



REGIONE PUGLIA
Sezione Rischio Industriale

MAPPA ACUSTICA STRATEGICA
DELL'AGGLOMERATO DI BRINDISI
(D.G.R. n. 1698 del 29/09/2015)

Redazione

ARPA Puglia
Direzione Scientifica
Corso Trieste, 27 – Bari



Direttore Scientifico
f.f. di Direttore Generale
Dott. Massimo Blonda

U.O.S. Agenti Fisici
Responsabile
Dott.ssa Anna Guarnieri Calò Carducci

RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA

Aggiornamento

Data

Rev.0

Giugno 2016

	<p align="center">REGIONE PUGLIA Sezione Rischio Industriale</p>
<p align="center"><i>Responsabile</i></p>	<p align="center"><i>Dott. Ing. Giuseppe Tedeschi</i></p>
 <p align="center">ARPA PUGLIA</p>	<p align="center">ARPA PUGLIA U.O.S. Agenti Fisici</p>
<p align="center"><i>Responsabile tecnico-scientifico</i></p>	<p align="center"><i>Dott.ssa Anna Guarnieri Calò Carducci</i></p>
<p align="center"><i>Gruppo di lavoro ARPA Puglia</i></p>	<p align="center"><i>Dott. Ing. Francesco Cardillo</i> <i>Dott. Arch. Rocco Di Modugno</i> <i>Dott.ssa Francesca Fedele</i> <i>Dott. Ing. Benedetto Figorito</i> <i>Dott. Ing. Gianluca Primavera</i></p>

Indice

1	INTRODUZIONE GENERALE.....	5
1.1	Premessa.....	5
1.2	Quadro normativo di riferimento.....	5
2	L'AGGLOMERATO DI BRINDISI.....	7
3	METODOLOGIA OPERATIVA.....	9
3.1	Mappatura delle infrastrutture stradali non principali.....	9
3.1.1	Organizzazione e gestione dati.....	10
3.1.2	Classificazione degli assi stradali.....	13
3.1.3	Monitoraggio del rumore.....	14
3.1.4	Definizione del metodo di calcolo.....	17
3.1.5	Stima della popolazione esposta.....	24
3.2	Mappatura dei siti di attività industriale e del porto.....	25
3.2.1	Caratterizzazione acustica dei siti industriali e del porto.....	25
3.2.2	Stima dell'esposizione a sorgenti industriali e porto.....	27
3.3	Mappatura delle infrastrutture ferroviarie.....	27
3.3.1	Caratterizzazione acustica dell'infrastruttura ferroviaria RFI.....	28
3.3.2	Stima dell'esposizione al rumore delle ferrovie non principali.....	32
3.4	Mappatura dell'aeroporto.....	33
3.4.1	Conversione della mappa relativa al descrittore LVA nelle mappe relative a Lden e Lnight.....	34
3.4.2	Stima dell'esposizione al rumore aeroportuale.....	34
3.5	Integrazione delle mappature dei gestori.....	35
3.5.1	Mappatura acustica presentata da ANAS.....	36
3.6	Incertezza nella predisposizione della mappa acustica strategica.....	37
4	SINTESI DEI RISULTATI.....	42
4.1	Infrastrutture stradali.....	44
4.2	Infrastrutture ferroviarie.....	46
4.3	Siti di attività industriale.....	48
4.4	Aeroporto.....	49
4.5	Esposizione al rumore globale (<i>overall sources</i>).....	49
	MATERIALE TRASMESSO.....	52
5	CONCLUSIONI.....	53

6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....55

1 INTRODUZIONE GENERALE

La Regione Puglia, in considerazione del trend di crescita della popolazione residente nell'agglomerato di Brindisi, che ad oggi si attesta attorno a 89.000 abitanti, e degli adempimenti previsti dal D.Lgs. 194/05 in carico agli agglomerati che superano i 100.000 abitanti (art.3 comma 3/a), con D.G.R. n. 1698 del 29/09/2015 ha approvato lo schema di convenzione che prevede, tra le altre cose, che ARPA Puglia acquisisca tutte le informazioni tecnico-amministrative ed elabori le prime mappe acustiche strategiche sperimentali per gli agglomerati pugliesi prossimi ai limiti di popolazione su richiamati, secondo i criteri stabiliti dal citato D.Lgs. 194/05.

Il presente documento costituisce la relazione descrittiva riportante i risultati del lavoro svolto per l'agglomerato di Brindisi nonché una sintesi delle scelte metodologiche adottate.

1.1 Premessa

La mappa strategica dell'agglomerato è definita come una *“mappa finalizzata alla determinazione dell'esposizione globale al rumore in una certa zona a causa di varie sorgenti di rumore ovvero alla definizione di previsioni generali per tali zone”*. Le sorgenti di rumore che concorrono all'*“esposizione globale”* sono il traffico stradale, il traffico ferroviario, il traffico aeroportuale, i siti di attività industriale inclusi i porti.

Per la redazione della mappa strategica sperimentale, laddove possibile, sono stati utilizzati i dati messi a disposizione dalle società e dagli enti gestori di infrastrutture di trasporto, limitatamente alle infrastrutture principali (elaborati in ottemperanza al D.Lgs.194/05). Per tutte le altre tipologie di infrastruttura la valutazione della rumorosità è stata effettuata da ARPA Puglia, analogamente a quanto fatto in qualità di Autorità Competente per gli agglomerati pugliesi con popolazione superiore a 100.000 abitanti (Bari, Taranto, Foggia ed Andria).

1.2 Quadro normativo di riferimento

Come detto nell'introduzione la redazione della mappa acustica strategica sperimentale dell'agglomerato di Brindisi, pur non essendo cogente quale obbligo normativo, è stata realizzata secondo i criteri stabiliti dal D.Lgs. 194/05. Detto Decreto introduce delle sostanziali novità nel quadro normativo di riferimento nazionale, costituite principalmente dall'obbligo per gli Enti territoriali competenti e i gestori delle infrastrutture di trasporto di produrre i seguenti elaborati:

- **Mappatura Acustica**, ovvero *“la rappresentazione di dati relativi a una situazione di rumore esistente o prevista in una zona, relativa ad una determinata sorgente, in funzione di un descrittore acustico che indichi il superamento di pertinenti valori limite vigenti, il numero di persone esposte in una determinata area o il numero di abitazioni esposte a determinati valori di un descrittore acustico in una certa zona”* (cfr. lettera o comma 1 articolo 2 del decreto);
- **Mapa Acustica strategica**, ovvero *“una mappa finalizzata alla determinazione dell’esposizione globale al rumore in una certa zona a causa di varie sorgenti di rumore ovvero alla definizione di previsioni generali per tale zona”* (cfr. lettera p comma 1 articolo 2 del decreto);
- **Piani d’ Azione**, ovvero *“i piani destinati a gestire i problemi di inquinamento acustico ed i relativi effetti, compresa, se necessario, la sua riduzione”* (cfr. lettera q comma 1 articolo 2 del decreto).

I suddetti elaborati costituiscono degli strumenti indispensabili per la prevenzione o la riduzione degli effetti nocivi dell’esposizione al rumore ambientale, compreso il fastidio, contemplando anche l’informazione e la partecipazione attiva del pubblico.

A completamento degli elaborati in carico agli enti competenti, l’allegato 6 del D.Lgs.194/05 prevede inoltre la determinazione e relativa trasmissione alla Commissione Europea dei seguenti dati, intesi come requisiti minimi per le mappature acustiche:

- numero totale stimato, arrotondato al centinaio, di persone che vivono nelle abitazioni esposte a ciascuno dei seguenti intervalli di livelli di L_{den} in dB calcolato a 4 m di altezza sulla facciata più esposta: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75, con distinzione fra rumore del traffico veicolare, ferroviario e aereo o dell’attività industriale;

- numero totale stimato, arrotondato al centinaio, di persone che occupano abitazioni esposte a ciascuno dei seguenti intervalli di livelli di L_{night} in dB calcolato a 4 m di altezza sulla facciata più esposta: 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, >70, con distinzione fra rumore del traffico veicolare, ferroviario e aereo o dell’attività industriale. Questi dati potranno altresì essere valutati per la fascia 45-49 anteriormente al 18 luglio 2009.

Il descrittore acustico L_{den} è calcolato secondo la seguente relazione:

$$L_{den} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{24} \cdot \left(14 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 2 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \right)$$

dove L_{day} , L_{evening} e L_{night} rappresentano ciascuno il livello continuo equivalente ponderato "A", determinato sull'insieme dei rispettivi periodi di riferimento (*diurno* (per L_{day}), dalle ore 06:00 alle ore 20:00; *serale* (per L_{evening}), dalle ore 20:00 alle ore 22:00; *notturno* (per L_{night}), dalle ore 22:00 alle ore 06:00) all'interno di un anno solare. Per anno si intende l'anno di osservazione per l'emissione acustica e un anno medio sotto il profilo meteorologico. Nel determinare i valori di L_{day} , L_{evening} , L_{night} possono essere applicate tecniche previsionali e/o di campionamento statistico, prevedendo il solo suono incidente per i ricettori in facciata, e quindi trascurando il contributo del suono riflesso dalla facciata dell'abitazione considerata.

2 L'AGGLOMERATO DI BRINDISI

Come detto nell'introduzione generale l'agglomerato di Brindisi non è stato individuato dalla Regione Puglia come agglomerato principale ex D.Lgs. 194/05; in analogia a quanto stabilito dalla Regione Puglia per gli agglomerati di Bari, Taranto, Andria, Foggia, nel presente studio l'agglomerato è stato considerato coincidente col territorio comunale della città di Brindisi, così come delimitato dai suoi confini amministrativi¹.

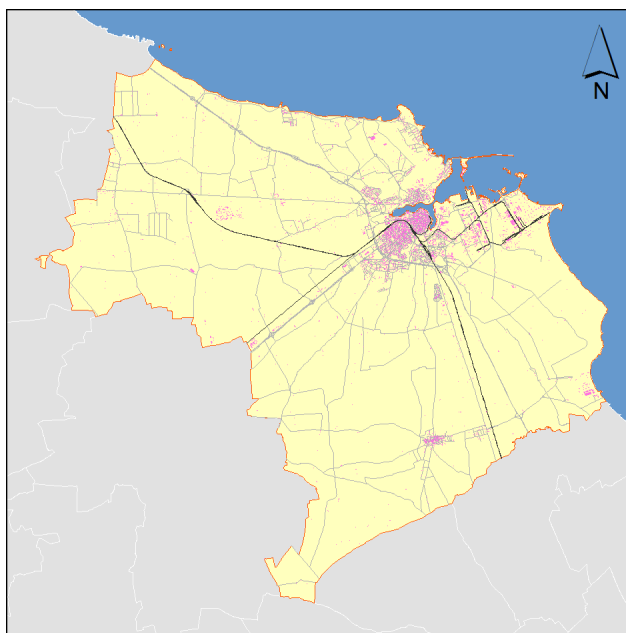


Figura 2.1 – Delimitazione dell'agglomerato di Brindisi

¹ I confini amministrativi considerati nel presente studio sono quelli riportati nel Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR) della Regione Puglia, disponibili sul sito <http://www.paesaggio.regione.puglia.it/index.php/area-download/16-downloads/218-elaborati-pptr-approvato.html>.

Il territorio dell'agglomerato si estende per circa 329 km² e interessa 88.812 abitanti (dati ISTAT al 31/12/2011).

I dati caratteristici delle diverse sorgenti sonore da analizzare ai fini dell'elaborazione della mappa strategica sono:

- ~ 667 km di infrastrutture stradali;
- ~ 39 km di infrastrutture ferroviarie;
- ~ 2,97 km² di sedime aeroportuale;
- ~ 9 insediamenti industriali sottoposti ad A.I.A.;
- ~ 27 km² di infrastrutture portuali (superficie totale dei piazzali).

Nell'ambito degli adempimenti legislativi in tema di rumore in carico ai comuni, è opportuno segnalare che il Comune di Brindisi, con D.G.C. n° 487 del 27/09/2006 ha adottato il Piano di Zonizzazione Acustica del Territorio Comunale, successivamente approvato dalla Provincia di Brindisi con D.G.P. n°17 del 13/02/2007.

In seguito, con D.G.C. n. 243 del 17/06/2011 e D.G.C. n.328 del 05/08/2011, il Comune di Brindisi ha adottato la variante al Piano suddetto, approvata dalla Provincia di Brindisi con D.G.P. n. 56 del 12/04/2012.

Come richiesto dalla L.Q. 447/95 e successivi decreti attuativi, nonché dalla L.R. n.3/2002, il territorio comunale è stato suddiviso in sei classi acusticamente omogenee, ciascuna caratterizzata da specifici limiti di rumorosità. Tale piano, insieme ai risultati ottenuti dal presente lavoro, rappresenta lo strumento di riferimento a partire dal quale è possibile individuare eventuali criticità su cui indirizzare gli strumenti di risanamento previsti dalla normativa vigente (Piano di Azione, Piano di Risanamento Acustico Comunale, Piano di Contenimento e abbattimento del Rumore).

3 METODOLOGIA OPERATIVA

Il lavoro di elaborazione della mappa acustica strategica sperimentale dell'Agglomerato di Brindisi è stato suddiviso in cinque fasi:

1. Mappatura delle infrastrutture stradali non principali;
2. Mappatura acustica dei siti di attività industriale e del porto;
3. Mappatura acustica delle infrastrutture ferroviarie;
4. Mappatura acustica dell'aeroporto;
5. Integrazione delle mappature acustiche pervenute dagli enti gestori e realizzazione della Mappa Acustica Strategica dell'agglomerato di Brindisi.

Nei paragrafi successivi si riporta nel dettaglio la metodologia operativa utilizzata, nonché alcune considerazioni relative all'incertezza sui risultati finali dello studio.

3.1 Mappatura delle infrastrutture stradali non principali

Come detto in premessa la mappatura delle infrastrutture non principali ricadenti negli agglomerati urbani è stata realizzata da ARPA Puglia. Per le infrastrutture principali ciascun Ente gestore trasmette le mappature all'autorità competente al fine di consentirne l'integrazione in sede di redazione della mappa acustica strategica.

Nel caso dell'agglomerato di Brindisi, ARPA Puglia ha richiesto agli enti gestori (Comune e Provincia) informazioni circa la presenza di infrastrutture principali ricadenti sul territorio di interesse. In base ai dati ed alle informazioni in possesso alla data di redazione del presente lavoro, ARPA Puglia ha provveduto alla mappatura di tutte le infrastrutture stradali contenute nell'agglomerato ad eccezione di quelle in gestione ad Anas, per le quali è stata prodotta la documentazione prevista dal D. Lgs. 194/05 (cfr. Par. 3.5.1).

La rete stradale compresa nell'agglomerato di Brindisi presenta differenti tipologie di infrastrutture, caratterizzate da notevoli diversità, sia da un punto di vista di competenze e gestione, sia relativamente ai flussi di traffico ed emissione acustica.

In attesa dell'emanazione delle disposizioni attuative del D.Lgs.194/05², sono stati utilizzati gli stessi criteri adottati da ARPA Puglia in occasione della redazione della mappa acustica strategica degli agglomerati Pugliesi assoggettati al citato Decreto.

² I disposti normativi in attesa di emanazione sono i seguenti: decreto relativo ai criteri per la predisposizione delle mappe acustiche e delle mappe acustiche strategiche (cfr. articolo 3 comma 5 del D.Lgs.194/05), decreto relativo ai criteri e agli algoritmi per la conversione dei valori limite per i descrittori acustici L_{den} e L_{night} (cfr. articolo 5 comma 2), decreto relativo ai metodi di determinazione dei descrittori acustici e della relazione dose-effetto (cfr. articolo 6 comma 1).

Per la determinazione dei descrittori L_{den} e L_{night} si è proceduto attraverso la modellizzazione acustica effettuata tramite un programma di calcolo previsionale commerciale, tarato in base a rilievi di rumore sul campo. Secondo quanto raccomandato dal D.Lgs. 194/05, relativamente al rumore prodotto dalle infrastrutture stradali, è stato utilizzato il metodo “NMPB–Routes-96” (Nouvelle Methode de Prevision de Bruit). In fase di modellizzazione sono stati eseguiti due calcoli: uno relativo ai livelli di rumore in facciata agli edifici, escludendo la riflessione della facciata stessa, e l’altro su una griglia di punti ricettori con passo di 5 metri per i descrittori L_{den} e L_{night} ; in entrambi i casi i punti prescelti per il calcolo sono stati posizionati ad un’altezza dal suolo pari a 4 m.

La caratterizzazione della rumorosità prodotta dalle sorgenti stradali ha previsto un lavoro preliminare di classificazione di ogni asse, tenendo conto delle caratteristiche emissive dal punto di vista acustico (larghezza strada, distanza dagli edifici, manto stradale, caratteristiche del traffico stradale, etc.) e dell’assetto territoriale nel quale le strade sono inserite. Successivamente è stata pianificata ed eseguita una campagna di monitoraggio di breve durata (almeno 24 ore), cercando di distribuire le misure su ogni classe. In tal modo è stato possibile calcolare la potenza acustica media per ogni classe di strada e quindi assegnare un livello di potenza sonora anche ai tratti stradali in cui non erano state eseguite misure.

Infine, per alcune infrastrutture stradali extraurbane, piuttosto che assegnare un valore di potenza media ricavata a partire dalle misure in ambito urbano, si è preferito utilizzare nel modello acustico i dati di traffico rilevati nell’ambito della stesura del Piano Regionale dei Trasporti della Regione Puglia [14].

Il lavoro si è sviluppato attraverso le seguenti fasi:

- organizzazione e gestione dei dati;
- classificazione degli assi stradali;
- monitoraggio del rumore;
- definizione del metodo di calcolo;
- stima della popolazione esposta.

3.1.1 Organizzazione e gestione dati

La prima fase di lavoro è consistita nella raccolta ed organizzazione dei dati disponibili per il Comune di Brindisi e nella loro validazione ai fini della predisposizione della mappatura acustica delle strade.

Poiché la stima dei livelli sonori avviene attraverso l'utilizzo di un modello di calcolo previsionale, la qualità del risultato finale, ossia del valore di livello sonoro al ricettore, dipende strettamente dalla tipologia di dati di input inseriti nel modello.

La differente tipologia di dati a disposizione può determinare la necessità di esecuzione di specifiche campagne di misura e sopralluoghi sul campo (per esempio la conoscenza o meno dei flussi di traffico e delle velocità, della pavimentazione della strada, dell'altezza degli edifici, ecc.). Tutti i dati sono stati gestiti ed organizzati mediante l'utilizzo di sistemi GIS.

3.1.1.1 Dati relativi alla popolazione

Il D.Lgs.194/05 prevede la valutazione del numero di persone esposte al rumore entro specifici intervalli di livello sonoro. A tal fine sono stati utilizzati gli ultimi dati di popolazione disponibili in forma disaggregata (per sezione di censimento), ovvero quelli pubblicati nell'ultimo censimento ISTAT popolazione del 2011. Direttamente dal sito internet (<http://www.istat.it>) è stato scaricato il livello tematico relativo alle sezioni di censimento ISTAT 2011 in formato vettoriale shapefile, nonché il tabulato contenente i dati numerici in formato .xls. Successivamente in ambiente GIS, tramite un'operazione di "join", ad ogni sezione di censimento sono stati assegnati i valori ad essa relativi.

Per il comune di Brindisi le sezioni di censimento 2011 sono 1100, di cui 153 senza alcun residente. Nelle zone maggiormente edificate le sezioni hanno un'area relativamente piccola, e coincidono, nella maggior parte dei casi, con singoli isolati. Nelle zone extraurbane l'estensione è ovviamente maggiore ed il numero di abitanti sensibilmente inferiore rispetto alla media.

3.1.1.2 Dati di tipo geometrico per la costruzione del modello acustico

Per realizzare una adeguata modellizzazione della porzione di territorio da analizzare si è fatto riferimento ai seguenti dati:

- dati cartografici ricavati dalla Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:5.000 aggiornata all'anno 2006 e resa disponibile dal Servizio Cartografico della Regione Puglia (<http://www.sit.puglia.it/>);
- dati geografici ricavati dal sistema opensource Openstreetmap (<https://openstreetmap.it/>).

Il sistema di riferimento utilizzato per l'intero studio è stato UTM WGS84, fuso 33 nord.

Successivamente sono state eseguite delle elaborazioni in ambiente GIS, come descritto nel seguito.

Modello digitale del terreno

Per la costruzione del modello digitale del terreno sono stati utilizzati i tematismi CTR delle curve di livello, dei punti quotati, nonché di altri oggetti cartografati con relativa quota assoluta. A partire da questi dati, in ambiente GIS è stata realizzata una nuova copertura costituita da polilinee 3D, idonea all'importazione nel modello di calcolo. Nell'elaborazione è stata posta particolare attenzione alla presenza di forti discontinuità piano altimetriche delle sorgenti di rumore (ad esempio la presenza dei cavalcavia o di ponti in corrispondenza di lame) e del terreno circostante.

Edifici

Si tratta del livello tematico poligonale codificato nella CTR con la descrizione "Edificio civile". Sempre in ambiente GIS sono stati individuati gli edifici utili ai fini della modellizzazione acustica, escludendo ad esempio tettoie, baracche, pensiline etc. aventi area inferiore a 20 mq. Successivamente i poligoni sono stati suddivisi in base a foto interpretazione di ortofoto e/o foto panoramiche disponibili sulla rete internet³. A ciascuna area è stata poi attribuita l'altezza ricavata dai punti quotati della CTR (come differenza tra quota in gronda e quota al piede) oppure da sopralluoghi e/o dall'osservazione delle foto panoramiche (stima dell'altezza a partire dal numero dei piani di ciascuna unità volumetrica).

Per quanto riguarda l'assegnazione della popolazione ad ogni edificio, è stato utilizzato il metodo della densità volumetrica di popolazione: per ogni sezione di censimento è stato calcolato il volume totale degli edifici a destinazione d'uso residenziale e quindi la densità di popolazione, dividendo il numero di abitanti della sezione per il volume totale della sezione stessa; ad ogni edificio è stata assegnata la popolazione residente, moltiplicando il volume del singolo edificio per la densità calcolata per la sezione di censimento di appartenenza. Il dato così ottenuto è stato arrotondato all'intero immediatamente superiore e quindi, per ogni sezione di censimento, è stata effettuata la normalizzazione sul dato globale di popolazione.

³ Foto aeree e/o foto panoramiche disponibili su <http://www.bing.com/maps/> oppure su <https://maps.google.it/>.

Strade

A partire dai dati geografici di OpenStreetMap, in ambiente GIS è stato elaborato il grafo stradale necessario ai fini della modellizzazione acustica stradale del territorio comunale. Per ogni infrastruttura sono stati rappresentati archi e nodi in maniera semplificata, prestando particolare attenzione al rispetto delle distanze relative sorgente-ricettore, e alle indicazioni riportate nella *“Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure - Version 2, 13 August 2007”* predisposta dal gruppo di lavoro WG-AEN della Commissione Europea (d’ora in avanti GPG) [6]. Agli archi principali sono stati associati i rispettivi toponimi, nonché la corretta indicazione altimetrica ricavata dal DTM descritto in precedenza.

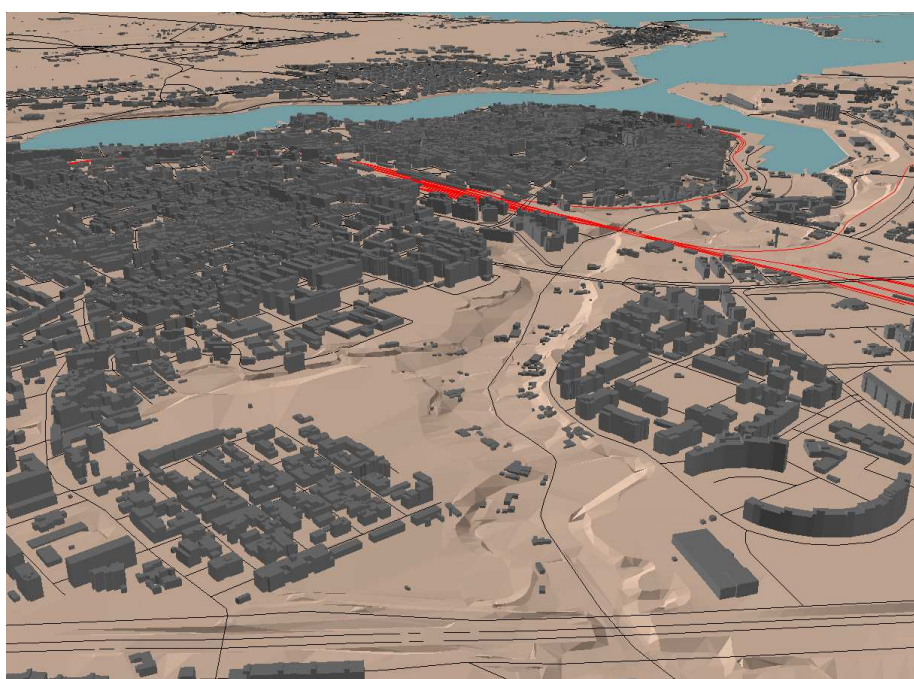


Figura 3.1 – Ricostruzione tridimensionale dell’agglomerato di Brindisi in ambiente GIS

3.1.2 Classificazione degli assi stradali

Come accennato in precedenza, per la caratterizzazione acustica dell’intera rete stradale di Brindisi è stato utilizzato un metodo già sperimentato positivamente in altri contesti italiani (Bari, Taranto, Andria e Foggia) secondo cui tutte le strade sono suddivise in categorie omogenee dal punto di vista acustico, ed a ciascuna di esse è attribuita la potenza acustica ricavata per la categoria di appartenenza.

Per la classificazione degli assi stradali si è partiti dalla consultazione delle ortofoto disponibili in rete integrata con sopralluoghi mirati. In base a tali informazioni l’intero stradario è stato suddiviso in quattro categorie di flussi di traffico:

- 1 – elevato;
- 2 – medio;
- 3 – ridotto;
- 4 – trascurabile.

Poiché la caratterizzazione acustica deve tener conto sia dei flussi di traffico sia delle caratteristiche fisiche delle varie strade (presenza di fabbricati, larghezza della strada, manto stradale, numero di sensi di marcia, etc.), si è proceduto ad una serie di sopralluoghi finalizzati alla verifica della corretta attribuzione dei vari assi alle categorie summenzionate. In molti casi la classificazione preventiva è sembrata corretta, in altri casi è stato necessario procedere con una parziale riclassificazione.

3.1.3 Monitoraggio del rumore

La campagna di monitoraggio, oltre a fornire un dato puntuale del rumore presente, ha consentito di assegnare la potenza sonora alle categorie di strade in cui è stato suddiviso l'intero grafo stradale cittadino.

Per le misure sono state utilizzate 4 centraline di monitoraggio del tipo rilocabile, ciascuna avente le seguenti principali caratteristiche:

- Fonometro integratore in classe 1, marca SVANTEK, completo di:
 - Preamplificatore microfonico SV 17;
 - Microfono in campo libero da ½" (G.R.A.S. 40AE) prepolarizzato;
 - Filtri real time 1/1, 1/3 d'ottava (20 Hz – 20 kHz);
- Valigetta a tenuta ermetica completa di batteria da 33 Ah (autonomia di 10 giorni), mod. SV211C;
- Cavo prolunga da 10 m tra preamplificatore e valigetta a tenuta ermetica;
- Kit di protezione per preamplificatore e microfono per misure in esterno, mod. SA 205;
- Palo telescopico completo di supporto treppiede, marca Manfrotto, mod. Black Alu Super Stand;
- Calibratore in classe 1, mod. SV31 – livello 114 dB, frequenza 1000 Hz.

Le misure sono state eseguite alla presenza di:

- dott. ing. Francesco Cardillo – tecnico competente in acustica ambientale (Attestato di riconoscimento della Provincia di Bologna – Servizio Amministrativo Ambiente, prot. n. 207562 del 14/07/2006);

- dott. ing. Gianluca Domenico Primavera – tecnico competente in acustica ambientale (Determina Dirigenziale n. 435 del 10/07/2009 - Servizio Ambiente - Provincia di Bari);
- dott. ing. Benedetto Figorito;
- dott. arch. Rocco di Modugno;
- dott.ssa Francesca Fedele (limitatamente ad alcune giornate).

Tutte le misure effettuate sul territorio comunale hanno avuto durata pari a uno o più giorni, e sono state realizzate collocando lo strumento di misura su balconi, lastrici solari o cortili prospicienti i tratti stradali da monitorare. Lo strumento è stato per lo più posizionato presso le pertinenze delle scuole comunali del territorio di Brindisi o sui balconi di abitazioni private.

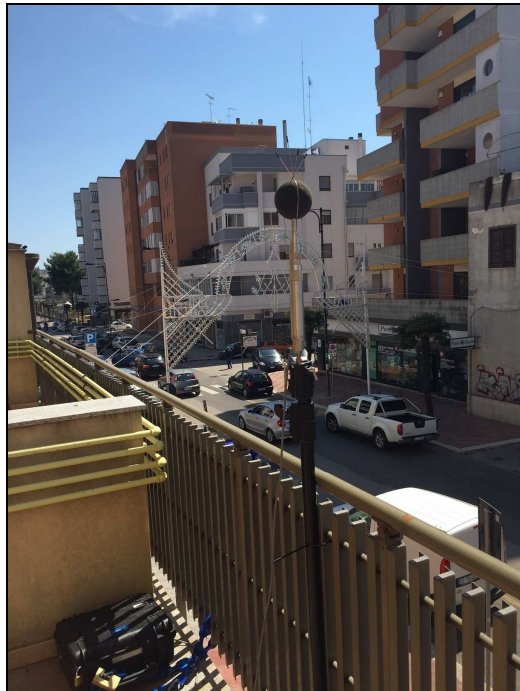


Figura 3.2 – Rilievo eseguito su un balcone prospiciente Via Appia

Il livello sonoro misurato è il livello equivalente di pressione sonora ponderato “A”, con un tempo di campionamento pari a 1 secondo, costante di tempo “fast”, acquisizione dei principali livelli percentili (L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95} , L_{99}).

Inoltre, per ogni strumento è stato impostato un livello di soglia (trigger), superato il quale è stata acquisita la registrazione audio degli eventi sonori, al fine di individuare la presenza di eventi anomali durante la misura (ad es. sirene dei mezzi di soccorso o di antifurti, latrare di cani, schiamazzi, rumore introdotto dal passaggio di treni, etc.). All’inizio

e alla fine di ciascuna misura è stata eseguita la calibrazione dello strumento, per la verifica del corretto funzionamento della strumentazione secondo quanto raccomandato dal D.M. 16/03/1998 [3] (differenza tra i due fattori di calibrazione inferiore a 0,5 dB).

A partire dalla classificazione dell'intera rete stradale è stato elaborato un piano di monitoraggio, cercando di distribuire le misure sulle prime tre categorie di strade e di coprire il più possibile le varie zone del territorio comunale (Figura 3.3). Per le strade di categoria 4 (traffico trascurabile) non sono state eseguite misure in quanto, dall'osservazione in loco delle caratteristiche di questa tipologia di tratti stradali (flusso veicolare estremamente ridotto o sviluppato dai soli residenti di quartiere, asse stradale particolarmente ristretto, assenza di collegamenti con arterie importanti) emerge che la loro presenza non incide in alcun modo in termini di popolazione esposta a livelli di rumore significativi.

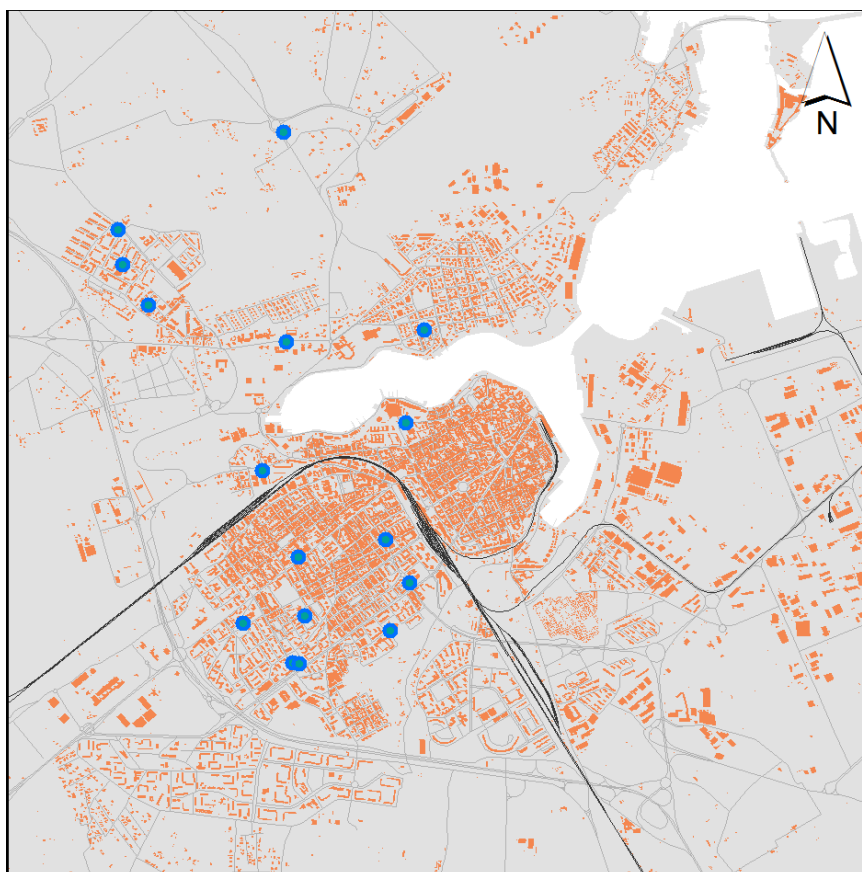


Figura 3.3 – Distribuzione dei punti di indagine fonometrica nell'agglomerato di Brindisi

Come specificato in dettaglio al paragrafo 3.1.4.6, per questo tipo di strade è stato assegnato un valore di default del livello di potenza sonora, tale da non alterare gli effetti derivanti dall'esposizione dei ricettori al rumore veicolare delle categorie superiori.

Al termine della fase di monitoraggio i dati acquisiti dalle centraline sono stati post-elaborati, al fine della loro validazione. In particolare sono state eliminate le porzioni di

misura comprendenti eventi atmosferici non ammessi per le misure fonometriche ex D.M. 16/03/1998 [3] (presenza di pioggia, vento superiore a 5 m/s, etc.), nonché eventi sonori anomali. Quindi sono stati ricavati i livelli relativi ai tre periodi di riferimento L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} , nonché L_{den} .

Nel caso di misure aventi durata maggiore di 24 ore i livelli calcolati derivano dalle medie logaritmiche ricavate nei diversi giorni per ciascuna delle tre fasce orarie.

In totale i rilievi effettuati sono stati 16, i cui risultati sono riportati nella Tabella 3.1.

Codice misura	Ubicazione	Categoria	L_{day} [dB(A)]	$L_{evening}$ [dB(A)]	L_{night} [dB(A)]	L_{den} [dB(A)]
BR_01_BT	Via Nicola Brandi	1	64.3	63.1	57.9	66.2
BR_02_BT	Via Appia	1	64.4	62.9	58.1	66.3
BR_03_BT	Viale Togliatti	1	59.1	58.5	52.8	61.1
BR_04_BT	Via S.G. Bosco	2	59.5	57.6	51.5	60.6
BR_05_BT	Via del Lavoro	2	55.9	54.7	48.7	57.4
BR_06_BT	Via Tirolo	2	58.2	56.9	52.0	60.2
BR_07_BT	Via dei Mille	2	60.5	59.0	54.6	62.7
BR_08_BT	Via Magenta	2	59.7	58.2	52	61.0
BR_09_BT	Via Primo Longobardo	2	59.7	59.1	51.0	60.7
BR_10_BT	V.le Gabriele d'Annunzio	2	56.4	55.8	47.9	57.5
BR_11_BT	Strada della Torretta	2	57.0	57.0	49.0	58.4
BR_12_BT	Via Numa Pompilio	2	56.9	54.9	50.1	58.5
BR_13_BT	Via Maestri del Lavoro	2	58.3	55.1	54.6	61.6
BR_14_BT	Via di Vittorio	3	55.7	54.8	47.3	56.8
BR_15_BT	Via Ciro Menotti	3	57.3	51.5	47.0	57.2
BR_16_BT	Via Francesco Petrarca	3	52.1	50.9	48.2	55.4

Tabella 3.1 – Risultati della campagna di misure

3.1.4 Definizione del metodo di calcolo

Per il calcolo dei livelli di rumore richiesti dalla normativa è stato impiegato il software CadnaA versione 3.72.131, sviluppato dalla DataKustik GmbH che implementa, tra gli altri, il metodo di calcolo francese NMPB - Routes - 96 (Bruit des infrastructures Routieres Methode de calcul incluant les effets meteorologiques). Il metodo NMPB è lo standard utilizzato nel caso di interesse, in cui le sorgenti di studio sono costituite da infrastrutture stradali. Tale scelta recepisce le indicazioni della Direttiva Europea 2002/49/CE che, nell'allegato II, raccomanda il metodo NMPB - Routes - 96 e la norma tecnica francese XP S31-133 per la modellazione del rumore da traffico stradale.

Tale indicazione risulta peraltro ribadita dalla Raccomandazione 2003/613/CE della Commissione del 6 agosto 2003 concernente le linee guida relative ai metodi di calcolo

aggiornati per il rumore dell'attività industriale, degli aeromobili, del traffico veicolare e ferroviario e i relativi dati di rumorosità [5].

La costruzione del modello di simulazione all'interno del software di previsione acustica si è articolata nelle seguenti fasi:

- a. Importazione delle polilinee 3D per la creazione del DTM;
- b. Importazione edificato;
- c. Importazione assi stradali;
- d. Importazione punti di monitoraggio
- e. Importazione di elementi schermanti;
- f. Impostazione dei parametri di calcolo;
- g. Calcolo della potenza sonora degli assi stradali;
- h. Calcolo dei descrittori acustici.

3.1.4.1 Importazione delle polilinee 3D per la creazione del DTM

Le polilinee 3D create in ambiente GIS (cfr. paragrafo 3.1.1.2) sono state importate in CadnaA sotto forma di shapefile ed assegnate alla categoria "curve di livello". Successivamente sono stati importati gli shapefile relativi ai ponti (poligoni 3D, preventivamente creati in ambiente GIS) ed assegnati alla categoria "ponti".

Al termine di questa fase CadnaA ha generato un suo modello del terreno di tipo TIN (Triangulated Irregular Network), successivamente verificato mediante le viste "3D-special" del software.

3.1.4.2 Importazione edificato

Gli edifici 3D elaborati come descritto in precedenza (cfr. paragrafo 3.1.1.2) sono stati importati in formato shapefile ed assegnati alla categoria "edifici". In questo modo ogni edificio si è posizionato sul DTM, ciascuno con la sua altezza corretta, l'informazione relativa alla destinazione d'uso e, nel caso residenziale, il numero di abitanti ad esso corrispondente. Relativamente alle caratteristiche acustiche, ad ogni edificio è stato assegnato un coefficiente di assorbimento α pari a 0.37 (corrispondente ad una perdita per riflessione di 2 dB), valore di default riferito ad una tipica facciata "complessa" con balconi e sporgenze. Anche in questo caso, al termine dell'importazione, è stato eseguito un controllo tramite le viste "3D-special".

3.1.4.3 Importazione assi stradali

L'intero grafo stradale è stato importato nel modello di simulazione ed associato alla categoria "strade". Automaticamente tutti gli assi si sono collocati nella corretta posizione plano-altimetrica.

In prima battuta agli assi stradali non è stato assegnato alcun valore di potenza emissiva né di flussi di traffico. In questa fase ci si è limitati al controllo tridimensionale dei vari assi mediante le viste "3D-special", ponendo attenzione alle situazioni particolari (ad es. in corrispondenza di ponti, sottopassi, strade in rilevato, etc.).

3.1.4.4 Importazione punti di monitoraggio

Lo shapefile dei punti in cui sono state eseguite le misure è stato importato in CadnaA ed assegnato alla categoria "ricettori". Ad ogni punto sono stati associati i valori rilevati strumentalmente per le tre fasce giorno, sera e notte. In ambiente CadnaA è stata corretta la posizione relativa ricettore-facciata dell'edificio, nonché la quota rispetto all'asse stradale più vicino. Ancora una volta è stata verificata la corretta ubicazione di ogni punto utilizzando le viste "3D-special".

3.1.4.5 Impostazione dei parametri di calcolo

I parametri di calcolo impostati all'interno del software CadnaA sono di seguito riportati:

Parametro	Valore
Algoritmo di calcolo utilizzato (rumore stradale)	NMPB-Routes-96
Errore massimo tollerato [dB]	0.5
Massimo raggio di ricerca intorno alla sorgente [m]	1000
Minima distanza sorgente-punto di immissione [m]	0
Partizione della sorgente – fattore di reticolo	0.5
Massima lunghezza sezione [m]	500
Minima lunghezza sezione [m]	5
Assorbimento del suolo G	0.5
Massimo ordine di riflessione	1
Riflessioni – raggio di ricerca attorno a sorgente [m]	10
Riflessioni – massima distanza sorgente-immissione [m]	100
Riflessioni – minima distanza immissione-sup. riflettente [m]	0

In merito alla configurazione dei parametri meteo sono stati utilizzati quelli predefiniti suggeriti dalla GPG [6] ovvero:

Periodo	Probabilità media annua di condizioni
Giorno	50% di condizioni favorevoli alla propagazione
Sera	75% di condizioni favorevoli alla propagazione
Notte	100% di condizioni favorevoli alla propagazione

Per ogni punto ricevitore sono stati calcolati i descrittori L_{day} , L_{night} , $L_{evening}$ e L_{den} . Per l'effettuazione del calcolo, la giornata è stata suddivisa nei seguenti periodi di riferimento:

- periodo di riferimento diurno: 14 ore, dalle ore 6.00 alle ore 20.00;
- periodo di riferimento serale: 2 ore, dalle ore 20.00 alle ore 22.00;
- periodo di riferimento notturno: 8 ore, dalle ore 22.00 alle ore 6.00.

I parametri di calcolo del software di simulazione sono stati utilizzati sia nella fase di valutazione della potenza sonora di singoli assi stradali, sia nel calcolo delle mappe acustiche su una griglia di punti. Nel calcolo dei livelli sonori in facciata degli edifici l'unico parametro variato è stato "*Riflessioni - minima distanza immissione-sup. riflettente*", in cui è stato inserito un valore pari ad 1 metro. In ottemperanza a quanto previsto dalla normativa, ciò consente di valutare la rumorosità sui punti ricettori in facciata ignorando il contributo derivante dalla riflessione sulla facciata stessa, ma considerando la riflessione su altri edifici o schermi presenti nelle vicinanze.

3.1.4.6 Calcolo della potenza sonora degli assi stradali

Il modello di calcolo è stato utilizzato per ricavare la potenza sonora media per ognuna delle quattro classi assegnate agli assi stradali dell'intero agglomerato.

Per le prime tre categorie di strade, ovvero quelle caratterizzate da traffico elevato, medio e ridotto, le potenze sono state assegnate a partire dai rilievi fonometrici di breve termine, secondo la procedura di seguito descritta.

Innanzitutto, all'interno del modello di simulazione, è stato lanciato il calcolo presso i punti ricettori corrispondenti alle misure fonometriche, avendo preventivamente assegnato una potenza sonora ipotetica agli assi stradali su essi incidenti in termini di rumorosità. Per ciascuna delle fasce orarie di riferimento (giorno, sera, notte), con metodo iterativo, sono stati modificati i valori di potenza sonora delle strade, fino a raggiungere la perfetta coincidenza tra valori misurati strumentalmente e valori calcolati nel modello. Al termine di questo processo è stata ricavata la potenza sonora dei singoli assi stradali (Tabella 3.2) e quindi la media per ciascuna classe di appartenenza.

Nome Strada	Categoria	Potenza acustica [dB]		
		LW _{day}	LW _{evening}	LW _{night}
Via Nicola Brandi	1	80.5	79.3	74
Via Appia	1	80	78	73.3
Viale Togliatti	1	78	77,5	72
Via S.G. Bosco	2	77,5	75,5	69,3
Via del Lavoro	2	76	74,3	68
Via Tirolo	2	75,5	73,5	79
Via dei Mille	2	75,5	74	69,5
Via Magenta	2	75	74	68
Via Primo Longobardo	2	74,7	74	66
V.le Gabriele d'Annunzio	2	74,5	74	66
Strada della Torretta	2	73	73	65
Via Numa Pompilio	2	73,8	71,6	66,7
Via Maestri del Lavoro	2	71	66	69
Via di Vittorio	3	72,0	71	63
Via Ciro Menotti	3	68	62	58
Via Francesco Petrarca	3	66	65	62.5

Tabella 3.2 – Potenze acustiche ricavate nel modello di simulazione

Per ricavare un dato più realistico si è ipotizzato che il livello di rumore misurato durante la campagna di monitoraggio presso alcuni ricettori non derivasse unicamente dall'asse stradale su cui il ricettore stesso affacciava ma altresì dal contributo, seppure inferiore, delle strade circostanti. Questa condizione risulta particolarmente veritiera allorché il punto di immissione cade in corrispondenza di incroci o comunque di aree con strade concomitanti, in misura tanto maggiore quanto minore è la differenza di classe tra le strade suddette. Se non si fosse tenuto conto di ciò, si sarebbe rischiesta una sovrastima nell'attribuzione del dato di potenza sonora della strada e di conseguenza delle potenze medie assegnate alle tre classi summenzionate.

All'interno del modello di simulazione, ai tratti stradali nell'intorno dei punti di misura è stata quindi assegnata la potenza di rumore media ricavata per la corrispondente classe di appartenenza, lasciando invariati i parametri di potenza per l'asse stradale maggiormente influente sul ricettore (ovvero quelli riportati in Tabella 3.2).

A questo punto è stato lanciato un nuovo calcolo presso i punti ricettori. Nella maggior parte dei casi si è notato un aumento dei livelli di pressione sonora, causato dall'influenza dei nuovi assi stradali considerati. Quindi, analogamente a quanto avvenuto nella fase precedente, il livello di potenza acustica degli assi stradali di Tabella 3.2 è stato regolato in modo iterativo, sino a quando la differenza massima tra livello di pressione sonora calcolato e misurato è risultata inferiore a 0,5 dB.

La Tabella 3.3 riporta il confronto tra livelli di pressione sonora calcolati e misurati in corrispondenza dei ricettori.

Ubicazione	Livello CALCOLATO (Lc)				Livello MISURATO (Lm)				Differenza Lc-Lm			
	L _{day}	L _{eve}	L _{night}	L _{den}	L _{day}	L _{eve}	L _{night}	L _{den}	L _{day}	L _{eve}	L _{night}	L _{den}
	[dBA]	[dBA]	[dBA]	[dBA]	[dBA]	[dBA]	[dBA]	[dBA]	[dBA]	[dBA]	[dBA]	[dBA]
Via Nicola Brandi	64.3	63.1	57.8	66.2	64.3	63.1	57.9	66.2	0	0	0.1	0
Via Appia	64.9	62.9	58.3	66.6	64.4	62.9	58.1	66.3	-0.5	0	-0.2	-0.3
Viale Togliatti	59.5	58.7	53.2	61.5	59.1	58.5	52.8	61.6	-0.4	-0.2	-0.4	0.1
Via S.G. Bosco	59.8	58	52	61	59.5	57.6	51.5	60.6	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4
Via del Lavoro	56.2	54.9	49	57.7	55.9	54.7	48.7	57.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3
Via Tirolo	58.5	56.9	52.4	60.5	58.2	56.9	52	60.2	-0.3	0	-0.4	-0.3
Via dei Mille	60.5	59	54.6	62.6	60.5	59	54.7	62.7	0	0	0.1	0.1
Via Magenta	59.5	58.4	52.5	61.2	59.7	58.2	52	61	0.2	-0.2	-0.5	-0.2
Via Primo Longobardo	59.8	59.2	51.2	60.9	59.7	59.1	51	60.7	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2
V.le Gabriele d'Annunzio	56.6	56.1	48.3	57.8	56.4	55.8	47.9	58.8	-0.2	-0.3	-0.4	1
Strada della Torretta	56.9	56.6	49.1	58.3	57	57	49	58.4	0.1	0.4	-0.1	0.1
Via Numa Pompilio	57.5	55.4	50.4	59	56.9	54.9	50.1	58.5	-0.6	-0.5	-0.3	-0.5
Via Maestri del Lavoro	58.5	55.6	54.5	61.6	58.3	55.1	54.6	61.6	-0.2	-0.5	0.1	0
Via di Vittorio	56	54.9	47.6	57	55.7	54.8	47.3	56.8	-0.3	-0.1	-0.3	-0.2
Via Ciro Menotti	57.3	51.6	47.4	57.4	57.3	51.5	47	57.2	0	-0.1	-0.4	-0.2
Via Francesco Petrarca	52.3	51.4	48.4	55.7	52.1	50.9	48.2	55.4	-0.2	-0.5	-0.2	-0.3

Tabella 3.3 – Confronto tra livelli di pressione sonora calcolati e misurati

Al termine di questa fase è stata ricavata la potenza definitiva di ciascun asse stradale e quindi ricalcolati i valori medi per categoria, riportati in Tabella 3.4.

Categoria strada	Potenza acustica media [dB]		
	L _{w day}	L _{w evening}	L _{w night}
1 – traffico elevato	79,6	78,3	73,2
2 – traffico medio	74,8	73,3	67,7
3 – traffico ridotto	69,4	67,6	61,7

Tabella 3.4 – Potenze sonore medie per categoria di strada

Come detto in precedenza, per le infrastrutture stradali di categoria 4 è stata fatta una valutazione di tipo qualitativo, a partire dalla considerazione che in questi tratti il traffico stradale non contribuisce in maniera significativa ai livelli di esposizione sonora della popolazione. In altre parole, all'interno del modello di simulazione, agli assi di categoria 4 è stata assegnata una potenza sonora tale da non superare in nessun caso, in facciata degli edifici più esposti, i valori di 50 dB(A) per L_{night} e 55 dB(A) per L_{den}.

La potenza acustica media ricavata per la categoria 4 è riportata in Tabella 3.5.

Categoria strada	Potenza acustica media [dB]		
	LW _{day}	LW _{evening}	LW _{night}
4 – traffico trascurabile	58,0	56,5	52,0

Tabella 3.5 – Potenza sonora assegnata alle strade con traffico trascurabile

I livelli di potenza sonora così ottenuti sono stati attribuiti in ambiente GIS a tutti gli assi stradali del grafo a seconda della classe di appartenenza e successivamente importati nel software di simulazione.

Infine, per alcune strade extraurbane non mappate dal relativo Ente gestore sono stati utilizzati, laddove disponibili, i dati di monitoraggio del traffico pubblicati nel quadro conoscitivo del Piano Regionale dei Trasporti [14], ipotizzando come velocità di percorrenza quella massima consentita dal codice della strada per ciascuna tipologia di infrastruttura. In Tabella 3.6 sono riportati, per ogni infrastruttura, i dati di potenza acustica utilizzata dal modello di simulazione come restituiti dal software CadnaA.

Nome strada	Potenza acustica [dB]		
	LW _{day}	LW _{evening}	LW _{night}
SP San Vito	84.5	85	78.7
SP S.Pietro Vernotico	83.0	80.3	74.1

Tabella 3.6 – Potenza sonora di alcune strade ricavata a partire dai dati del PRT

3.1.4.7 Calcolo dei descrittori acustici

Una volta messo a punto il modello di simulazione, sono stati lanciati due calcoli:

- **Calcolo in facciata**, ovvero la determinazione dei livelli sonori a 4 metri di altezza sulla facciata più esposta di ciascun edificio abitativo, al fine di individuare per i descrittori acustici L_{den} e L_{night} il numero assoluto di residenti esposti a determinati intervalli dei livelli acustici;
- **Mappa acustica**, ovvero il calcolo dei descrittori acustici L_{den} e L_{night} su una griglia di punti con passo di 5 per 5 metri, altezza relativa pari a 4 metri. Le mappe acustiche consentono di valutare in modo immediato la rumorosità in determinate aree del territorio, nonché gli edifici maggiormente esposti. Una volta calcolata, la mappa può essere rappresentata sotto forma sia di superfici che di curve isolivello con passo di 5 dB, così come imposto dalla normativa. Per la rappresentazione cartografica sono state utilizzate le indicazioni cromatiche suggerite dalla norma UNI 9884:1997 [8].

•

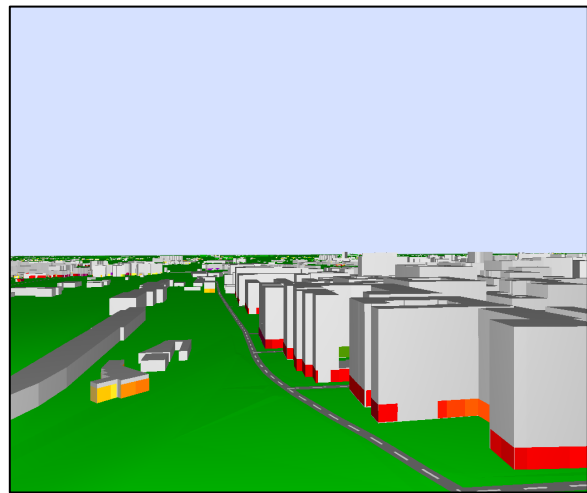


Figura 3.4 – Visualizzazione dei ricettori in facciata edificio e ricostruzione 3D

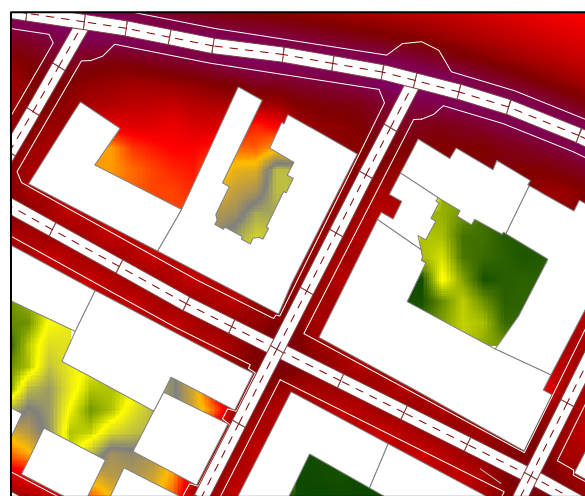
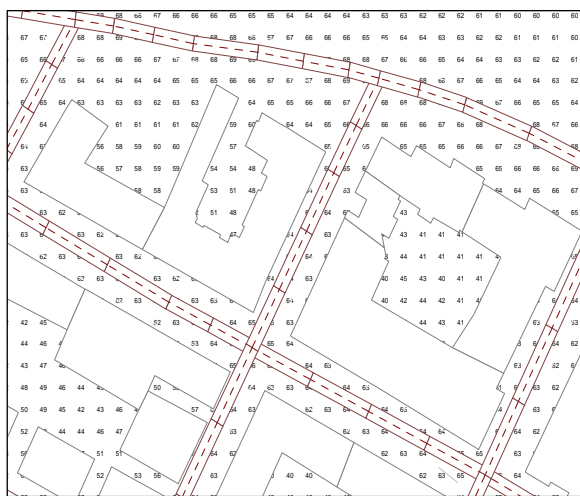


Figura 3.5 – Visualizzazione griglia ricettori e risultati del calcolo

3.1.5 Stima della popolazione esposta

La stima della popolazione esposta alla rumorosità prodotta dalle infrastrutture stradali della città di Brindisi è stata effettuata utilizzando le funzionalità implementate all'interno del software di simulazione. Così come imposto dalla normativa, nonché suggerito dalla GPG [6], per ogni edificio residenziale sono stati generati in automatico una serie di punti ricettori distribuiti lungo le facciate, aventi altezza di 4 metri relativi al suolo e distanziati tra loro di 3 metri. La distanza tra ricettori e superficie dell'edificio è stata impostata a 0,1 metri, mentre per l'esecuzione del calcolo la minima distanza tra ricettore e superficie riflettente è stata impostata ad 1 metro. Come accennato in precedenza, ciò consente di valutare la rumorosità su ciascun punto ricettore, escludendo la riflessione sulla facciata dell'edificio stesso ma considerando quella sugli altri edifici e/o ostacoli presenti.

Una volta lanciato il calcolo, all'interno del software CadnaA è stato richiamato il comando "Object-scan", scegliendo l'opzione "2002/49/CE Residenti per intervalli di rumore". In modo automatico il software ricava per ciascun edificio il livello massimo calcolato in facciata ed attribuisce tale livello al numero di abitanti ad esso associati. L'output finale è costituito da una tabella in cui è riportato il numero totale di abitanti esposti a determinati intervalli di rumorosità, sia per l'indicatore L_{den} che per L_{night} .

Nella Tabella 3.7 è riportato il risultato di tali elaborazioni.

Numero di persone esposte a livelli di L_{den} [dB(A)]				
55-59	60-64	65-69	70-74	>75
26.681	27191	6764	303	0
Numero di persone esposte a livelli di L_{night} [dB(A)]				
50-54	55-59	60-64	65-69	>70
30254	9076	1515	0	0

Tabella 3.7: Numero di persone esposte ai livelli di L_{den} e L_{night} –
Infrastrutture stradali non oggetto di mappatura da parte degli enti gestori

3.2 Mappatura dei siti di attività industriale e del porto

Nei paragrafi seguenti è riportata la metodologia per la valutazione della popolazione esposta alla rumorosità prodotta dai siti industriali e dal porto di Brindisi.

3.2.1 Caratterizzazione acustica dei siti industriali e del porto

Gli insediamenti industriali da sottoporre a mappatura acustica, secondo la definizione riportata nell'art. 2 comma 1 lettera v) del D.Lgs. 194/05, corrispondono alle aree classificate V o VI ai sensi delle norme vigenti in cui sono presenti attività industriali quali quelle definite nell'allegato 1 al decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59. Gli insediamenti assoggettati ad A.I.A. ricadenti all'interno dei confini amministrativi del comune di Brindisi e sottoposti a mappatura acustica sono elencati nella Tabella 3.8:

Nome	Sede operativa	Competenza	Codice IPPC
Augusta S.p.a.	Contrada S.Teresa Pinti, s.n.	Regionale	2.6
Formica Ambiente	Masseria Formica - C.da Formica	Regionale	5.4
Sanofi Aventis	Zona Ex Punto Franco	Regionale	4.5

Nome	Sede operativa	Competenza	Codice IPPC
Enel Produzione S.p.a. - Centrale Federico II	Località Cerano	Nazionale	1.1
Versalis S.p.a.	Via E. Fermi, 4	Nazionale	4.1
Basell Brindisi S.r.l.	Via E. Fermi, 50	Nazionale	4.1
EniPower S.p.a.	Via E. Fermi, 4	Nazionale	1.1
Sfir Raffineria Brindisi	Starda per fiume piccolo 10	Provinciale	6.4b
SINDIAL Attività Diversificate spa	Via Enrico Fermi, 4	Provinciale	5.3

Tabella 3.8: Insediamenti industriali assoggettati ad A.I.A. nell'agglomerato di Brindisi

Tutti gli insediamenti sono stati individuati e perimetrati in ambiente GIS.

Per ognuno di essi è stata effettuata la taratura del modello a partire dalle misure fonometriche svolte per conto delle stesse aziende e riportate nella documentazione A.I.A., dopo aver preventivamente individuato, mediante analisi dei rispettivi layout, le principali sorgenti di rumore presenti nello stabilimento, ricostruite poi nel modello come sorgenti puntuali.

Le sorgenti sono state quindi tarate modulandone la potenza sonora sulla base dei livelli di rumore misurati strumentalmente presso i ricettori individuati dall'ente gestore, importati come "ricettori" all'interno del modello previsionale.

Per quanto riguarda le sorgenti portuali non già ricomprese tra quelle industriali considerate in precedenza, sono state individuate le possibili sorgenti sonore presenti nel "porto interno", ovvero quelle che potenzialmente danno un contributo significativo presso i recettori. Da tale valutazione sono state escluse le possibili sorgenti rumorose di origine militare presenti all'interno del seno di ponente.

Da una ricognizione delle informazioni in possesso di ARPA Puglia nonché dallo studio delle planimetrie e foto aeree aggiornate, le sorgenti sonore prese in considerazione sono state due gru su rotaia ubicate lungo le banchine ad est del seno di levante, utilizzate per il carico/scarico merci dalle navi. Il rumore prodotto dalle navi ormeggiate lungo le banchine durante le operazioni di carico/scarico non è stato preso in considerazione in quanto ritenuto trascurabile rispetto alle altre fonti di rumore.

Per la valutazione della rumorosità è stato utilizzato il software di simulazione CadnaA, all'interno del quale le gru sono state modellate come sorgenti puntuali ed i dati

di potenza sonora in 1/3 di ottava sono stati ricavati dal database “SourceDB”, realizzato nell’ambito del progetto europeo IMAGINE [15]. In particolare è stata considerata la sorgente denominata “Dockside cranes”, avente una potenza complessiva pari a 105,0 dBA. Il calcolo è stato effettuato considerando il modello di propagazione di cui alla norma ISO 9613-2 [7] ed ipotizzando cautelativamente il funzionamento continuo di tutte le sorgenti puntuali.

3.2.2 Stima dell’esposizione a sorgenti industriali e porto

La valutazione della popolazione esposta al rumore prodotto dagli insediamenti industriali è stata effettuata utilizzando il software di simulazione CadnaA già descritto al paragrafo 3.1.4. Il calcolo è stato effettuato in facciata degli edifici residenziali esposti, secondo le stesse modalità descritte nel paragrafo 3.1.5.

Come già esplicitato al Paragrafo 3.1.1.2, l’assegnazione della popolazione agli edifici residenziali è stata effettuata utilizzando il metodo della densità volumetrica di popolazione, avendo preventivamente individuato gli edifici a destinazione d’uso abitativo.

Al termine delle elaborazioni il software ha restituito i risultati riportati nella Tabella 3.9.

Numero di persone esposte a livelli di L_{den} [dB(A)]				
55-59	60-64	65-69	70-74	>75
96	11	23	3	0
Numero di persone esposte a livelli di L_{night} [dB(A)]				
50-54	55-59	60-64	65-69	>70
28	7	23	3	1

Tabella 3.9: Numero di persone esposte ai livelli di L_{den} e L_{night} –
Insediamenti industriali e porto

3.3 Mappatura delle infrastrutture ferroviarie

Il D.Lgs. 194/05 prevede che gli enti gestori di infrastrutture ferroviarie elaborino e trasmettano all’autorità competente le mappature acustiche con riferimento agli assi ferroviari principali.

In base alle informazioni in possesso di ARPA Puglia, la rete ferroviaria che attraversa l’agglomerato di Brindisi, in gestione a RFI, si estende per circa 40 km ed è interessata da un traffico inferiore a 30.000 convogli/anno, quindi non contiene assi principali ai sensi del D.Lgs. 194/05.

In analogia alle infrastrutture stradali non principali, i suddetti assi sono stati modellizzati e mappati da ARPA Puglia. Nella Figura 3.6 sono riportati gli assi ferroviari sopra descritti:

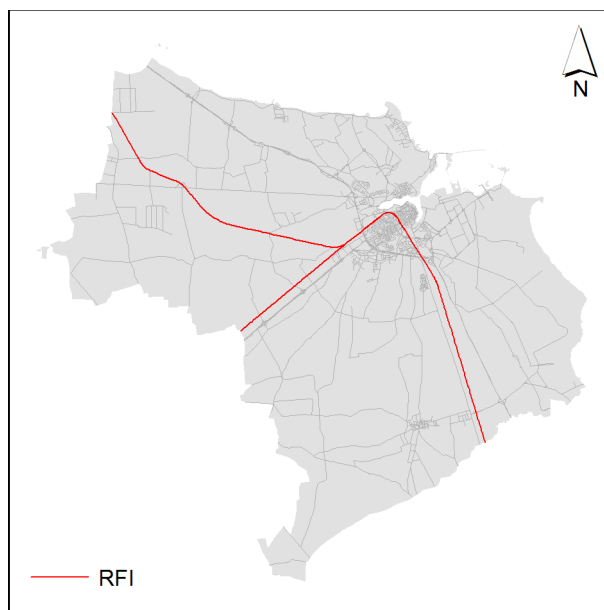


Figura 3.6 – Assi ferroviari all'interno dell'agglomerato di Brindisi

3.3.1 Caratterizzazione acustica dell'infrastruttura ferroviaria RFI

Il software di modellizzazione acustica CadnaA implementa un modulo dedicato alla mappatura delle infrastrutture ferroviarie, secondo lo standard di calcolo SRM II, così come richiesto dal D.Lgs 194/05.

Analogamente agli assi stradali, ad ogni singola tratta ferroviaria viene associato un valore di potenza acustica, a seguito dell'inserimento di specifici dati di input che, nel caso in esame, sono i seguenti:

- numero di transiti dei convogli nei tre periodi di riferimento (Day, Evening e Night) lungo la tratta ferroviaria;
- tipologia del sistema frenante (freni a ceppi, freni a disco, etc.) del convoglio;
- percentuale di veicoli in condizione di frenatura;
- massima velocità raggiunta lungo la tratta;
- caratteristiche costruttive dei binari (cemento su ballast, legno su ballast, blocchi, etc.);
- tipo di rotaia (saldata, con scambi, etc.).

Per la calibrazione dei suddetti parametri è stata condotta una campagna di rilievi fonometrici in modo da verificare la corrispondenza tra la simulazione del rumore ferroviario tramite software e il suo valore reale misurato attraverso le indagini strumentali.

Nello specifico l'idea di base è stata quella di confrontare il livello di immissione generato da una specifica tratta ferroviaria, misurato strumentalmente attraverso rilievi fonometrici, con il livello di immissione simulato dal software, in corrispondenza della postazione di misura e nei tre periodi di riferimento (day, evening, night).

A tale scopo è stato necessario determinare il livello di emissione sonora della tipologia di treni in transito sugli assi analizzati, in modo da ricostruire poi il profilo complessivo di rumorosità di una determinata tratta ferroviaria in base al numero di passaggi dei convogli.

Per valutare il rumore associato al passaggio di un singolo treno, il parametro maggiormente utilizzato è il SEL, definito come il livello di un rumore stazionario avente durata pari ad 1 secondo e stessa energia sonora prodotta dal rumore variabile all'interno dell'intervallo di misura T. La determinazione del SEL consente quindi di isolare il rumore prodotto da un evento acustico di breve durata (come ad esempio proprio un singolo transito di treno), preceduto e seguito dal rumore di fondo. Esso sostituisce quindi l'utilizzo del Livello Continuo Equivalente, non adatto a questo tipo di misure poiché quest'ultimo integrerebbe energeticamente anche il rumore di fondo e quindi andrebbe poi a sottostimare il livello associato esclusivamente al passaggio del treno. Il SEL viene calcolato attraverso la seguente espressione:

$$SEL = 10 \cdot \log_{10} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L_p(t)}{10}} dt$$

dove $L_p(t)$ è il livello di pressione sonora all'istante t, mentre l'intervallo temporale di integrazione è definito come il tempo necessario affinché il livello sonoro si porti ad un valore di 10 dB(A) inferiore rispetto al livello massimo (Figura 3.7).

Per identificare in maniera corretta il rumore derivante dal singolo evento, si è fatto riferimento a quanto riportato nel D.M. 16.03.98 relativamente alle tecniche di rilevamento del rumore ferroviario, che richiede di determinare la traccia del livello di pressione sonora con costante di tempo fast per un tempo sufficientemente lungo a comprendere l'evento.

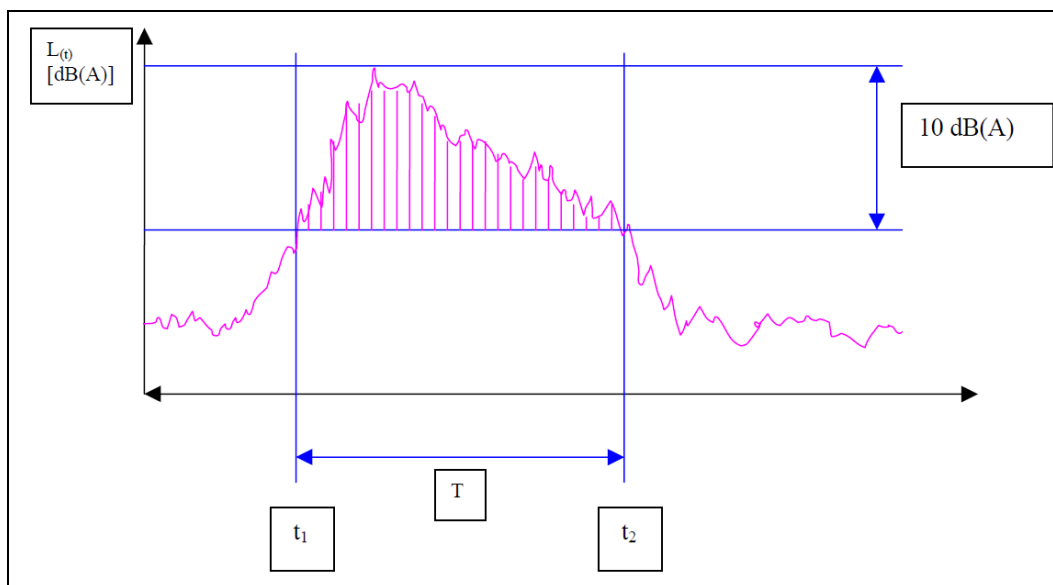


Figura 3.7 – Intervallo temporale di integrazione ed energia sonora considerata nel calcolo del SEL relativo al passaggio di un convoglio ferroviario

Per la determinazione dei SEL è stato quindi necessario acquisire i profili del livello equivalente attraverso un tempo di campionamento molto ridotto (100 ms) in modo da essere equiparabile alla velocità di risposta del rivelatore del fonometro con costante di tempo fast (125 ms).

A partire dalla traccia ottenuta si è isolato il singolo evento dal rumore di fondo, considerando come dato utile la porzione energetica della misura compresa tra il livello massimo e lo stesso livello ridotto di 10 dB(A).

L'intervallo temporale nel quale ricade l'evento deve avere una durata minima tale da escludere eventi impulsivi non associabili al transito del treno.

Una volta acquisita la metodologia di misura è stata pianificata una campagna di rilievi fonometrici di breve durata, in modo da rilevare un numero sufficiente di transiti ferroviari al fine di ricavare un SEL medio che sia rappresentativo della rumorosità della tipologia di treni in gestione a RFI.

I rilievi sono stati eseguiti a ridosso degli assi ferroviari interessati dai collegamenti Brindisi-Taranto e Brindisi-Bari ad una distanza di circa 8 metri dal binario centrale e ad una altezza pari a 2 metri dal piano del ferro (Figura 3.8), all'interno di due periodi di osservazione di 2 ore ciascuno (dalle 08.30 alle 10.30 e dalle 10.30 alle 12.30) in due distinti giorni feriali.



Figura 3.8 – Rilievo fonometrico presso l’infrastruttura di RFI a Brindisi

I treni in transito lungo gli assi di interesse sono stati raggruppati in 3 macrotipologie, in funzione delle caratteristiche costruttive e di quelle emmissive.

In Tabella 3.10 si riportano i valori dei SEL medi riferiti ad ognuna delle tre tipologie.

TRATTA	Tipologia Treno	SEL medio [dB(A)]
<i>Bari-Brindisi / Taranto-Brindisi</i>	Treni Regionali	98.1
<i>Bari-Brindisi</i>	Intercity/Freccia Bianca	103.1
<i>Bari-Brindisi</i>	Freccia Argento	96.5

Tabella 3.10 – SEL medi per tipologia di treno nell’agglomerato di Brindisi

Il software CadnaA dispone di un database contenente varie tipologie di treni e infrastrutture ferroviarie: scegliendo la combinazione treno-infrastruttura più simile alla situazione reale e modificando in maniera iterativa i parametri di input, è stato calibrato il modello di simulazione in modo da ottenere il minor scarto possibile tra il L_{eq} nei periodi day, evening, night (e di conseguenza DEN) calcolato dal software e quello misurato strumentalmente nel punto di indagine. Nello specifico il valore del livello equivalente in uno determinato periodo di riferimento T ($L_{eq,T}$) si ottiene dal prodotto tra il numero di passaggi di veicoli nel periodo T e il valore del SEL medio (SEL_m) ottenuto dalle misure :

$$L_{eq,T} = 10 \cdot \log_{10}(SEL_m \cdot P_\tau) - 10 \cdot \log_{10}(T)$$

La Tabella 3.11 riporta il confronto tra i valori di $L_{eq,T}$ calcolati a partire dalle misure fonometriche e quelli ottenuti dal software di simulazione al termine del processo di taratura sia per i tre periodi di riferimento, sia per il livello complessivo L_{den} .

TRATTA	Leq _T MISURATO			Leq _T SIMULATO		
	D	E	N	D	E	N
<i>Bari-Brindisi/Taranto-Brindisi</i>	71,9	70,1	66,8	72,5	68,6	66
Lden	74,4			74,1		

Tabella 3.11 – Confronto tra livelli misurati e livelli simulati per le tratte ferroviarie di RFI

Una volta identificata la migliore configurazione per simulare il rumore ferroviario di RFI, è stato costruito lo stesso modello per la tratta Brindisi-Lecce modificando solo il numero di passaggi sulla linea.

Infine, per riprodurre più fedelmente il clima acustico generato dall'infrastruttura ferroviaria, lungo la tratta sono state differenziate le velocità dei veicoli a seconda della zona di transito (ridotta in corrispondenza della stazione, media nella zona di uscita dalla stazione, elevata sulle tratte esterne).

3.3.2 Stima dell'esposizione al rumore delle ferrovie non principali

Al termine del processo di calibrazione del modello è stato stimato il numero di persone esposte al rumore, a partire dal calcolo del rumore in facciata agli edifici residenziali, valutato per intervalli di livello sonoro in analogia con quanto visto per le altre sorgenti. I risultati sono riportati nella Tabella 3.12:

Numero di persone esposte a livelli di L_{den} [dB(A)]				
55-59	60-64	65-69	70-74	>75
1373	1033	792	0	0
Numero di persone esposte a livelli di L_{night} [dB(A)]				
50-54	55-59	60-64	65-69	>70
1054	1096	61	0	0

Tabella 3.12 - Numero di persone esposte ai livelli di L_{den} e L_{night} – ferrovie RFI

3.4 Mappatura dell'aeroporto

L'aeroporto di Brindisi "Papola Casale" non rientra tra gli aeroporti principali così come definiti dal D. Lgs. 194/05. Pertanto la valutazione della rumorosità introdotta all'interno dell'agglomerato di Brindisi è stata effettuata da ARPA Puglia.

L'estensione complessiva del sedime aeroportuale è di circa 2,97 km² (Figura 3.9).



Figura 3.9 – Estensione del sedime aeroportuale dell'Aeroporto "Papola-Casale"

La mappatura acustica dell'aeroporto è stata ricavata a partire dalla mappatura del descrittore LVA, presentata da Aeroporti di Puglia (AdP) in sede di commissione aeroportuale finalizzata alla caratterizzazione acustica dell'intorno aeroportuale ai sensi del DM 31/10/1997.

Il modello previsionale utilizzato per la mappatura del descrittore LVA è stato verificato tenendo conto dei livelli di rumorosità registrati dalle centraline fonometriche permanenti ubicate nell'intorno dell'aeroporto.

Il lavoro del presente studio si è quindi articolato secondo le fasi di seguito riportate:

- Conversione della mappa relativa al descrittore LVA nelle mappe relative a L_{den} e L_{night} ;
- Calcolo della popolazione esposta ai livelli L_{den} e L_{night} .

3.4.1 Conversione della mappa relativa al descrittore LVA nelle mappe relative a Lden e Lnight

Come specificato in premessa il documento di partenza riferito al clima acustico insistente nell'intorno aeroportuale è rappresentato dalla mappatura, realizzata da AdP, del descrittore LVA (richiesto tra gli adempimenti ex DM 31/10/1997) espressa in forma di aree isolivello per le fasce di rumore comprese tra 40 e 85 dB(A).

Le curve LVA sono state ricavate da AdP mediante modello acustico previsionale inserendo in input i dati relativi alle tre settimane a maggior traffico di velivoli nell'anno 2014.

Per la conversione del descrittore LVA è stato ricavato lo scostamento medio rispetto ai descrittori L_{den} e L_{night} riscontrato analizzando i dati presso le quattro centraline della rete di monitoraggio predisposta da AdP per la verifica periodica dei livelli di rumore presso i ricettori circostanti l'aeroporto di Brindisi (Intappiate, Villa Anna, Via d'Antona e Villaggio Nemo) e utilizzate nel processo di taratura del modello.

Per ciascuna delle quattro postazioni è stata ricavata la media annuale dei descrittori L_{den} e L_{night} e quindi calcolato lo scostamento medio rispetto ai relativi valori di LVA. Il risultato di tale confronto è riportato in Tabella 3.13.

Postazione Misura	$L_{den} - LVA$ [dB(A)]	$L_{night} - LVA$ [dB(A)]
Intappiate	0,7	-19,2
Villa Anna	0,9	-16,7
Via d'Antona	0,6	-19,0
Villaggio Nemo	1,1	-19,7
SCOSTAMENTO MEDIO	0,8	-18,7

Tabella 3.13 - Scostamento tra L_{den} , L_{night} e LVA per ciascuna centralina di monitoraggio

È stata quindi ricavata la mappa acustica relativa agli indicatori L_{den} e L_{night} , semplicemente aggiungendo ai valori LVA intermedi delle aree isolivello, ottenuti per interpolazione, i valori di scostamento medio riportati nella Tabella 3.13.

3.4.2 Stima dell'esposizione al rumore aeroportuale

Il calcolo della popolazione esposta è stato eseguito in ambiente GIS, utilizzando le mappe acustiche per L_{den} e L_{night} e la copertura dell'edificato cittadino con le informazioni del numero di abitanti, già predisposta per il calcolo degli esposti al rumore stradale (cfr. paragrafo 3.1.1.2). In particolare ad ogni edificio è stato attribuito il livello L_{den} e quello L_{night}

letto dalle rispettive mappe acustiche in corrispondenza del centroide dell'edificio stesso. I livelli così ottenuti sono stati associati agli abitanti e quindi è stata ricavata la tabella degli esposti sommando, per ciascun intervallo di L_{den} e L_{night} , i residenti corrispondenti. La Tabella 3.15 riporta il risultato del calcolo.

Numero di persone esposte a livelli di L_{den} [dB(A)]				
55-59	60-64	65-69	70-74	>75
44	8	2	0	0
Numero di persone esposte a livelli di L_{night} [dB(A)]				
50-54	55-59	60-64	65-69	>70
0	0	0	0	0

Tabella 3.14: Numero di persone esposte ai livelli di L_{den} e L_{night} – Sorgente aeroportuale

3.5 Integrazione delle mappature dei gestori

In generale per le infrastrutture principali vengono utilizzati i dati elaborati dai relativi gestori nell'ambito della predisposizione della mappatura acustica prevista dal D.Lgs. 194/05. Per ciascun gestore è stata esaminata la documentazione disponibile e quindi integrata all'interno dalla mappa acustica strategica.

Con riferimento all'agglomerato di Brindisi l'unico gestore soggetto agli adempimenti del D.Lgs. 194/05 è Anas, che ha trasmesso i dati relativi alle proprie infrastrutture principali all'interno del documento denominato "Mappatura acustica delle infrastrutture stradali con traffico maggiore di 3 Milioni di veicoli Anno", datato giugno 2012. Le mappature trasmesse da Anas sono state quindi integrate con le mappature realizzate da Arpa allo scopo di produrre i seguenti risultati:

- Mappatura in formato grafico riportante le superfici isolivello relative al rumore derivante dall'insieme di tutte le sorgenti presenti nell'agglomerato (*overall sources*);
- Popolazione esposta all'insieme delle sorgenti stradali;
- Popolazione esposta al rumore derivante dall'insieme di tutte le sorgenti presenti nell'agglomerato (*overall sources*).

In merito al primo punto, l'integrazione dei dati trasmessi dai gestori è stata effettuata attraverso il metodo della somma energetica dei singoli contributi di L_{den} e L_{night} relativi alle diverse sorgenti mappate. Utilizzando le griglie punti e/o le curve isolivello dei due

indicatori, in ambiente GIS è stata ricavata la griglia totale derivante dal totale delle sorgenti. A partire da essa, sempre in ambiente GIS, sono state generate le aree isolivello riportate in allegato al presente lavoro.

Per quanto concerne il calcolo degli esposti per tipologia di sorgente e per l'*overall sources* si è operata una somma energetica per entrambi i descrittori L_{den} e L_{night} tra i punti griglia delle mappature dei gestori e i punti in facciata calcolati con il software CadnaA. Entrambe le procedure di calcolo sono comunque approfondite al Paragrafo 4

Nel paragrafo che segue si riporta sinteticamente il contenuto della documentazione prodotta da Anas.

3.5.1 Mappatura acustica presentata da ANAS

Relativamente all'agglomerato di Brindisi i dati sono stati estrapolati a partire dai dati consegnati per l'intero territorio regionale, individuando le tratte contenute nei confini amministrativi del comune. In particolare sono state individuate alcune tratte della SS613, della SS7 e della SS379, uniche arterie interessate da un traffico superiore ai 3 Mln di veicoli/anno. La documentazione consegnata dal gestore conteneva:

- Relazione generale (formato pdf);
- Quadro unione assi stradali principali (tavola formato A0, scala 1:300.000 file pdf);
- Mappa L_{den} (tavole formato A3, scala 1:5.000, file pdf);
- Mappa L_{night} (tavole formato A3, scala 1:5.000, file pdf);
- Griglia punti (formato excel) composta da una maglia passo 10 per 10 metri, corridoio di 250 metri per lato dall'asse stradale, valori L_{den} e L_{night} calcolati a 4 metri di altezza;
- Asse stradale principale (formato shapefile);
- Curve Isolivello L_{den} e L_{night} calcolati a 4 metri di altezza, negli intervalli previsti dalla normativa (formato shapefile);
- Aree L_{den} negli intervalli previsti dalla normativa (formato shapefile);
- Aree L_{night} negli intervalli previsti dalla normativa (formato shapefile);
- Data flow 5--8 (format excel) per gli assi stradali con traffico superiore ai 3 mln di veicoli.

I dati relativi agli esposti nell'agglomerato di Brindisi sono stati estrapolati dagli elaborati relativi all'intera Regione mediante l'utilizzo di strumenti GIS e riportati in Tabella 3.15.

Numero di persone esposte a livelli di L_{den} [dB(A)]				
55-59	60-64	65-69	70-74	>75
3234	2530	747	37	0
Numero di persone esposte a livelli di L_{night} [dB(A)]				
50-54	55-59	60-64	65-69	>70
3264	1261	61	2	0

Tabella 3.15: Numero di persone esposte ai livelli di L_{den} e L_{night} – ANAS

3.6 Incertezza nella predisposizione della mappa acustica strategica

Nella predisposizione della mappa acustica strategica dell'agglomerato di Brindisi, è necessario considerare varie fonti di incertezza, ciascuna legata ad una specifica fase di lavoro. Le maggiori incertezze sono determinate dalle seguenti operazioni:

- Classificazione degli assi stradali;
- Monitoraggio acustico;
- Costruzione del modello di calcolo;
- Valutazione della popolazione esposta.

Nel seguito si riportano alcune considerazioni relative alle varie incertezze.

Classificazione degli assi stradali

La necessità di estendere i livelli di potenza sonora di un campione di assi stradali all'intera rete stradale cittadina introduce necessariamente un'incertezza nella attribuzione della potenza sonora ai vari assi. In base ai dati di cui siamo in possesso è possibile valutare la deviazione standard per ciascuna classe e nelle diverse fasce orarie, riportata nella seguente Tabella 3.16:

Deviazione standard potenza sonora [dB]			
Categoria strade	Fascia oraria 06-20	Fascia oraria 20-22	Fascia oraria 22-06
1	1,3	0,9	1,0
2	1,8	2,6	1,6
3	3,1	4,6	2,8

Tabella 3.16: Deviazione standard dei livelli di potenza sonora associata agli assi stradali dell'agglomerato di Brindisi

Monitoraggio acustico

L'incertezza legata alla fase di monitoraggio acustico degli assi stradali va considerata in base ai fattori di seguito riportati:

1. *Incerteza strumentale*: dipende dalla classe di precisione dello strumento; per strumenti di classe 1 risulta dell'ordine di 0,5 dB(A) [9];
2. *Incerteza legata alle condizioni di misura (riproducibilità)*: è legata al posizionamento dello strumento, e dipende principalmente dalla distanza sorgente-ricettore, dalla distanza da superfici riflettenti (ad es. misure in facciata), dall'altezza dal suolo. Secondo quanto riportato nel documento UNI/TR 11326 [9] è dell'ordine di 0,3 dB(A);
3. *Incerteza legata alla variabilità della sorgente* e delle sue caratteristiche di emissione: ad esempio la variabilità dei flussi di traffico stradale tra i giorni feriali e quelli festivi; l'utilizzo di un unico valore comporta un errore dell'ordine di 1 dB(A) [9].

Modello di calcolo

L'incertezza globale legata al calcolo dei descrittori acustici richiesti dalla normativa all'interno di un modello di calcolo del rumore generato in ambiente esterno dipende da:

1. *Incerteza sui dati in ingresso del modello*, in particolare:
 - **dati di tipo acustico** (tipologia di sorgente, spettro di potenza sonora e direttività);
 - **dati di tipo geometrico** (andamento altimetrico dell'area, posizione ed andamento plano-altimetrico delle sorgenti, geometria di edifici e barriere acustiche);
 - **dati di tipo non geometrico** (caratteristiche fisiche di strade e infrastrutture ferroviarie, fattore di riflessione delle superfici di edifici e barriere acustiche, dati meteorologici, variazione oraria dei flussi di traffico, distribuzione della popolazione).
2. *Incerteza sul modello matematico*, determinata dai seguenti aspetti:
 - Insufficiente rappresentatività del modello matematico di base;
 - Procedure ambigue nel documento che descrive il modello;
3. *Incerteza sul modello software*, dovuta ad errori di implementazione delle equazioni base in un particolare software;
4. *Incerteza sull'output*, dovuta alle differenti tipologie di interpolazione delle curve isolivello rappresentate;

5. *Incertezza associata al modello costruito*, dipendente dalle fasi di calibrazione e validazione dello stesso.

Nel software CadnaA è possibile rappresentare il livello di accuratezza delle mappe di rumore in output. Esso dipende sostanzialmente da due fattori:

- Incertezza associata al livello di potenza sonora della sorgente, la quale dipende a sua volta delle incertezze legate al monitoraggio acustico e, per le sorgenti stradali, alla classificazione degli assi, come già descritto in precedenza;
- Incertezza legata alla simulazione della propagazione sonora da parte del modello acustico, che tiene conto della variabilità dei parametri utilizzati per la costruzione del modello (ad es. variazioni delle condizioni meteorologiche).

Quest'ultima fonte di incertezza dipende strettamente dalla distanza tra sorgente e ricevitore e aumenta proporzionalmente e in maniera logaritmica all'aumentare di essa [10]. La deviazione standard σ_D del modello associata alla propagazione del rumore è infatti rappresentata dalla seguente espressione:

$$\sigma_D = 3 \cdot \log_{10}(d/10)$$

dove d = distanza sorgente-ricevitore

Volendo quindi fornire una stima dell'incertezza associata ai livelli di rumore mappati dal modello, si possono considerare due casi:

- *Per distanze dalla sorgente inferiori a 10 m* ($\sigma_D = 0$) l'incertezza è associata esclusivamente all'accuratezza delle diverse sorgenti (accuratezza delle misure strumentali e classificazione delle sorgenti stradali);
- *Per distanze dalla sorgente superiori a 10 m* ($\sigma_D > 0$) l'incertezza totale σ deriva dal contributo dell'incertezza sulla sorgente σ_S e dell'incertezza legata alla propagazione sonora σ_D ed è calcolabile attraverso la seguente espressione:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_S^2 + \sigma_D^2}$$

Per la mappatura relativa all'insieme delle sorgenti (overall sources) la stima del valore totale σ_S andrebbe effettuata componendo il contributo dell'incertezza legata a ciascuna singola sorgente σ_n , attraverso la seguente espressione [13]:

$$\sigma_s = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^N (\sigma_n \cdot 10^{0.1L_n})}}{\sum_{n=1}^N 10^{0.1L_n}}$$

Dove L_n è il livello parziale calcolato al ricevitore e associato all' n-esima sorgente. Riuscire a comporre e quantificare per tutte le diverse sorgenti della mappatura il contributo di ogni singola incertezza, considerando la variabilità e l'interdipendenza dei diversi parametri da cui la stessa deriva, è una procedura particolarmente complessa, che difficilmente porterebbe ad un valore univoco in maniera attendibile. È però possibile stimare, a titolo esemplificativo e in maniera orientativa, l'incertezza attribuibile al modello relativamente al rumore delle sole sorgenti stradali che, come evidenziato ai paragrafi precedenti, è quella che fornisce il contributo più significativo alla mappa di rumore dell'agglomerato di Brindisi. Ipotizzando ad esempio che il contributo all'incertezza sul valore di potenza della sorgente sia associabile unicamente alla deviazione standard della classificazione degli assi stradali (trascurando quindi gli effetti derivanti dall'incertezza della catena strumentale), è possibile prevedere l'incertezza totale del modello di calcolo presso il ricevitore. Nella figura seguente è riportata la mappa dell'incertezza sul valore L_{den} associata e ad una sola strada dell'agglomerato di Brindisi di classe 2, nel periodo di riferimento notturno, con deviazione standard sul valore di potenza sonora pari a 1,8 dB (cfr. Tabella 3.16).

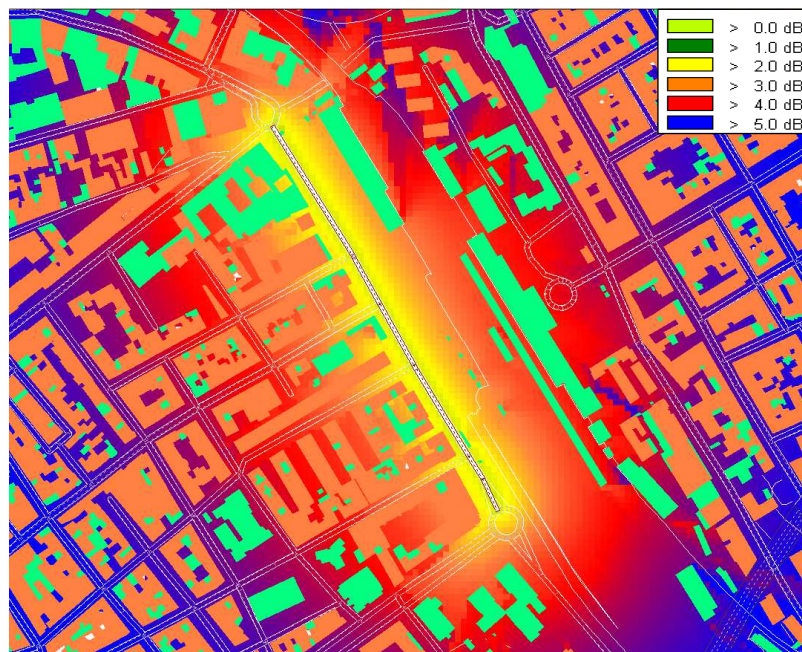


Figura 3.10 – Esempio di propagazione dell'incertezza nella modellizzazione del rumore stradale

Come è possibile osservare in figura, l'incertezza è contenuta entro i 3 dB nei primi 50 metri dalla sorgente, per poi crescere all'aumentare della distanza. Occorre specificare che a distanze elevate l'incidenza della specifica sorgente risulta tuttavia trascurabile rispetto alle sorgenti locali.

Valutazione della popolazione esposta

L'incertezza associata al numero di persone esposte a determinati livelli di rumore è strettamente collegata all'accuratezza con cui viene assegnata la popolazione agli edifici residenziali. Il metodo sviluppato e spiegato al paragrafo 3.1.1.2, che sfrutta la densità volumetrica abitativa fornita dai dati di censimento ISTAT del 2011, è assimilabile al metodo di assegnazione degli abitanti riportato nella Toolkit della GPG (*Tool 19.1*), che fa uso della superficie abitativa come dato di partenza da distribuire poi all'interno di ogni singolo edificio. Secondo questo metodo, l'errore stimato in termini di esposizione al rumore è pari a 1 dB(A).

4 SINTESI DEI RISULTATI

Dovendo fornire i risultati della mappa acustica strategica sperimentale secondo i criteri del D.Lgs. 194/05 si rammenta che l'allegato 6 del Decreto richiede la trasmissione del numero totale stimato, arrotondato al centinaio, di persone che vivono nelle abitazioni esposte a livelli di L_{den} in dB a 4 m di altezza sulla facciata più esposta compresi tra 55-59, 60-64, 65-69, 70-74 e maggiori di 75; per i livelli L_{night} i valori in dB compresi tra 50-54, 55-59, 60-64, 65-69 e maggiori di 70.

Gli esposti alle fasce di rumore richieste sono stati stimati relativamente ai seguenti tre scenari:

- Popolazione esposta a livelli L_{den} e L_{night} generati dalle infrastrutture principali (solo *major roads nel caso di Brindisi*);
- Popolazione esposta a livelli L_{den} e L_{night} distinti per tipologia di sorgente (infrastrutture stradali, infrastrutture ferroviarie, aeroporto, insediamenti industriali e porto);
- Popolazione esposta a livelli L_{den} e L_{night} generati dal rumore di tutte le sorgenti attive (*overall sources*) nell' agglomerato di Brindisi.

Nel primo caso (rumore generato dalle sole infrastrutture principali), poiché non sono state rese disponibili informazioni in merito ad eventuali infrastrutture principali in gestione al Comune di Brindisi e alla Provincia di Brindisi, il numero degli esposti è quello ricavato dai dati consegnati da ANAS (per le strade), estrapolando in ambiente GIS il dato degli esposti a partire dalle curve isolivello dei tratti ricompresi nei confini amministrativi del Comune. Come detto in precedenza le infrastrutture ferroviarie presenti all'interno dell'agglomerato non risultano essere principali e pertanto non sono stati calcolati esposti relativamente a questo caso.

Nel secondo e nel terzo caso (rumore distinto per tipologia di sorgente e rumore derivante da tutte le sorgenti attive) si è deciso di operare attraverso la somma energetica tra le mappe fornite dagli enti gestori di infrastrutture principali e i livelli stimati dalle simulazioni acustiche operate dal software CadnaA per le infrastrutture non principali (o comunque non mappate dai gestori). Nello specifico il metodo applicato ha previsto:

- l'export dei livelli calcolati in facciata da CadnaA. Essi corrispondono a dei punti distanziati 3 metri l'uno dall'altro, in formato shapefile, i cui attributi contengono un campo identificativo dell'edificio su cui il punto è posizionato e due campi corrispondenti ai valori L_{den} e L_{night} (Figura 4.1 (a));

- importazione degli stessi punti in ambiente GIS e sovrapposizione alle mappature acustiche delle infrastrutture principali fornite dagli enti gestori, preventivamente trasformate in mappe raster con cella di dimensioni 5x5 metri (Figura 4.1 (b)) e ridotte energeticamente di 3 dB, valore pari al contributo derivante dalla riflessione in facciata presso il ricettore (come richiesto dal D.Lgs 194/05);
- creazione di due nuovi campi agli attributi dello shapefile dei punti in facciata, contenenti i livelli L_{den} e L_{night} associati alle infrastrutture principali, estratti dal raster di appartenenza e necessari per operare la somma energetica;
- calcolo della somma tra i livelli associati alle due tipologie di infrastrutture (principali e non), inserendo il risultato in un nuovo campo dello shapefile relativo ai punti in facciata.

Al termine dell'operazione, ad ogni edificio sono risultati quindi associati un certo numero di punti contenenti il livello di rumore espresso attraverso gli indici L_{den} e L_{night} , derivanti dalla somma del rumore generato dalle infrastrutture principali e quelle non principali (Figura 4.1 (c)).

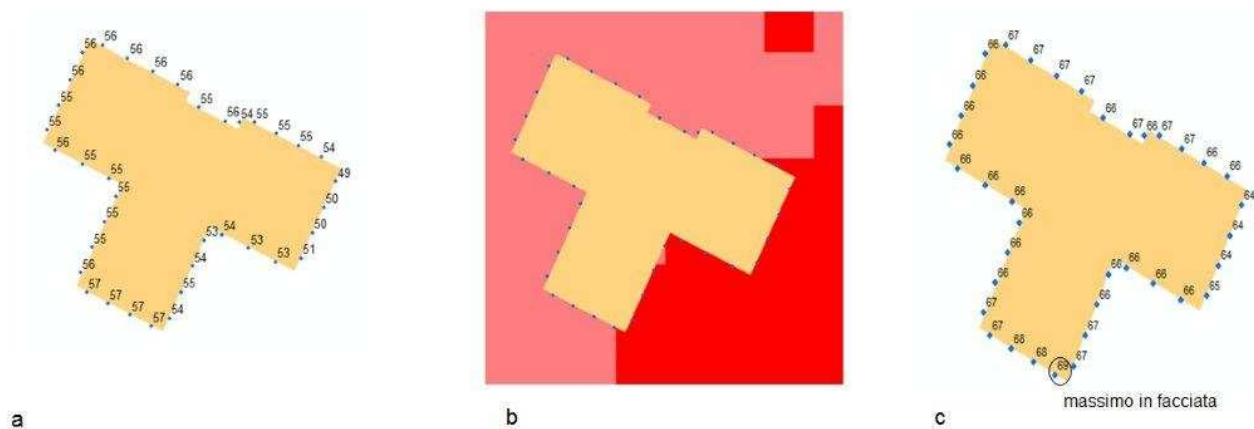


Figura 4.1 – Somma energetica di mappe acustiche in ambiente GIS: a) output dei livelli L_{den} e L_{night} in facciata dal software Cadna; b) integrazione dei punti in facciata con mappe raster delle infrastrutture principali; c) somma energetica sui punti in facciata

Il punto caratterizzato dal livello somma più alto è stato quindi utilizzato per determinare il livello della facciata maggiormente esposta ed associato all'edificio e di conseguenza al numero di abitanti in esso residenti.

Nei paragrafi che seguono è riportato, per ogni tipologia di sorgente e per tutte le sorgenti (*overall sources*), il numero di esposti agli intervalli di L_{den} e L_{night} richiesti dal D. Lgs 194/05.

4.1 Infrastrutture stradali

Il numero totale di persone esposte al rumore da traffico veicolare all'interno dell'agglomerato di Brindisi, è indicato nelle tabelle e grafici di seguito riportati.

In Tabella 4.1 è riportato il numero di persone esposte al rumore prodotto dalle infrastrutture principali (*Major Roads*) che, come detto, è stato estrapolato dai dati relativi all'intera Regione e consegnati dall'unico gestore di infrastrutture principali presenti nell'agglomerato (ANAS), già riportato in Tabella 4.1 e arrotondato al centinaio come richiesto dall'allegato 6 del D. Lgs. 194/05.

In Tabella 4.2 è stato invece inserito il numero totale di persone esposte, indipendentemente dai flussi di traffico stradale delle stesse infrastrutture.

Numero di persone esposte a livelli di L_{den} [dB(A)] – Infrastrutture principali					
55-59	60-64	65-69	70-74	>75	TOT
3200	2500	700	0	0	6400
Numero di persone esposte a livelli di L_{night} [dB(A)] – Infrastrutture principali					
50-54	55-59	60-64	65-69	>70	TOT
3300	1300	100	0	0	4700

Tabella 4.1: Numero di persone esposte ai livelli di L_{den} e L_{night} generato dalle infrastrutture principali – Rumore emesso dal traffico veicolare sulle *Major Road*

Numero totale di persone esposte a livelli di L_{den} [dB(A)]						
< 55	55-59	60-64	65-69	70-74	>75	TOT
26.000	26.000	28.200	8.500	300	0	89.000
Numero totale di persone esposte a livelli di L_{night} [dB(A)]						
< 50	50-54	55-59	60-64	65-69	>70	TOT
45.400	30.900	11.000	1700	0	0	89.000

Tabella 4.2: Numero totale di persone esposte ai livelli di L_{den} e L_{night} – Rumore emesso dal traffico veicolare

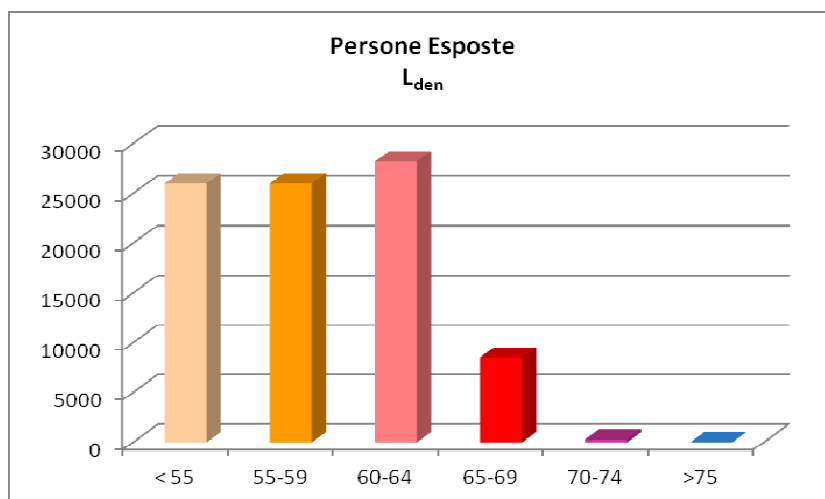


Figura 4.2 – Numero totale di persone esposte al rumore da traffico veicolare – L_{den} per classe di esposizione

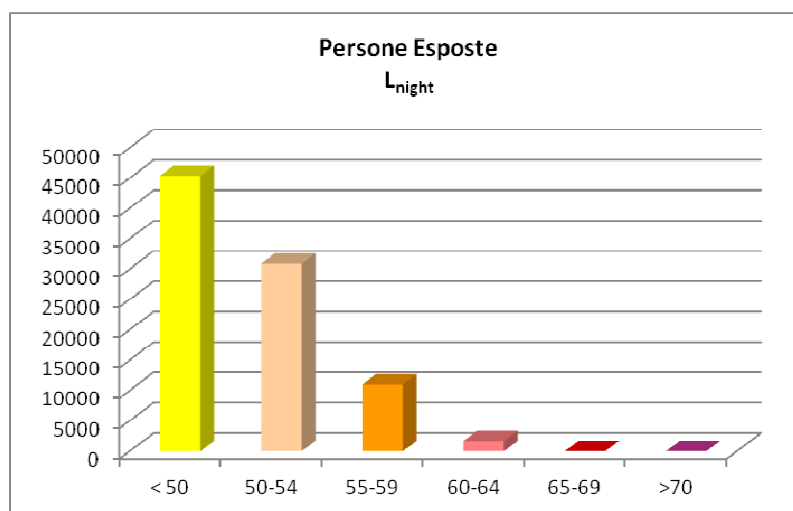


Figura 4.3 – Numero totale di persone esposte al rumore da traffico veicolare – L_{night} per classe di esposizione

Percentuale di persone esposte a livelli di L_{den} [dB(A)]						
< 55	55-59	60-64	65-69	70-74	>75	TOT
29%	29%	32%	10%	0%	0%	100%
Percentuale di persone esposte a livelli di L_{night} [dB(A)]						
< 50	50-54	55-59	60-64	65-69	>70	TOT
51%	35%	12%	2%	0%	0%	100%

Tabella 4.3: Percentuale di persone esposte ai livelli di L_{den} e L_{night} – Rumore emesso dal traffico veicolare

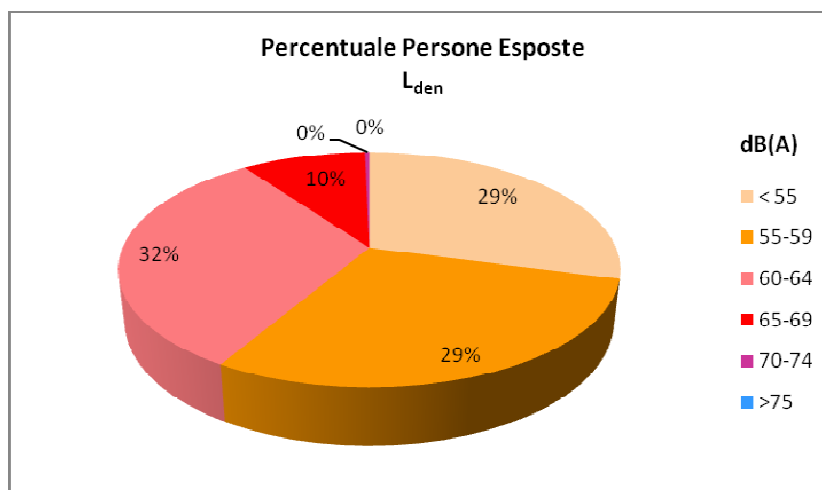


Figura 4.4 – Percentuale di persone esposte al rumore da traffico veicolare – L_{den} per classe di esposizione

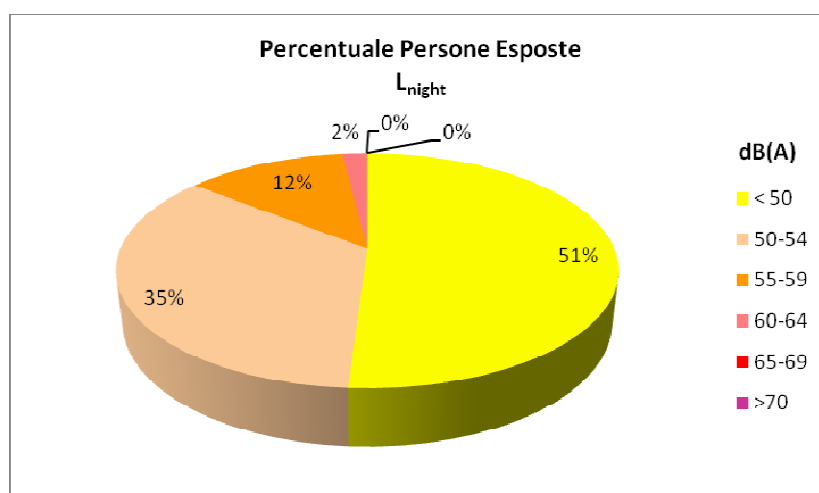


Figura 4.5 – Percentuale di persone esposte al rumore da traffico veicolare – L_{night} per classe di esposizione

4.2 Infrastrutture ferroviarie

Il numero totale di persone esposte al rumore da traffico ferroviario all'interno dell'agglomerato di Brindisi è indicato nelle tabelle e grafici di seguito riportati.

Come detto in precedenza, il dato relativo agli esposti al rumore prodotto dalle infrastrutture ferroviarie deriva unicamente da infrastrutture non principali in quanto all'interno dell'agglomerato non sono presenti infrastrutture principali.

Si riporta di seguito il dato relativo agli esposti al rumore derivante dalle infrastrutture ferroviarie, arrotondato al centinaio così come richiesto dalla norma.

Numero di persone esposte a livelli di L_{den} [dB(A)]					
55-59	60-64	65-69	70-74	>75	TOT
1.400	1.000	800	0	0	3.200
Numero di persone esposte a livelli di L_{night} [dB(A)]					
50-54	55-59	60-64	65-69	>70	TOT
1.100	1.100	100	0	0	2.300

Tabella 4.4: Numero totale di persone esposte ai livelli di L_{den} e L_{night} – Rumore emesso dal traffico ferroviario

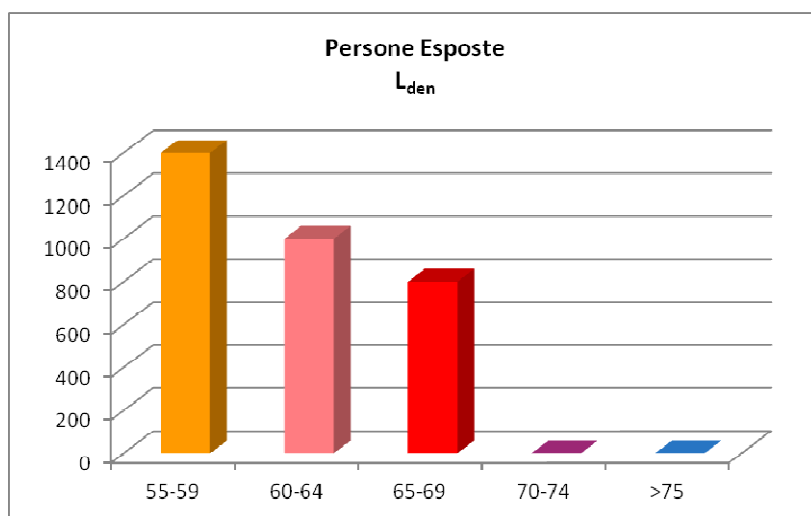


Figura 4.6 – Numero di persone esposte al rumore da traffico ferroviario – L_{den} per classe di esposizione

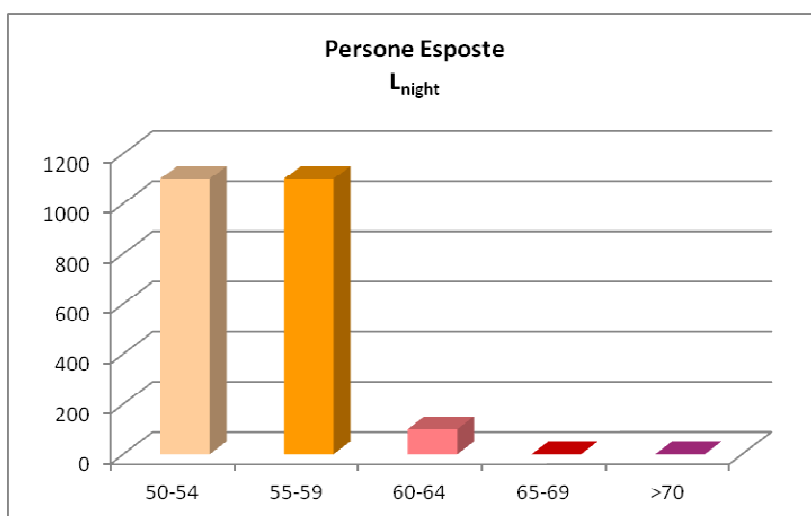


Figura 4.7 – Numero di persone esposte al rumore da traffico ferroviario – L_{night} per classe di esposizione

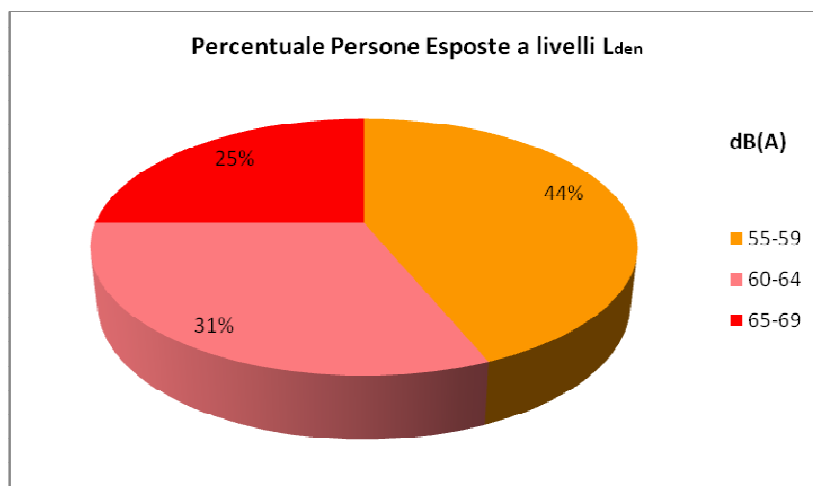


Figura 4.8 – Percentuale di persone esposte al rumore da traffico ferroviario – L_{den} per classe di esposizione

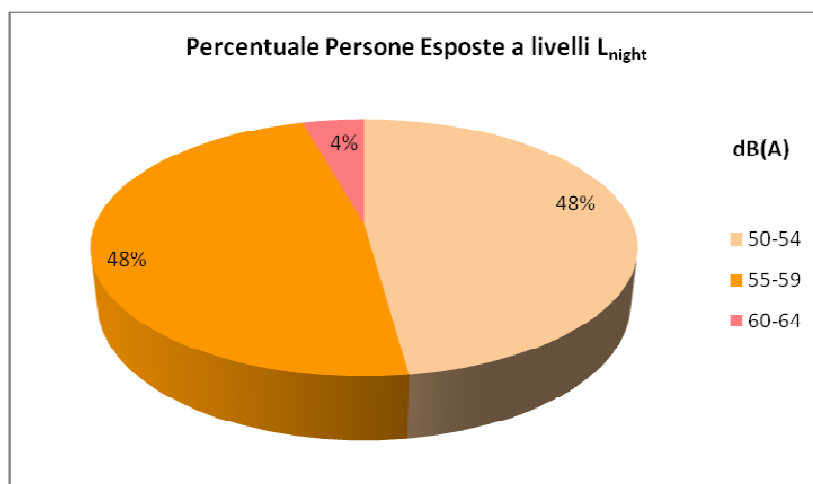


Figura 4.9 – Percentuale di persone esposte al rumore da traffico ferroviario – L_{night} per classe di esposizione

4.3 Siti di attività industriale

Il numero totale di persone esposte al rumore prodotto dai siti di attività industriale, arrotondato al centinaio, come richiesto da normativa, è riportato in Tabella 4.5.

Numero di persone esposte a livelli di L_{den} [dB(A)]				
55-59	60-64	65-69	70-74	>75
100	0	0	0	0
Numero di persone esposte a livelli di L_{night} [dB(A)]				
50-54	55-59	60-64	65-69	>70
0	0	0	0	0

Tabella 4.5: Numero totale di persone esposte ai livelli di L_{den} e L_{night} – Rumore emesso dai siti di attività industriale

4.4 Aeroporto

Nella Tabella 4.6 sono riportati i risultati del numero di residenti esposti agli intervalli di L_{den} e L_{night} , arrotondati al centinaio, dovuti alla sorgente aeroportuale.

Numero di persone esposte a livelli di L_{den} [dB(A)]					
55-59	60-64	65-69	70-74	>75	TOT
0	0	0	0	0	0
Numero di persone esposte a livelli di L_{night} [dB(A)]					
50-54	55-59	60-64	65-69	>70	TOT
0	0	0	0	0	0

Tabella 4.6: Numero totale di persone esposte ai livelli di L_{den} e L_{night} – Rumore emesso dall' Aeroporto

4.5 Esposizione al rumore globale (*overall sources*)

In Tabella 4.7 è riportato il numero di abitanti esposti a livelli di rumore L_{den} e L_{night} per effetto della sovrapposizione di tutte le sorgenti attive nell'agglomerato urbano.

Numero di persone esposte a livelli di L_{den} [dB(A)]						
<55	55-59	60-64	65-69	70-74	>75	TOT
24.400	25.900	29.100	9.200	300	0	88.900
Numero di persone esposte a livelli di L_{night} [dB(A)]						
<50	50-54	55-59	60-64	65-69	>70	TOT
43.500	31.700	12.000	1.700	0	0	88.900

Tabella 4.7: Numero totale di persone esposte ai livelli di L_{den} e L_{night} – Overall sources

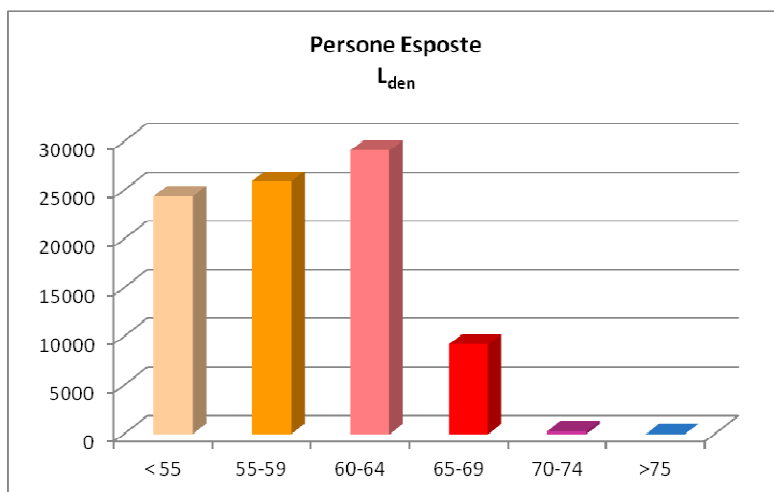


Figura 4.10 – Numero di persone esposte al rumore di tutte le sorgenti - L_{den} per classe di esposizione

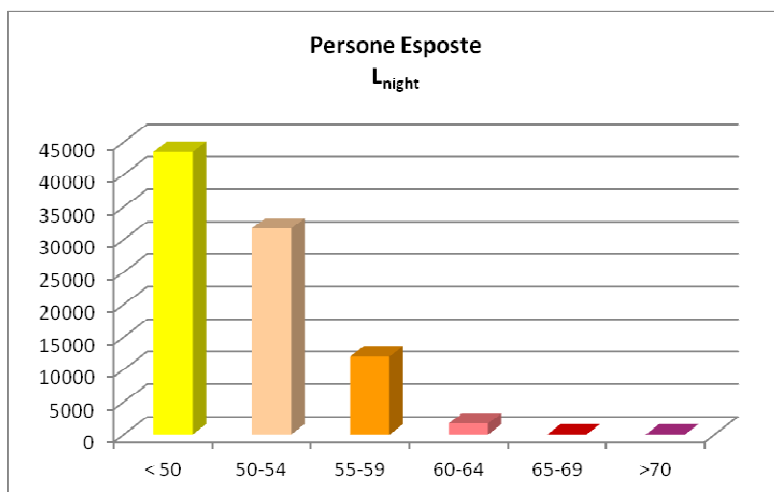


Figura 4.11 – Numero di persone esposte al rumore di tutte le sorgenti – L_{night} per classe di esposizione

Percentuale di persone esposte a livelli di L_{den} [dB(A)]						
< 55	55-59	60-64	65-69	70-74	>75	TOT
27%	29%	33%	10%	0.3%	0%	100%
Percentuale di persone esposte a livelli di L_{night} [dB(A)]						
< 50	50-54	55-59	60-64	65-69	>70	TOT
49%	36%	13%	2%	0%	0%	100%

Tabella 4.8: Percentuale di persone esposte ai livelli di L_{den} e L_{night} – Rumore emesso da tutte le sorgenti attive

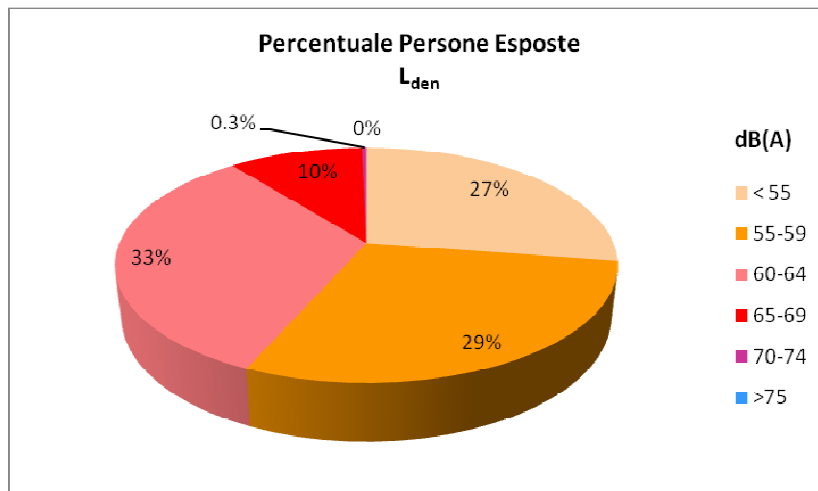


Figura 4.12 – Percentuale di persone esposte al rumore di tutte le sorgenti attive – L_{den} per classe di esposizione

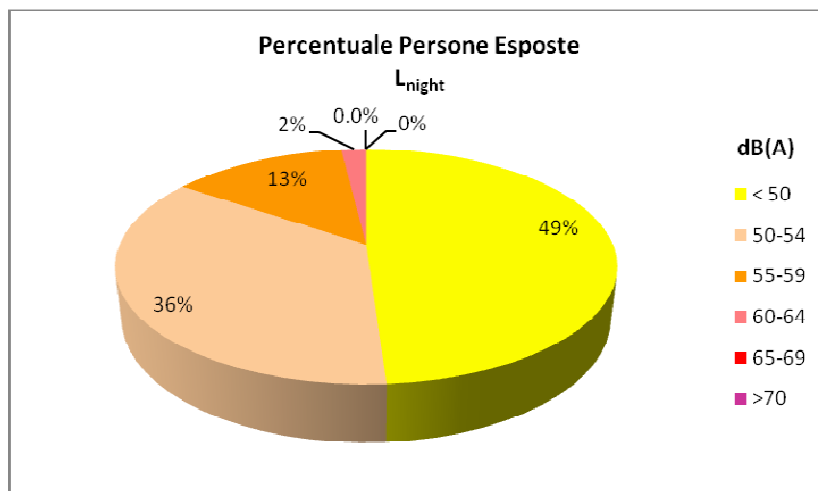


Figura 4.13 – Percentuale di persone esposte al rumore di tutte le sorgenti attive – L_{night} per classe di esposizione

MATERIALE TRASMESSO

I risultati della mappa acustica strategica sperimentale dell'agglomerato di Brindisi sono rappresentati attraverso:

- La presente relazione tecnica;
- Tavole cartografiche in formato .pdf, in scala 1:10.000 con le aree isolivello sonoro dei descrittori acustici L_{den} , e L_{night} , relative al rumore globale (*overall sources*).

5 CONCLUSIONI

Il presente lavoro è stato realizzato da ARPA Puglia in considerazione del trend di crescita della popolazione residente nel comune di Brindisi che potrebbe portare, nel prossimo futuro, ad includere lo stesso tra gli agglomerati assoggettati agli adempimenti del D.Lgs.194/05 del 19/08/2005 *“Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale”*.

In analogia a quanto stabilito dalla Regione Puglia per gli agglomerati soggetti agli obblighi di cui al D.Lgs. 194/05 (Bari, Taranto, Andria, Foggia), l'agglomerato di Brindisi ha estensione coincidente con i limiti amministrativi del Comune, pari a circa 329 km², e interessa una popolazione di circa 89.000 abitanti (dati censimento ISTAT 2011).

Le sorgenti di rumore considerate per la redazione della mappa strategica sono tutte le infrastrutture stradali non principali (mappate da ARPA Puglia), le infrastrutture stradali principali (integrando i dati trasmessi da ANAS), le infrastrutture ferroviarie (mappate da ARPA Puglia in quanto non principali), le infrastrutture aeroportuali e i siti di attività industriale (assoggettati ad A.I.A) compreso il porto.

In linea con quanto accade nelle maggiori città italiane, all'interno dell'agglomerato di Brindisi la principale sorgente di rumore in termini di popolazione esposta è rappresentata dal traffico stradale prodotto dalle infrastrutture della zona urbana. I livelli maggiori di rumorosità sono stati calcolati lungo le principali arterie di ingresso/uscita dalla zona centrale, lungo la tangenziale esterna, nonché per alcuni collegamenti di interquartiere. Per quanto riguarda le altre sorgenti, il numero di esposti è risultato quasi trascurabile in termini assoluti e concentrato sugli intervalli più bassi sia per L_{den} che per L_{night} . In particolare l'esigua esposizione riscontrata relativamente al rumore industriale e a quello aeroportuale deriva dalla dislocazione delle sorgenti in relazione agli edifici residenziali. Per le infrastrutture ferroviarie si può osservare una minima incidenza sul rumore globale per L_{den} (circa il 9% nell' intervallo 65-70 e il 3% nell'intervallo 60-65) e L_{night} (circa il 6% nell' intervallo 60-65 e il 9% nell'intervallo 55-60); i livelli di rumore registrati per le ferrovie sono compatibili con la tipologia di infrastruttura (non principale secondo quanto previsto dalla normativa) e con le caratteristiche del traffico.

I risultati ottenuti relativamente all'insieme di tutte le sorgenti (overall sources) evidenziano che la percentuale di popolazione esposta a livelli sonori superiori alle soglie di potenziale rischio definite a livello internazionale, fissate in 65 dB(A) per L_{den} e 55 dB(A) per L_{night} si attestano rispettivamente intorno al 10% e al 15 %. In merito ai livelli più elevati, non risultano esserci esposti a livelli superiori a 75 dB(A) per L_{den} e 65 dB(A) per

L_{night} , mentre nella fascia 70-74 dB(A) per L_{den} si registra circa lo 0.3% della popolazione totale dell'agglomerato.

6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 194, Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale (G.U.R.I. n. 222 del 23/9/2005).
- [2] Legge 26 ottobre 1995, n. 447, Legge quadro sull'inquinamento acustico (Suppl. Ord. n. 125 alla G.U.R.I. n. 254 del 30/10/1995).
- [3] Decreto Ministeriale 16 marzo 1998, Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico (G.U.R.I. n. 76 del 1/4/1998).
- [4] Direttiva Europea 2002/49/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002 relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale (END).
- [5] Raccomandazione della Commissione Europea del 6 agosto 2003, Concernente le linee guida relative ai metodi di calcolo aggiornati per il rumore dell'attività industriale, degli aeromobili, del traffico veicolare e ferroviario e i relativi dati di rumorosità, G.U.C.E. L 212/49-64 del 22 agosto 2003.
- [6] European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN) - Position Paper - Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure - Version 2, 13 August 2007
- [7] Norma ISO 9613-2:1996 – “Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation”.
- [8] Norma UNI 9884:1997 – “Caratterizzazione acustica del territorio mediante la descrizione del rumore ambientale”.
- [9] Rapporto tecnico UNI/TR 11326 – “Valutazione dell'incertezza nelle misurazioni e nei calcoli di acustica - Parte 1: Concetti generali”, maggio 2009.
- [10] CadnaA user's manual - Version 3.7, DataKustik GmbH, Greifenberg, Germany 2007
- [11] Mappa Acustica Strategica dell'agglomerato di Bari - ARPA Puglia - Rif. Normativo Giugno 2012
- [12] Mappa Acustica Strategica dell'agglomerato di Taranto - ARPA Puglia - Rif. Normativo Giugno 2012
- [13] G.Licitra, W. Probst - Noise Mapping in the EU, Models and Procedures, CRC Press, 2013

- [14] Piano Regionale dei Trasporti – Piano Attuativo 2009-2013 – Quadro Conoscitivo. Regione Puglia - Assessorato ai Trasporti e alle Vie di Comunicazione.
- [15] IMAGINE - Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment – “Description of the Source Database” - WP7: Industrial Noise, 06 febbraio 2007.