



Valutazione di Impatto Acustico Della nuova strada di collegamento di tipo “F” fra via Paradigna e via Asolana

1. Premessa

Prima di procedere all’esposizione dei contenuti tecnici, appare utile, nella presente premessa, fornire una breve indicazione degli scopi degli interventi viabilistici e degli scenari futuri che si andranno a realizzare.

La problematica che gli interventi qui valutati vuole andare a risolvere è costituita dal difficoltoso collegamento fra la strada Asolana, immediatamente a Nord del casello A1 di Parma, e via Paradigna. La nuova strada consentirà di evitare che il traffico in uscita dal casello A1 percorra le strade urbane di collegamento fra l’Asolana e via Paradigna stessa, come accade attualmente. Questo intervento assume particolare rilevanza, inoltre, in funzione della prossima apertura del centro vendita IKEA di Parma, che richiamerà un cospicuo flusso veicolare, durante gli orari di apertura, come ampiamente documentato nel documento di valutazione di impatto sulla componente acustica presentato da IKEA, assieme allo Studio di accessibilità e di impatto da traffico indotto - Area di studio “località Ugozzolo”, redatto da CITRA srl, che verrà pure nel seguito ripetutamente citato (indicato semplicemente come “studio trasportistico CITRA”).

La nuova strada di collegamento è stata progettata in modo da consentire un agevole flusso veicolare in entrambe le direzioni, opportunamente regolato da ampie rotatorie sia sull’Asolana che su via Paradigna. Il tracciato ricalca sostanzialmente quello dell’esistente pista di cantiere realizzata per i lavori di costruzione della linea AV MI-BO, e conseguentemente si tratta in sostanza di un adeguamento e riutilizzo a fini pubblici di un percorso stradale già esistente, utilizzato sinora unicamente per il transito di mezzi di cantiere.

Lo studio acustico qui contenuto analizza due diversi scenari

- Scenario 0: “stato di fatto”;
- Scenario 1: “stato di progetto”.

2. Contenuti

La presente Valutazione di Impatto Acustico contiene tutti i contenuti previsti nel documento:

“Criteri tecnici per la redazione della DOCUMENTAZIONE DI PREVISIONE DI IMPATTO ACUSTICO e della VALUTAZIONE PREVISIONALE DEL CLIMA ACUSTICO” (D.G.R. n. 673 del 14/04/04, e pubblicata sul B.U.R. n. 54 del 28.04.2004).

In particolare, il documento suddetto richiede che una valutazione di impatto acustico contenga:

- a) planimetria aggiornata indicante le destinazioni urbanistiche delle zone e relativi usi consentiti per un intorno sufficiente a caratterizzare gli effetti acustici dell’opera proposta;

- b) individuazione, sulla planimetria di cui al punto precedente, dei ricettori¹ presenti, con relativi usi, altezze rispetto al piano campagna e valori limite desumibili dalla classificazione acustica comunale. In caso di assenza della zonizzazione acustica del territorio comunale nelle sei classi di cui al D.P.C.M. 14/11/1997, l'attribuzione delle classi acustiche dovrà essere desunta dai criteri stabiliti dalla D.G.R. 9 ottobre 2001, n.2053, pubblicata sul B.U.R. della Regione Emilia-Romagna n.155 del 31/10/2001;
- c) nel caso di infrastrutture di trasporto, eventuale indicazione delle fasce di pertinenza dell'infrastruttura e dei valori limite applicabili al loro interno;
- d) la caratterizzazione o la descrizione acustica delle sorgenti sonore, i calcoli relativi alla propagazione del suono, la caratterizzazione acustica di ambienti esterni o abitativi, le caratteristiche acustiche degli edifici e dei materiali impiegati;
- e) le modalità d'esecuzione e le valutazioni connesse ad eventuali rilevazioni fonometriche;
- f) le valutazioni di conformità alla normativa dei livelli sonori dedotti da misure o calcoli previsionali;
- g) per i modelli di calcolo utilizzati, la descrizione del modello medesimo, l'accuratezza della stima dei valori dei livelli sonori, i dati di input utilizzati e l'analisi dei risultati ottenuti dal calcolo previsionale;
- h) qualora già in fase di progetto vengano previsti sistemi di mitigazione e riduzione dell'impatto acustico, la descrizione degli stessi, fornendo altresì ogni informazione utile a specificarne le caratteristiche e ad individuarne le proprietà di riduzione dei livelli sonori nonché il grado di attenuazione previsto presso i punti individuati nell'ambiente esterno o presso i potenziali ricettori considerati.

Inoltre, nel caso di valutazioni riferite ad infrastrutture di trasporto stradale, viene anche richiesto:

- a') indicazione della tipologia di strada secondo le categorie individuate dal D.lgs. 285/92 e successive modifiche ed integrazioni e dei dati identificativi del soggetto proponente, del soggetto gestore, dei territori comunali che saranno attraversati o interessati dal rumore causato dall'infrastruttura;
- b') descrizione del tracciato stradale in pianta, delle quote della sede stradale, delle caratteristiche dei flussi di traffico previsti. Devono essere forniti i dati relativi al traffico nelle ore di punta, al traffico medio giornaliero, su base settimanale, previsto per il periodo diurno e per il periodo notturno, alla composizione percentuale per le diverse categorie di mezzi pesanti, autocarri, autoveicoli, motocicli ed alla velocità prevista. Per le strade di tipo E e F, deve essere prodotta la stima dei livelli sonori attesi ai ricettori maggiormente esposti, ottenibile anche con le comuni procedure di calcolo disponibili in letteratura;
- c') indicazione delle eventuali modifiche sui flussi di traffico e indicazione, tramite stime previsionali, delle eventuali variazioni nei valori dei livelli equivalenti di lungo termine (LAeq, TL), per intervalli orari significativi e per i due periodi della giornata, causate dall'infrastruttura in corrispondenza ad arterie stradali già in esercizio;
- d') indicazione sulle planimetrie predisposte e mediante coordinate georeferenziate, (con eventuali fotografie anche aeree o altro materiale ritenuto idoneo), di un numero di punti adeguati allo scopo di descrivere l'impatto acustico dell'opera in prossimità di potenziali ricettori. Inoltre dovrà essere descritta la propagazione sonora verso gli spazi circostanti, attraverso la determinazione delle curve di

¹ per ricettore si intende: qualsiasi edificio adibito ad ambiente abitativo (come definito dalla L. n. 447/1995) comprese le relative aree esterne di pertinenza, o ad attività lavorativa o ricreativa; aree naturalistiche vincolate, parchi pubblici e aree esterne destinate ad attività ricreative e allo svolgimento della vita sociale della collettività; aree territoriali edificabili già individuate dai vigenti strumenti urbanistici e loro varianti.

isolivello individuabili ad una altezza dal suolo di quattro metri. Per i punti sopra descritti, devono essere forniti i dati previsionali dei livelli sonori desumibili attraverso le più opportune procedure di calcolo;

e') dati fonometrici derivanti da misurazioni effettuate prima della costruzione per l'intera area considerata ai fini della valutazione della propagazione sonora e per i punti corrispondenti alle posizioni significative di cui alla lettera d) che precede. Tali dati devono permettere l'individuazione e caratterizzazione acustica delle singole sorgenti sonore già presenti e quindi preesistenti rispetto all'opera.

2) I dati previsionali dovranno riferirsi a scenari ad uno e a dieci anni dopo l'entrata in esercizio del tratto di infrastruttura stradale interessata. I valori previsti (post-operam) devono essere riferiti sia ai singoli punti che all'intero spazio considerato attraverso le curve di isolivello. I parametri descrittivi del rumore, oltre al L_{Aeq} , potranno essere costituiti da indicatori specifici o altri livelli sonori utili a descrivere l'immissione sonora da traffico veicolare.

Nel seguito si analizzano in sequenza tutti i punti suddetti, fornendo per ciascuno di essi le informazioni e gli elaborati tecnici richiesti.

a) Planimetria aggiornata indicante le destinazioni urbanistiche

La allegata tavola n. 1 riporta, in formato A3, lo strumento urbanistico vigente (PSC).

La realizzazione delle opere viarie qui valutate non comporta la necessità di effettuare significative modifiche allo strumento pianificatorio, a parte ovviamente le porzioni di territorio che saranno oggetto di esproprio a fini di pubblica utilità.

Una visione di dettaglio della infrastruttura stradale cui si riferisce la presente valutazione è visibile in allegato, nella tavola n. 3.

b) Classificazione acustica dei recettori

La allegata tavola n. 2 riporta, in formato A3, la zonizzazione acustica recentemente approvata dal Comune di Parma come allegato al PSC stesso.

Le aree interessate dalla nuova opera viaria sono tutte classificate in classe IV. Esiste un unico recettore significativo, costituito dalla villa posta in fregio alla nuova strada di collegamento. Esso è conseguentemente già adesso classificato in classe IV, e tale classificazione non è destinata a subire variazioni a seguito della realizzazione dell'opera qui valutata.

c) Fasce di pertinenza dell'infrastruttura di trasporto.

Sulla base della tabella 2 contenuta nel vigente DPR 30 Marzo 2004, n. 142, si osserva che le due strade esistenti che interagiscono con la nuova bretella stradale sono rispettivamente:

- Strada Asolana: strada di categoria C, cioè strada extraurbana principale.
- Via Paradigna: strada di categoria Db, cioè strada urbana di scorrimento.

Pertanto tutti i recettori collocati in prossimità di tali strade ricadono entro una fascia di pertinenza di ampiezza pari a m 100 prevista dal decreto suddetto.

Si osserva comunque che i limiti di rumorosità vigenti entro tale fascia, pari rispettivamente a 65 dB(A) diurni e 55 dB(A) notturni, coincidono esattamente con i limiti assoluti di immissione derivanti dalla zonizzazione acustica adottata dal Comune di Parma, che è già stata illustrata al precedente punto b), e che è visibile nella allegata tavola n. 2.

d) Caratterizzazione della sorgente sonora

L'emissione sonora da parte delle infrastrutture stradali è causata dal transito dei veicoli. Pertanto la caratterizzazione dell'emissione sonora coincide con lo studio dei flussi veicolari. Si riportano a questo proposito una serie di informazioni derivanti sia da conteggi automatizzati dei flussi effettuati in apposite sezioni di rilevamento posizionate nell'intorno delle intersezioni fra le strade oggetto degli interventi, sia dalle simulazioni effettuate da CITRA nel corso della redazione dello studio trasportistico già citato.

Questi dati di flusso, relativi sia allo stato di fatto, sia ai due scenari di progetto sono state "date in pasto" al sistema di simulazione acustica Citymap, che ha prodotto una stima del Livello Sonoro di Emissione (a 7.5m di distanza) di ciascun arco viario. Per quanto riguarda la descrizione del funzionamento del programma Citymap, si rimanda all'allegato B.

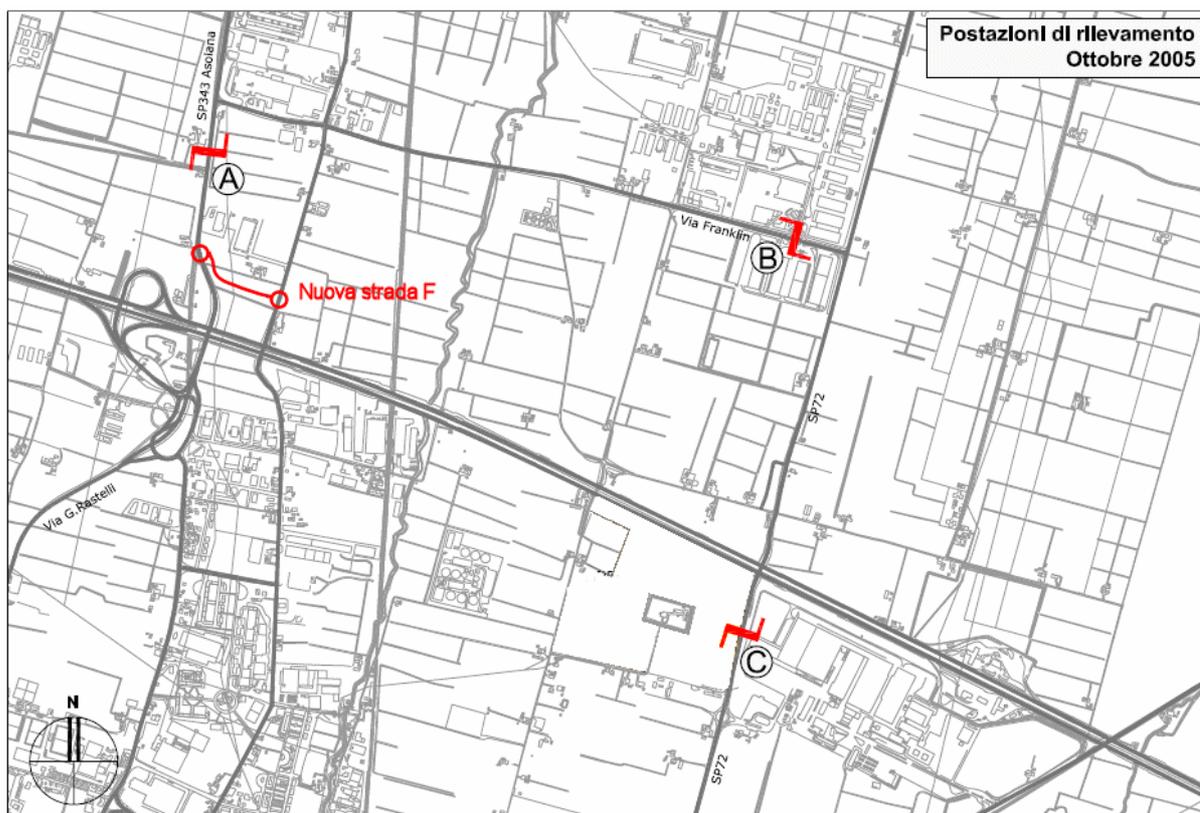
Vengono anzitutto qui riportati i risultati dei conteggi automatizzati di flusso effettuati nel mese di ottobre 2005.

Le misure di traffico sono state eseguite con apparecchi contaveicoli ad immagine magnetica del tipo Nu-metrics HI-STAR NC-97 (piastre), in grado di rilevare la variazione del campo magnetico terrestre e di risalire all'immagine della massa del veicolo transitante. Per ciascuna direzione di marcia, oltre al volume di traffico (numero di veicoli), gli apparecchi hanno consentito di rilevare la lunghezza e quindi di stabilire la tipologia dei veicoli (leggeri o pesanti).

I rilevamenti automatici si sono protratti per una settimana consecutiva, compresa tra venerdì 30 settembre e giovedì 6 ottobre 2005, e hanno interessato 3 sezioni stradali, più precisamente:

- sezione A, posta sulla SP-exSS343 Asolana tra l'autostrada e l'intersezione con via Forlanini;
- sezione B, ubicata in via Franklin in prossimità dell'intersezione con la SP72;
- sezione C, posta sulla SP72 in corrispondenza dello stabilimento Barilla a Sud dell'autostrada A1 Milano-Bologna.

La seguente figura mostra la posizione planimetrica delle 3 sezioni di rilievo con contaflusso automatici:

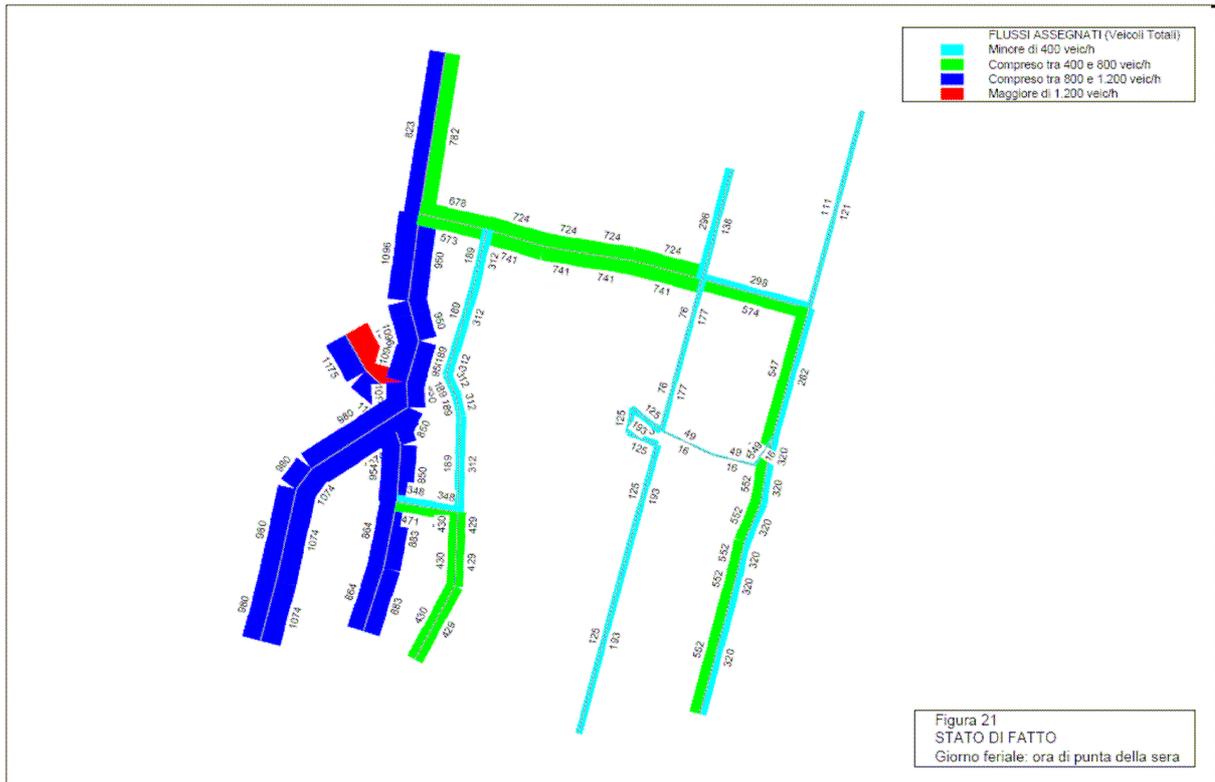


Ai fini del presente studio risulta rilevante soprattutto la sezione A. I risultati dei conteggi su tale sezione sono riportati nella seguente tabella:

PARMA - SEZIONE A - SP343 ASOLANA												
	Direzione: DIR. NORD				Direzione: DIR. SUD				TGM TOTALE			
	Leggeri	Pesanti	% Pes.	Totale	Leggeri	Pesanti	% Pes.	Totale	Leggeri	Pesanti	% Pes.	Totale
Lunedì 3 ottobre 2005	11.432	1.598	12,3%	13.030	11.318	1.141	9,2%	12.459	22.750	2.739	10,7%	25.489
Martedì 4 ottobre 2005	11.500	1.730	13,1%	13.230	11.488	1.227	9,7%	12.715	22.988	2.957	11,4%	25.945
Mercoledì 5 ottobre 2005	11.466	1.679	12,8%	13.145	11.404	1.250	9,9%	12.654	22.870	2.929	11,4%	25.799
Giovedì 6 ottobre 2005	11.559	1.698	12,8%	13.257	11.363	1.299	10,3%	12.662	22.922	2.997	11,6%	25.919
Venerdì 30 settembre 2005	12.041	1.739	12,6%	13.780	12.308	1.267	9,3%	13.575	24.349	3.006	11,0%	27.355
Giorno Feriale Medio	11.600	1.689	12,7%	13.288	11.576	1.237	9,7%	12.813	23.176	2.926	11,2%	26.101
Sabato 1 ottobre 2005	9.627	477	4,7%	10.104	9.764	352	3,5%	10.116	19.391	829	4,1%	20.220
Domenica 2 ottobre 2005	7.310	148	2,0%	7.458	6.700	120	1,8%	6.820	14.010	268	1,9%	14.278

A partire dai dati rilevati e dalle informazioni già disponibili derivanti dal PUT del Comune di Parma (2004), dal PTCP della Provincia di Parma (2004), dalla Società Autostrade (2000, 2004, 2006) e dal PSC (2005), CITRA ha elaborato una simulazione dei flussi sulla intera rete stradale, sia nello scenario 0 (ante operam) sia nello scenario 1 (di progetto).

I seguenti flussogrammi illustrano graficamente i flussi nell'ora di punta della sera per i due scenari analizzati.

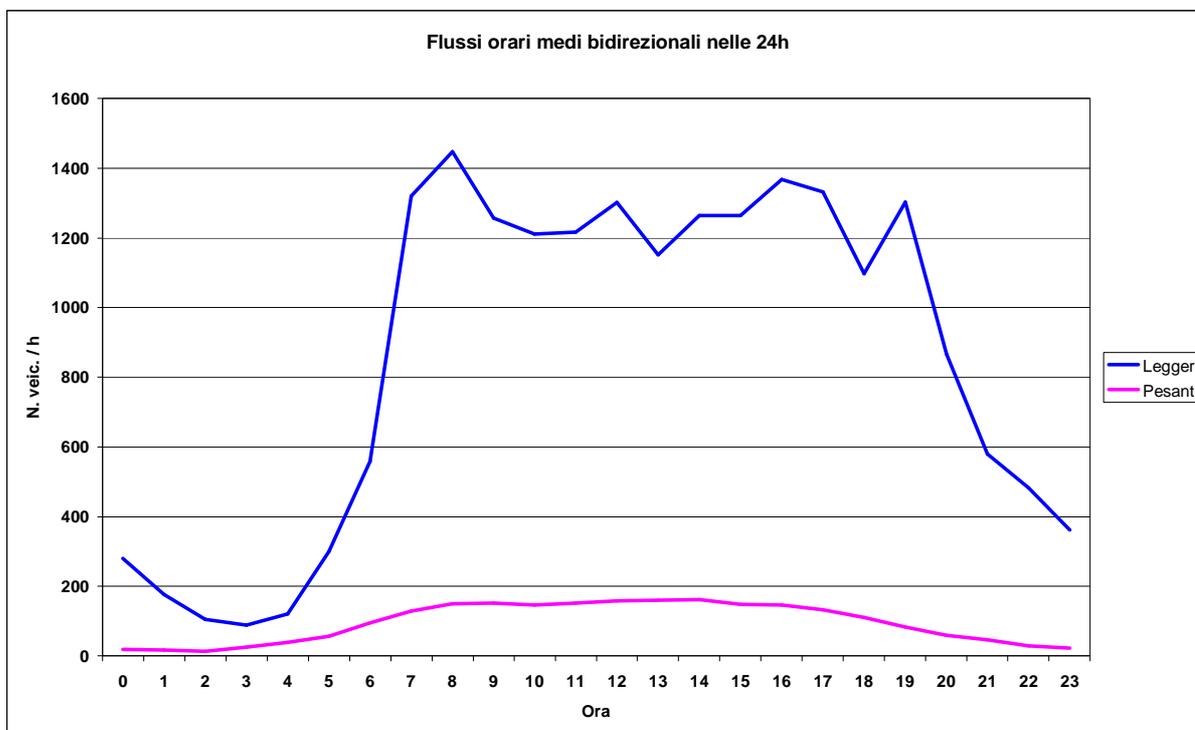


d') Dai dati di traffico ai dati di emissione acustica

I dati sin qui riportati sono relativi al flusso di “veicoli equivalenti” riferito all’ora di punta (che è al mattino nella situazione ante-operam ed alla sera nella situazione di progetto). Per le valutazioni di impatto acustico occorre invece disporre di dati riferiti all’intero periodo diurno e notturno, e disaggregati per tipologie veicolari (veicoli leggeri, pesanti, motocicli,

etc.). Si tratta dunque di estrapolare queste informazioni, sulla base del confronto fra i dati di conteggio veicolare e le simulazioni elaborate da CITRA e sopra riportate.

Fortunatamente nelle 3 sezioni di conteggio dei flussi sono stati rilevati anche i flussi veicolari disaggregati ora per ora e suddivisi fra veicoli leggeri e pesanti. La seguente figura mostra il profilo giornaliero medio del flusso orario di veicoli leggeri e pesanti nella sezione A (strada Asolana):



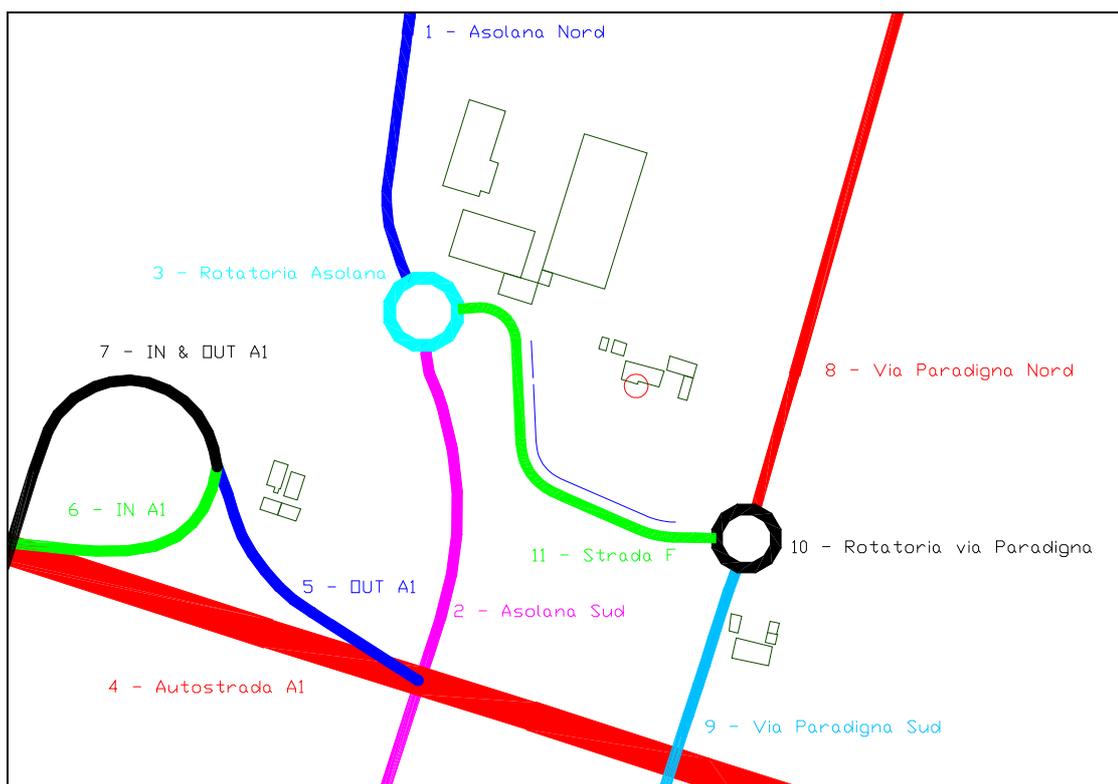
Questo ha consentito di determinare i rapporti esistenti fra i flussi veicolari dell'intero periodo diurno e notturno ed il flusso di veicoli equivalenti nell'ora di punta, che sono riportati nella seguente tabella:

Rapporto fra flusso veicolare per l'intero periodo e flusso di veicoli equivalenti nell'ora di punta.

	Leggeri	Pesanti
Giorno	8.994	1.013
Notte	1.086	0.103

Conoscendo tali valori, supposti invariati per tutte le strade circostanti, con esclusione ovviamente dell'autostrada A1, è stato possibile stimare i dati di input richiesti dal programma Citymap.

In particolare, per le simulazioni acustiche si è fatto impiego di una porzione ridotta del flussogramma complessivo, in quanto in questa sede interessano solo gli effetti acustici locali in un intorno abbastanza limitato del territorio circostante la nuova bretella stradale. La seguente figura mostra lo schema delle strade utilizzate nella simulazione acustica:



Schema delle strade utilizzate nella simulazione acustica con Citymap

Le seguenti due tabelle riportano infine i flussi veicolari stimati per ciascun arco stradale in ciascuno dei due scenari considerati.

Flussi veicolari e velocità in km/h – scenario 0 (stato di fatto)

N.	Nome	Legg. G	Pes. G	Legg. N	Pes. N	Vel. L	Vel. P
1	Asolana Nord	18401	2072	2222	211	50-70	50-70
2	Asolana Sud	18401	2072	2222	211	50-70	50-70
3	Rotatoria Asolana	9201	1036	1111	105	0-30	0-30
4	Autostrada A1	28800	7520	5240	1798	> 110	90-110
5	OUT A1	2684	1079	146	160	30-50	30-50
6	IN A1	2856	1148	156	170	30-50	30-50
7	IN & OUT A1	5540	2227	302	329	30-50	30-50
8	Via Paradigna Nord	4506	507	544	52	50-70	50-70
9	Via Paradigna Sud	4506	507	544	52	50-70	50-70

Flussi veicolari e velocità in km/h – scenario 1 (stato di progetto)

N.	Nome	Legg. G	Pes. G	Legg. N	Pes. N	Vel. L	Vel. P
1	Asolana Nord	19453	2191	2349	223	50-70	50-70
2	Asolana Sud	15842	1784	1913	181	50-70	50-70
3	Rotatoria Asolana	19444	2190	2348	223	0-30	0-30
4	Autostrada A1	28800	7520	5240	1798	> 110	190-110
5	OUT A1	3023	1215	165	180	30-50	30-50
6	IN A1	3198	1286	174	190	30-50	30-50
7	IN & OUT A1	6221	2501	339	370	30-50	30-50
8	Via Paradigna Nord	8409	947	1015	96	50-70	50-70
9	Via Paradigna Sud	10010	1127	1209	115	50-70	50-70
10	Rotatoria Paradigna	8067	908	974	92	0-30	0-30
11	Nuova strada F	12645	1424	1527	145	50-70	50-70

e) Rilevazioni fonometriche

Presso l'unico recettore residenziale significativo individuato, costituito dalla villa di proprietà dei sig.ri Marcotti, posta in fregio alla nuova strada di collegamento, è stato effettuato un rilievo fonometrico della durata di circa 5 giorni. Per la precisione il rilievo ha avuto inizio il 28 maggio 2008 alle 17.58 ed ha avuto termine il 2 giugno 2008 alle 17.58.



Fig. 1 - Postazione di misura presso il recettore.

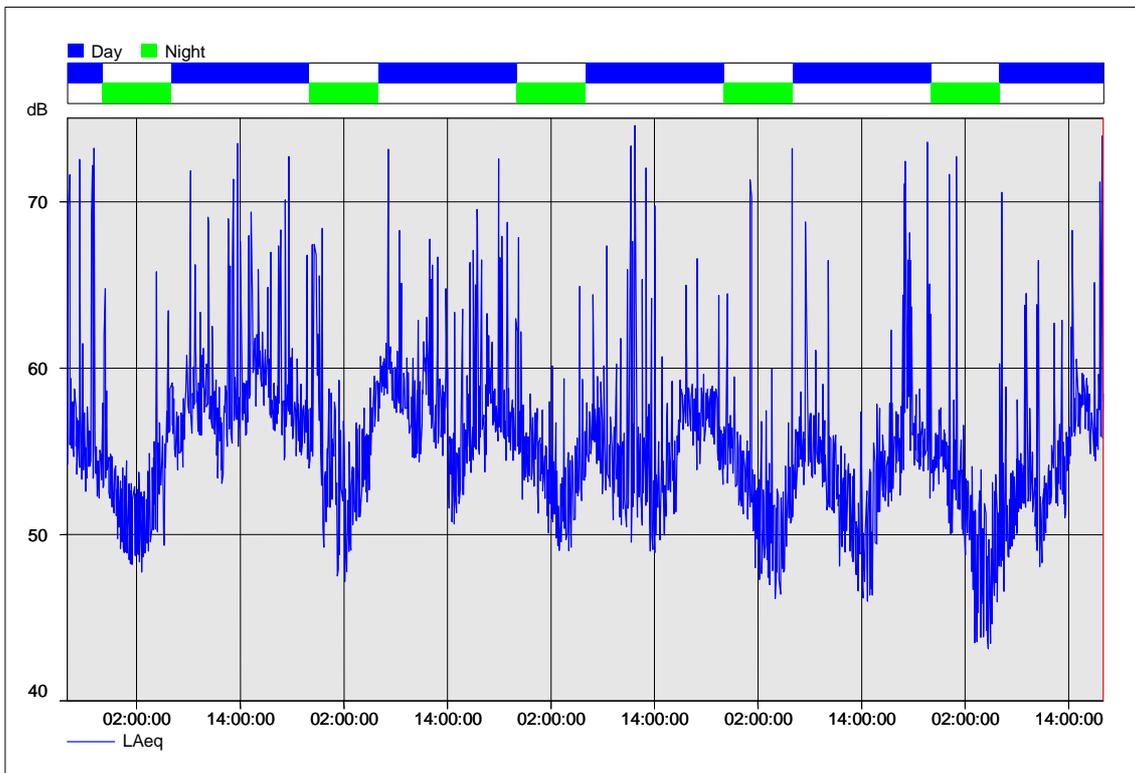


Fig. 2 - Profilo temporale del livello sonoro L_{eq} in dB(A) rilevato nella postazione di misura.

Nel corso del rilievo le condizioni metereologiche sono state variabili, ed in particolare si sono verificati dei temporali notturni, che hanno probabilmente innalzato leggermente i valori di livello sonoro misurati. In particolare, la notte fra il gio 29 maggio ed il ven 30 maggio c'è stata una vera e propria tempesta, con tuoni e pioggia scrosciante, che ha portato ad una evidente sovrastima del livello sonoro esistente, per cui si è esclusa tale notte "anomala" dal calcolo.

La seguente tabella riporta i risultati del rilievo:

Risultati dei rilievi fonometrici presso il recettore residenziale (sig. Marcotti)

Day	Period	Start time	End time	Duration	LAeq [dB]
Merc	DAY	28/05/2008 17:58	28/05/2008 22:00	04:01:11	58.8
Merc-Giov	NIGHT	28/05/2008 22:00	29/05/2008 06:00	08:00:00	53.7
Giov	DAY	29/05/2008 06:00	29/05/2008 22:00	16:00:00	59.5
Giov-Ven	NIGHT	29/05/2008 22:00	30/05/2008 06:00	08:00:00	57.0
Ven	DAY	30/05/2008 06:00	30/05/2008 22:00	16:00:00	59.0
Ven-Sab	NIGHT	30/05/2008 22:00	31/05/2008 06:00	08:00:00	54.6
Sab	DAY	31/05/2008 06:00	31/05/2008 22:00	16:00:00	57.2
Sab-Dom	NIGHT	31/05/2008 22:00	01/06/2008 06:00	08:00:00	55.0
Dom	DAY	01/06/2008 06:00	01/06/2008 22:00	16:00:00	56.9
Dom-Lun	NIGHT	01/06/2008 22:00	02/06/2008 06:00	08:00:00	54.0
Lun	DAY	02/06/2008 06:00	02/06/2008 17:58	11:58:49	57.3

Da tali valori sono stati ottenuti i seguenti valori medi:

Valori Medi	LAeq [dBA]
DAY	58.2
NIGHT	54.4

f) Verifica di conformità ai limiti vigenti

Considerando che gli attuali limiti di rumorosità, intesi sia come limiti di zona della classificazione acustica del territorio, sia come limiti di pertinenza per le infrastrutture stradali, sono comunque pari a 65 dB(A) diurni e 55 dB(A) notturni, si osserva che la rumorosità dello stato di fatto, seppur di poco, **rientra nei limiti** suddetti.

Si osserva inoltre che la differenza fra rumorosità diurna e notturna è poco meno di 4 dB(A). Una tale differenza è considerata modesta, solitamente in ambito urbano si verificano differenze giorno-notte di almeno 5-6 dB(A). Su questo risultato evidentemente incide pesantemente il contributo della rumorosità generata dalla autostrada A1, il cui traffico notturno, soprattutto pesante, rimane molto sostenuto.

g) Descrizione e validazione del modello di calcolo

Si allega alla presente relazione un documento descrittivo del programma Citymap, impiegato per i calcoli acustici (allegato B): esso comprende anche la descrizione delle prove di validazione cui il modello stesso è stato impiegato, con una stima dell'errore in alcuni casi esemplificativi.

h) Descrizione delle opere di mitigazione già incorporate nel progetto

Il progetto prevede un argine antirumore che corre lungo tutto lo sviluppo della nuova strada di collegamento, e che fungerà anche da efficace mitigazione contro il rumore generato

dalla autostrada A1. Poiché a parità di area occupata in pianta l'altezza effettiva dipende dal valore dell'angolo di attrito limite del terreno, che non è mai noto con precisione, in questa sede si sono effettuati i calcoli con tre valori di altezza del terrapieno: 5m, 6m e 7m. In questo modo si copre tutto il possibile range di altezze che si possono verificare, mantenendo invariata l'area di occupazione in pianta, che rimane quella indicata in progetto.

Si deve sottolineare come, sebbene con ogni probabilità l'argine avrà una altezza effettiva maggiore, già con l'argine di 5m si ottiene una significativa riduzione della rumorosità al recettore, ed il rispetto dei limiti di legge con adeguato margine cautelativo.

Ulteriore attenuazione potrebbe poi venire esplicita da una adeguata forestazione dell'argine stesso, ma essa non è stata considerata in questa sede, considerando il tempo necessario per la crescita della vegetazione e la potenziale caducità foliare nei mesi invernali.

a') Identificazione e classificazione dell'infrastruttura

Ai sensi dell'art. 2 del D.L. 30 aprile 1992, n. 285 (Codice della Strada) e successive modifiche, l'infrastruttura oggetto della valutazione di impatto è da considerarsi di categoria F:

F) STRADA URBANA LOCALE: strada urbana od extraurbana opportunamente sistemata ai fini di cui al comma 1 non facente parte degli altri tipi di strade.

Soggetto proponente per la costruzione della nuova strada è il Comune di Parma, assessorato ai Lavori Pubblici. Responsabile del procedimento è l'ing. Mancini del Comune di Parma.

Gestore dell'infrastruttura di trasporto è sarà sempre il Comune di Parma. L'opera qui considerata fa parte integralmente del Comune di Parma, e non interessa in alcun modo i comuni limitrofi.

b') Tracciato stradale, dati di traffico, livelli ai recettori più esposti

Le informazioni sul tracciato stradale, sui flussi di traffico attuali e di progetto, sia sull'infrastruttura in oggetto, sia sulla rete circostante, sono state fornite con dettaglio e dovizia di particolari al precedente punto d).

Nel successivo punto d') vengono poi riportati i risultati dei calcoli dei livelli di rumorosità presso i recettori più esposti, sia nello stato di fatto che in quello di progetto.

c') Modifica ai flussi veicolari causata dall'opera

Viene richiesto di fornire una stima degli effetti acustici causati dalla modificazione del flusso stradale riferiti a scenari futuri proiettati dopo uno e dopo 10 anni dal completamento dell'opera progettata.

Anche in questo caso adeguate informazioni sulla modifica prevista dei flussi di traffico sono già inserite al punto d) sovrastante.

Non sono attualmente disponibili informazioni che possano portare ad una ragionevole stima dei flussi su periodi di tempo più lunghi. Sperare di sapere quali saranno i flussi fra 10-15 anni sulla base dei "trend" del passato è assolutamente utopistico, e peraltro abbastanza fuorviante, in quanto è più che probabile che fra 10 anni i veicoli circolanti saranno molto diversi da quelli attuali, e pertanto i modelli matematici andranno completamente ritirati.

Si deve, infatti, osservare che il modello qui impiegato, Citymap, si basa su dati di emissione rilevati in una vasta serie di campionamenti fonometrici effettuati nel 1995, come dettagliatamente riportato nel documento allegato. Tali dati di emissione sono diventati "vecchi" nel giro di pochi anni, soprattutto con riferimento al parco veicolare circolante nelle città del Nord Italia: allorché il programma Citymap è stato impiegato per la mappatura acustica della città di Merano, nel 2000, si sono riscontrate sovrastime dei livelli sonori di 4 –

5 dB(A), ed è stato pertanto necessario ritardare il modello stesso con l'effettuazione di una nuova, vasta campagna di rilevamento [5,6,7].

I dati di taratura derivanti dallo studio di Merano sono stati recentemente verificati essere congrui anche con il parco veicolare attualmente circolante nella città di Parma: infatti nel Progetto Pilota del Piano di Risanamento Acustico del Comune di Parma, svolto nel 2003, si è verificato che i dati di emissione "Merano 2000" forniscono una corretta valutazione dell'emissione dei veicoli circolanti sulle tangenziali di Parma.

Non è in generale possibile sapere se l'evoluzione delle emissioni rumorose dei veicoli stradali continuerà come è accaduto nel quinquennio 1995-2000: risulta conseguentemente impossibile effettuare una seria valutazione dello scenario acustico riferito al 2018, visto che, da un lato, la mobilità dei cittadini potrebbe cambiare in modo considerevole (anche grazie al potenziamento delle infrastrutture di trasporto pubblico, quali la metropolitana), e risulta dunque impossibile prevedere i flussi veicolari, e dall'altro l'emissione sonora di tali futuri veicoli potrebbe essere drasticamente inferiore di quella attuale (se si manterrà il trend di diminuzione di 5 dB ogni 10 anni).

Sulla base delle considerazioni suddette e dei trend in atto, tutto lascia supporre, comunque, che la situazione sia destinata a migliorare progressivamente nel tempo, e quindi che la condizione critica, dal punto di vista dell'impatto acustico, sarà quella che si verrà a realizzare subito dopo il termine dei lavori, e che è rappresentata dallo scenario "di progetto" utilizzato in questo studio.

d') Calcolo dei livelli sonori per punti

La tav. 3 riporta la posizione planimetrica dell'unico punto recettore preso in esame.

Tale posizionamento è reso maggiormente evidente tramite l'aerofoto riportata in tavola 4, che consente di visualizzare la tipologia edilizia del recettore. Comunque, onde valutare esattamente le condizioni d'uso degli edifici suddetti, è stato operato un sopralluogo con rilievo fotografico a quota di campagna.

Con riferimento al recettore suddetto, ed in particolare all'esatta posizione corrispondente al punto in cui era posizionato il microfono per i rilievi fonometrici, collocato alla quota di m 4.0 sopra il piano di campagna, è stato operato il calcolo, con il programma Citymap, relativo allo stato di fatto ed allo scenario di progetto, inizialmente senza opere di mitigazione.

La seguente tabella riporta i risultati del calcolo eseguito.

Leq,day (s.fatto)	Leq,night (s.fatto)	Leq,day (prog. 1)	Leq,night (prog. 1)
58.2	54.4	62.8	58.0

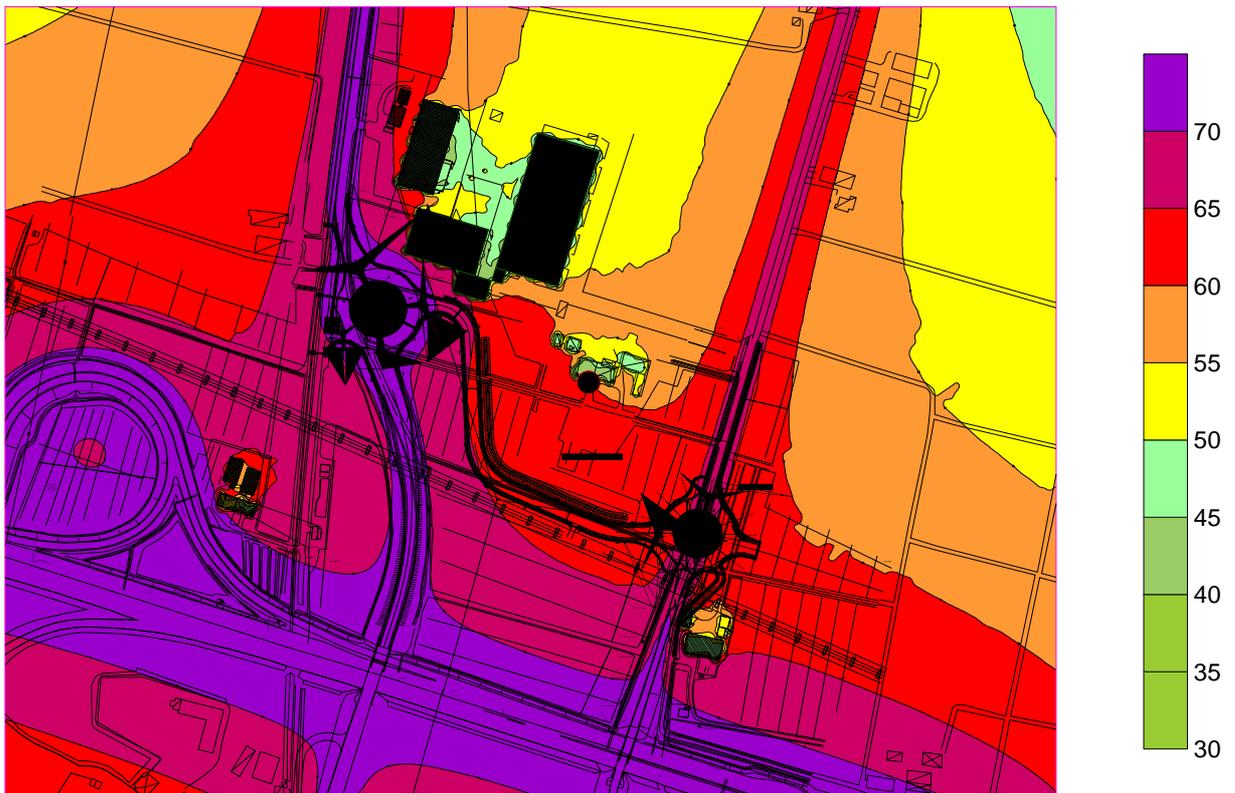
Il calcolo è poi stato ripetuto considerando anche la presenza della duna antirumore descritta al precedente punto g), valutando l'effetto di diverse altezze della stessa. La seguente tabella riporta tali risultati.

h duna (m)	Leq,day (s.fatto)	Leq,night (s.fatto)	Leq,day (prog. 1)	Leq,night (prog. 1)
5	58.2	54.4	58.9	54.0
6	58.2	54.4	58.1	53.0
7	58.2	54.4	57.5	52.4

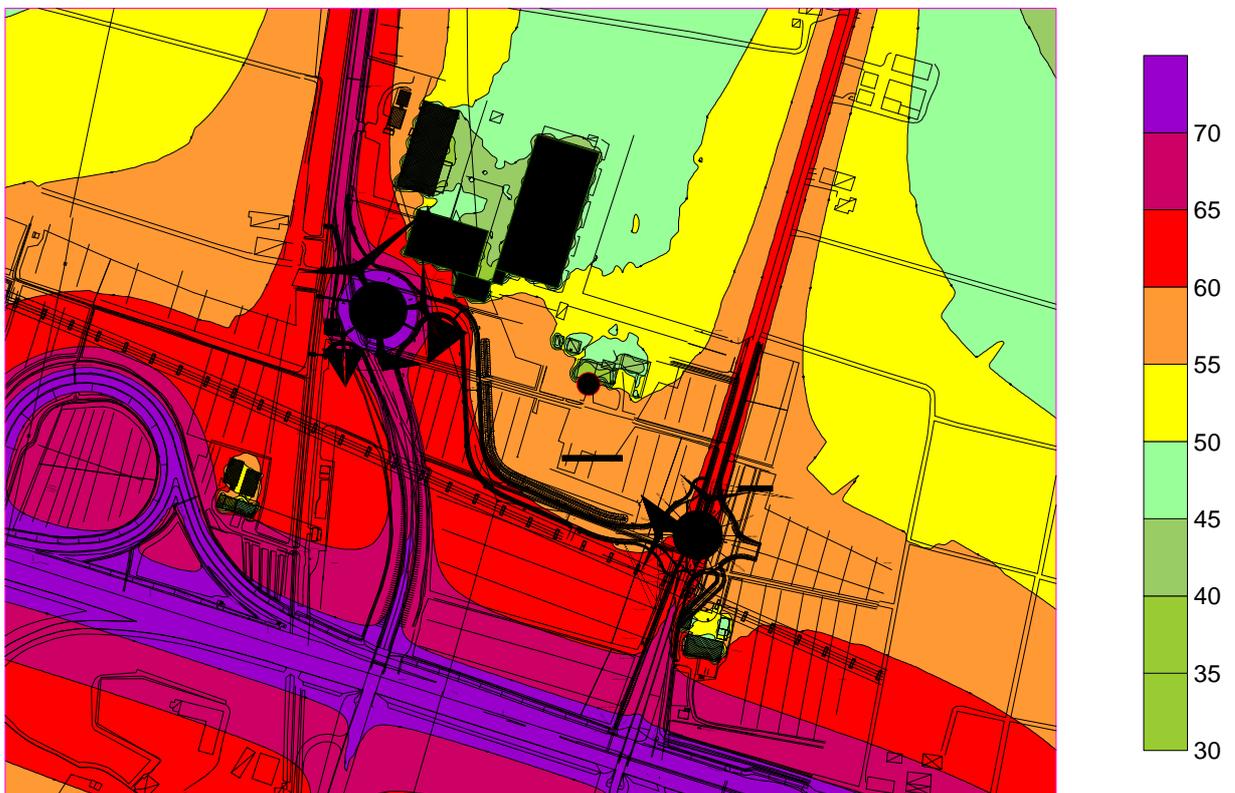
Le celle della tabella retinate si riferiscono a superamenti dei limiti di rumorosità vigenti.

Onde meglio valutare la distribuzione spaziale del livello sonoro nei due scenari qui analizzati (e nei periodi diurno e notturno), le seguenti 10 figure riportano le mappature isolivello sonoro tracciate mediante l'uso del programma Citymap alla quota di m 4 sopra il piano di campagna, nella situazione ante-operam e nelle 4 ipotesi di progetto: senza mitigazioni, e con terrapieno alto m 5, 6 e 7.

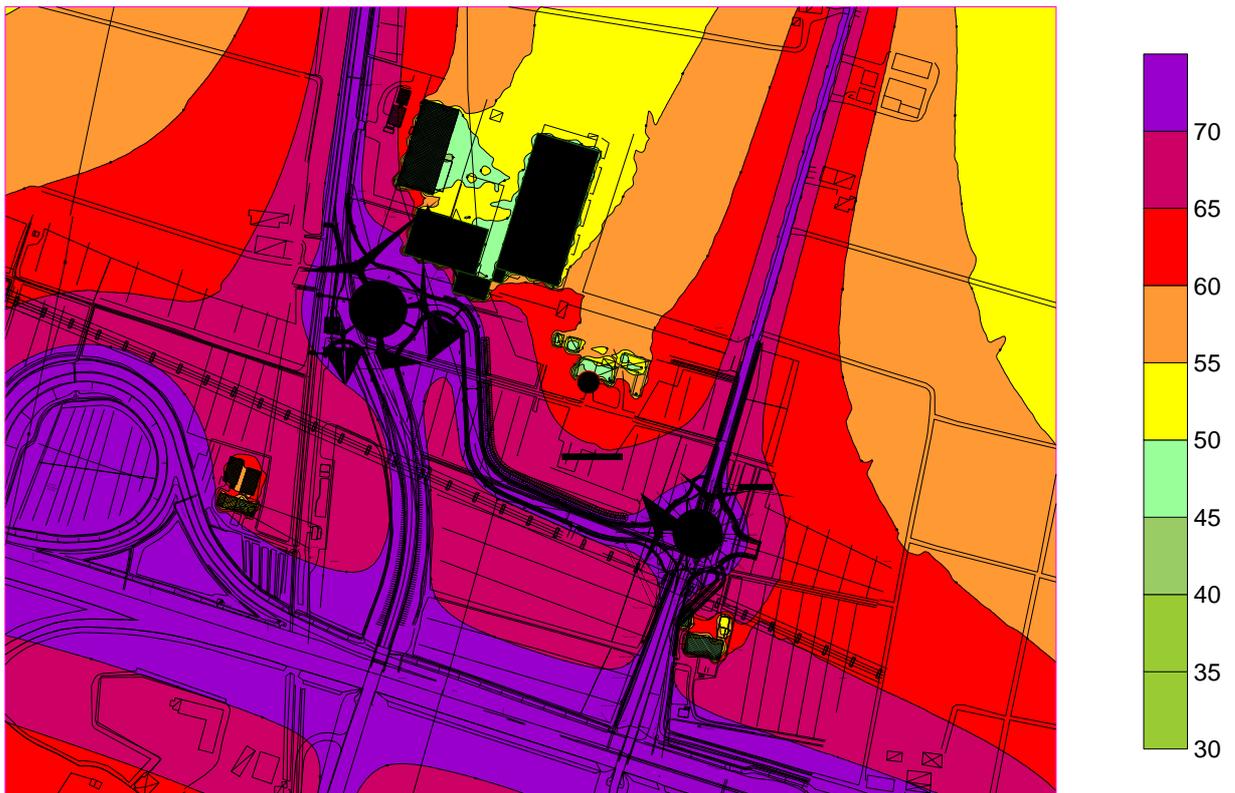
Mappa isolivello sonoro - periodo diurno - Ante Operam



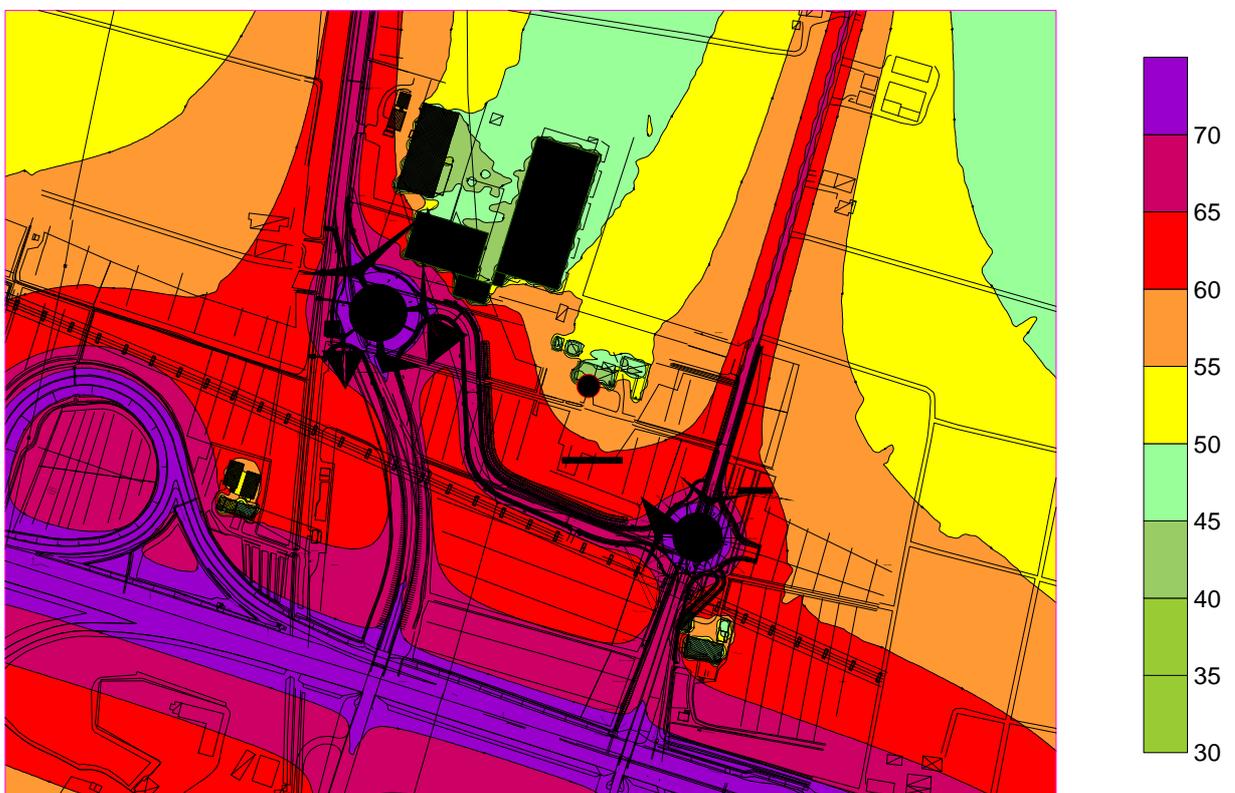
Mappa isolivello sonoro - periodo notturno - Ante Operam



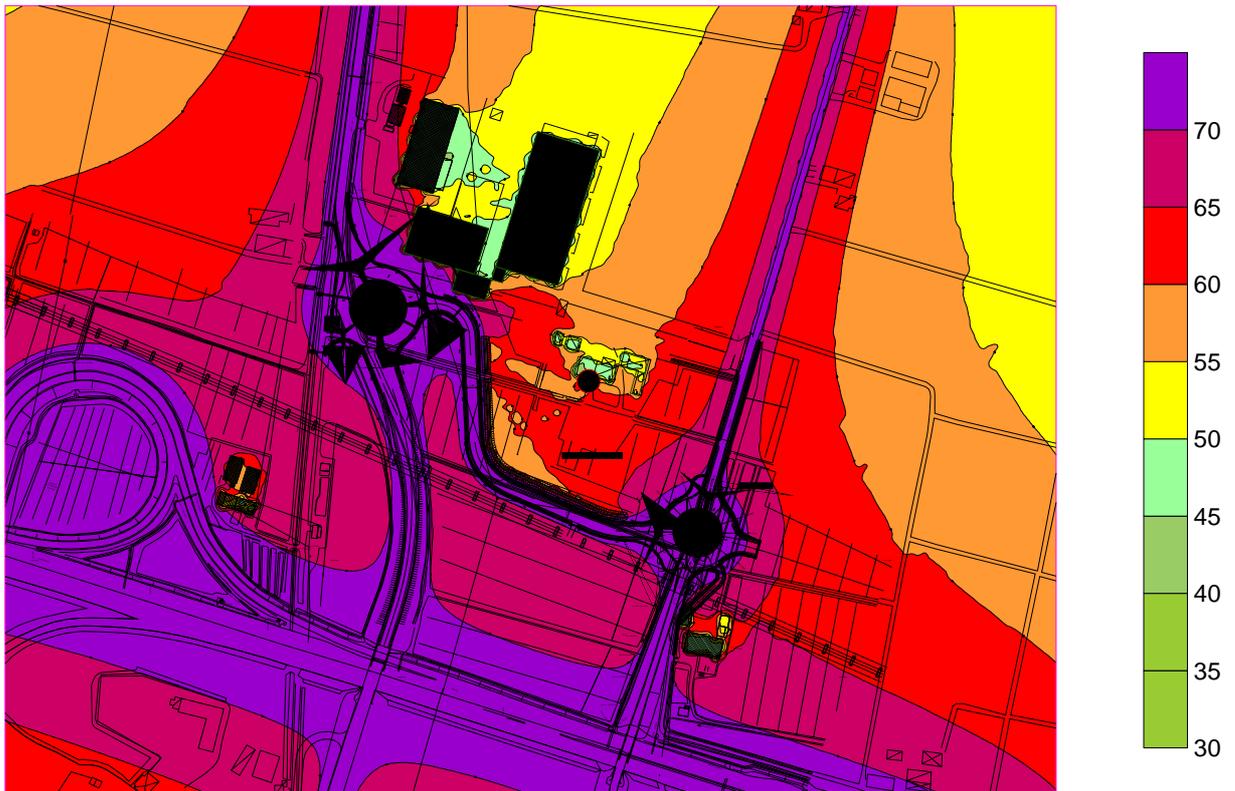
Mappa isolivello sonoro - periodo diurno - Progetto non mitigato



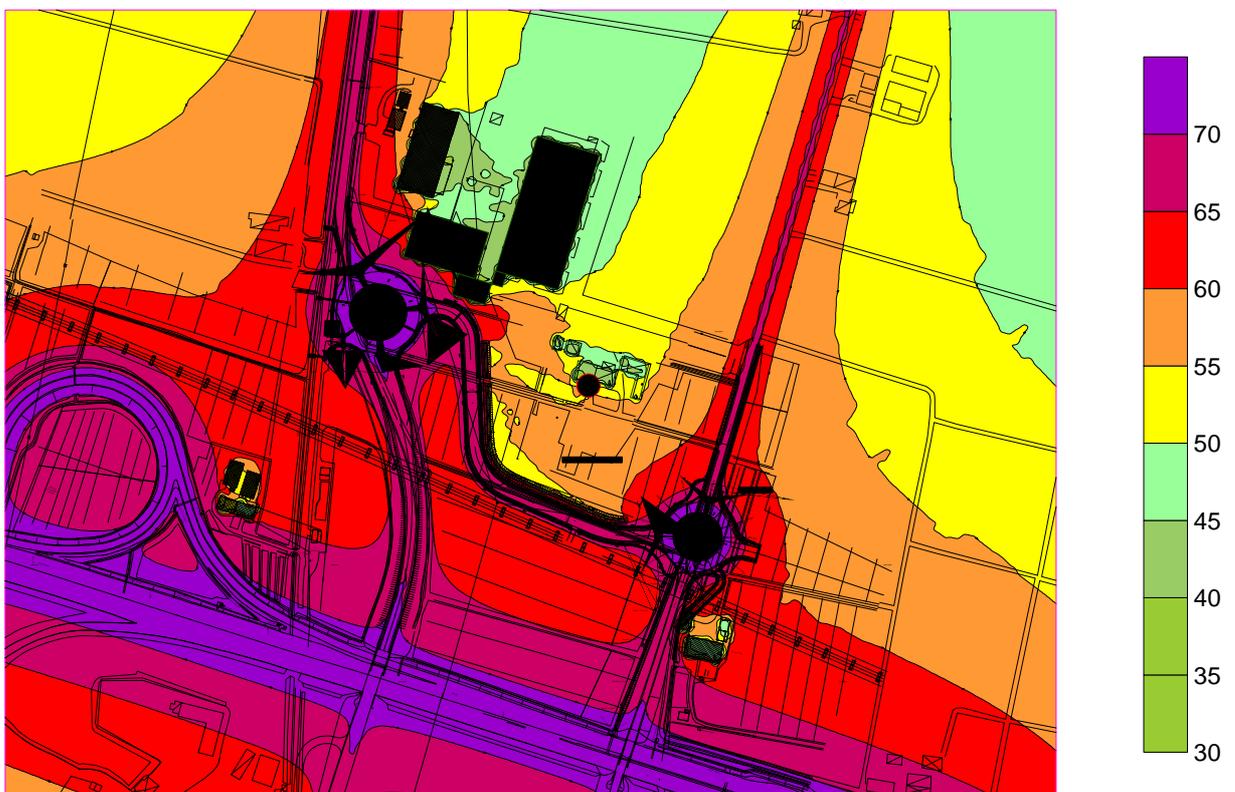
Mappa isolivello sonoro - periodo notturno - Progetto non mitigato



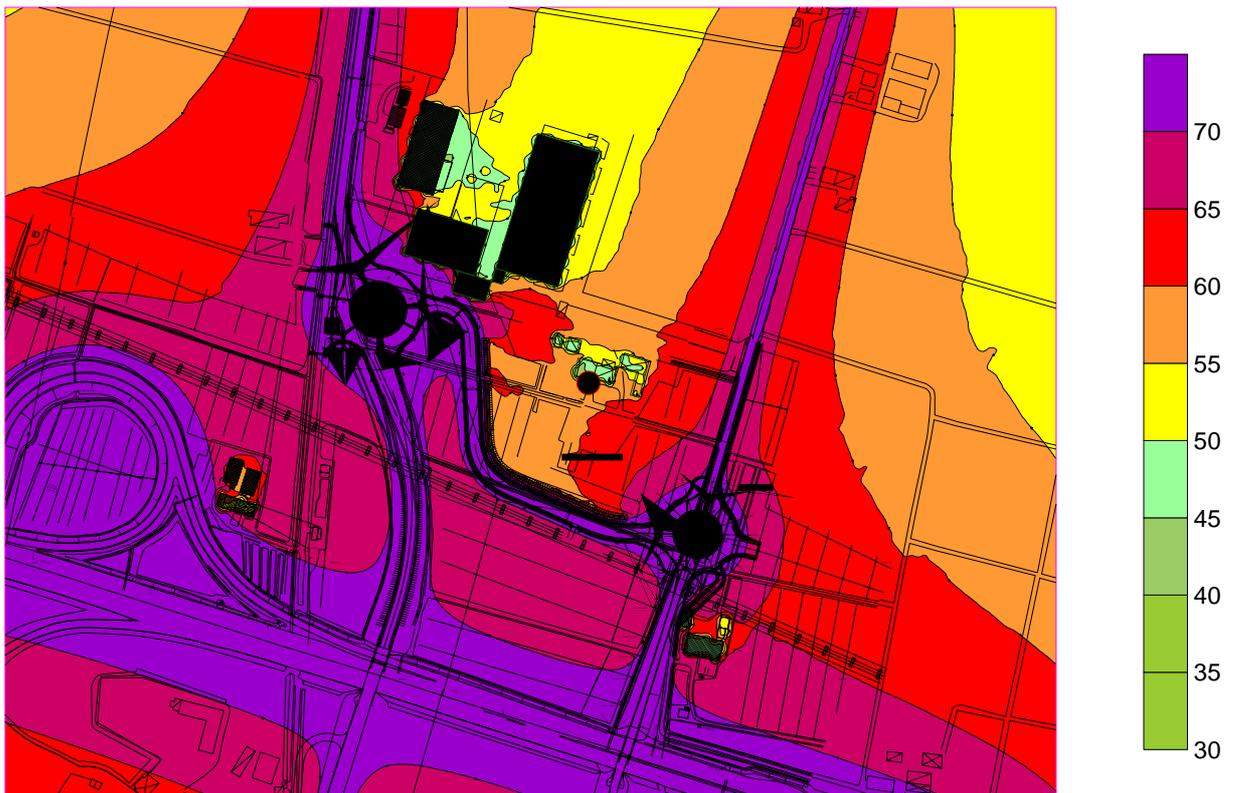
Mappa isolivello sonoro - periodo diurno - Progetto con terrapieno h=5m



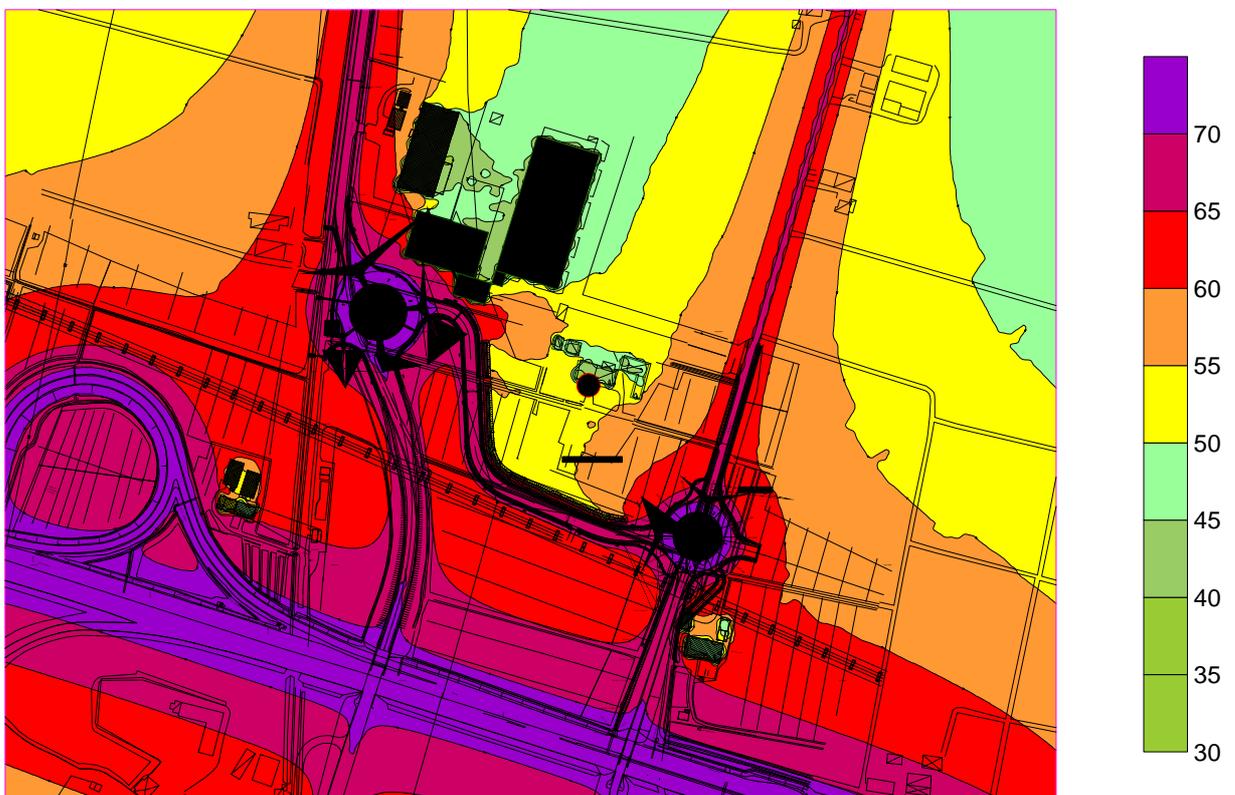
Mappa isolivello sonoro - periodo notturno - Progetto con terrapieno h=5m



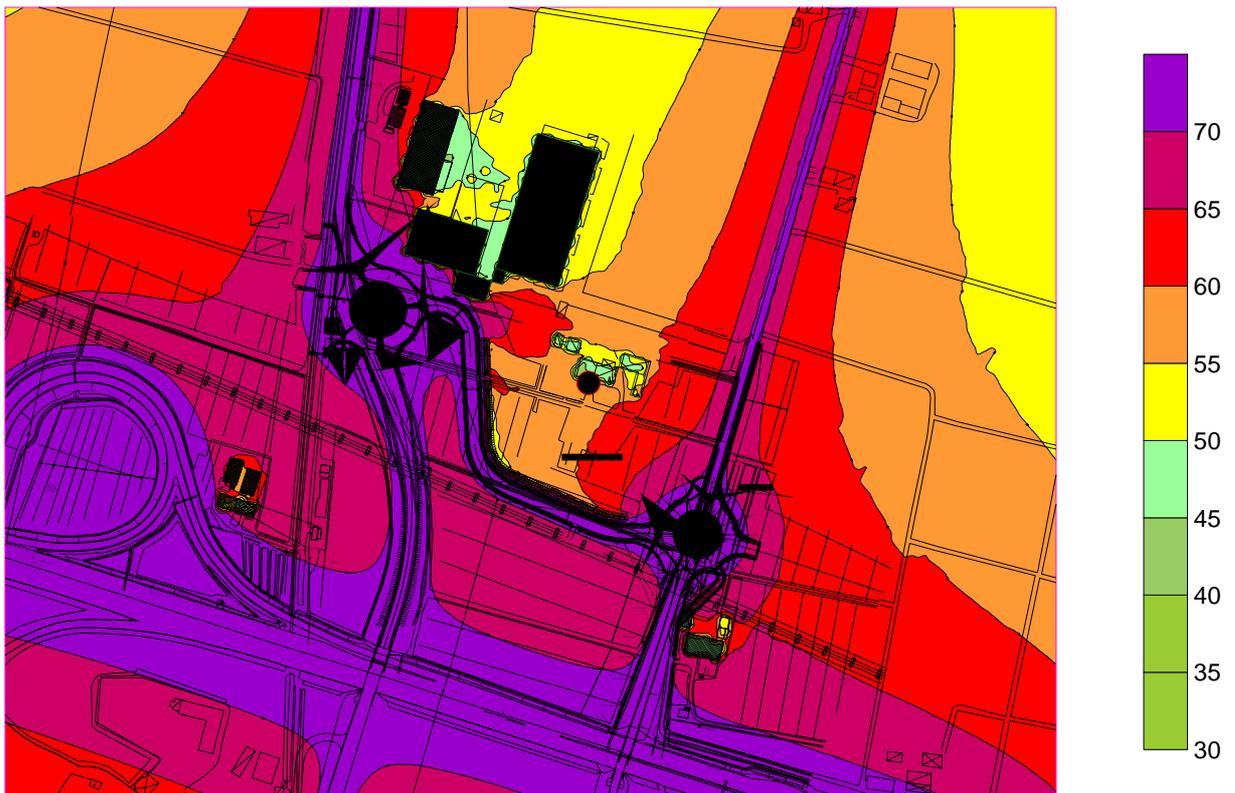
Mappa isolivello sonoro - periodo diurno - Progetto con terrapieno h=6m



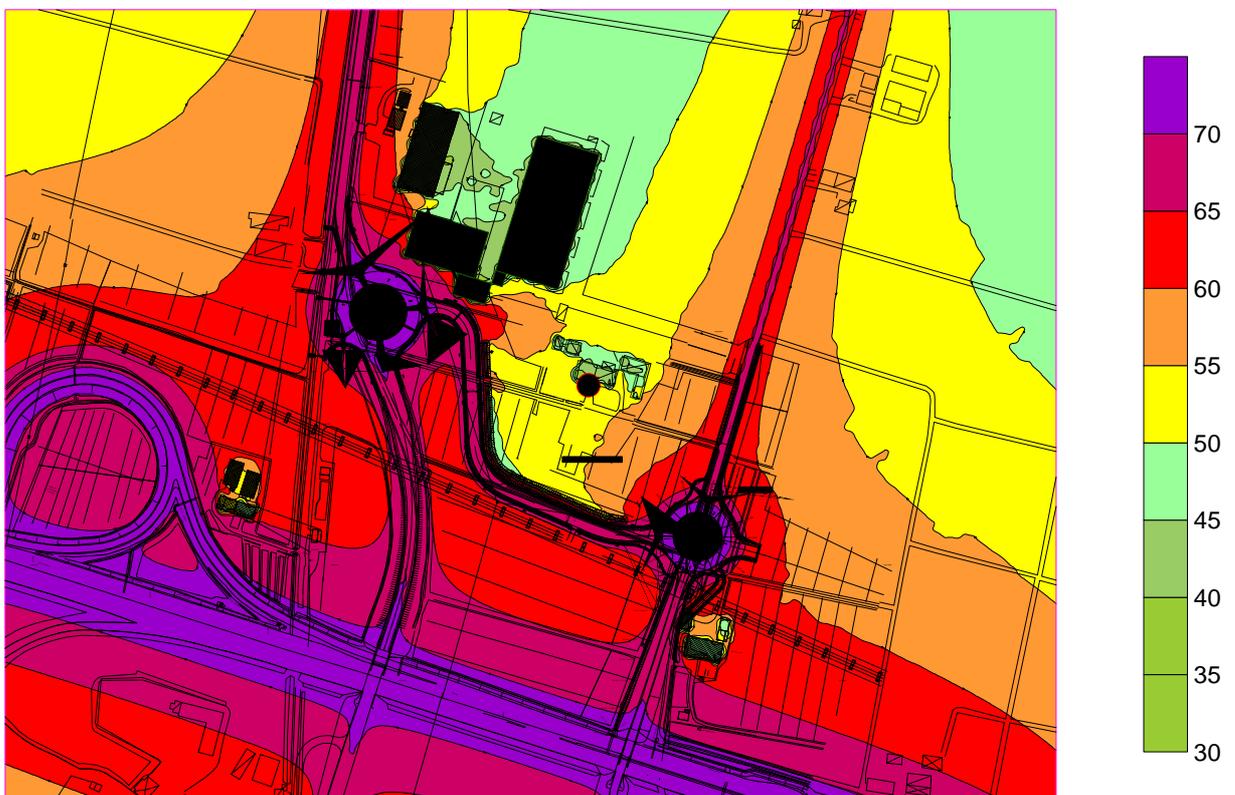
Mappa isolivello sonoro - periodo notturno - Progetto con terrapieno h=6m



Mappa isolivello sonoro - periodo diurno - Progetto con terrapieno h=7m



Mappa isolivello sonoro - periodo notturno - Progetto con terrapieno h=7m



Conclusioni

Nei paragrafi sovrastanti si sono analizzate tutte le voci richieste dalla vigente normativa regionale.

Una dettagliata campagna di monitoraggio anteoperam ha consentito di verificare il clima acustico attuale, che risulta, per il recettore residenziale più esposto, rientrare (anche se di poco) nei limiti di legge.

I risultati delle valutazioni previsionali portano a stimare un non trascurabile peggioramento della situazione acustica nello scenario di progetto, causato dal maggior traffico richiamato in zona dalla nuova bretella di collegamento. In assenza di mitigazione, il peggioramento porterebbe ad un evidente superamento del limite notturno presso l'unico recettore residenziale interessato.

Conseguentemente si è provveduto a dimensionare una adeguata opera di mitigazione, costituita da un rilevato in terra a pendenza naturale, da ricavarsi all'interno dell'area di proprietà del recettore residenziale, come richiesto dalla proprietà stessa.

La simulazione effettuata mostra che, grazie a tale opera di mitigazione, la rumorosità di progetto risulterà sia inferiore a quella attuale, sia inferiore ai vigenti limiti di rumorosità.

Si conclude quindi che, grazie ad adeguati interventi di mitigazione, incorporati nel progetto, l'intervento qui valutato non darà luogo a violazioni dei limiti di legge e porterà invece ad un miglioramento della situazione acustica presso il recettore significativo.

Bibliografia

Si rammenta che tutti gli articoli seguenti sono scaricabili, in formato PDF, dal sito:
http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/Papers/list_pub.htm

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] A. Farina – “Modelli numerici per il rumore da traffico stradale e ferroviario in aree urbane” – Atti del Convegno "Rumore? Ci stiamo muovendo - Secondo seminario sull'Inquinamento Acustico" - Roma, 26-27 ottobre 1998.
- [4] Farina A., Tonella I. – “Impiego di modelli previsionali innovativi per la valutazione del rumore stradale e ferroviario in aree urbane” – Atti del Convegno Nazionale AIA 1999, Genova, 2-4 giugno 1999.
- [5] A. Peretti, F. De Masi, A. Bonaldo, M. Baiamonte, A. Farina – “Classificazione acustica del territorio comunale di Merano” - Sessione Italiana AIA, ICA-2001, Rome, September 2-7, 2001.
- [6] A. Peretti, F. De Masi, A. Bonaldo, M. Baiamonte, - “A. Farina Monitoraggio del rumore veicolare nella città di Merano” - Sessione Italiana AIA, ICA-2001, Rome, September 2-7, 2001.
- [7] A. Peretti, A. Farina, F. De Masi, A. Bonaldo, M. Baiamonte – “Modello di previsione del rumore veicolare impiegato per la città di Merano” - Sessione Italiana AIA, ICA-2001, Rome, September 2-7, 2001.

Parma, 12 giugno 2008

Ing. Angelo Farina
Tecnico Competente L.447/95

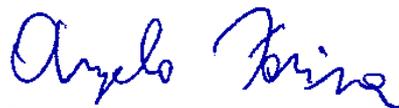


Tavola n. 1 – Destinazioni d'uso previste dallo strumento urbanistico vigente (PSC)

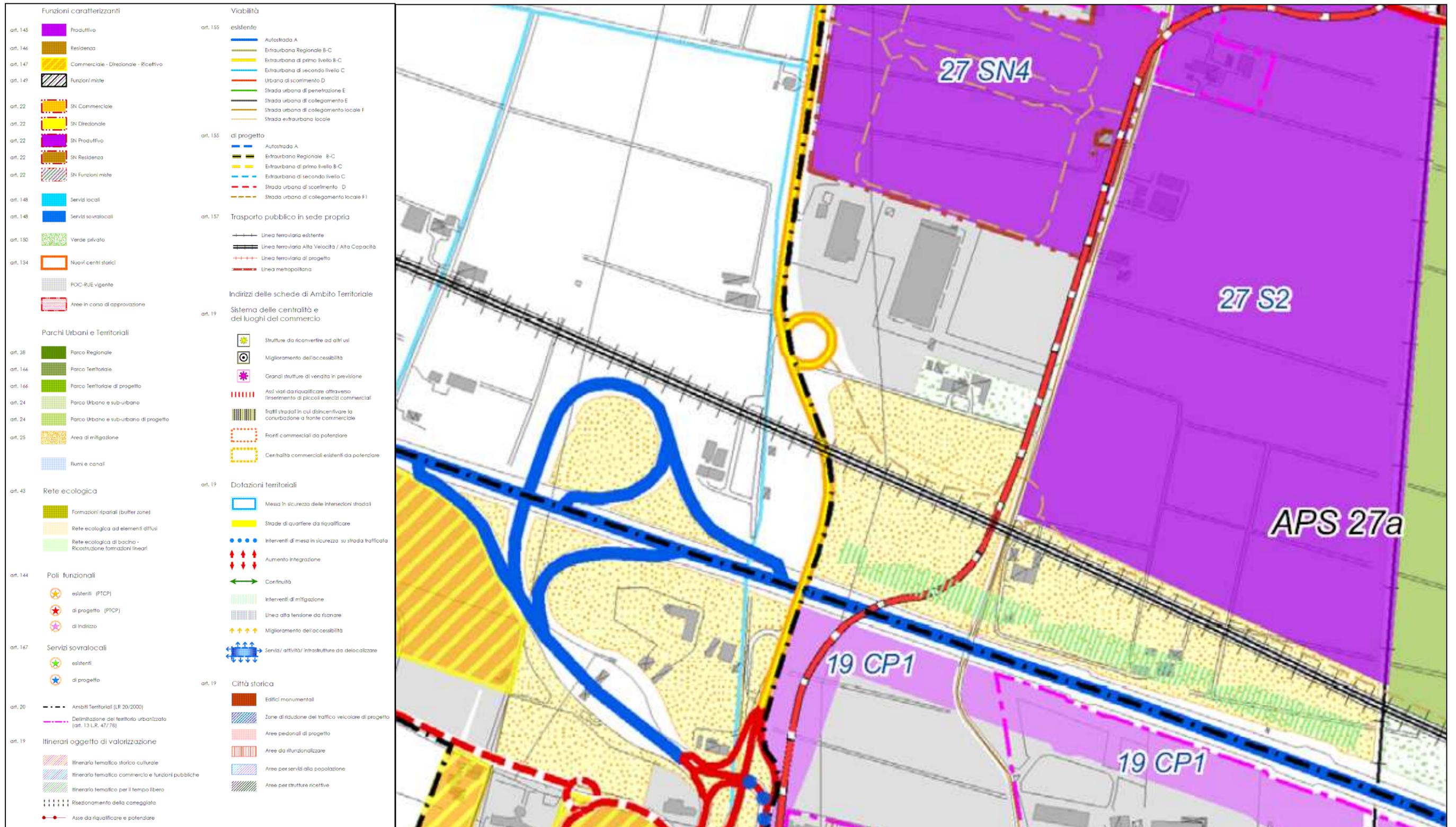


Tavola n. 2 – Classificazione Acustica del Territorio Comunale (ZAC) approvata nel mese di MAGGIO 2006

Legenda zonizzazione acustica:

Zone D.P.C.M. 01/03/1991

	Limiti diurni (06:00-22:00)	Limiti notturni (22:00-06:00)
 Zona 1 - Aree particolarmente protette	50 dBA	40 dBA
 Zona 2 - Aree destinate ad uso residenziale	55 dBA	45 dBA
 Zona 3 - Aree di tipo misto	60 dBA	50 dBA
 Zona 4 - Aree di intensa attività umana	65 dBA	55 dBA
 Zona 5 - Aree prevalentemente industriali	70 dBA	60 dBA
 Zona 6 - Aree esclusivamente industriali	70 dBA	70 dBA

Zonizzazione acustica di progetto - Aree che attualmente non sono di questa zona ma che lo diventeranno in tempi brevi

 Zona 1 - Aree particolarmente protette	50 dBA	40 dBA
 Zona 2 - Aree destinate ad uso residenziale	55 dBA	45 dBA
 Zona 3 - Aree di tipo misto	60 dBA	50 dBA
 Zona 4 - Aree di intensa attività umana	65 dBA	55 dBA
 Zona 5 - Aree prevalentemente industriali	70 dBA	60 dBA
 Zona 6 - Aree esclusivamente industriali	70 dBA	70 dBA

Fasce di pertinenza infrastrutture ferroviarie (D.P.R. 18/11/1998 n° 459)

-  Fascia A - larghezza di 100 m a partire dalla mezzera dei binari esterni per infrastrutture con velocità di progetto non superiore a 200 Km/h
-  Fascia B - larghezza di 150 m a partire dal limite della Fascia A per infrastrutture con velocità di progetto non superiore a 200 Km/h e di 250 m a partire dalla mezzera dei binari esterni per infrastrutture con velocità di progetto superiore a 200 Km/h

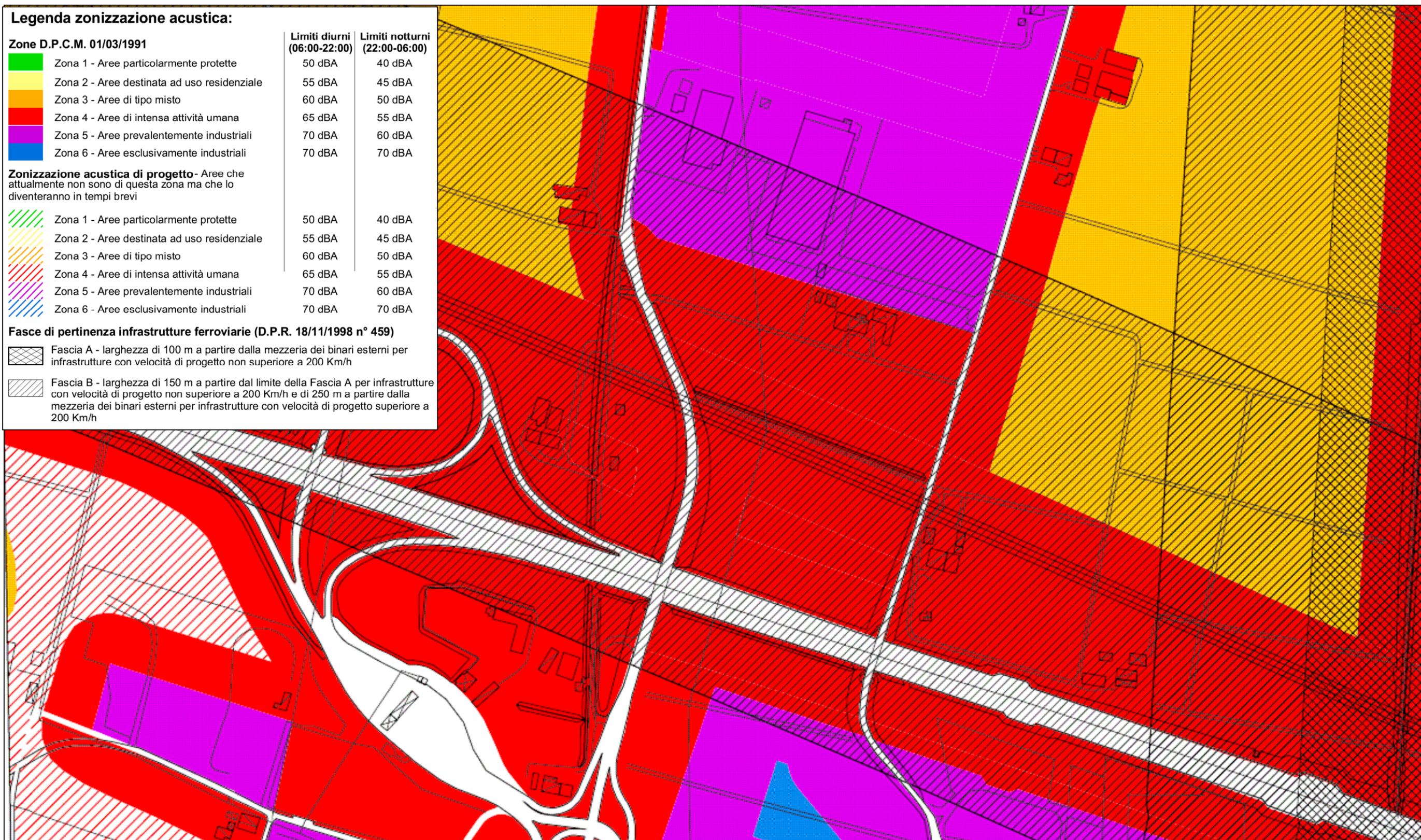


Tavola n. 3 – Planimetria Generale degli interventi progettati con posizionamento del recettore

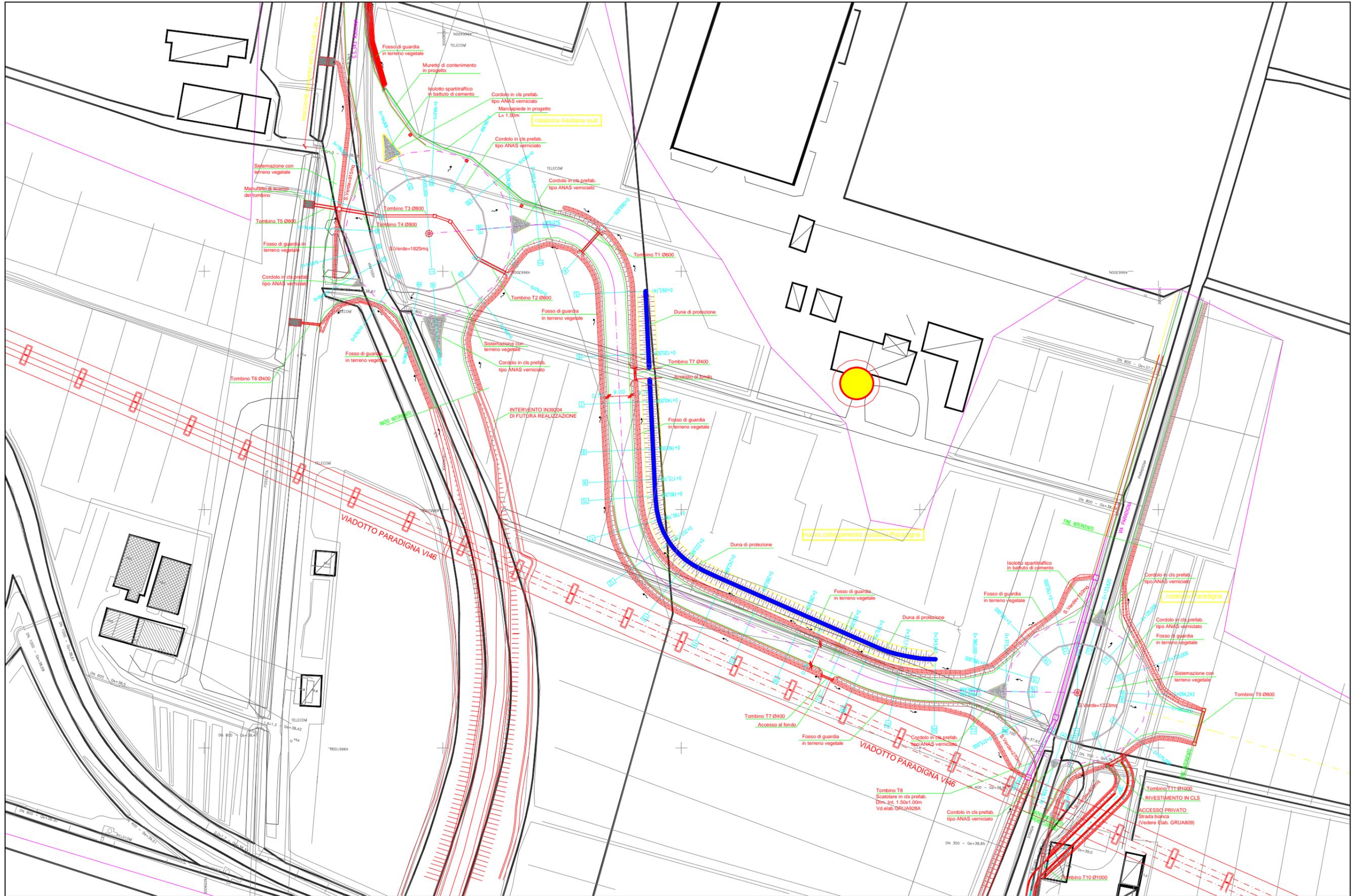


Tavola n. 4 – Aerofoto con posizionamento del recettore (calcolo per punti)

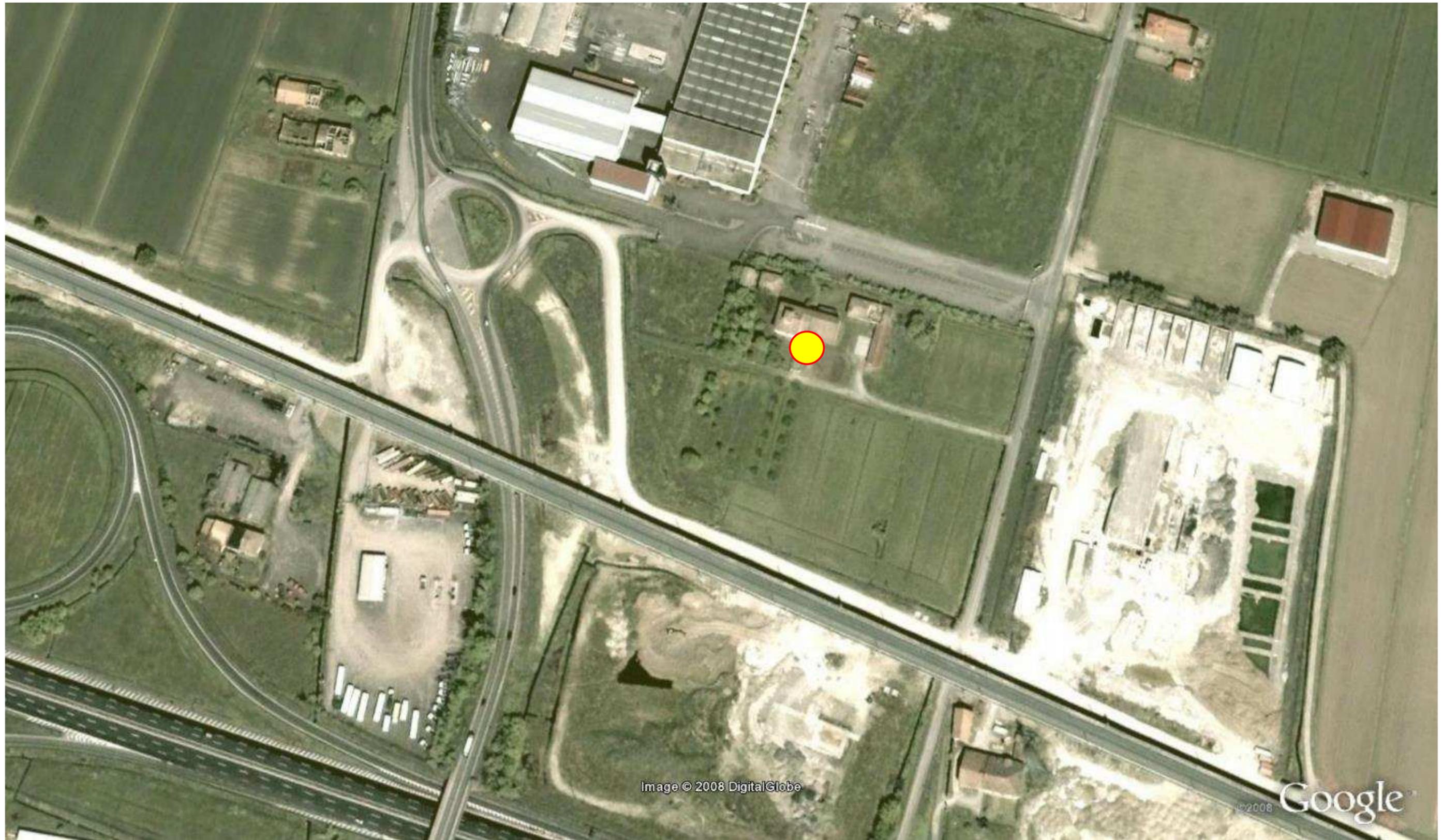


Image © 2008 DigitalGlobe

©2008 Google

Allegato B

Descrizione del sistema di simulazione impiegato (programma Citymap)

Il programma Citymap è stato sviluppato dallo scrivente, nell'ambito di 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 RLS-90 e Schall-03 della Germania, oppure Empa e Semibel della Svizzera).

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.

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

Sia nella fase di zonizzazione acustica del territorio urbano, che nella successiva fase di gestione del problema del rumore nelle aree urbane, si sente la necessità di disporre di un sistema informatico in grado di fornire la mappatura acustica del territorio. Questa può essere derivata integralmente da rilievi sperimentali, ma può essere ottenuta viceversa anche mediante l'impiego di modelli numerici, molti dei quali disponibili in Europa anche in forma di raccomandazioni ufficiali dei Ministeri competenti in vari Paesi. La superiorità della soluzione basata sul modello numerico consiste soprattutto nel fatto che essa consente il ricalcolo immediato della nuova situazione per effetto di modifiche al Piano Urbano del Traffico (P.U.T.), per effetto della edificazione di nuove costruzioni, o per la realizzazione di opere di contenimento delle emissioni sonore.

Tuttavia 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 presente studio², 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 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. È 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

² Pompoli R., Farina A., Fausti P., Bassapino 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

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 distanza³. E' ovviamente possibile (e necessario) disporre di un modello molto più raffinato allorché, anziché 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 calcolo, di cui si relaziona a parte⁴, e che non è stato impiegato in questo lavoro.

Affinché 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. Tutte queste operazioni sono possibili senza abbandonare l'ambiente *multitasking* di MS Windows, che funge da elemento di collegamento trasparente ai vari programmi.

E' ovvio come queste possibilità siano utili nella fase di classificazione del territorio di un comune in zone acustiche ai sensi del DPCM 1 marzo 1991 e della nuova Legge Quadro sull'Inquinamento Acustico (L. 26 ottobre 1995, n. 447): diviene infatti possibile porre a confronto diretto, all'interno del software di mappatura acustica, la cartografia che riporta i limiti di rumorosità con quella che riporta i livelli effettivamente esistenti sul territorio. E' possibile così ottenere automaticamente una **carta dei superamenti**, in cui vengono evidenziate con diversi colori le zone in cui la rumorosità è superiore al limite proposto. Sulla base di tale rappresentazione, sarà possibile adottare le opportune scelte tecniche, ma anche politiche: infatti l'adozione della zonizzazione acustica è un'operazione eminentemente politica (come la realizzazione di un P.R.G.), e di fronte alla possibilità di trovarsi con livelli molto più alti dei limiti su una vasta porzione del territorio, potrebbe risultare conveniente adottare classi con limiti di rumorosità più elevati, tranne che nelle zone in cui si prevede di poter effettivamente realizzare bonifiche tali da consentire il rientro nei limiti.

Per quanto riguarda invece la gestione del territorio, è evidente come sia di immediata applicazione la possibilità di ricalcolare rapidamente la nuova mappa del rumore in occasione di interventi sulle sorgenti sonore (modifica del P.U.T.), sull'edificato o in occasione della realizzazione di opere di bonifica. Queste ultime, comunque, andranno progettate facendo impiego del secondo programma di calcolo, che tiene conto di fenomeni acustici molto più complessi di quanto implementato nel programma CITYMAP⁵.

Va anche osservato che è in atto una tendenza, resa possibile dalla velocità sempre crescente degli elaboratori elettronici, ad impiegare algoritmi e modelli computazionalmente molto esigenti, inizialmente concepiti per analisi su piccola scala, per lo studio di porzioni di territorio molto più vaste⁶.

³ 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.

⁴ 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.

⁵ A. Farina - "Modelli numerici per il rumore da traffico stradale e ferroviario in aree urbane" - Atti del Convegno "Rumore? Ci stiamo muovendo - Secondo seminario sull'Inquinamento Acustico" - Roma, 26-27 ottobre 1998.

⁶ Farina A., Tonella I. - "Impiego di modelli previsionali innovativi per la valutazione del rumore stradale e ferroviario in aree urbane" - Atti del Convegno Nazionale AIA 1999, Genova, 2-4 giugno 1999.

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.

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.

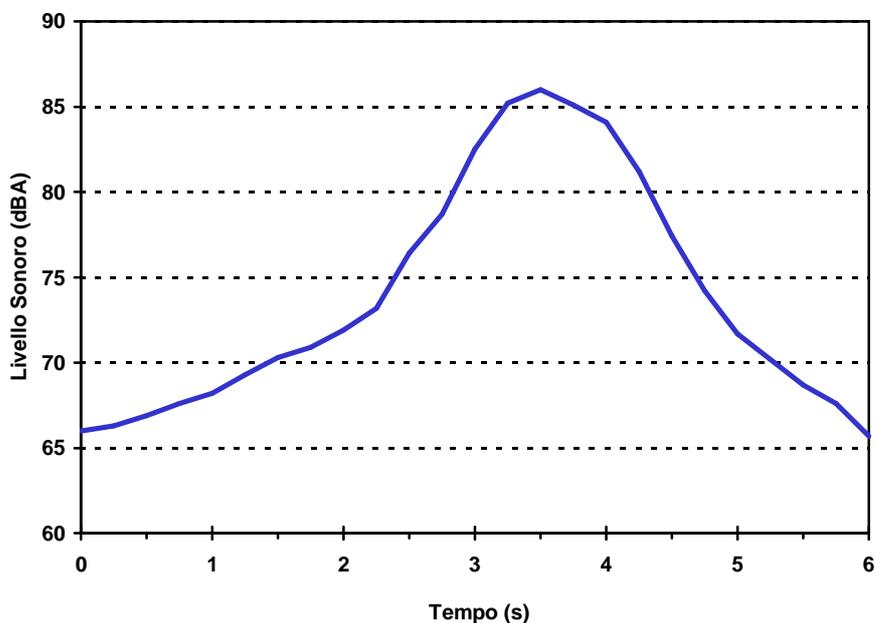
CATEGORIA DI VEICOLI

- 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 VELOCITA'

- 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.



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 uno 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

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*, C_i è la i-esima fascia di velocità, V_j 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):

File SELSC8V1.TXT

SC8V1	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB(A)
Condizione	81.7	87.4	81.4	76.2	75.1	73.8	70.6	71.1	81.3
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

Algoritmo di calcolo del programma CITYMAP

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 né della composizione in frequenza del rumore emesso, né 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 d 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 finché essi non divengono abbastanza corti. In questo modo il raffittimento viene operato soltanto per i tratti più vicini al punto di calcolo.

Si considera un singolo contributo di energia sonora da ciascun sottotratto, come se ci fosse una sorgente concentrata nel suo centro. Il Livello di Potenza L_W di tale sorgente concentrata può essere ottenuta a partire dal Livello di Potenza per metro $L_{W,1m}$ del tratto considerato, a sua volta legato al Livello equivalente a 7.5m dalla relazione del campo cilindrico:

$$L_{W,1m} = L_{eq,7.5m} + 10 \cdot \lg(2 \cdot \pi \cdot 7.5)$$

Considerando poi la lunghezza L del tratto, si ottiene il livello di potenza complessivo del tratto:

$$L_W = L_{W,1m} + 10 \cdot \lg(L) = L_{eq,7.5m} + 10 \cdot \lg(2 \cdot \pi \cdot 7.5 \cdot L)$$

La propagazione del rumore dalla sorgente concentrata equivalente sino al recettore è considerata di tipo sferico su piano riflettente (quindi ancora con fattore di direttività uguale a 2), con però l'aggiunta di un termine esponenziale di estinzione con la distanza per modellare l'attenuazione in eccesso, e pertanto fornisce questo valore di Livello Equivalente nel punto di calcolo situato a distanza d dal centro del tratto:

$$L_{eq,d} = L_W + 10 \cdot \lg\left(\frac{e^{-\beta \cdot d}}{4 \cdot \pi \cdot d^2}\right) = L_{eq,7.5m} + 10 \cdot \lg\left(\frac{\pi \cdot 7.5 \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot d^2} \cdot e^{-\beta \cdot d}\right)$$

Un valore di prima stima per la costante β è pari a 0.0023; tale valore è tratto dai risultati di ricerche condotte sulla propagazione del rumore nell'ambito di attività estranee al presente studio.

Passando dalla rappresentazione in dB a quella in pseudo-energia, si ricava globalmente questa espressione:

$$E_d = E_{7.5m} \cdot \frac{\pi \cdot 7.5 \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot d^2} \cdot e^{\beta \cdot d}$$

Rimane da considerare l'eventuale effetto di schermatura causato dagli edifici situati lungo la strada, caratterizzati da una opportuna altezza media. Ciò viene fatto considerando valida una relazione derivata dalla nota formula di Maekawa, che fornisce l'attenuazione ΔL prodotta dalla schermatura:

$$\Delta L = 10 \cdot \lg\left(1 + 40 \cdot \delta \cdot \frac{f}{c}\right)$$

La frequenza viene assunta pari a 340 Hz, e la differenza di cammino viene calcolata come somma dei due raggi diffratti meno il raggio diretto.

Il problema per operare questo calcolo è duplice: innanzitutto occorre trovare la distanza w_{eff} del punto di intersezione con il fronte degli edifici lungo la congiungente fra centro del tratto e punto di calcolo. Essa è in generale sempre maggiore della semilarghezza della strada, e può essere ottenuta dividendo quest'ultima per il seno dell'angolo fra il tratto stradale e la congiungente sorgente e ricevitore. Chiaramente se la distanza d fra sorgente e ricevitore è inferiore a questa, non si ha alcun effetto di schermatura in quanto il punto considerato è dentro la sede stradale. Il coseno dell'angolo fra tratto stradale e congiungente sorgente-ricevitore viene facilmente ottenuto come prodotto scalare fra i versori:

$$\cos(\alpha) = \frac{(X_2 - X_1) \cdot (X_c - X_p) + (Y_2 - Y_1) \cdot (Y_c - Y_p)}{d \cdot L}$$

il seno dell'angolo viene poi ottenuto dal coseno mediante la relazione a tutti nota.

Il secondo problema consiste nello stabilire se il punto di calcolo considerato si trova "a sinistra" o "a destra" del tratto stradale considerato, e dunque se va considerata la altezza media degli edifici sul lato sinistro h_l o quella sul lato destro h_r . Per far ciò si opera il prodotto vettoriale fra i coseni direttori del tratto considerato e della congiungente fra punto di calcolo e primo punto del segmento:

$$\text{Sig} = \frac{(X_p - X_1)}{(X_2 - X_1)} - \frac{(Y_p - Y_1)}{(Y_2 - Y_1)}$$

Se tale valore è positivo significa che il punto di calcolo è a destra del segmento orientato 1->2, e pertanto il calcolo della differenza di cammino d andrà fatto considerando l'altezza degli edifici h_r :

$$\delta = \sqrt{w_{eff}^2 + (h_r - .5)^2} + \sqrt{(d - w_{eff})^2 + (h_r - 1.5)^2} - d$$

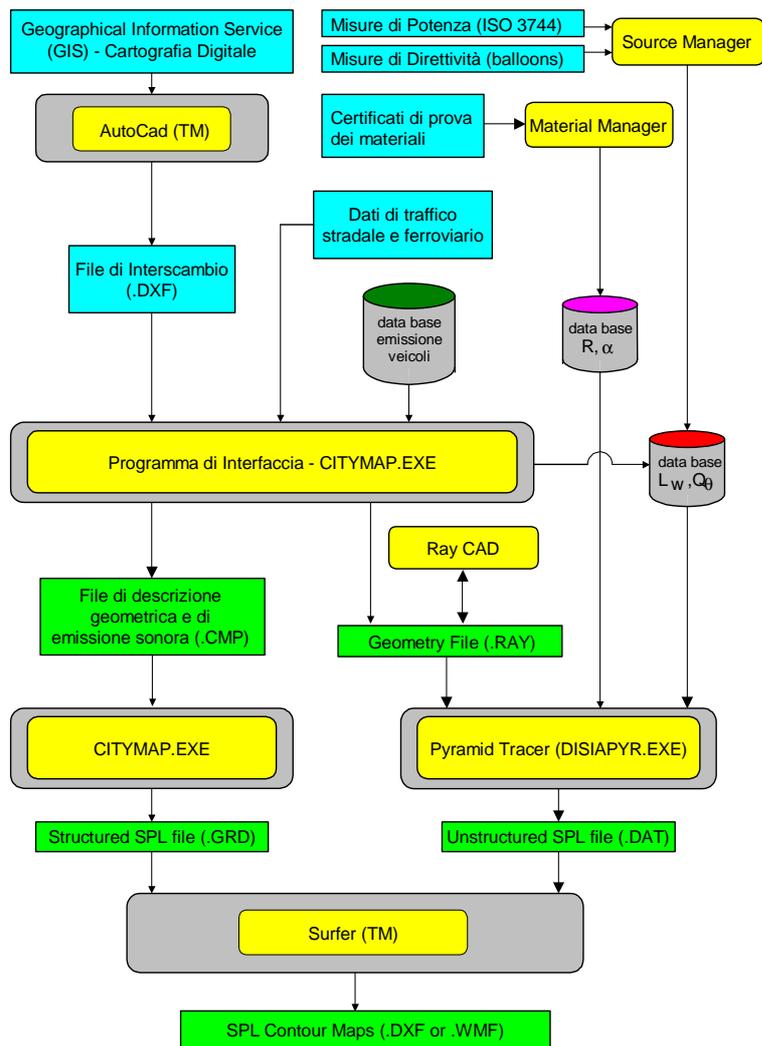
Si noti come l'altezza della sorgente è stata prudenzialmente assunta a 0.5m dal terreno, e quella del ricevitore ad 1.5m dal suolo.

Se viceversa il punto di calcolo fosse risultato a sinistra del tratto considerato, lo stesso calcolo sarebbe stato operato utilizzando h_l . Si è infine assunto di considerare nullo l'effetto di schermatura se l'altezza media degli edifici è inferiore ad 1m.

Vengono infine applicate correzioni per riflessioni multiple nel caso la sede stradale presenti una sezione ad L, ad U largo o ad U stretto pari rispettivamente a +1, +3 e +5 dB(A).

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:



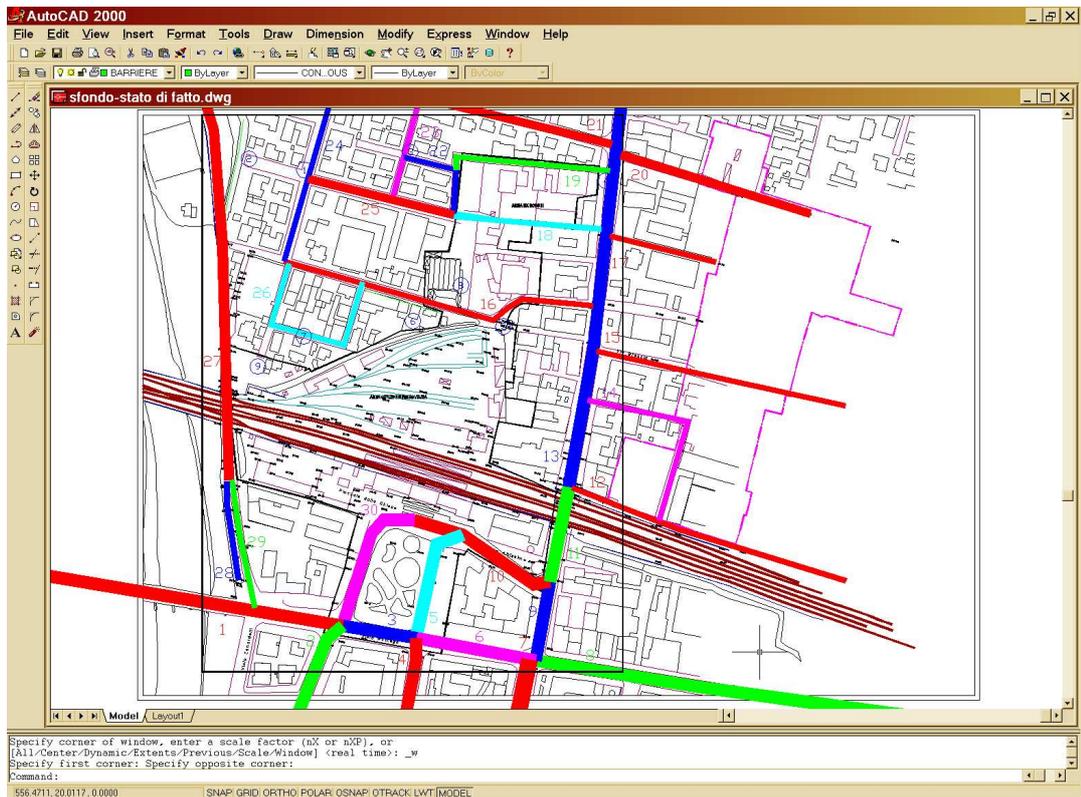
Come si nota numerosi programmi sono chiamati ad interagire: di essi due sono programmi commerciali (Autocad™ e Surfer™), mentre gli altri sono stati realizzati in proprio.

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.

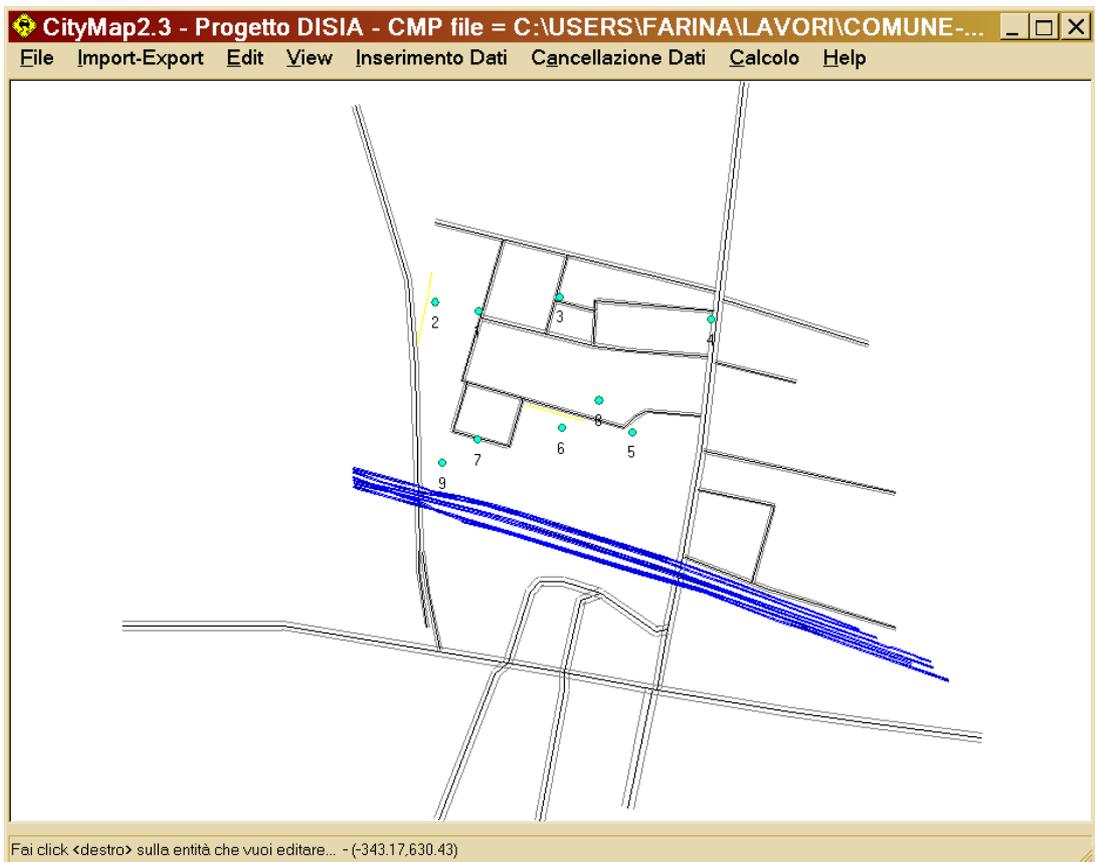
A questo punto, volendo operare un calcolo della mappa del rumore con l'algoritmo semplificato, si impiega ancora Citymap, che

produce un file .GRD leggibile da Surfer, e contenente i valori del livello sonoro su una griglia rettangolare equispaziata.

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 (in questo caso solo binari), che andranno esportate nel file .DXF.



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



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. 75 Nome: VIALE DEL PIAVE
 Preced. Success. Fine
 Leq,7.5m (G/N) 70.4 63.1 Fisso Calcola

Proprietà
 Tipo di Pavimentazione 1-Asfalto Liscio
 Pendenza (%. +|-) 0-5%
 hmed edifici lato Sinistro 0.
 hmed edifici lato Destro 0.

Traffico diurno complessivo

N.autovetture (V1)	16807	C6-(70-90 km/h)
N.camion 2 assi (V2)		C1-(0-30 km/h) acc.
N.camion 3 assi (V3)	1768	C6-(70-90 km/h)
N.TIR (V4)		C1-(0-30 km/h) acc.
N.motocicli (V5)		C1-(0-30 km/h) acc.

Traffico notturno complessivo

N.autovetture (V1)	1627	C6-(70-90 km/h)
N.camion 2 assi (V2)		C1-(0-30 km/h) acc.
N.camion 3 assi (V3)	119	C6-(70-90 km/h)
N.TIR (V4)		C1-(0-30 km/h) acc.
N.motocicli (V5)		C1-(0-30 km/h) acc.

Imposta automaticamente i dati della strada precedente

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. 2 Nome: Linea 1
 Preced. Success. Fine
 Leq,7.5m (G/N) 51. 43. Fisso Calcola

Proprietà
 Tipo di Armamento 1-Bin. cont. saldato su ballast
 hmed edifici lato Sinistro 0.
 hmed edifici lato Destro 0.

Traffico diurno complessivo

	Num.	Lungh.	Velocità
tr.merci (V1)			C1-(0-60 km/h)
tr.pass. locali (V2)	12	19	C2-(60-90 km/h)
tr.pass. l.perc. (V3)			C1-(0-60 km/h)

Traffico notturno complessivo

	Num.	Lungh.	Velocità
tr.merci (V1)			C1-(0-60 km/h)
tr.pass. locali (V2)	1	18	C2-(60-90 km/h)
tr.pass. l.perc. (V3)			C1-(0-60 km/h)

Imposta automaticamente i dati del binario precedente

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 “pseudo-stradale” o “pseudo-ferroviario” 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’insieme dei dati geometrici e di emissione in un unico file ASCII autodocumentato, con estensione .CMP, che può poi venire riletto da Citymap 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.



A questo punto si può effettuare il calcolo della mappatura isolivello; si deve anzitutto visualizzare l'area che interessa mappare, mediante la usuale operazione di "zoom" di un'area rettangolare con il mouse. Poi si lancia il processo di calcolo, specificando il periodo di interesse (diurno o notturno), il nome del file che conterrà la mappatura (in formato .GRD) e la dimensioni della griglia di calcolo, come mostrato dalla seguente figura:

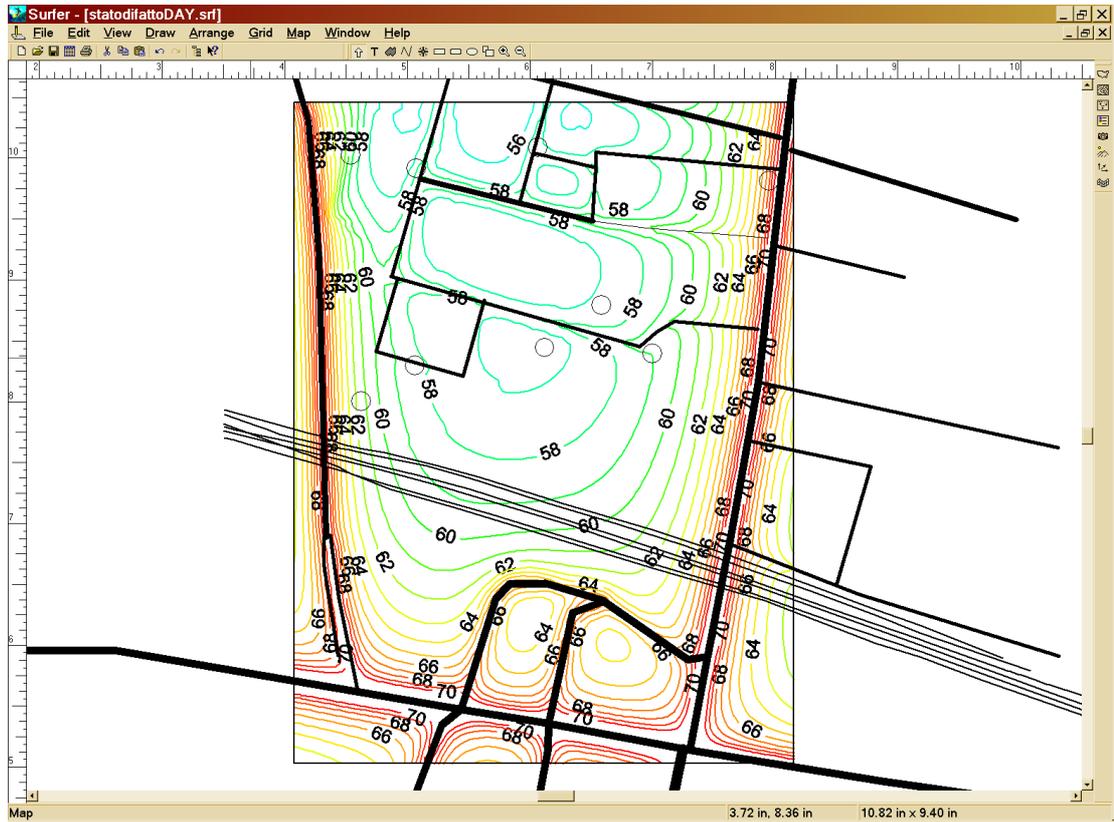


Nel corso del calcolo, il programma provvede a colorare progressivamente l'area mappata, in modo da fornire all'utente un'indicazione sulla frazione del lavoro totale già compiuta. Al termine lo schermo risulta completamente colorato, come mostra la seguente figura:



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:



Da Surfer, infine, si può esportare l'insieme delle curve isolivello, in formato vettoriale. 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.