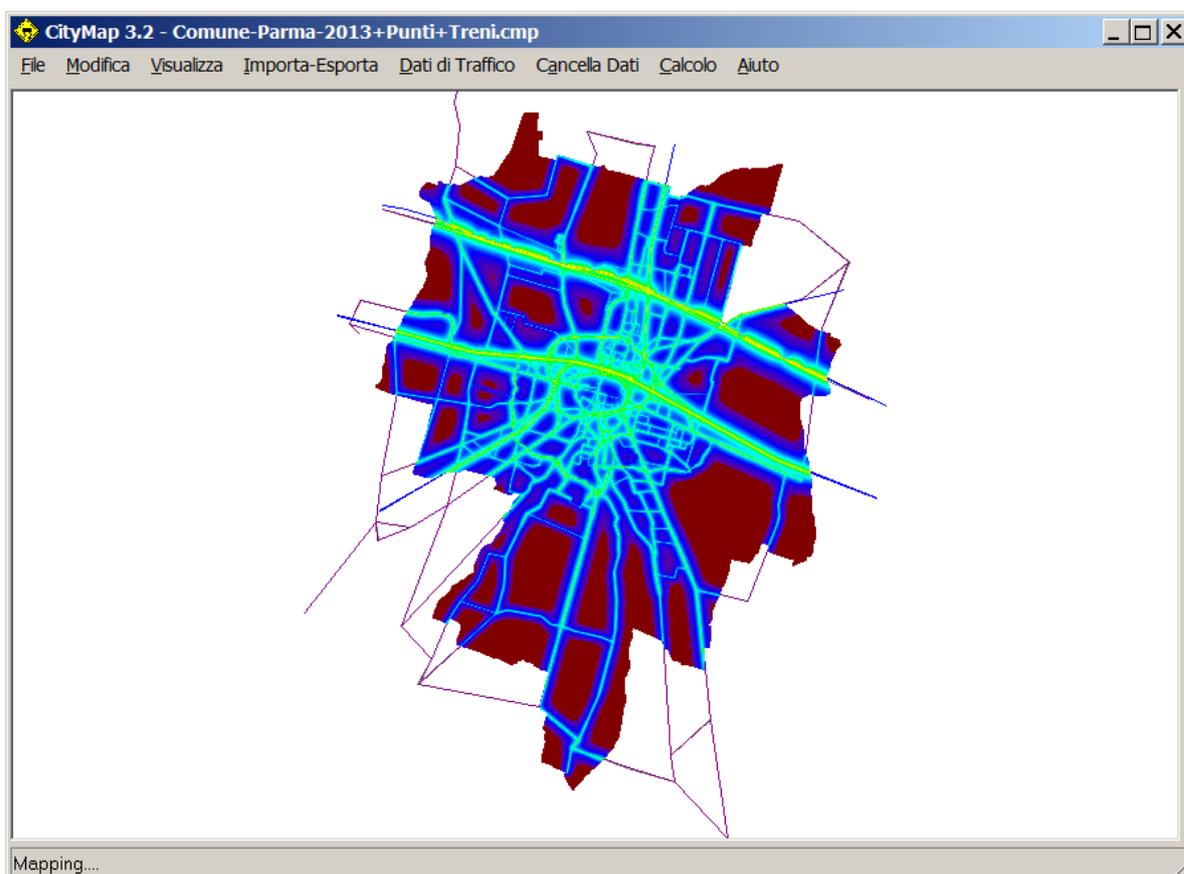


Figura 9 – Finestra Citymap area mappata

Questa rappresentazione non costituisce tuttavia il risultato finale del modello, che è invece costituito dal citato file .GRD, contenente in forma numerica il livello sonoro in tutti i punti della griglia di calcolo. Esso viene letto direttamente dal programma di mappatura vettoriale Surfer™, che fornisce la rappresentazione grafica mediante curve isolivello, ed all'interno del quale è estremamente agevole ottenere elaborazioni matematiche. In particolare, operando all'interno di Surfer si può realizzare il confronto fra mappatura acustica del livello sonoro e mappatura dei limiti di legge, oppure direttamente la mappatura dei superamenti dei limiti stessi.

Surfer consente di realizzare mappature sia mediante colorazione dello sfondo, sia mediante tracciamento di curve isolivello: questa forma è quella preferita volendo sovrapporre la mappatura stessa alla cartografia digitalizzata di partenza, come mostrato dalla seguente figura:

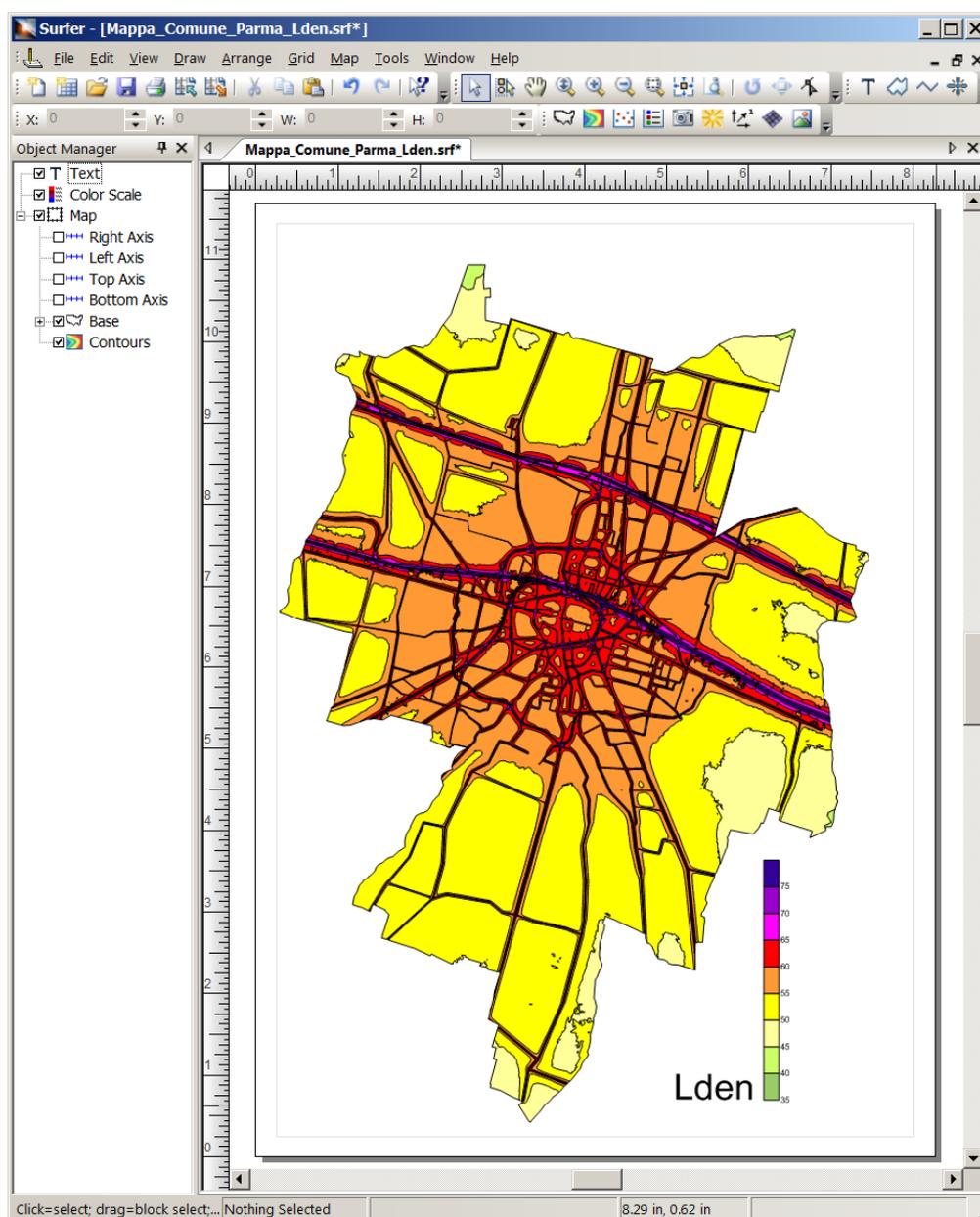


Figura 10 – Rappresentazione grafica livelli Lden elaborata da Surfer

Da Surfer, infine, si può esportare l'assieme delle curve isolivello, in formato vettoriale (DXF per Autocad, SHP per Arcview, etc.).

Esse possono poi venire re-importate in Autocad, realizzando quindi in tale ambiente la tavola

finale, che mostra la mappa del rumore sovrapposta allo sfondo cartografico dettagliato di partenza, come mostrato qui di seguito.

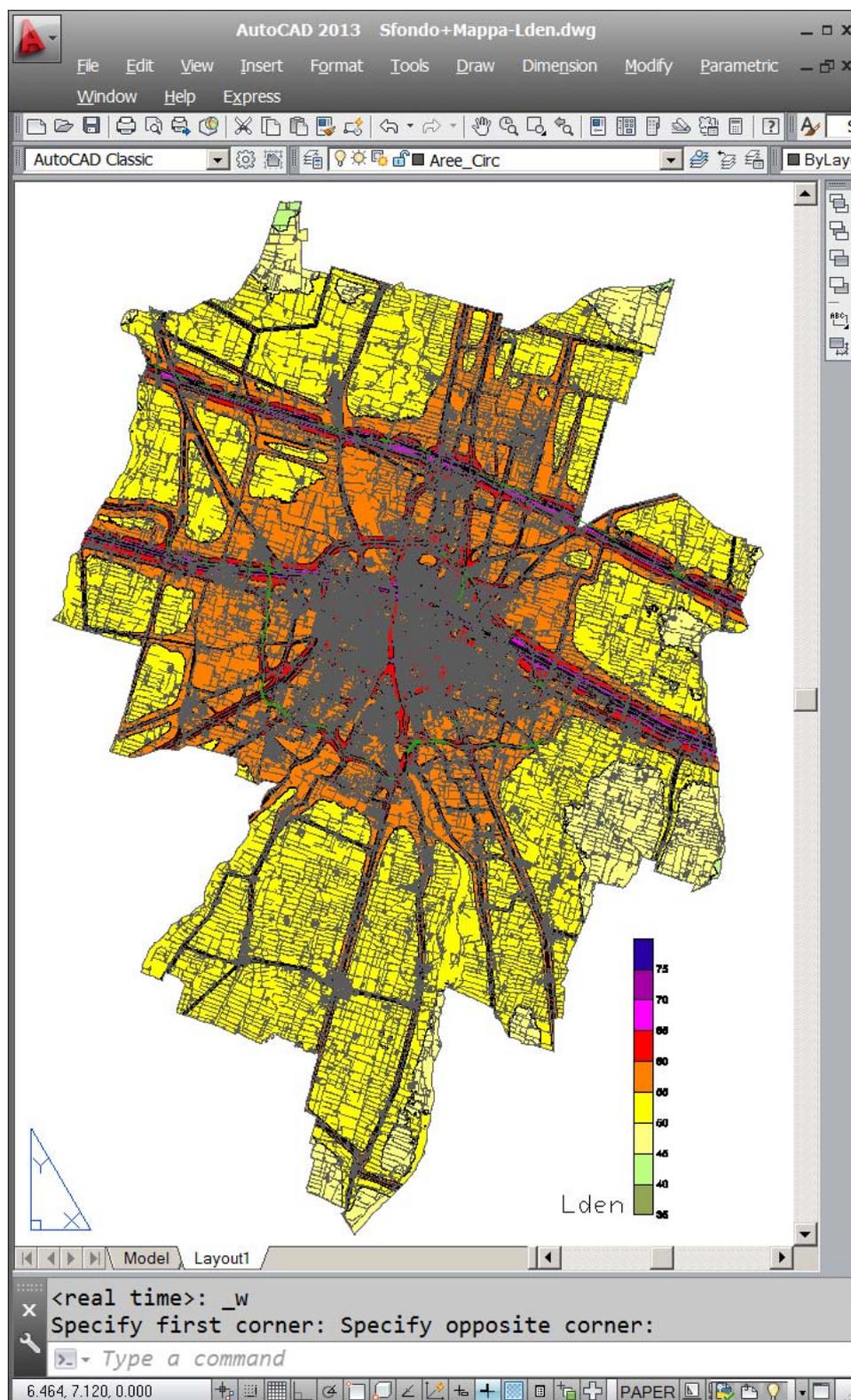


Figura 11 – Mappa del rumore importata in Autocad e sovrapposta alla cartografia di base

Definizione delle sorgenti

Rumore Stradale

Tutti i dati di input utilizzati sono stati forniti dal comune (Settore Mobilità), tramite il PUM 2020 (Aggiornamento del Piano Urbano delle Mobilità vigente, Anno 2011), elaborato da TRT Trasporti e Territorio srl.

Tale piano comprende tutti i tipi di flusso veicolare all'interno del Comune di Parma, inclusi i trasporti pubblici urbani ed extraurbani. Rimane escluso il solo traffico ferroviario, di cui si dirà a parte.

Volumi di traffico urbano nei tre periodi di riferimento normativi

Seguendo le indicazioni del decreto legislativo n.194 del 2005, i descrittori acustici risultanti dalla simulazione, devono rappresentare il livello di rumore continuo equivalente a lungo termine. Di conseguenza, i flussi da immettere nella simulazione (flussi medi orari) devono essere rappresentativi, nei 3 periodi di interesse (giorno, sera, notte), di un anno solare; questo comporta una “mediazione” della situazione reale, in quanto i flussi veicolari possono variare anche sensibilmente nell’arco di un anno e dipendono da fattori quali giorno della settimana, apertura o meno di scuole/uffici, attività straordinarie come mercati, blocchi del traffico, ecc. Il dato utilizzato nella simulazione è stato quindi ottenuto da diverse elaborazioni finalizzate a valutare un flusso medio annuale, comprensivo anche del sabato e della domenica, giorni in cui i flussi di traffico variano sensibilmente rispetto alle altre giornate.

Le valutazioni si basano sulla statistica dei flussi su base trimestrale, riferita al flusso tipico dell’ora di punta, poiché la simulazione trasportistica elaborata da TRT fornisce un flussogramma dell’ora di punta.

Gli archi stradali principali e relativi flussi (anno di riferimento 2010) sono stati tratti dal PUM 2020 del Comune di Parma; ad ogni arco stradale è associata l’informazione dei volumi di traffico (numero di veicoli leggeri e pesanti) relativi all’ora di punta mattutina (dalle 7.30 alle 8.30), come mostrato dalla seguente figura.

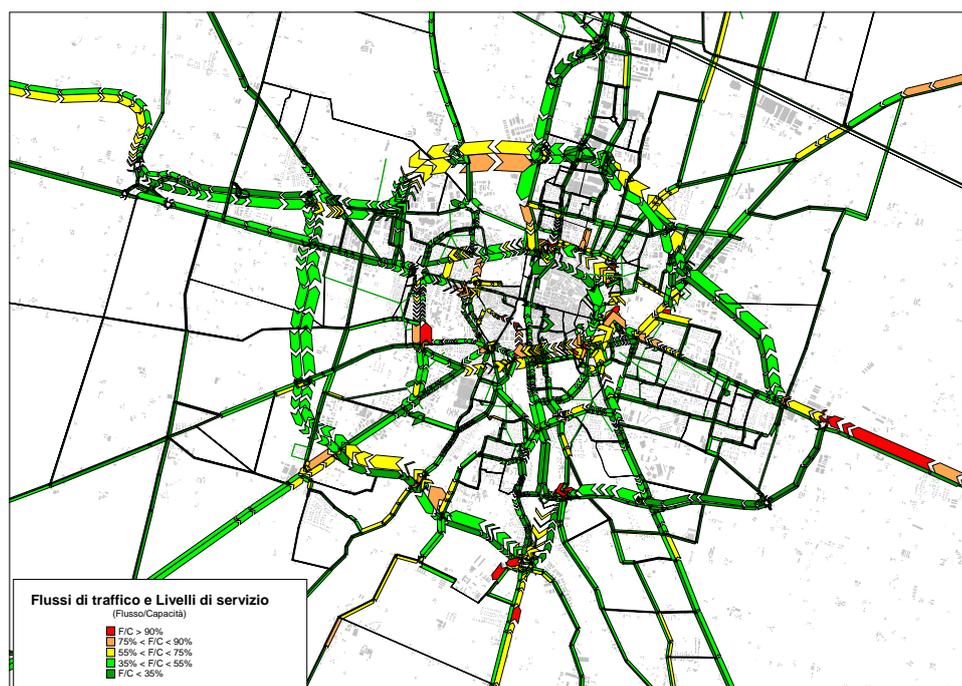


Figura 12 - Flussi stradali nell’ora di punta (7.30-8.30) anno 2010

Nell'ambito del PUM sono stati effettuati conteggi automatici del flusso veicolare con cadenza oraria su 73 sezioni urbane al fine di determinare l'evoluzione del flusso nell'arco della giornata. La seguente figura mostra i profili orari così ottenuti ed il "profilo medio":

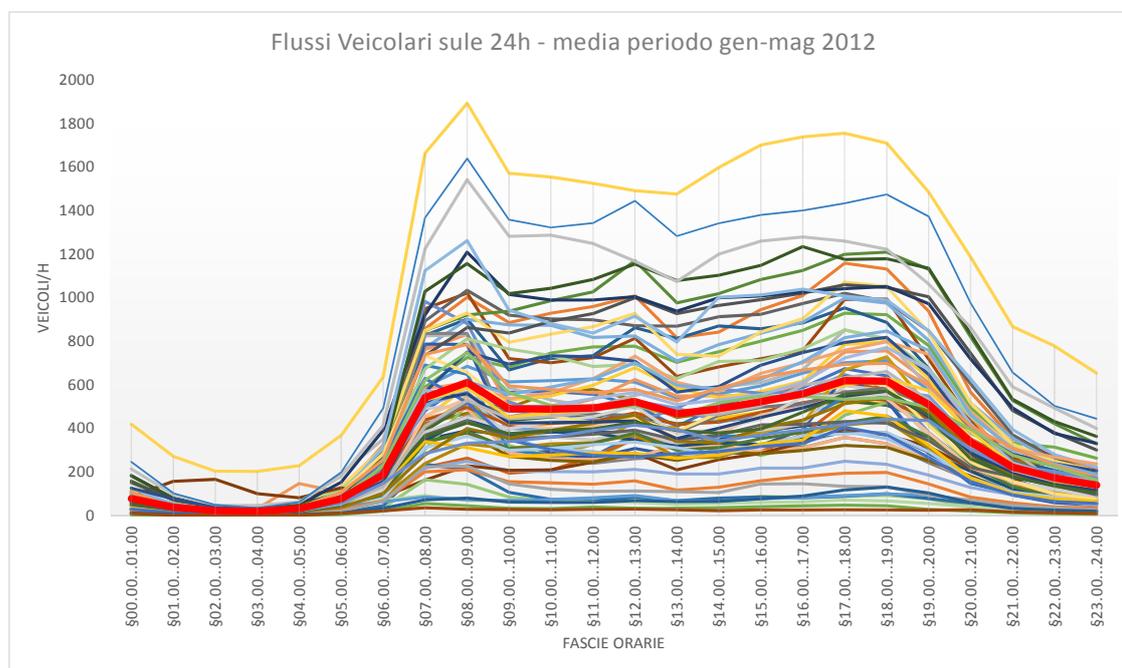


Figura 13 – Profili orari e profili medi dei flussi veicolari

Analizzando tali profili orari, si sono calcolati i valori dei rapporti fra flusso periodo diurno (06-20) / ora di punta, flusso serale (20-22) / ora di punta e flusso periodo notturno (22/06) / ora di punta per ciascuna delle 73 sezioni rilevate.

Le seguenti figure mostrano la dispersione di tali rapporti.



Figura 14 – Dispersione rapporti flusso diurno/flusso ora di punta

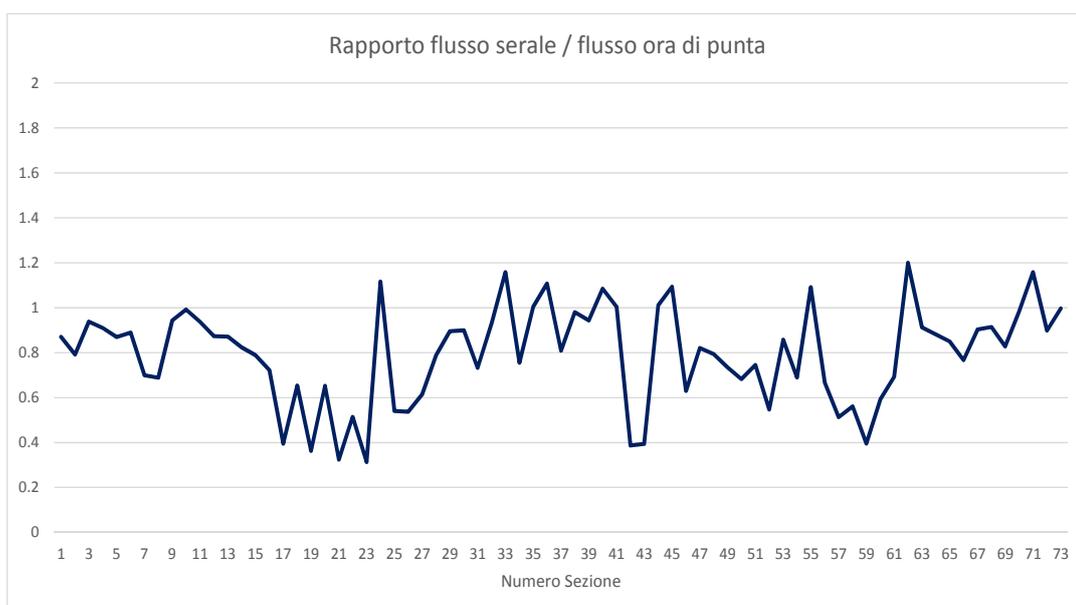


Figura 15 – Dispersione rapporti flusso serale/flusso ora di punta

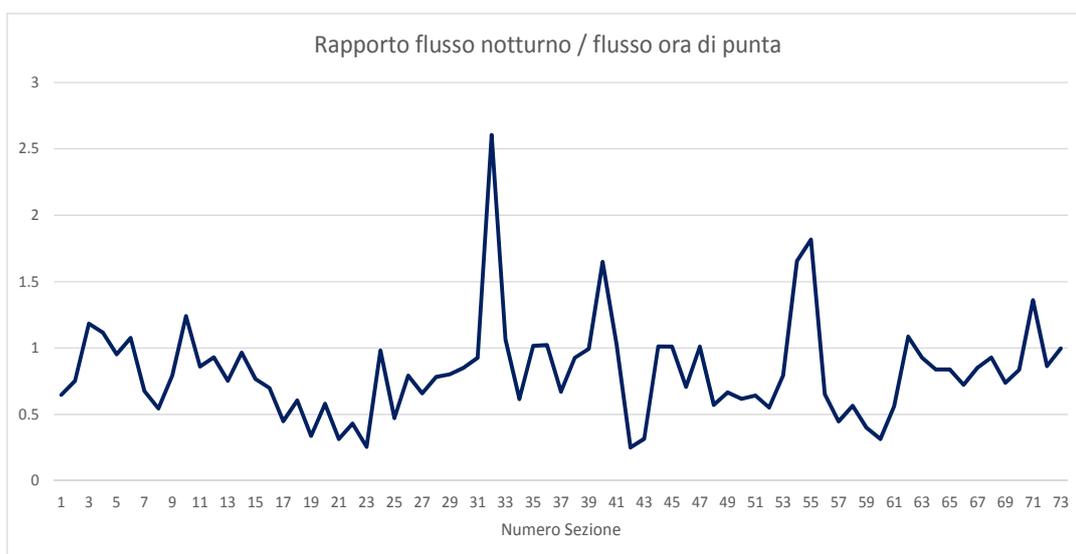


Figura 16 – Dispersione rapporti flusso e flusso notturno/f.ora di punta

Verificato che i valori di tali rapporti hanno globalmente una dispersione modesta, risulta sensato applicare i valori medi di tali rapporti all'intera rete, senza distinzione fra le diverse tipologie di strada (urbana, extraurbana, tangenziale, autostrada)

I coefficienti ottenuti (Tabella 5), sono stati moltiplicati per il volume di veicoli dell'ora di punta, per ottenere i flussi giornalieri, serali e notturni.

Rapporto $Q_{\text{periodo}}/Q_{\text{h punta}}$		
Periodo Diurno 6-20	Periodo Serale 20-22	Periodo Notturno 22-6
10.25	0.79	0.83

Tabella 5 – Coefficienti per calcolare il flusso totale nel periodo di riferimento a partire dall'ora di punta mattutina

Per ciascun arco stradale, anche secondario, il modello trasportistico Trips fornito da TRT contiene

la separazione tra traffico leggero e pesante e fornisce una stima della velocità per ciascuno dei due tipi di veicoli.

Tuttavia, una analisi dei dati forniti, mostra che i rapporti utilizzati da TRIPS sono costanti sull'intera rete del Comune di Parma, ed in particolare la frazione di veicoli leggeri è sempre pari al 85% del flusso complessivo (e conseguentemente la frazione di veicoli pesanti è sempre pari al 15%). Questi rapporti sono sensati per i periodi diurno e serale, mentre si è ritenuto opportuno correggere tali rapporti con riferimento al periodo notturno, ove si è considerato un 90% di veicoli leggeri ed un 10% di veicoli pesanti. Questa scelta è supportata dai rilievi di flusso con classificazione operati in 73 sezioni di conteggio automatico per un periodo di 6 anni.

Volumi di traffico autostradale ed extraurbano nei tre periodi di riferimento normativi

La Società Autostrade ha fornito al Comune di Parma le mappe acustiche strategiche con tutti i dati previsti dal D.lgs 194/2005.

Per i flussi di traffico sono state però utilizzate le pubblicazioni semestrali AISCAT (Associazione Italiana Società Concessionarie Autostrade e Trafori), il cui ultimo aggiornamento risale al 2012.

I veicoli teorici giornalieri corrispondono al numero di veicoli che, percorrendo l'intero tronco in esame, danno luogo alla reale percorrenza dei veicoli (che potrebbero aver compiuto una minore lunghezza); corrisponde quindi al rapporto tra la somma dei chilometri medi giornalieri percorsi realmente dai veicoli e la lunghezza del tronco in esame.

I veicoli teorici medi giornalieri annui suddivisi in leggeri e pesanti, relativi al tronco autostradale Milano-Bologna, sono riportati è nella tabella sottostante.

Periodo di riferimento	Autostrada A1 (n.veicoli)	
	leggeri	pesanti
TGM (Traffico Giornaliero Medio)	57541	19821

Tabella 6 - Flussi autostradali anno 2012 (Trimestrale AISCAT, 19/06/2013)

I livelli acustici generati dall'autostrada così modellizzata sono stati confrontati con quelli riportati nelle mappe acustiche fornite da Società Autostrade al Comune di Parma: si è potuto verificare che essi risultano in linea con quanto ottenuto dai calcoli effettuati.

Larghezza, tipo di asfalto e velocità delle strade

Per eseguire la simulazione dei livelli acustici prodotti dal traffico veicolare è necessario caratterizzare la sorgente stradale, oltre che con il dato di flusso, anche con la velocità media dei veicoli circolanti, la larghezza media della carreggiata, la tipologia di asfalto.

Per quanto riguarda la larghezza delle strade, non avendo dati disponibili, sono state utilizzate le informazioni che il Codice della Strada fornisce a riguardo. Esso individua, a seconda delle caratteristiche tecniche di costruzione, le seguenti categorie di strade: autostrade (tipo A), strada extraurbana principale (tipo B), strada extraurbana secondaria (tipo C), strada urbana di scorrimento (tipo D), strada urbana di quartiere (tipo E), strada locale (tipo F) urbana o extraurbana. Il Comune di Parma ha fornito tale classificazione delle strade; ciò ha permesso di attribuire la larghezza stradale ad ogni arco, basandosi sulle caratteristiche minime che il Codice della Strada impone a ogni tipologia di infrastruttura. La larghezza utilizzata (Tabella 7) è stata quella della

sola carreggiata o somma di esse; è stato infatti scelto di eliminare la larghezza della banchina, in quanto la sorgente di rumore è ben rappresentata dalle sole carreggiate. Inoltre per le strade di tipo A (autostrada) e B (tangenziale) la larghezza corrisponde a quella di un solo senso di marcia, in quanto lo shape file dei flussi di traffico prevede archi separati per i due sensi di marcia. Per quanto riguarda la velocità, sono stati assunti valori fissi per le diverse tipologie di strada.

TIPOLOGIA	Classe Velocità veicoli leggeri (km/h)	Velocità media veicoli pesanti (km/h)	Larghezza strada (m)
A – Autostrada	C8 (>110)	C7 (90-110)	15
ASV – Svincolo autostradale	C5 (50-70)	C4 (30-50)	7.5
B – Extraurbana principale	C6 (70-90)	C6 (70-90)	7.5
BSV – Svincolo tangenziale	C4 (30-50)	C4 (30-50)	7.5
C – Extraurbana secondaria	C6 (70-90)	C5 (50-70)	7.5
D – Urbana a scorrimento	C5 (50-70)	C5 (50-70)	15
D – Urbana a scorrimento veloce	C5 (50-70)	C5 (50-70)	17.8
E – Urbana	C5 (50-70)	C5 (50-70)	7
F – Locale extraurbana	C5 (50-70)	C5 (50-70)	7
F – Locale urbana	C4 (30-50)	C4 (30-50)	6.5
F – Vicinale	C4 (30-50)	C4 (30-50)	6.5
Z30 – E – Urbana	C2 (0-30)	C2 (0-30)	7
Z30 – F - Locale urbana	C2 (0-30)	C2 (0-30)	6.5

Tabella 7 – Velocità medie e larghezza attribuite alle infrastrutture stradali

Riguardo le strade “Z30”, ove sono presenti dossi ed altri elementi di disturbo alla circolazione, si è assunta la classe di velocità C2, che è quella caratterizzata dalla maggior rumorosità immessa: è noto infatti come imponendo bassa velocità e continue decelerazioni ed accelerazioni si ottiene un forte incremento di rumorosità, mentre la minima immissione (a parità di flusso) si ha con la classe C5, corrispondente a traffico fluente e velocità prossima ai 70 km/h, che è la velocità che minimizza l’immissione di rumore.

E’ altresì noto come nelle zone 30, per gli stessi motivi che determinano la massimizzazione delle immissioni rumorose, vengono parimenti massimizzate anche le immissioni di sostanze chimiche inquinanti, e conseguentemente la loro concentrazione al ricettore. In effetti, in un’ottica di risanamento ambientale acustico e chimico della città, le zone 30 andrebbero soppresse, e di questo fatto si dovrà tener conto nella redazione del Piano di Azione.

Riguardo infine le strade di categoria E - Urbana, che costituiscono la grande maggioranza degli archi facenti parte del grafo di simulazione, sebbene il codice della strada preveda un limite di 50 km/h, si è assunta invece la classe 5 (50-70 km/h), in quanto lo stile di guida dei cittadini parmigiani tende al veloce-scorrevole, e la velocità media supera sempre sistematicamente, anche se di pochi km/h, il limite dei 50 km/h.

Ogni arco stradale è stato caratterizzato dalla tipologia di asfalto (normale o fonoassorbente) e dai sensi di marcia (doppio senso o a senso unico) sulla base delle indicazioni fornite dal Comune di Parma.

Sono stati, infine, modellizzati come ostacoli 3D i principali cavalcavia e sottopassi relativi all’anello delle tangenziali, al fine di rappresentare al meglio gli effetti schermanti prodotti dai muri di sostegno degli stessi.

Considerato che i modelli di simulazione del traffico e i rispettivi grafi sono elaborati al fine di valutare i flussi di traffico, per l’utilizzo nel modello acustico si è reso necessario compiere alcune correzioni cartografiche.

In particolare, mediante AUTOCAD, nel grafo fornito da TRT sono state corrette certe rotoatorie e alcuni archi stradali fuori dal centro cittadino.

Rumore Ferroviario

Per quanto riguarda il rumore ferroviario, sono state considerate le mappe presentate da RFI, che sono servite come riferimento per la verifica di taratura del modello di emissione di rumore ferroviario contenuto nel programma Citymap.

Per i dati di traffico ferroviario, non forniti dal gestore, ci si è rivolti all'Ufficio Movimento della stazione di Parma che ha fornito il tabulato "modello M53" (agosto 2013) contenente l'elenco di tutti i convogli circolanti in arrivo ed in partenza dalla stazione di Parma.

Le seguenti tabelle ricomprendono i dati di flusso ferroviario dedotti dall'analisi di tale tabulato ed utilizzati per le simulazioni.

Linea	Periodo	Tipo Treno	Numero	Lunghezza (m)
1 – Alta Velocità	Diurno	Frecce	40	328
	Notturmo	Frecce	2	328
2 – PC-PR	Diurno	Merci	18	600
		Regionali	46	203
		Frecce	30	255
	Notturmo	Merci	32	600
		Regionali	4	203
		Frecce	4	255
3 – PR-RE	Diurno	Merci	26	600
		Regionali	68	203
		Frecce	30	255
	Notturmo	Merci	44	600
		Regionali	10	203
		Frecce	4	255
4 – PR-BS	Diurno	Merci	9	400
		Regionali	53	78
	Notturmo	Merci	1	400
		Regionali	3	78
5 – PR-Suzzara	Diurno	Regionali	56	52
	Notturmo	Regionali	0	52
6 – PR-La Spezia	Diurno	Merci	12	400
		Regionali	44	151
	Notturmo	Merci	6	400
		Regionali	4	151

Tabella 8 – Dati di flusso ferroviario

Si sono poi confrontate le curve isolivello di Lden ottenute da Citymap con quelle fornite da RFI, come mostrato dalla seguente figura.

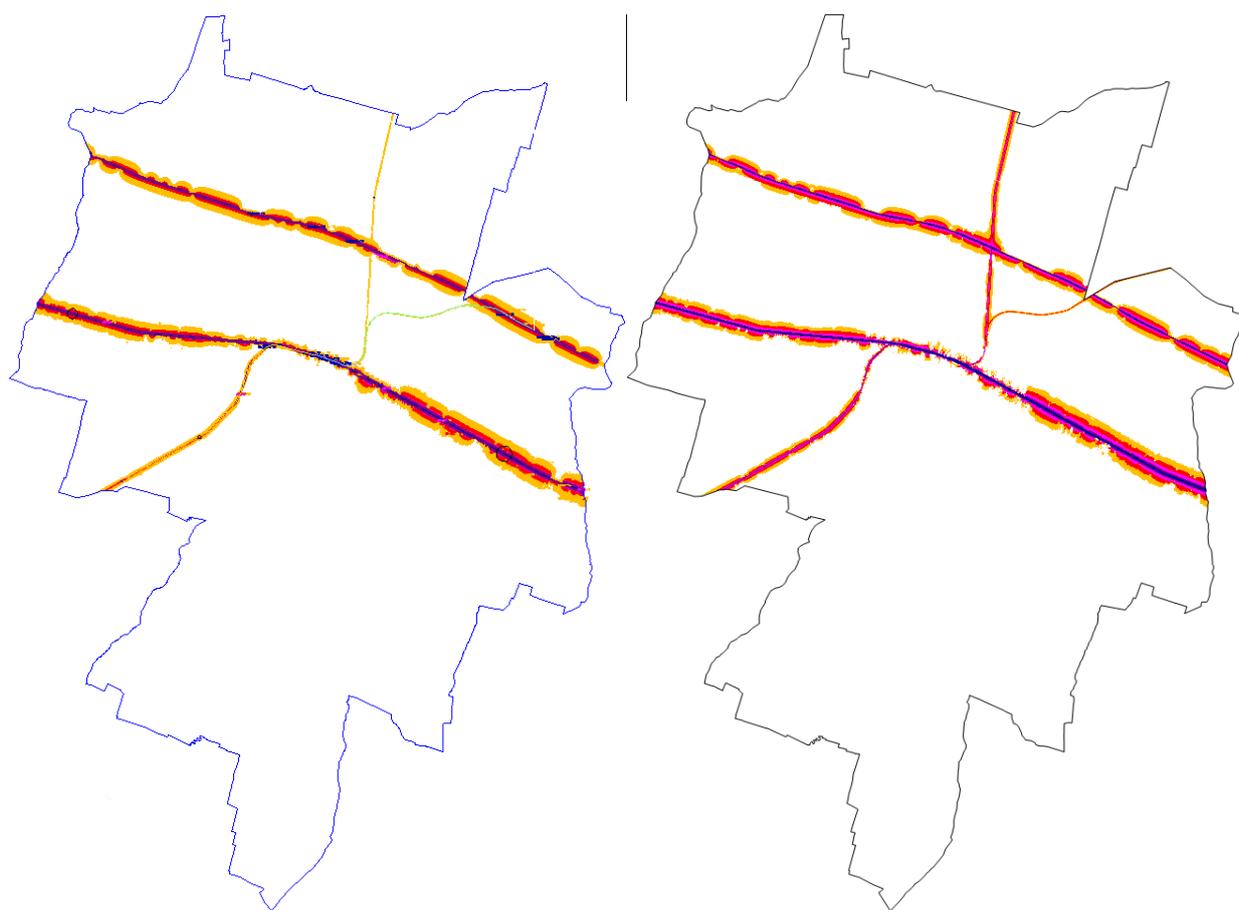


Figura 17 - Mappa Lden ferroviario – simulazione RFI (sinistra) e Citymap (Destra)

Si è concluso che, a parte alcuni evidenti diversità legate alla sistematica sottostima, operata da RFI, del traffico ferroviario sulle ferrovie in concessione (PR-BS, PR-Suzzara) e sulla pontremolese, l'area di impronta del rumore ferroviario è sostanzialmente la stessa.

Rumore Industriale

Per quanto riguarda il censimento delle sorgenti di rumore industriale, si è fatto riferimento a tre fonti:

- 1) Piani di Risanamento Acustico redatti dalle aziende
- 2) Rilievi fonometrici eseguiti dal Comune di Parma in risposta ad esposti o osservazioni presentate dai cittadini
- 3) Sistema di monitoraggio ambientale remoto del rumore industriale gestito da ARPA Emilia Romagna (MONITOREM: <http://www.arpa.emr.it/monitorem>)

La propagazione del rumore proveniente dalle sorgenti industriali è stato modellizzato da Citymap secondo lo standard ISO 9613-2, così come suggerito dalla raccomandazione Europea e dalle Linee Guida regionali.

Piani di Risanamento Acustico

Riguardo il punto 1, risulta pervenuto al Comune di Parma un unico piano di risanamento acustico, redatto dall'impresa Bormioli Luigi Spa, e relativo allo stabilimento sito in via Moletolo 6.

Lo Studio Acustico allegato al Piano ha evidenziato la presenza di 4 sorgenti sonore concentrate, come mostrato nella seguente figura:

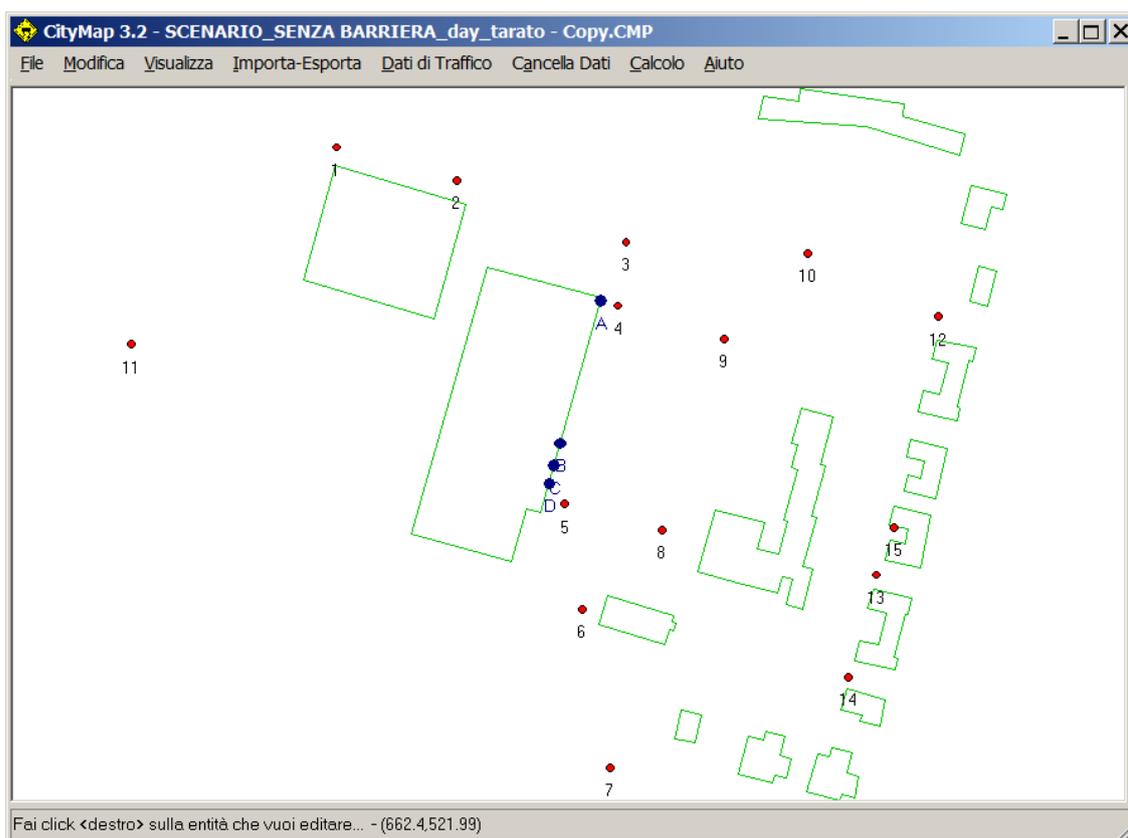


Figura 18 – Sorgenti sonore concentrate nello stabilimento Bormioli Luigi

I livelli di potenza delle sorgenti sono i seguenti:

- Sorgente A: $L_{w,day} = 107.2$ dB(A), $L_{w,night} = 106.7$ dB(A), $Z=3.5$ m
- Sorgente B: $L_{w,day} = 108.9$ dB(A), $L_{w,night} = 107.6$ dB(A), $Z=3.5$ m
- Sorgente C: $L_{w,day} = 107.4$ dB(A), $L_{w,night} = 106.9$ dB(A), $Z=3.5$ m
- Sorgente D: $L_{w,day} = 108.2$ dB(A), $L_{w,night} = 107.7$ dB(A), $Z=3.5$ m

I valori suddetti risultano tarati sulla base di una estesa campagna di rilievo fonometrico, che ha

riguardato ben 15 punti di rilevamento, di cui 14 “spot” ed uno di 24h, come mostrato dalla seguente figura:



Figura 19 - Classificazione acustica e posizione dei punti di rilievo nel circondario dello stabilimento Bormioli Luigi Spa

Rilievi fonometrici eseguiti dal Comune di Parma

Riguardo il punto 2, sono stati effettuati rilievi fonometrici presso due stabilimenti:

- Molino di Vicofertile (ex Progeo)
- Columbus (Martorano)

In questi casi sono pervenute osservazioni da parte delle aziende suddette, tese alla modifica del piano di classificazione acustica adottato dal Comune di Parma, per cui si è provveduto ad effettuare un sopralluogo con rilievo fonometrico, al fine di determinare le emissioni sonore degli stabilimenti, e valutare se le osservazioni erano meritevoli di essere accolte. Tali sopralluoghi hanno portato effettivamente al parziale accoglimento delle osservazioni proposte con conseguente modifica al piano di classificazione acustica de territorio comunale.

Ma i rilievi sonori eseguiti hanno anche consentito, indirettamente, di stimare il livello di potenza sonora prodotto da ciascuno dei due stabilimenti, e conseguentemente è stato possibile inserire tali emissioni sonore nella simulazione Citymap effettuata al fine di tracciare le Mappe Strategiche.

In particolare, le seguenti figure mostrano posizione delle sorgenti sonore e dei punti di rilievo fonometrico per i due stabilimenti suddetti:

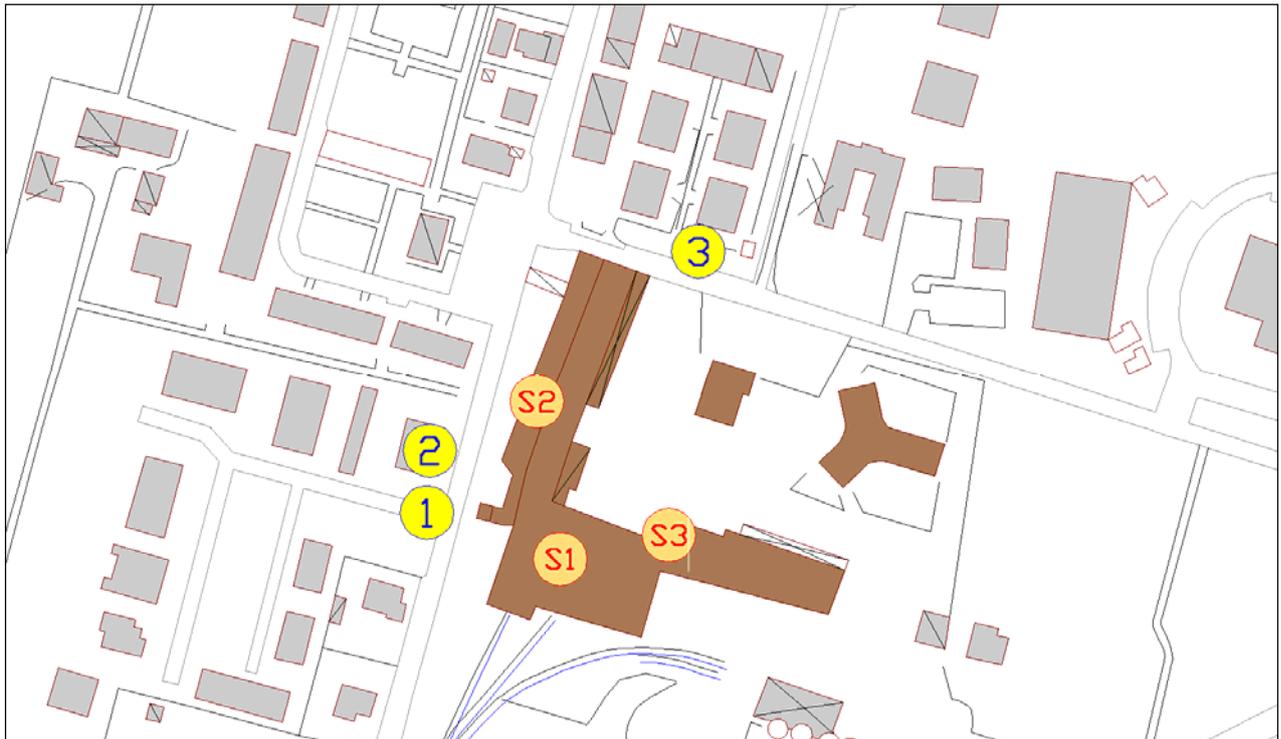


Figura 20 - Posizione delle sorgenti sonore e dei punti di rilievo fonometrico presso lo stabilimento ex Progeo in località Vicofertile

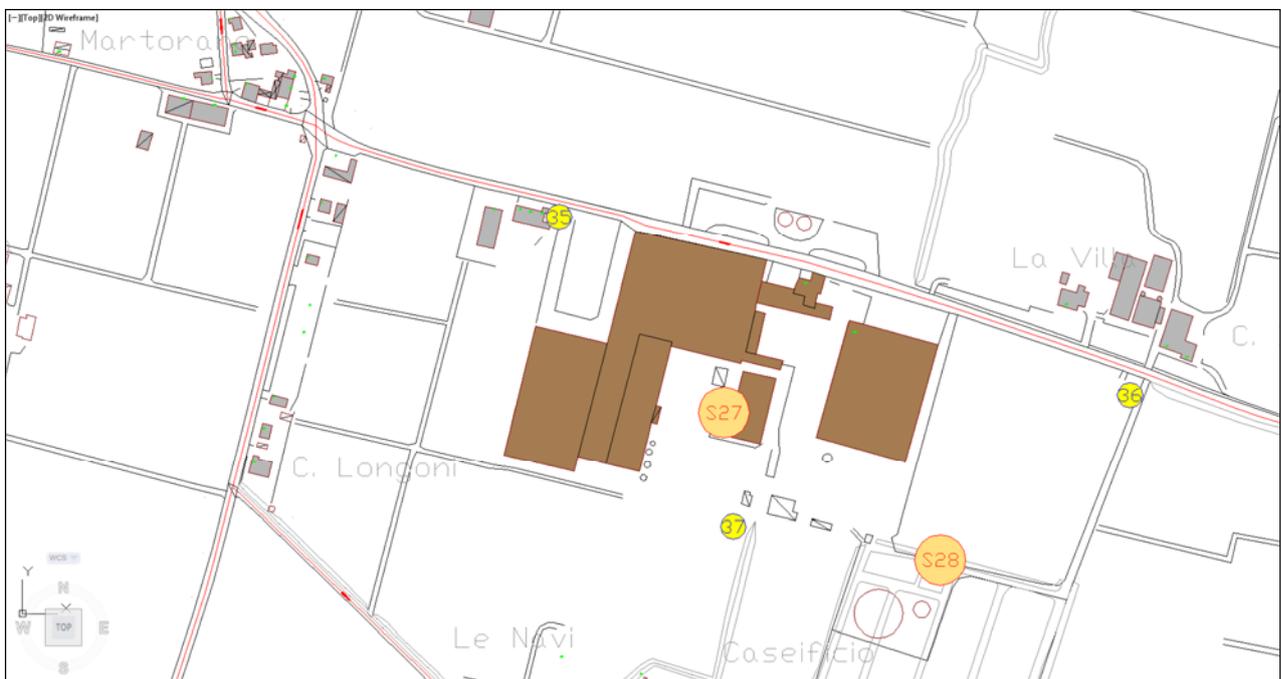


Figura 21 - Posizione delle sorgenti sonore e dei punti di rilievo fonometrico presso lo stabilimento Columbus in località Martorano

L'emissione sonora dello stabilimento Columbus ha tuttavia un andamento fortemente stagionale, essendo legata al periodo di attività dell'industria della conserva di pomodoro, principale prodotto della Columbus.

Ciononostante la sorgente "Columbus" è stata considerata attiva nella simulazione Citymap, che dunque rappresenta la situazione più sfavorevole, esistente solo in estate durante la campagna del pomodoro.

Sistema di monitoraggio MONITOREM

Si è utilizzata la banca dati MONITOREM delle aziende sottoposte ad Autorizzazione integrata ambientale (A.I.A.) gestita da ARPA Emilia-Romagna (<http://www.arpa.emr.it/monitorem>) recuperando per ogni attività industriale, tra i dati disponibili, i punti di monitoraggio fonometrico e i rispettivi valori di Lday e Lnight rilevati.

Si riporta di seguito la collocazione di tutte le aziende (Figura 22) i cui dati sono stati inseriti nel programma di simulazione e si rimanda all'Allegato 1 per il dettaglio del monitoraggio per ogni azienda.

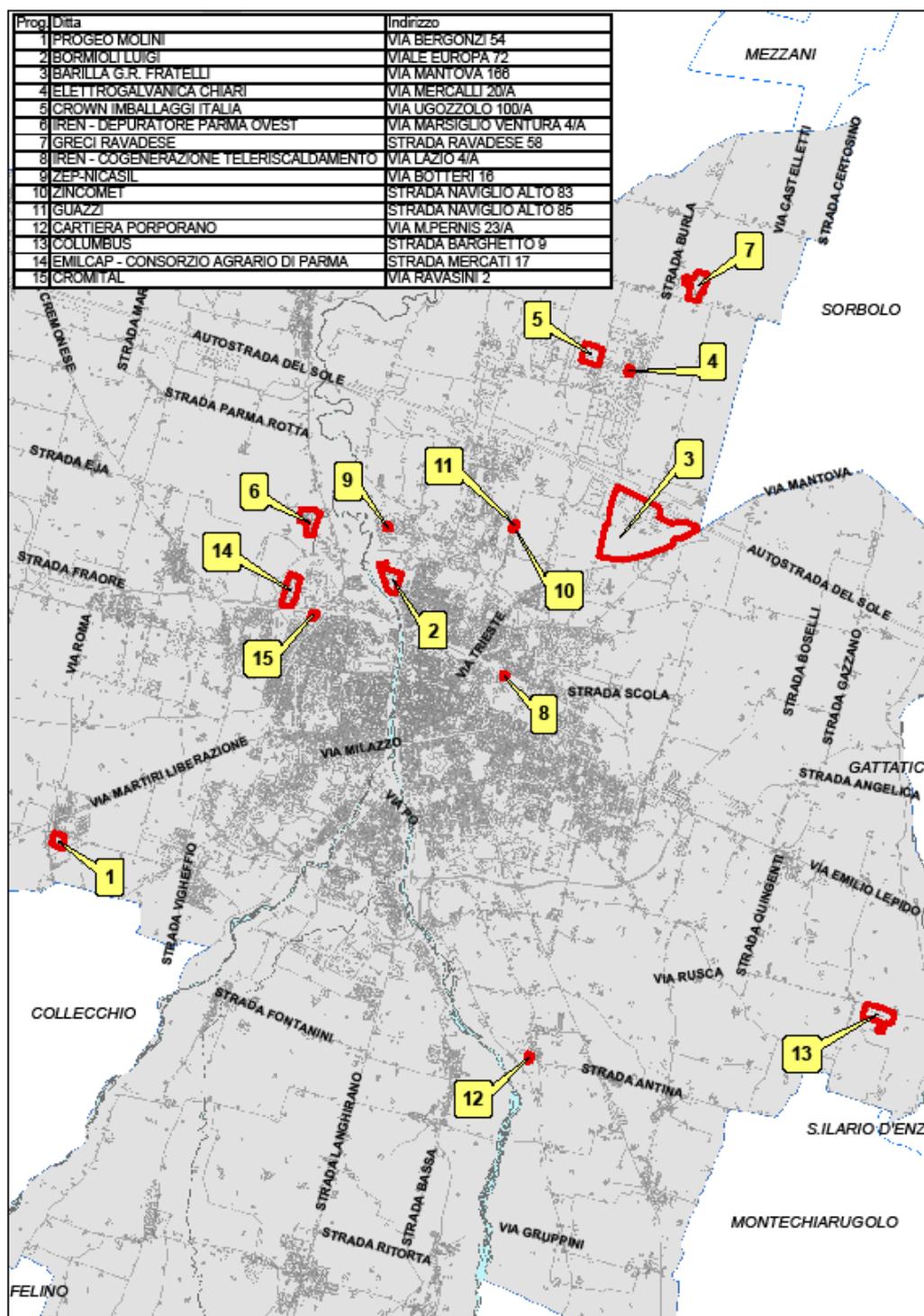


Figura 22 – Localizzazione attività industriali considerate, in possesso di AIA

ALTRI ELEMENTI DEL MODELLO

Edifici

Non è stata considerata la riflessione degli edifici, come previsto dal D.lgs 194/2005 che parla di escludere il suono riflesso dalla facciata. Quindi non si è tenuto conto dell'altezza, tranne nel caso di edifici con funzione schermante, per i quali si è considerata un'altezza fissa, pari a 10 metri.

Anche nel caso degli edifici considerati schermanti, tuttavia, il modello Citymap tiene in considerazione il solo effetto di riduzione del livello sonoro per i ricettori posti nelle zone di ombra acustica generata dall'edificio, ma non considera l'incremento di livello sonoro che si sviluppa lungo la facciata rivolta verso al sorgente del rumore, per effetto di riflessione sulla facciata stessa.

Il data base GIS del Comune di Parma contiene circa 34000 edifici. Di essi sono stati considerati schermanti, e dunque inseriti nel modello di calcolo, solo 2462 edifici, posti "in primo affaccio" lungo le linee ferroviarie e le principali infrastrutture di trasporto stradale (autostrada, tangenziali). Il tessuto urbano denso, invece, non è stato considerato come effetto schermante, in quanto all'interno di tale tessuto urbano si verifica una sostanziale compensazione fra effetto schermante ed effetto riverberante, per cui la rumorosità rimane diffusa ed uniforme, senza significativi effetti di ombra acustica.

Barriere Acustiche

Le barriere acustiche sono state fornite dal Comune di Parma in formato shape file e sono state verificate con dei sopralluoghi e mediante l'utilizzo di "Street View" di Google Maps per controllare l'effettiva e corretta localizzazione, oltre che l'altezza.

Per quanto riguarda le barriere acustiche installate lungo la linea ferroviaria AV, si è utilizzato anche lo strumento BING MAPS con la funzione "a volo di uccello".

In totale nel modello sono state introdotte 97 barriere artificiali attualmente esistenti (inclusi i fianchi dei tratti di tangenziale in trincea e le dune), per uno sviluppo complessivo di m 25750 .

Modello del Terreno ed effetto Suolo

Per quanto riguarda il modello del terreno, si è scelto di non tenere conto della variazione delle quote del suolo sul livello del mare, in quanto la variazione massima tra l'estremità nord e sud del territorio comunale è di soli 6 metri e avviene molto gradualmente. Si è, perciò, ritenuto che l'approssimazione di considerare il suolo a quota zero su tutto il territorio, e la conseguente stima dei livelli acustici generati a 4 m rispetto a tale quota, rispecchino in modo soddisfacente la realtà.

Relativamente alle quote, è opportuno rilevare che sono invece stati modellizzati i principali ostacoli schermanti, principalmente edifici, ma inclusi anche cavalcavia e sottopassi, con relative altezze rispetto alla quota zero del suolo.

Il programma Citymap non considera il parametro relativo al potere di assorbimento del suolo (Ground Factor G). Anche in questo caso il programma ipotizza dunque sempre le condizioni di massima propagazione, senza alcuna attenuazione dovuta a terreno coperto di folta vegetazione, visto che tale effetto è puramente stagionale e scompare nei mesi invernali.

Dati Meteorologici

Le Linee Guida regionali suggeriscono alcune soluzioni, mutate dal relativo Toolkit 21 del documento "Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data and Noise Exposure" (WG-AEN/2007):

1. utilizzare dati meteorologici locali, cioè serie storica (almeno dieci anni) di dati relativi a velocità, direzione del vento e radiazione solare;
2. utilizzare dati specificati in Norme tecniche o regolamentazioni nazionali, ovvero dati meteorologici medi definiti a livello nazionale, che per l'Italia non sono disponibili;
3. applicare delle percentuali fisse di propagazione favorevole a seconda del periodo di riferimento: 50% per il periodo diurno, 75% per il periodo serale, 100% per il periodo notturno.

Tutto questo ha in realtà ben poca rilevanza sui risultati della simulazione eseguita, per una serie di fattori, ma il principale è assai semplice: il programma di calcolo utilizzato, Citymap versione 3.2, ipotizza sempre che le condizioni di propagazione siano quelle che massimizzano la propagazione, escludendo tutti gli effetti di “attenuazione in eccesso” legati ai gradienti di temperatura e di velocità del vento, ed all’ “effetto suolo” prodotto da terreno coperto di folta vegetazione.

In realtà, in pianura padana, gli effetti di attenuazione in eccesso sopra descritti sono sovente presenti, e causano rilevanti riduzioni della rumorosità: è abbastanza normale, ad un centinaio di metri dalla autostrada A1, ad esempio, non sentire assolutamente nulla, perché il gradiente di temperatura dell’aria determina il fenomeno dell’ombra acustica.

Sebbene questi fenomeni si sviluppino con una certa frequenza, ovviamente non sono presenti SEMPRE. E l’impatto del rumore percepito dalla popolazione è riferibile alle frazioni temporali, che si verificano soprattutto nei periodi serale e notturno, in cui tali fenomeni scompaiono, dando luogo alle condizioni di propagazione “favorita” ipotizzate dal programma Citymap. Sarebbe dunque sbagliato prendere in esame questi fenomeni di “attenuazione in eccesso” di origine meteorologica, e ridurre conseguentemente la rumorosità media valutata presso i ricettori, in quanto in tal modo si sottostimerebbe sistematicamente l’impatto del rumore, considerato che proprio la sua variabilità nel tempo lo rende maggiormente disturbante.

In sostanza, con riferimento alle condizioni meteo, si è deciso di discostarsi dalle linee guida regionali ed impiegare un programma di simulazione che considera sempre la propagazione favorita, e non richiede pertanto in ingresso alcuna informazione meteorologica.

La tre percentuali su indicate, dunque, sono in questo studio state assunte pari tutte al 100%.

TARATURA DEL MODELLO

Emissioni sonore dei veicoli

Al fine di verificare se il modello Citymap riproduce correttamente le emissioni sonore dei veicoli è stato effettuato un confronto tra i valori di livello continuo equivalente stimati e i rilievi fonometrici effettuati da Comune/Università di Parma non antecedenti all’anno 2008.

I rilievi più recenti sono quelli eseguiti nel 2010, della durata minima di una settimana, mediante cinque centraline di monitoraggio acustico, per misurare la rumorosità del traffico veicolare nei pressi di cinque ricettori vicino alla tangenziale, in seguito ad esposti presentati dai residenti.

Oltre ai suddetti rilievi sono state considerate altre misurazioni fonometriche effettuate tra il 2008 e il 2010 dal Settore Ambiente del Comune di Parma, sempre nell’ambito degli esposti dei cittadini, tralasciando quelle più datate.

La localizzazione di tutti i punti di misura considerati è rappresentata nella Figura seguente, mentre nella Tabella 9 è presente il confronto tra i valori simulati e misurati.

N° rilievo	Indirizzo	Sorgente	Altezza microfono (m)	Periodo misura	Periodo diurno			Periodo notturno		
					Leq misurato	Leq simulato	Leq simulato - Leq misurato	Leq misurato	Leq simulato	Leq simulato - Leq misurato
1	via Treves, 29	strada (svincolo tangenziale)	2	18/06 - 19/06/2009	56.5	62.2	5.7	54	56.0	2.0
2	strada Lazzaretto, 39	strada (tangenziale)	3.5	22/09 - 23/09/2009	54	57.3	3.3	47	51.6	4.6
3	via Sonnino, 36	strada (svincolo tangenziale)	6	06/11 - 30/11/2010	64.2	62.0	-2.2	56.5	56.2	-0.3
4	via Del Bue, 6	strada (tangenziale)	8	05/11 - 29/11/2010	59.6	55.1	-4.5	51.9	49.8	-2.1
5	via Berzioli, 8	strada (tangenziale)	5	09/11 - 18/11/2010	56.9	56.7	-0.2	49.6	51.4	1.8
6*	via Paradigna, 55	strada (tangenziale)	10.5	16/11 - 25/11/2010	68.7	61.7	-7.0	62.9	55.6	-7.3
7	strada Vallazza, 23	strada (svincolo tangenziale)	4	17/11 - 15/12/2010	63.6	62.3	-1.3	58.4	59.3	0.9
8	via Berzioli (Istituto "La Salle")	strada (tangenziale)	1.5	15/12 - 16/12/2010	55.4	57.1	1.7	48	51.6	3.6
9	via Edison-Volta, 11	strada (tangenziale)	8	18/03 - 19/03/2009	64.5	62.0	-2.5	58	55.3	-2.7
10	strada Del Paullo, 31	strada (tangenziale)	10.5	17/03 - 18/03/2009	66	63.5	-2.5	58	57.2	-0.8
11	strada Argini, 10/1	strada (tangenziale)	15	14/10 - 15/10/2008	58.5	58.0	-0.5	50.5	52.9	2.4
12	via Decorati al valore militare, 13	strada (tangenziale)	15	15/07 - 17/07/2008	65	60.4	-4.6	58	54.1	-3.9
13	via Spezia, 199	strada (svincolo tangenziale)	6	08/07 - 10/07/2008	62.5	56.8	-5.7	56.5	51.4	-5.1
14	via Don Giovanni Drei, 9	strada (tangenziale)	4	01/07 - 02/07/2008	54.5	59.5	5.0	46.7	53.1	6.4

(*) *Rilievo eseguito prima dell'installazione di una barriera antirumore*

Tabella 9 – Confronto tra valori simulati e misurati

Come indicato dall'asterisco, uno dei rilievi eseguiti non va considerato valido ai fini della verifica di taratura del modello di simulazione, in quanto il rilievo è stato effettuato PRIMA dell'installazione di una barriera antirumore, che invece, ovviamente, è inclusa nella simulazione eseguita col programma Citymap, e dà dunque luogo a livelli calcolati significativamente inferiori a quelli misurati.

Verifica delle emissioni delle aree industriali

I punti di rilievo nei siti industriali rappresentati in Figura 22 sono stati inseriti con i rispettivi dati nel programma Citymap e sono quindi stati calcolati i valori simulati.

Il confronto tra valori simulati e misurati è riportato nella tabella seguente.

NOME DITTA	N° RILIEVO	Periodo diurno			Periodo notturno		
		Leq misurato	Leq simulato	Leq _{simul} - Leq _{misur}	Leq misurato	Leq simulato	Leq _{simul} - Leq _{misur}
Progeo Molini	1	46*	58.0	12.0	44.4*	54.5	10.1
	2	58.8	66.8	8.0	58.2	61.8	3.6
	3	56.3	59.1	2.8	55.7	55.3	-0.4
Bormioli	4	59.8	60.3	0.5	58.4	58.8	0.4
	5	64.4	66.5	2.1	62.2	64.8	2.6
	6	73.4	67.9	-5.5	69.6	66.5	-3.1
	7	73.7	74.2	0.5	73.4	73.3	-0.1
Barilla	8	62.2	63.5	1.3	56.7	57.9	1.2
	9	67	61.5	-5.5	59.5	49.2	-10.3
	10	71.5	70.9	-0.6	60.5	61.1	0.6
Elettrogalvanica Chiari	11	57.5	60.4	2.9	54	53.8	-0.2
	12	65.6	66.0	0.4		48.5	
Crown	13	60.3	58.9	-1.4		48.5	
	14	57.5	57.0	-0.5	54.5	52.8	-1.7
	15	56.5	53.8	-2.7	52.5	50.8	-1.7
Iren - Depuratore Parma Ovest	16	57.5	58.9	1.4	55.5	53.7	-1.8
	17	57.7	57.7	0.0	56.6	53.6	-3.0
Greci	18	59	60.2	1.2	54.4	55.8	1.4
	19	57.4	60.0	2.6	51.4	59.9	8.5
	20	68.6	65.3	-3.3	67.4	65.2	-2.2
	21	60.8	61.5	0.7	62.3	61.4	-0.9
Iren - Impianto teleriscaldamento via Lazio	22	68.8	68.6	-0.2	68.8	68.6	-0.2
	23	53	63.0	10.0	44*	64.3	20.3
	24	61	59.0	-2.0	55	59.2	4.2
	25	53	63.8	10.8	48	64.2	16.2
Zep Nicasil	26	46*	69.3	23.3	39*	70.8	31.8
	27	65.1	63.7	-1.4		50.8	
Zincomet	28	64.6	64.2	-0.4		50.7	
	29	64.1	66.3	2.2	59	60.6	1.6
Guazzi	30	59.3	61.2	1.9	48.7	55.3	6.6
	31	69.5	70.9	1.4	59.5	60.2	0.7
Cartiera Porporano	32	56.6	61.5	4.9	49.9	55.2	5.3
	33	55.8	56.2	0.4	53.5	55.3	1.8
Columbus	34	55.5	57.2	1.7	55.1	55.8	0.7
	35	48	47.9	-0.1	47.5	46.8	-0.7
	36	45.5	47.0	1.5	47.5	46.9	-0.6
	37	67	53.8	-13.2	67	53.8	-13.2
Emilcap - Consorzio agrario di Parma	38	58.5	46.4	-12.1	54.5	46.2	-8.3
	39	67.1	61.1	-6.0	59.8	61.3	1.5
	40	69.5	53.0	-16.5	58	46.1	-11.9
	41	55.3	58.3	3.0	47.5	50.7	3.2
Cromital	42	61.2	61.4	0.2	55.6	54.7	-0.9
	43	65.7	64.8	-0.9		57.4	
	44	62.4	68.4	6.0		69.4	

***valori anomali**

Tabella 10 – Confronto valori simulati/misurati relativi ai siti industriali

Calibrazione e stima del grado di accuratezza del modello

Per la calibrazione e la valutazione del grado di incertezza del modello, generato con le ipotesi e le approssimazioni descritte nei paragrafi precedenti, sono stati utilizzati i rilievi fonometrici descritti in precedenza, eseguiti da Comune/Università a seguito di esposti di cittadini: essi sono stati utilizzati come misure ricettore-orientate, come indicato nelle Linee Guida regionali.

Nella Tabella 9 sono riportati i livelli acustici ottenuti dalla simulazione inclusiva di tutte le tre diverse tipologie di sorgente (strade, industrie e ferrovia), confrontato con il valore misurato.

Per calibrare il modello si è agito su due parametri: la costante di propagazione del rumore β , portandola da 0,0033 a 0,0018 e l'anno medio di immatricolazione del parco veicolare che è stato abbassato al 2003, rispetto al 2008 iniziale, comportando un incremento di 2 dB nelle emissioni acustiche.

La media degli scarti al quadrato tra simulato e misurato risulta quindi (Tabella 11) minore di 1.5 dB come raccomandato dalle Linee Guida regionali

	ΔL_{eqday} [dBA]	$\Delta L_{eqnight}$ [dBA]
Media	-0.6	0.5
Media scarti al quadrato	0.4	0.3
Deviazione standard	3.9	3.9

Tabella 11 – Media, media degli scarti, degli scarti al quadrato e deviazione standard degli scostamenti tra livelli simulati e misurati

Per quanto riguarda invece la valutazione della accuratezza della simulazione nei punti di rilievo posizionati a breve distanza dalle sorgenti di rumore industriale (dati provenienti in gran parte dal sistema Monitorem), come riportato in tab. 10, si osserva che nella gran parte dei punti si ha un ottimo accordo fra valore simulato e valore misurato.

Tuttavia alcuni valori misurati paiono del tutto anomali ed inspiegabili (ad esempio laddove il livello diurno è molto diverso dal livello notturno, oppure dove i valori misurati sono inspiegabilmente bassi). Tali valori, indicati con un asterisco in tab. 10, non danno luogo a confronti sensati con i valori simulati, e non sono dunque indicativi di una impropria taratura del modello di emissione delle sorgenti industriali.

Risultati del calcolo in mappatura per punti

Oltre al tracciamento delle mappature isolivello sonoro, è stato anche operato un “calcolo per punti”, effettuato in corrispondenza di 19249 punti. Ciascuno di essi rappresenta un numero civico di un edificio abitato, al quale il sistema GIS del Comune di Parma associa le informazioni dell’anagrafe, ed in particolare del numero di residenti.

Dal calcolo delle mappe e per punti, pertanto, sono stati ottenute tre tipologie di risultato:

1. Distribuzione spaziale del livello sonoro (L_{den} ed L_{night}) sull’intero territorio comunale, ottenuta da una griglia di calcolo con passo di 10m x 10m;
2. Livelli di rumore in facciata degli edifici abitati, calcolato separatamente per le sorgenti stradali, ferroviarie e industriali, ed arrotondato all’intero più vicino;
3. Numero di residenti esposti (suddivisi in fasce di livello acustico con intervalli di 5 dB), arrotondato alle 100 unità.

Tali dati sono disponibili nei seguenti formati digitali:

1. .GRD risultato grezzi del calcolo operato con Citymap sulla griglia 10x10
2. .SHP Shape File in formato ESRC Arcview, contenenti la rappresentazione grafica delle mappature isolivello sonoro a colori
3. .xls risultati grezzi del calcolo per punti (19249 punti) riportati in foglio di lavoro Excel
4. .xls risultati riepilogativi del calcolo per punti nel formato Excel richiesto dalla Regione
5. Tabelle 12 e 13 seguenti, riportanti il numero degli abitanti esposti alle fasce di livello acustico per le diverse sorgenti, così come richiesto dal D. Lgs. 194/2005, per ciascun indicatore acustico.

LDEN				
Livello (dBA)	Rumore stradale (N° abitanti)	Rumore industriale (N° abitanti)	Rumore ferroviario (N° abitanti)	Rumore complessivo (N° abitanti)
< 50	2400	187800	173100	2000
50 - 54	10200	2000	11900	9800
55 - 59	77100	700	4100	72100
60 - 64	80800	0	1100	85500
65 - 69	19200	0	100	20000
70 - 74	900	0	100	1000
> 75	0	0	100	100

Tabella 12 – Residenti esposti alle fasce di rumore per l’indicatore L_{DEN}

LNIGHT				
Livello (dBA)	Rumore stradale (N° abitanti)	Rumore industriale (N° abitanti)	Rumore ferroviario (N° abitanti)	Rumore complessivo (N° abitanti)
< 45	4900	188500	176700	4200
45 - 49	16400	1700	9600	15000
50 - 54	118500	300	800	116100
55 - 59	46100	0	800	49900
60 - 64	4500	0	100	5200
65 - 69	100	0	100	200
70 - 74	0	0	100	100
> 75	0	0	0	0

Tabella 13 – Residenti esposti alle fasce di rumore per l’indicatore L_{NIGHT}

Alla presente relazione sono infine allegate numerose tavole, contenenti le seguenti rappresentazioni cartografiche:

- Mappe acustiche tematiche relative a rumore stradale, ferroviario, industriale
- Mappe acustiche strategiche, ottenute dalla somma energetica dei livelli acustici Lden e Lnight relativi a tutte le sorgenti.

Una copia in scala ridotta delle mappe acustiche strategiche è riportata nelle seguenti figure

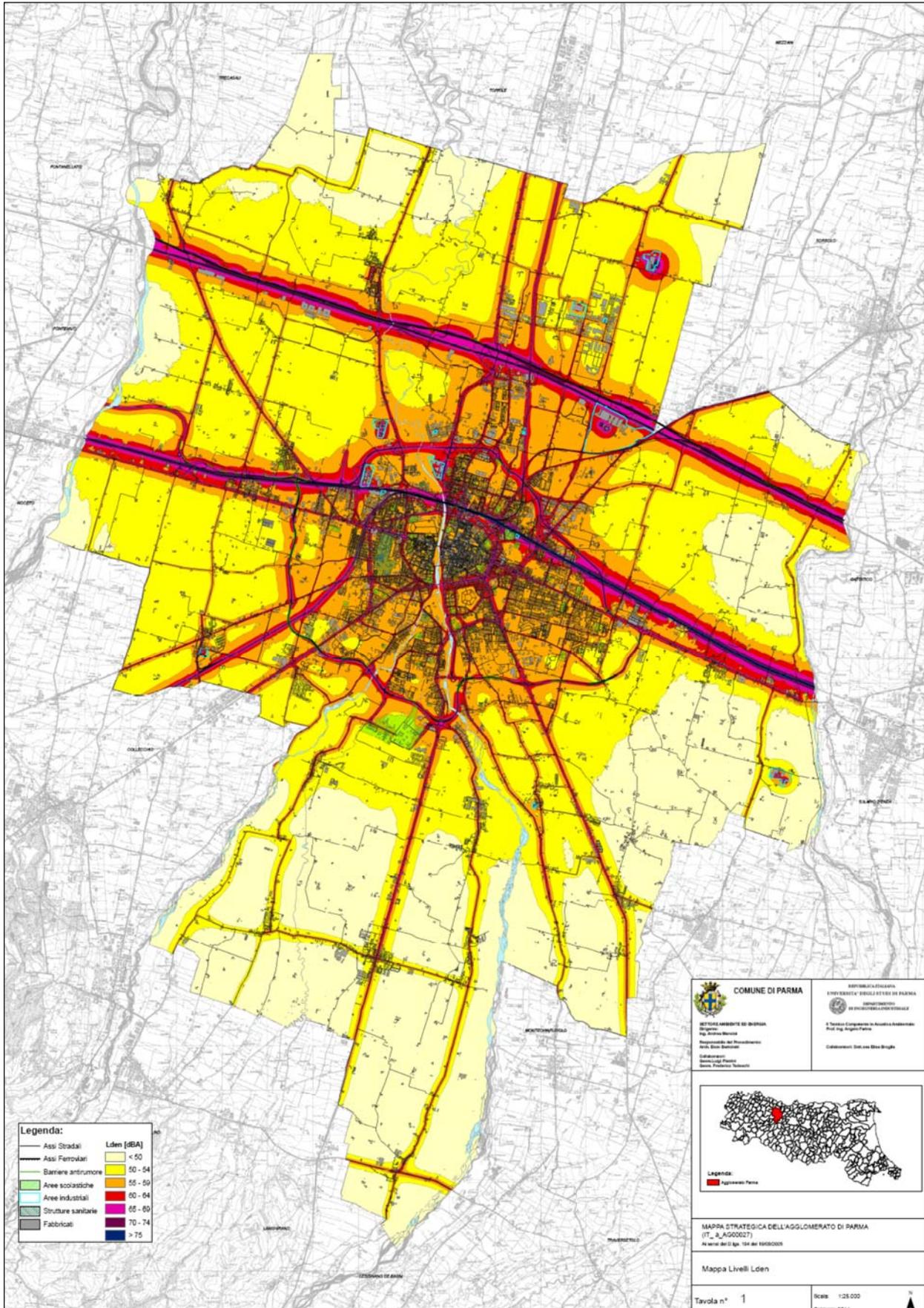


Figura 24 - Mappa acustica strategica Livelli Lden

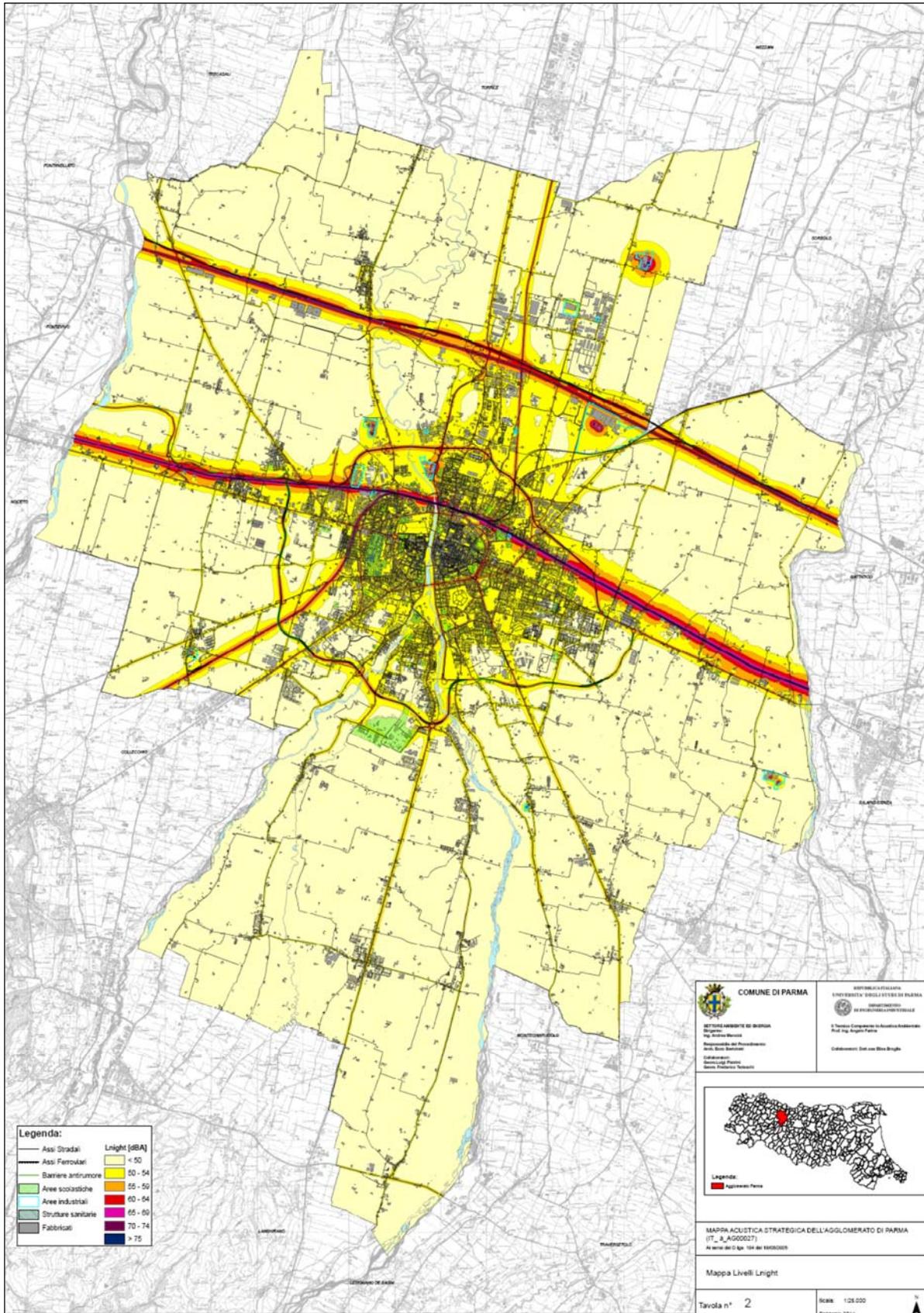


Figura 25 - Mappa acustica strategica Livelli Lnight