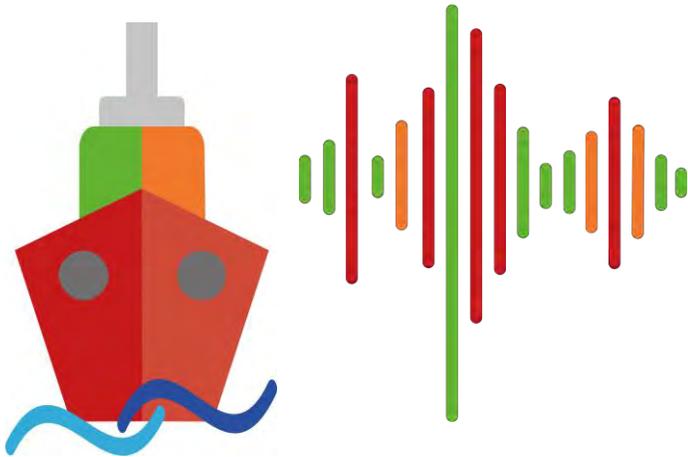


# LIST-PORT LIMITAZIONE INQUINAMENTO SONORO DA TRAFFICO NEI PORTI COMMERCIALI

WEBINAR 26 MAGGIO 2021

DICAAR Ing. Luigi Serra



# LIST-PORT LIMITAZIONE INQUINAMENTO SONORO DA TRAFFICO NEI PORTI COMMERCIALI

## TITOLO INTERVENTO:

"L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE PER LA CARATTERIZZAZIONE E REGOLAZIONE DEL CLIMA ACUSTICO NEI WATERFRONT PORTUALI DELLE CITTÀ MARITTIME IL CASO DI OLBIA: RISULTATI SPERIMENTALI DEL PRIMO STUDIO EUROPEO. **LA CLASSIFICAZIONE ACUSTICA DEL WATERFRONT PORTUALE DI OLBIA**"



UNIVERSITÀ DI PISA



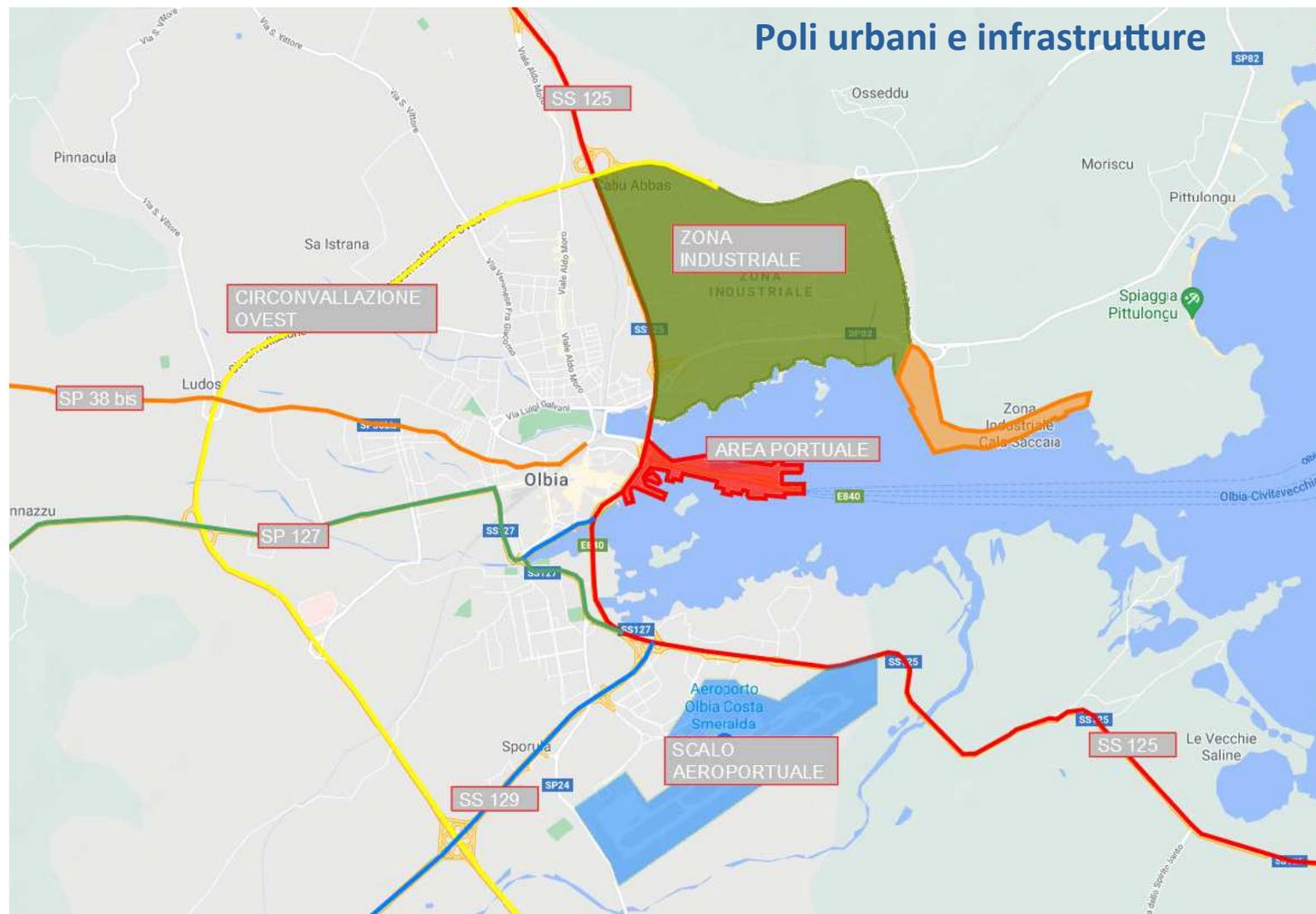


## Valutazione preliminare dell'area di studio

Prima di procedere con le attività di rilievo e le misurazioni è stata condotta un'analisi preliminare dell'area portuale della città, finalizzata a **definire un quadro conoscitivo sufficientemente esaustivo degli elementi che concorrono alla determinazione del clima acustico e dei flussi di traffico** ed ad individuare eventuali criticità per la successiva esecuzione del piano dei rilievi e per lo sviluppo del modello acustico previsionale.

Dati informativi:

- rappresentazione geocartografica,
- contesto socio-economico e demografico,
- sistema dei trasporti
- sistema ambientale
- quadro normativo di riferimento
- pianificazione territoriale.

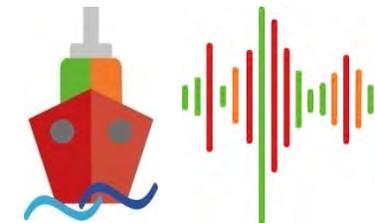




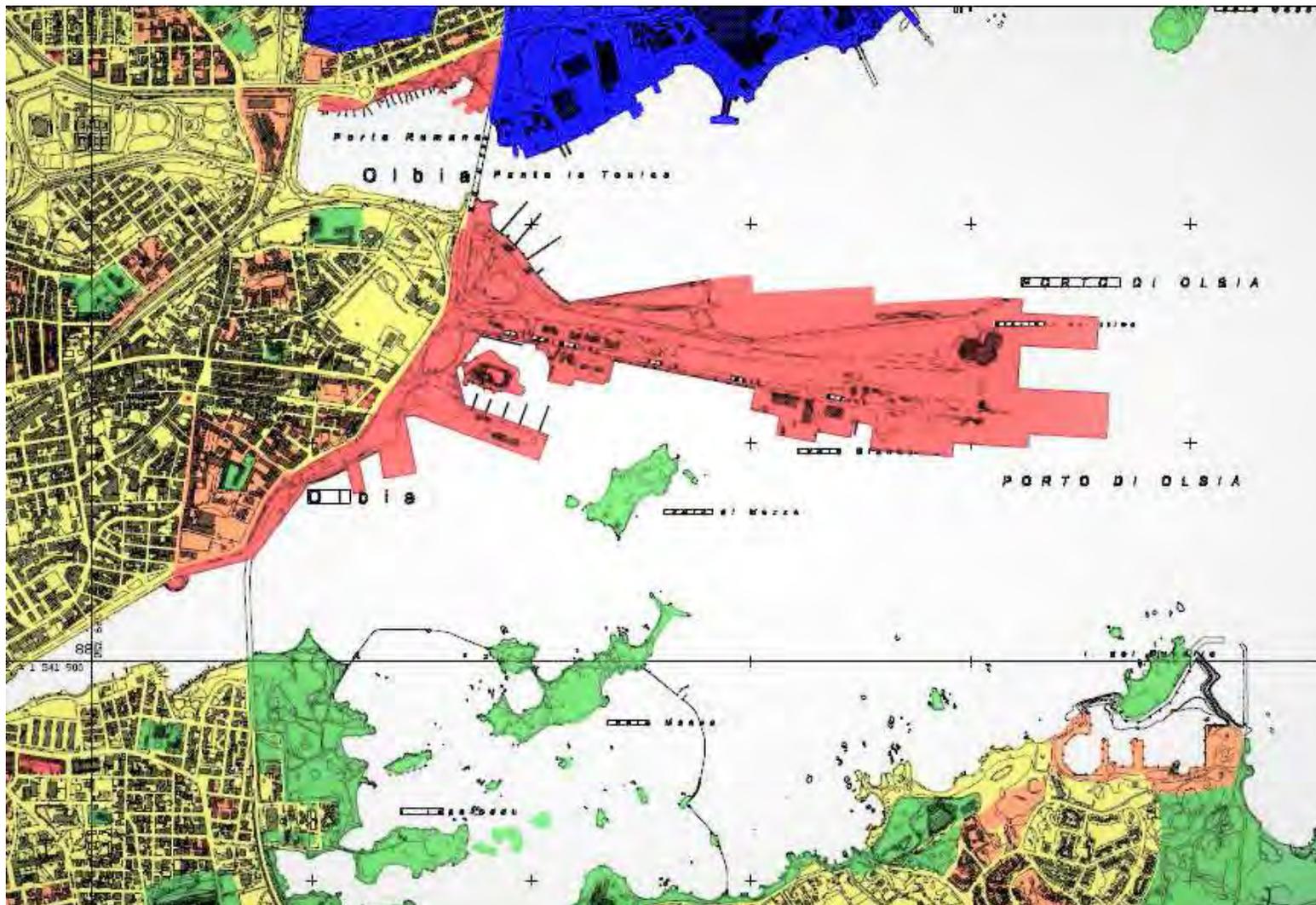
## Valutazione preliminare dell'area di studio



**Definizione dell'area di controllo:** individuazione delle infrastrutture, dell'assetto viario e dei ricettori sensibili.



## Valutazione preliminare dell'area di studio



Estratto del Piano di  
Zonizzazione Acustica vigente  
(approvato con Delibera di  
Consiglio Comunale n. 24 del  
08/03/2016)

INDIVIDUAZIONE ANALITICA  
DELLE U.A.O. (D.P.C.M.  
14/11/1997)

Area portuale (in rosso)  
CLASSE IV aree di intensa  
attività umana

Valori limiti assoluti di  
immissione:

diurno 65 dB(A),  
notturno 55 dB(A)



## Valutazione preliminare dell'area di studio

### Quadro legislativo e normativo in materia di inquinamento acustico generato dal traffico veicolare

I rilievi acustici, le rispettive elaborazioni e modelli verranno eseguiti e sviluppati nel rispetto della legislazione vigente e in aderenza con le linee guida e il corpo normativo e in materia di acustica ambientale

#### Legislazione nazionale:

D.P.C.M. 14 novembre 1997, "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore" (GURI Serie Generale n. 280 del 01/12/97);

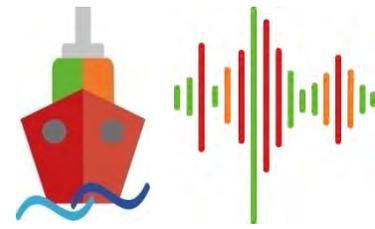
D.M. Ambiente 16 marzo 1998, "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico" (GURI Serie Generale n. 76 del 01/04/98);

D.M. Ambiente 29 novembre 2000, "Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore" (GURI Serie Generale n. 285 del 06/12/00);

D.P.R. 30 marzo 2004, n. 142, "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della Legge 26 ottobre 1995, n. 447" (GURI n. 127 del 01/06/04);

D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 194, "Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale" (GURI Serie Generale n. 222 del 23/09/05);

D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i. "Norme in materia ambientale", (GURI Serie Generale n. 88 del 14/04/2006, Supplemento ordinario n. 96)



## Valutazione preliminare dell'area di studio

### Quadro legislativo e normativo in materia di inquinamento acustico generato dal traffico veicolare

#### Linee guida ISPRA

Linee guida per la progettazione di reti di monitoraggio per il disegno di stazioni di rilevamento relativamente all'inquinamento acustico", RTI CTN\_AGF 3/2001;

Linee guida per il progetto di monitoraggio ambientale delle opere di cui alla Legge Obiettivo (Legge 21/12/2001, n.443)", ANPA, rev. 1 del 4 settembre 2003;

#### Norme Tecniche emanate dall'Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI)

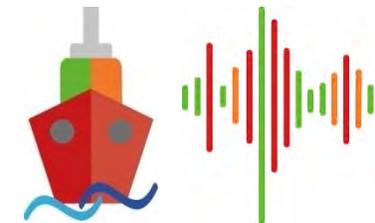
UNI/TS 11387, "Acustica - Linee guida alla mappatura acustica e mappatura acustica strategica - Modalità di stesura delle mappe;

UNI 11022, "Acustica - Misurazione dell'efficacia acustica dei sistemi antirumore), per infrastrutture di trasporto, installati in ambiente esterno;

UNI 11160, "Linee guida per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo di sistemi antirumore per infrastrutture di trasporto via terra;

UNI 11143-1, "Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 1: Generalità;

UNI 11143-2, "Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 2: Rumore stradale.



## Rilievi acustici e del traffico veicolare

### Obiettivi del monitoraggio:

- acquisire i valori dei parametri acustici e di traffico rappresentativi del waterfront della città;
- costituire un dataset finalizzato allo sviluppo dei modelli.

Condizione necessaria: sincronizzazione dei rilievi del traffico e del rumore, acquisizione dei valori dei parametri acustici sempre condotta simultaneamente ai rilievi dei flussi di traffico

### Variabilità stagionale dei flussi veicolari:

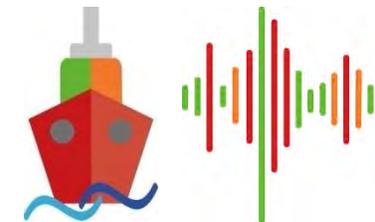
**Periodo di morbida:** attività ordinaria del porto passeggeri (bassa stagione)



**Periodo di punta:** Intensa attività del porto passeggeri (alta stagione, tipicamente mese di Agosto)



Sezione di rilievo stradale e punti di rilievo fonometrico coincidenti nei due periodi

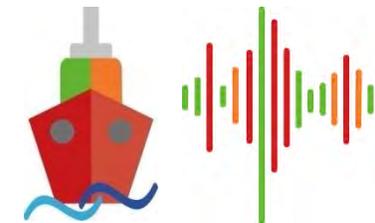


## Rilievi acustici e del traffico veicolare



### Sezioni di rilievo dei flussi di traffico

Sono state scelte 10 postazioni di monitoraggio del traffico operanti in continuo e simultaneamente, in modo da poter ricostruire, tramite equazioni di flussodinamica, le portate in ogni singola sezione all'interno dell'area di controllo nell'intervallo di misura.



## Rilievi acustici e del traffico veicolare

→Punti potenzialmente maggiormente esposti al rumore da traffico

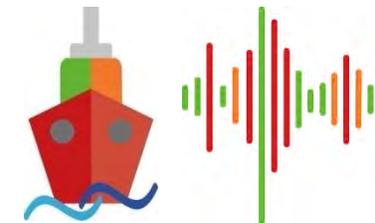
→Sufficiente distanza da altre potenziali sorgenti extra-traffico



### Posizioni di rilievo fonometrico

Sono state selezionate tre posizioni di rilievo del tipo “sorgente orientata” volte a caratterizzare direttamente l’emissione del traffico veicolare e a fornire un quadro rappresentativo del clima acustico nel waterfront.

Id	Posizione	Tipologia di rilievo
Pos. A	Rotonda Sacro Cuore	Centralina fissa su palo
Pos. B	Via Principe Umberto fronte Municipio	Centralina fissa su palo
Pos. C	Via Genova ingresso sottopasso stradale	Centralina fissa su palo



## Rilievi acustici e del traffico veicolare

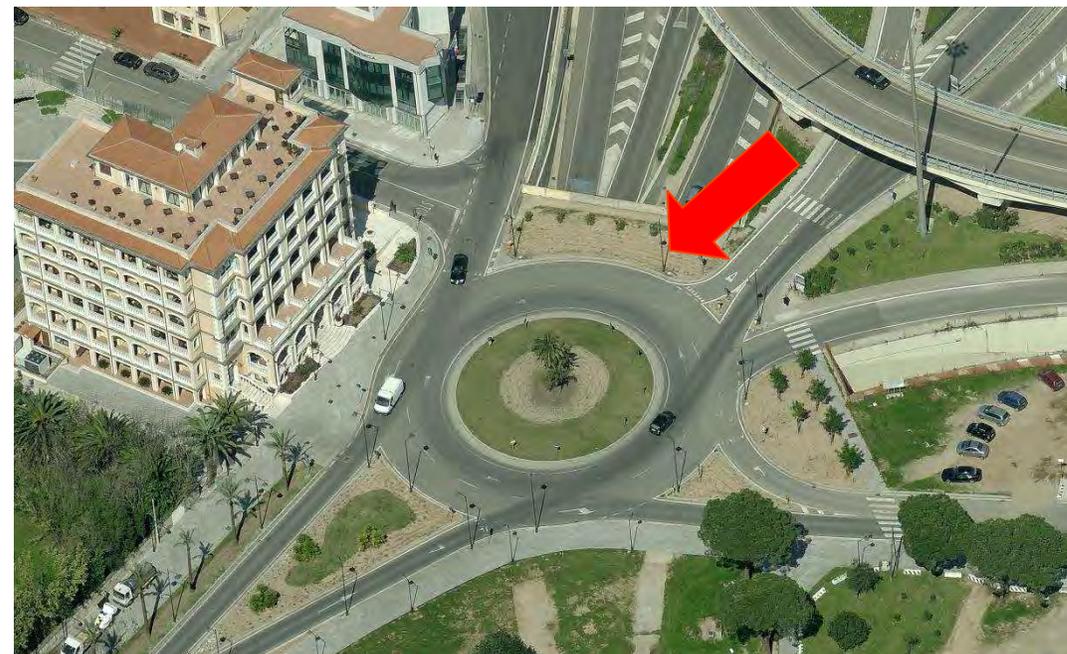
### POSTAZIONE DI RILIEVO FONOMETRICO "A"

#### Rotatoria del Sacro Cuore

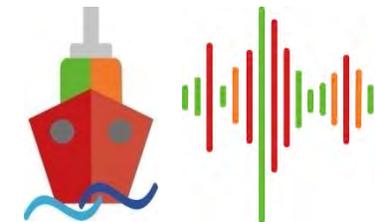
Coordinate:

4530549.91 N

542697.09 E



La **postazione A** è installata posta in corrispondenza dello snodo viario di raccordo della banchina portuale, all'estremo del fronte portuale urbano, in modo da poter cogliere i contributi dei flussi di traffico nelle sezioni di rilievo 1A-1B-1C-1D-1E-1F in buona parte connessi al traffico marittimo.



## Rilievi acustici e del traffico veicolare

### POSTAZIONE DI RILIEVO FONOMETRICO "B"

Via Principe Umberto

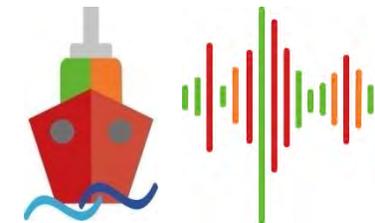
Coordinate:

**4530339.13 N**

**542530.94 E**



La postazione **B** è installata in Via Principe Umberto in prossimità del Municipio, in modo da poter cogliere il rumore legato al traffico veicolare in un asse viario interno, in posizione centrale rispetto al fronte portuale, riferibile alla sezione di monitoraggio 2A.



## Rilievi acustici e del traffico veicolare

### POSTAZIONE DI RILIEVO FONOMETRICO "c"

Via Genova

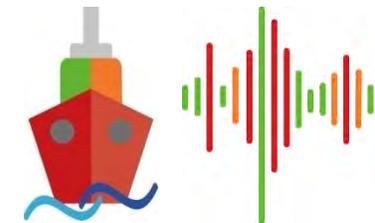
Coordinate:

4530164.33 N

542339.46 E



La postazione D è installata in Via Genova in prossimità dell'uscita/ingresso dal sottopasso stradale che bypassa il fronte portuale, in modo da poter valutare l'entità del rumore da traffico associato ai veicoli rilevati nelle sezioni 3A-3B-3C.



## Rilievi acustici e del traffico veicolare

Le misure “**ex ante**” nel **periodo “di morbida”** sono state eseguite nei **giorni 25, 26, 27 e 28 Marzo 2019**. I rilievi hanno avuto inizio la sera del **giorno 25.03.2019 alle ore 20.00** per tutte le postazioni sino **alle ore 18.00 del giorno 28.03.2019** per complessivi 3 TR notturni e 3 TR diurni rilevati. I dati rilevati sono stati trattati e impiegati per i primo sviluppi del modello previsionale.



Rotatoria Via Principe Umberto:  
infrastruttura viaria presso banchina  
portuale



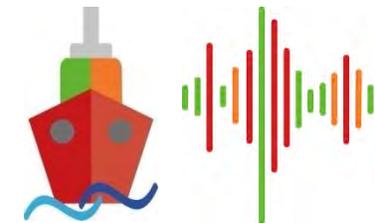
Via Principe Umberto -  
fronte Municipio



Via Principe Umberto: Municipio - interno



Via Genova immissione S.S. 125:  
sottopasso stradale



## Rilievi acustici e del traffico veicolare

Le misure “ex ante” nel periodo di punta sono state eseguite, nelle medesime postazioni del periodo di morbida i giorni **23, 24, 25 e 26 del mese di Agosto 2019**. I rilievi hanno avuto inizio dal pomeriggio del **giorno 23.08.2019 alle ore 16.00** per tutte le postazioni e si sono conclusi alle **ore 18.00 del giorno 26.08.2019** per complessivi 3 TR notturni e 3 TR diurni rilevati. e consentiranno di:

- verificare l'aderenza del modello ai nuovi dati sperimentali e di calibrare i suoi parametri per ridurre gli eventuali scostamenti;
- fornire una stima dei valori marginali di attenuazione entro cui possono operare le eventuali azioni correttive previste dal progetto.



Pos. A: Rotatoria Sacro Cuore



Pos. B: Via Principe Umberto -  
Fronte Municipio



Pos. C: Via Genova – uscita/ingresso  
sottopasso



## Rilievi acustici e del traffico veicolare

Nell'ambito del progetto si prevede di eseguire rilievi acustici anche nelle condizioni **“ex post”** a seguito della implementazione delle azioni finalizzate alla gestione e regolazione dei flussi veicolari.

Le misure “ex post” consentiranno di:

- confermare l’attendibilità del modello previsionale;
- valutare in itinere gli effetti delle azioni intraprese e dei nuovi scenari di riassetto del traffico.



Immagine di una fase di imbarco sulla banchina Isola Bianca nel mese di Agosto 2019

## Rilievi acustici e del traffico veicolare

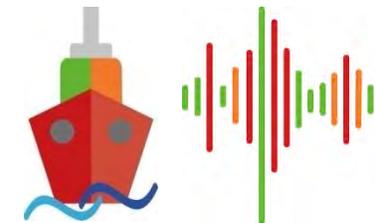
Per le città pilota ricadenti nel territorio italiano il riferimento legislativo per l'esecuzione delle misure è il D.M. 16/03/1998 "Tecniche di rilevamento del rumore ambientale".

Dal punto di vista operativo sono stati adottati i seguenti principi comuni:

- **posizioni di rilevamento acustico del tipo sorgente-orientata** (le cui caratteristiche sono descritte nelle linee guida dell'ISPRA al paragrafo 5.1);
- **altezza di posizionamento dei microfoni pari a m 4,00 dalla quota stradale** in modo da evitare in parte anomalie e variabilità locali dovute sia alla geometria che al passaggio di mezzi non motorizzati e pedoni in prossimità dei punti di misura.

Per le acquisizioni è stata impiegata strumentazione conforme alla classe 1 corredata dai relativi certificati di taratura in corso di validità, come prescritto dal DM. In particolare sono stati utilizzati **fonometri integratori Sound Level Meter 01dB Cube** e **microfoni prepolarizzati 1/2' type G.R.A.S. 40CD**.

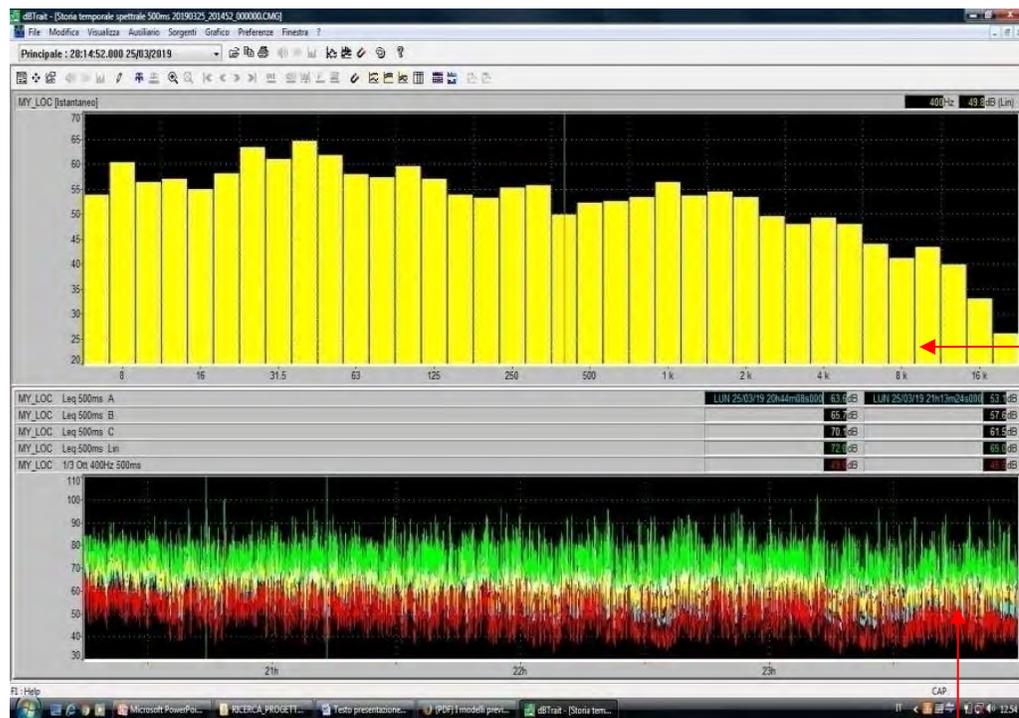
I set di misuratori del livello di pressione sonora sono in grado di acquisire e memorizzare i dati fisici sia nel dominio del tempo sia nel dominio della frequenza.





## Rilievi acustici e del traffico veicolare

Le catene di acquisizione hanno rilevato il valore di  $L_{eq}$  (con base temporale pari a 100 ms), con le curve di ponderazione A/B/C/Z, acquisito con costante temporale Fast, Slow, Impulse. Sono inoltre acquisiti i valori del livello equivalente massimo e minimo con curva di ponderazione A. Sono memorizzati i valori orari e lo spettro del segnale acustico in bande di terzi di ottava ogni decimo di secondo, per possibili successive elaborazioni a scopo di ricerca.

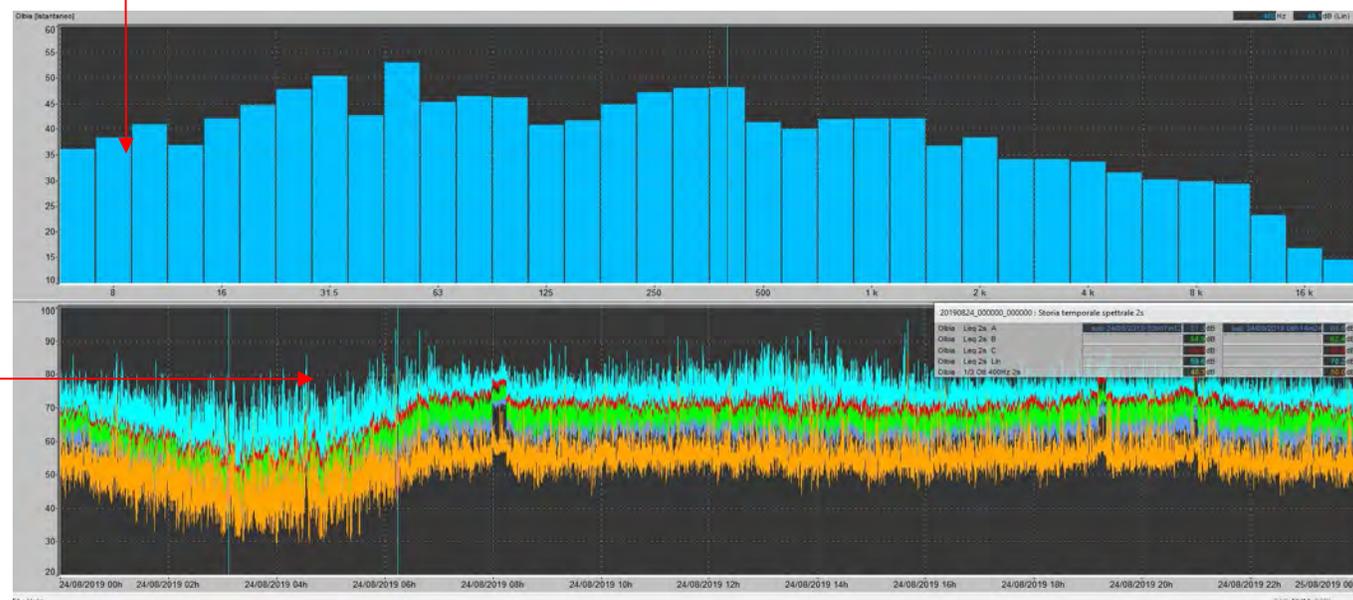


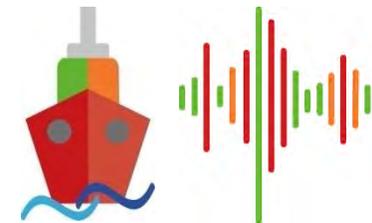
Visualizzazione rilievi acustici  
Marzo 2019

Timeline dei livelli sonori

Visualizzazione rilievi acustici  
Agosto 2019

Spettro





## Rilievi acustici e del traffico veicolare

**PERIODO DI “MORBIDA”**

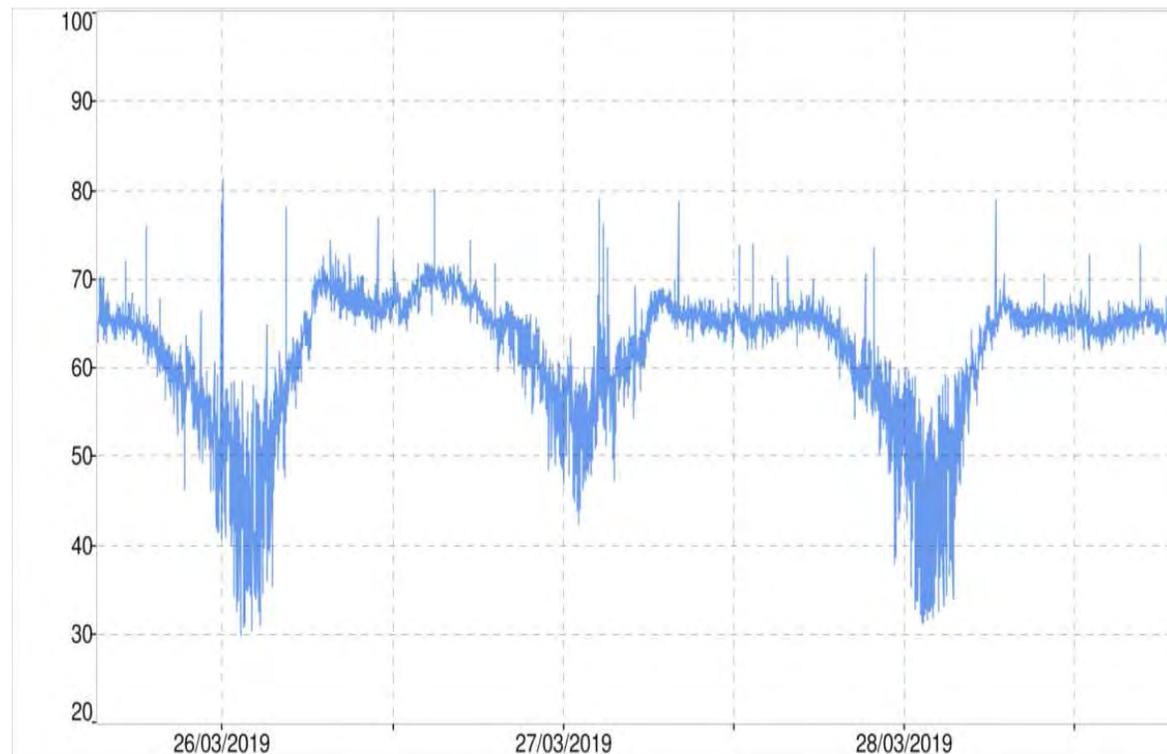


Grafico andamento temporale del livello equivalente pos. A (Marzo 2019)

**PERIODO DI “PUNTA”**

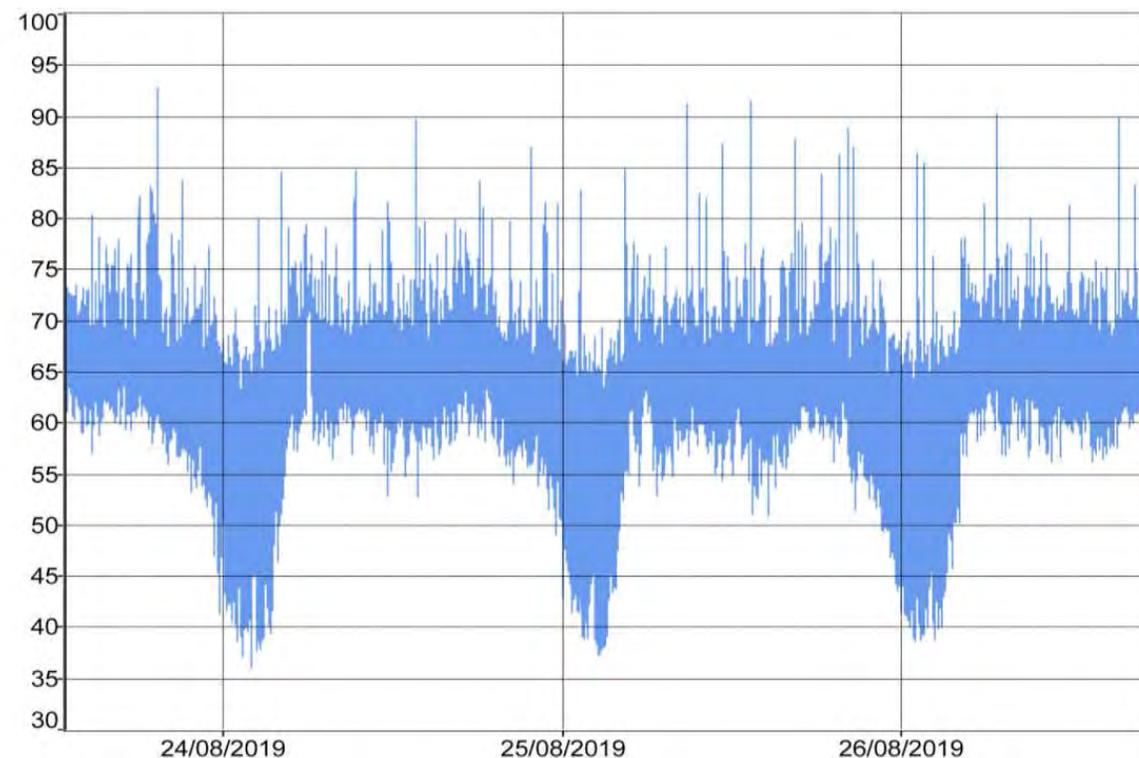


Grafico andamento temporale del livello equivalente pos. A (Agosto 2019)



## Rilievi acustici e del traffico veicolare

**PERIODO DI “MORBIDA”**

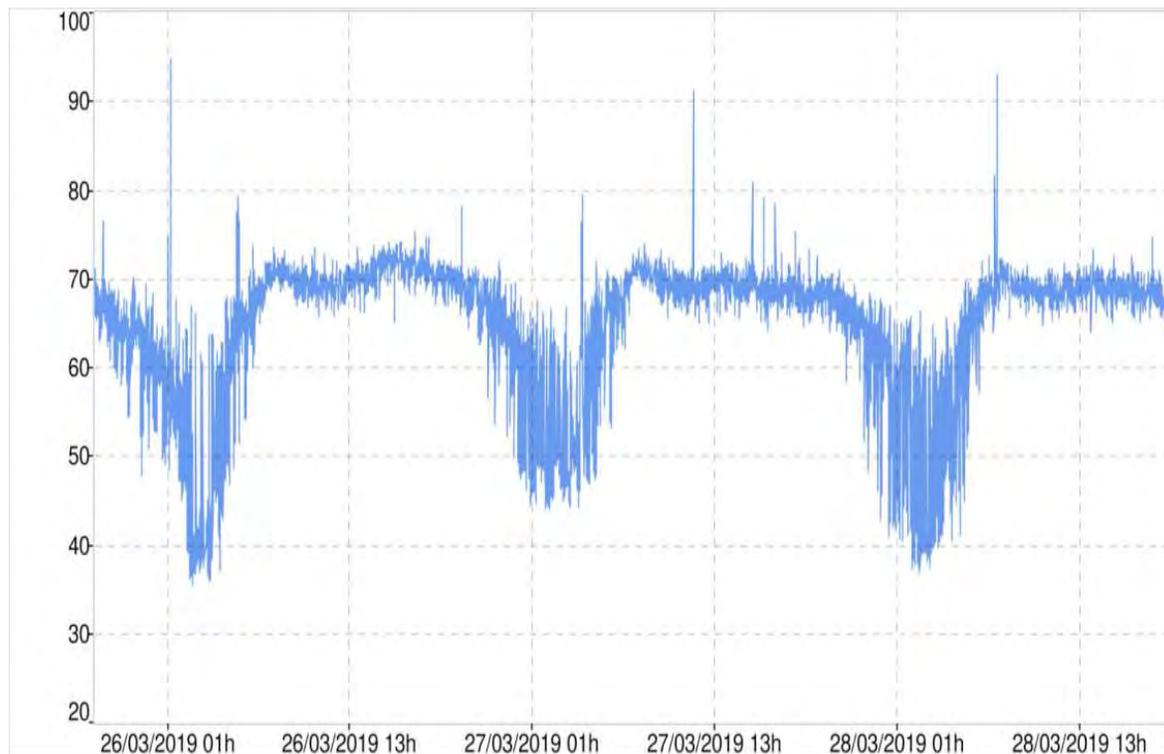


Grafico andamento temporale del livello equivalente Pos. B (Marzo 2019)

**PERIODO DI “PUNTA”**

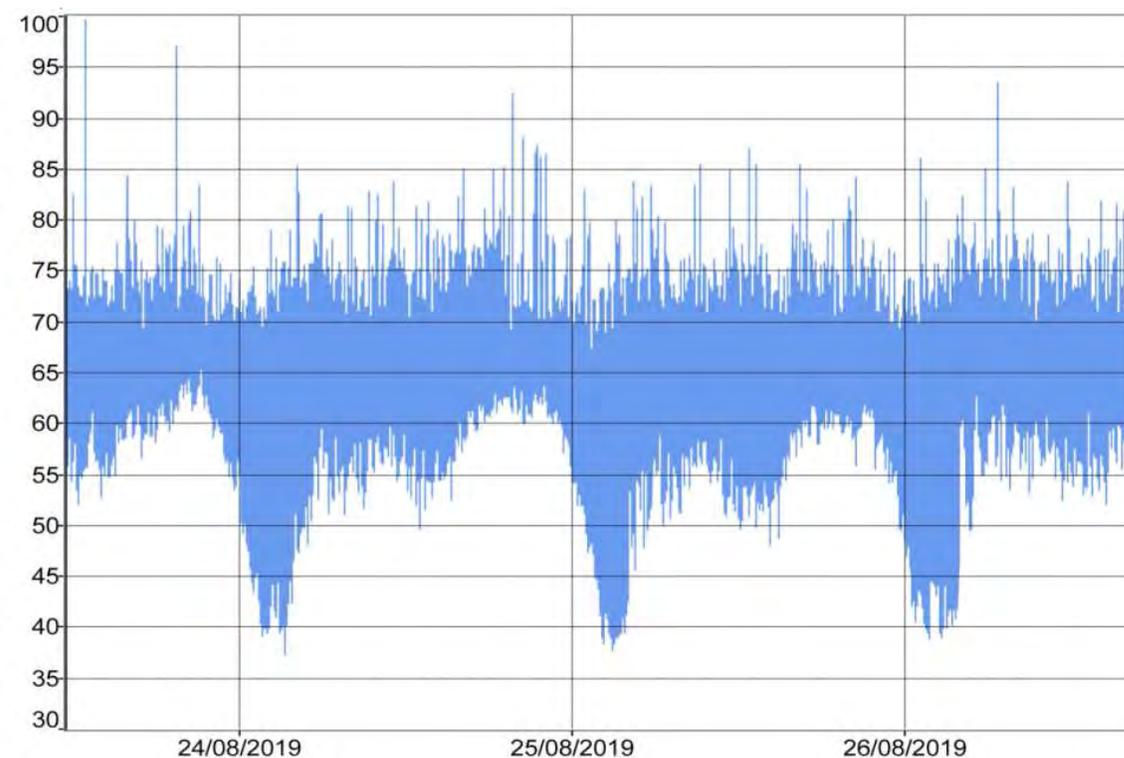
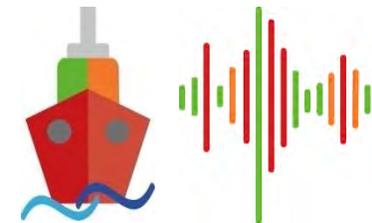


Grafico andamento temporale del livello equivalente pos. A (Agosto 2019)



## Rilievi acustici e del traffico veicolare

**PERIODO DI “MORBIDA”**

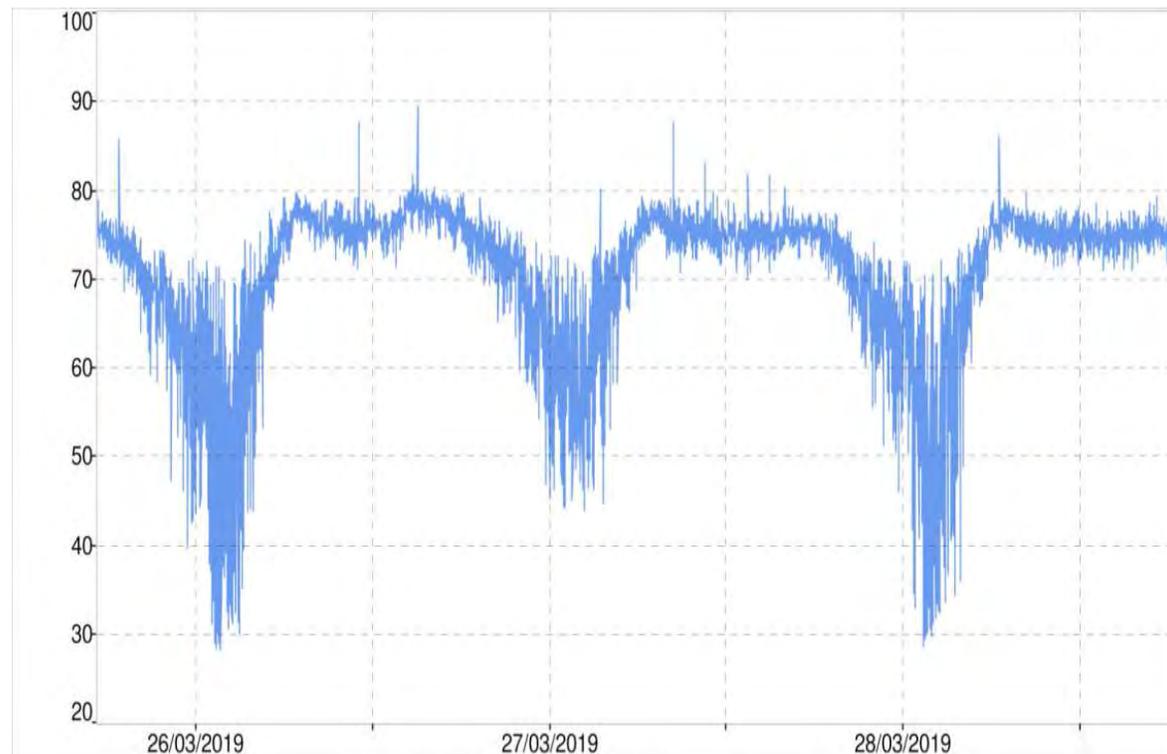


Grafico andamento temporale del livello equivalente Pos. B (Marzo 2019)

**PERIODO DI “PUNTA”**

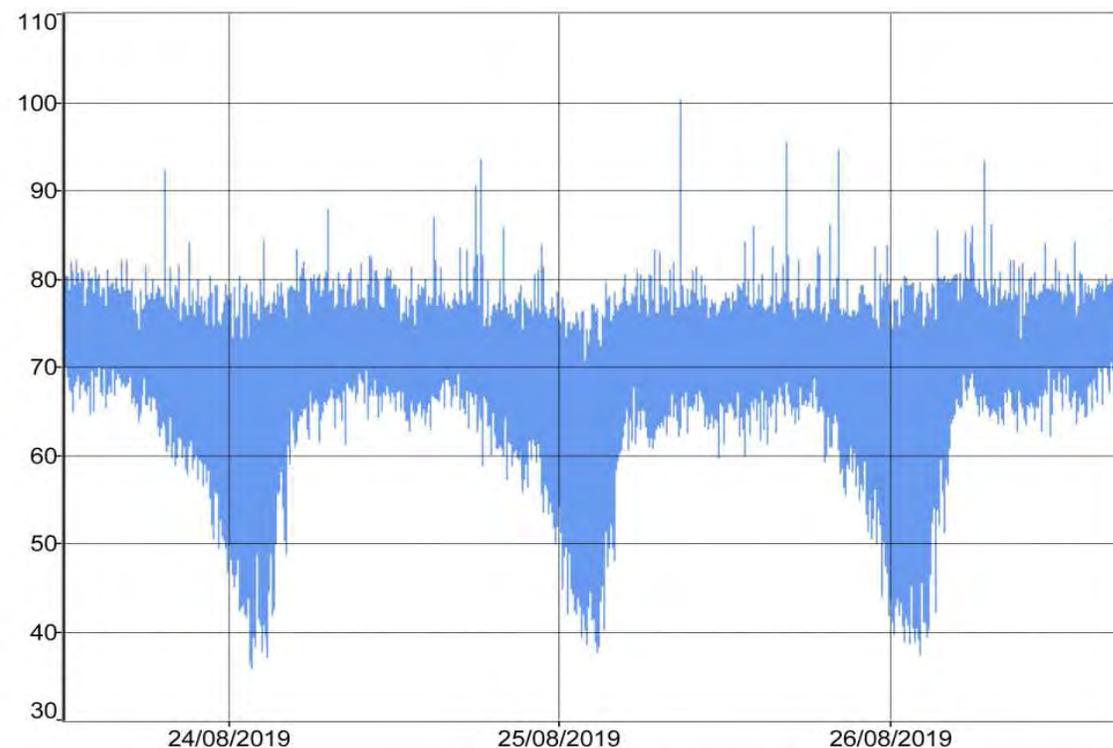
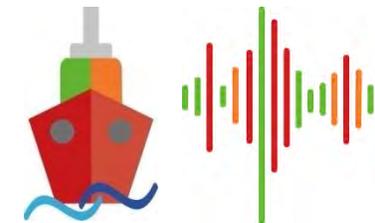
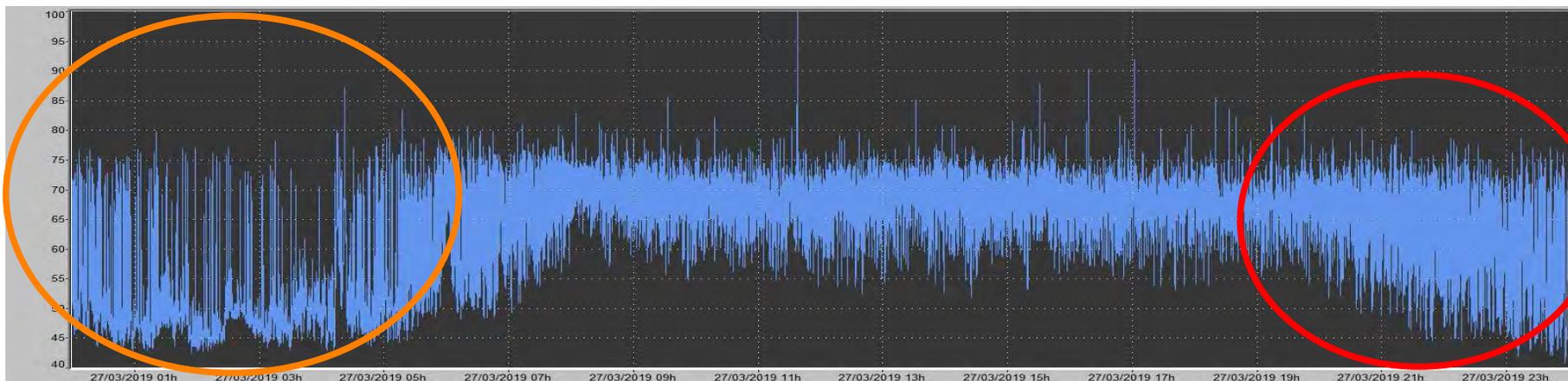


Grafico andamento temporale del livello equivalente pos. A (Agosto 2019)

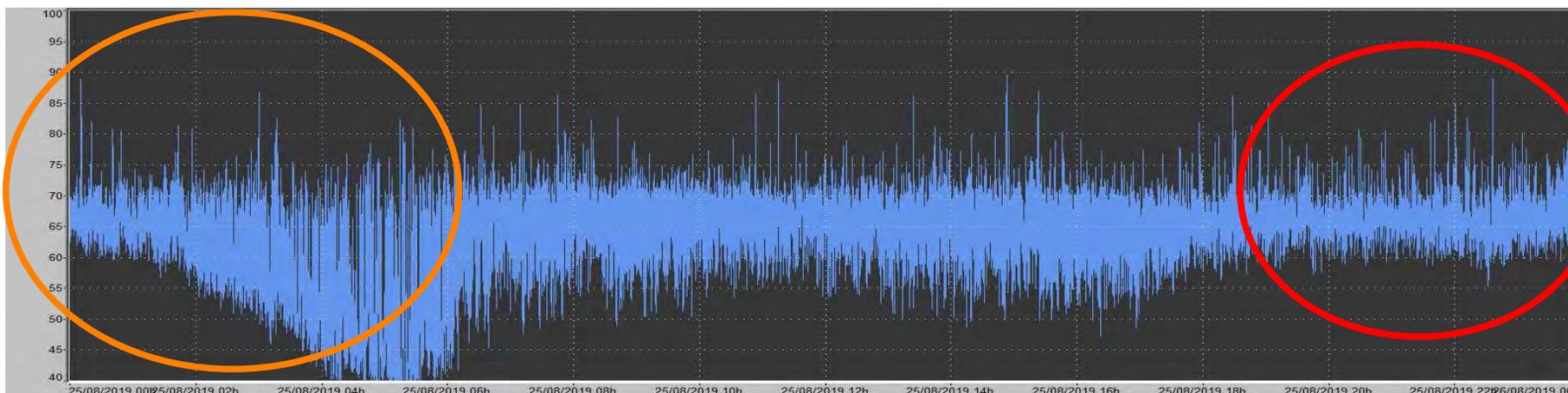


## Rilievi acustici e del traffico veicolare



Leq(A) Livello equivalente postazione B – Municipio giorno 27.03.2019

Dai parametri che definiscono il clima acustico è possibile valutare i valori differenziali tra periodo di morbida e periodo di punta



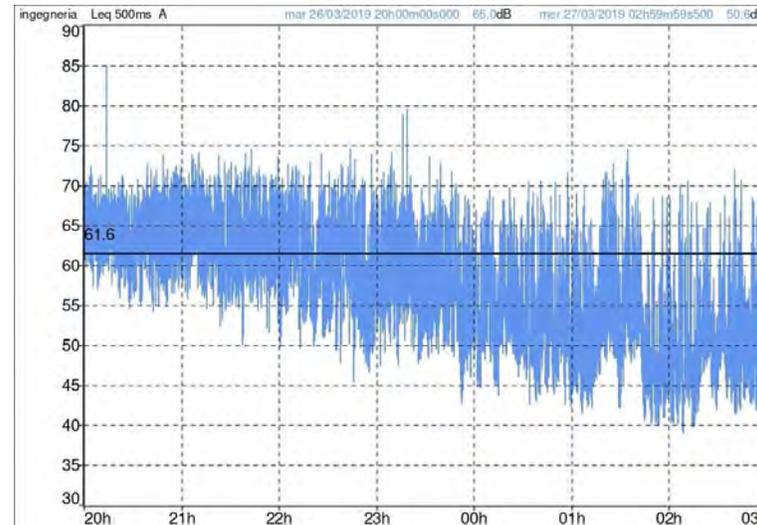
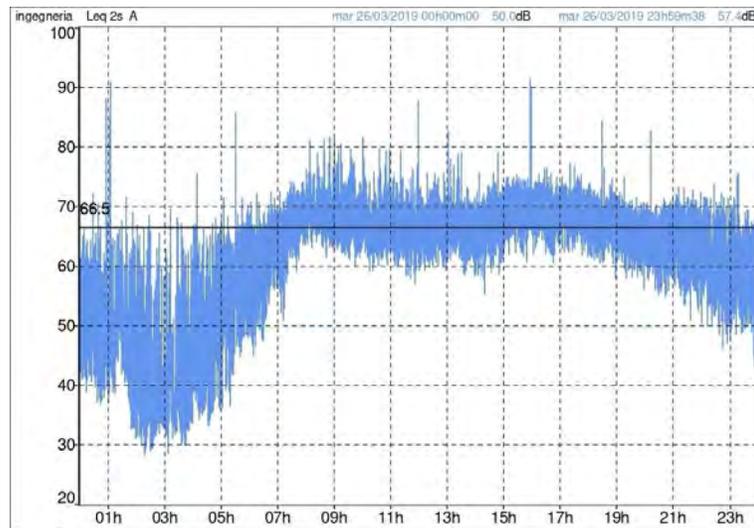
Leq(A) Livello equivalente postazione B – Municipio giorno 25.08.2019

Si può notare come il livello sonoro equivalente nell'arco della giornata abbia una **differente distribuzione oraria** nei due periodi di **misura**



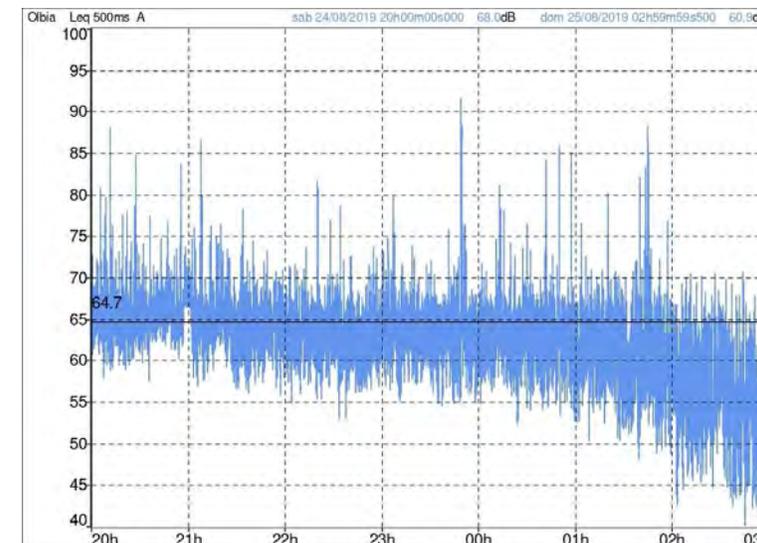
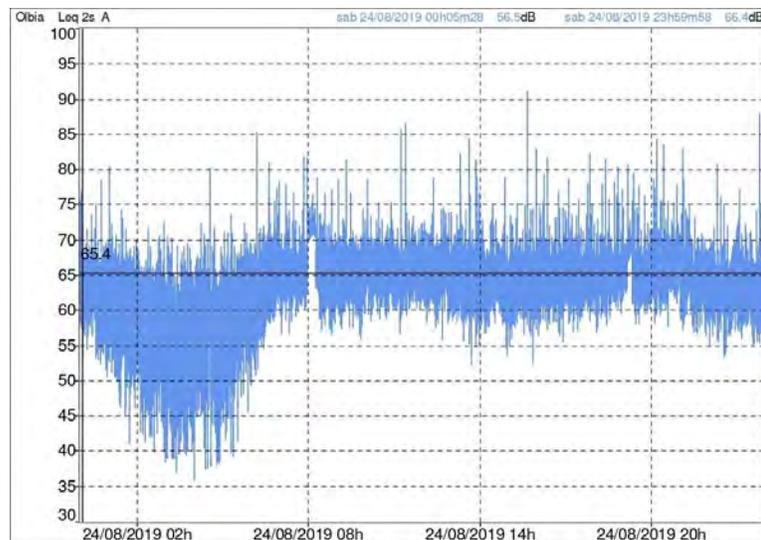
## Rilievi acustici e del traffico veicolare

Timeline del livello equivalente  
 del 26.03.2019

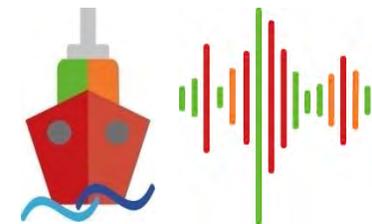


Timeline del livello equivalente  
 dalle ore 20.00 del 26.03.2019  
 alle ore 03:00 del 27.03.2019

Timeline del livello equivalente  
 del 24.08.2019

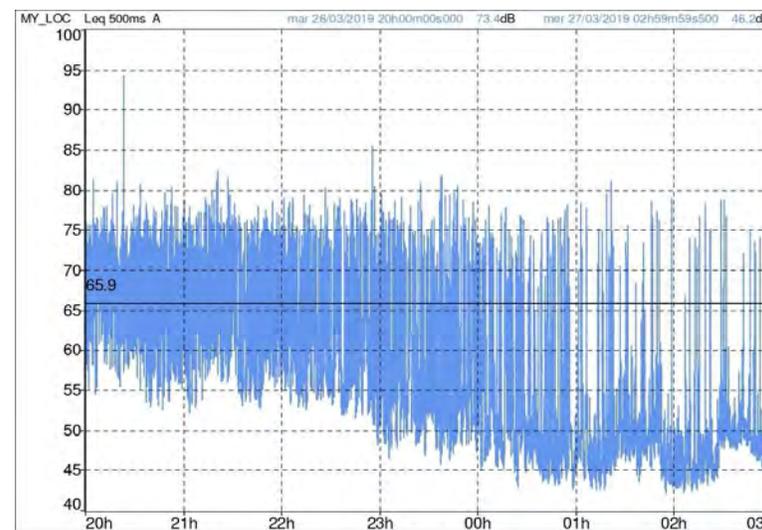
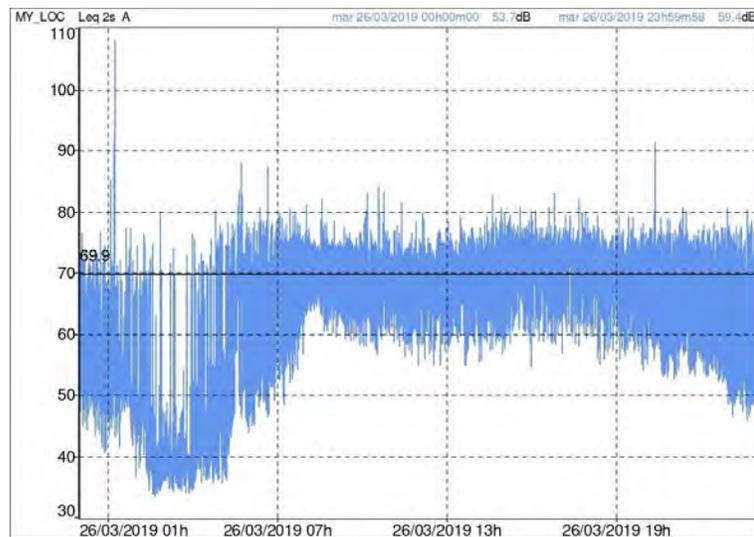


Timeline del livello equivalente  
 dalle ore 20.00 del 24.08.2019  
 alle ore 03:00 del 25.08.2019



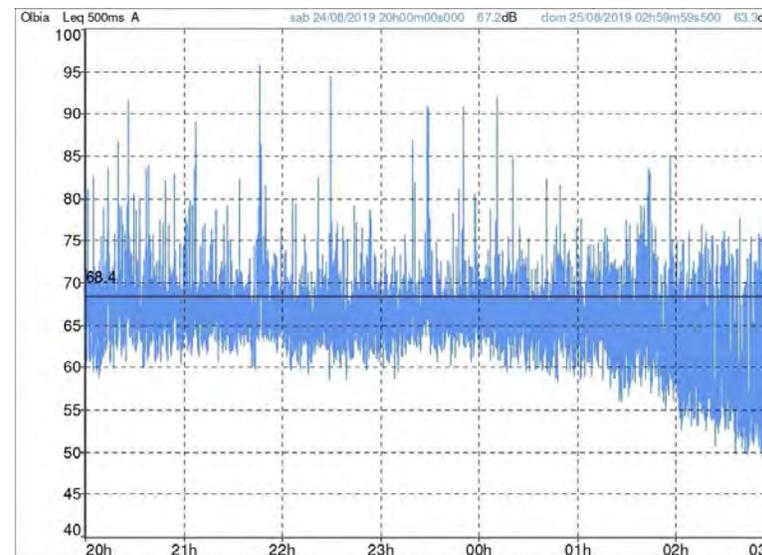
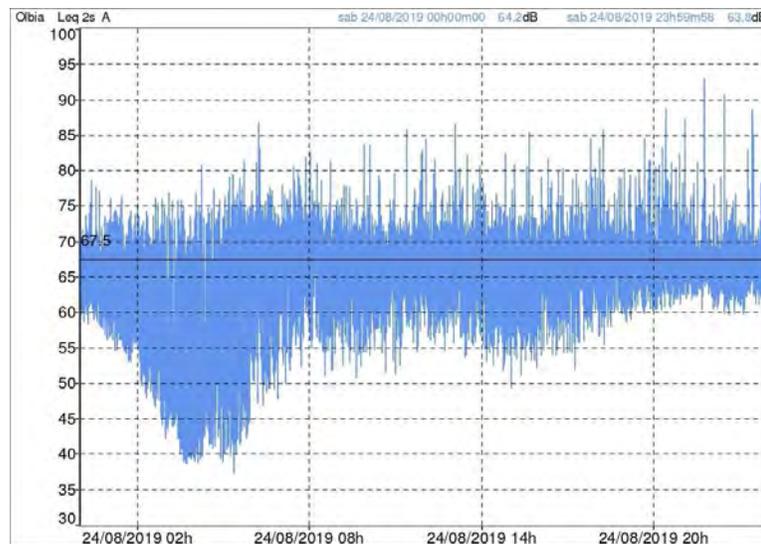
## Rilievi acustici e del traffico veicolare

Timeline del livello equivalente  
 del 26.03.2019

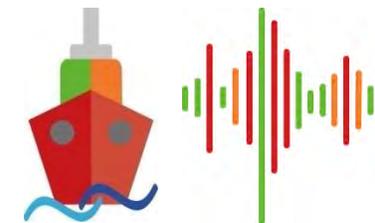


Timeline del livello equivalente  
 dalle ore 20.00 del 26.03.2019  
 alle ore 03:00 del 27.03.2019

Timeline del livello equivalente  
 del 24.08.2019

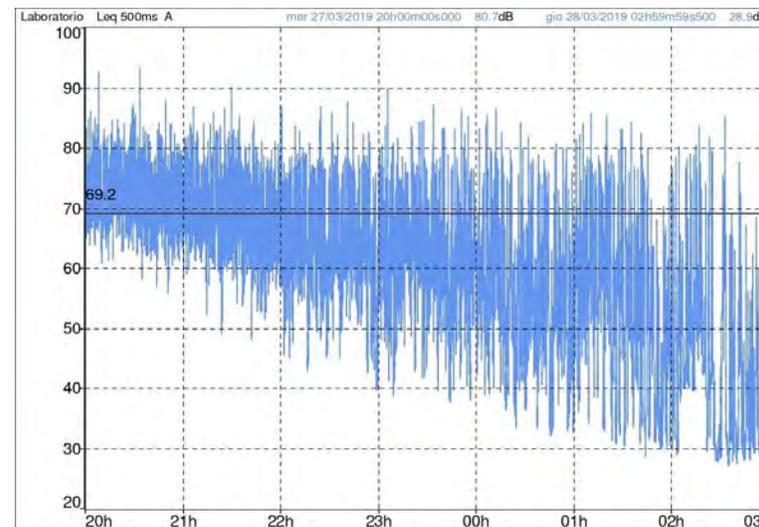
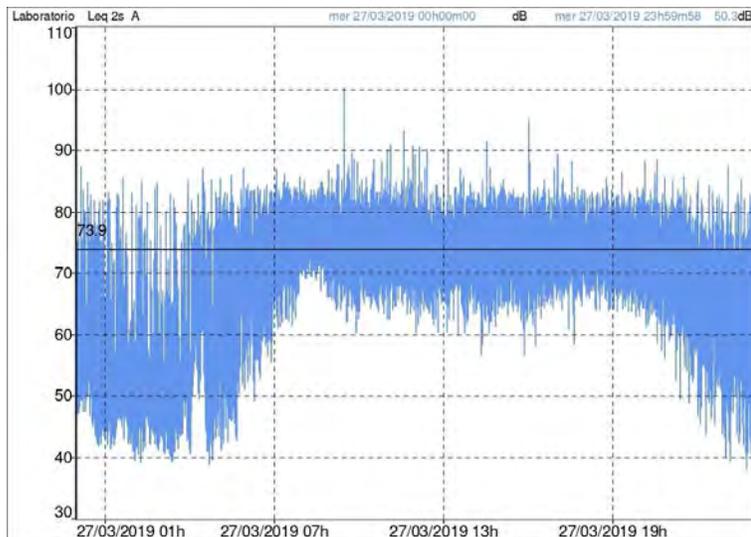


Timeline del livello equivalente  
 dalle ore 20.00 del 24.08.2019  
 alle ore 03:00 del 25.08.2019



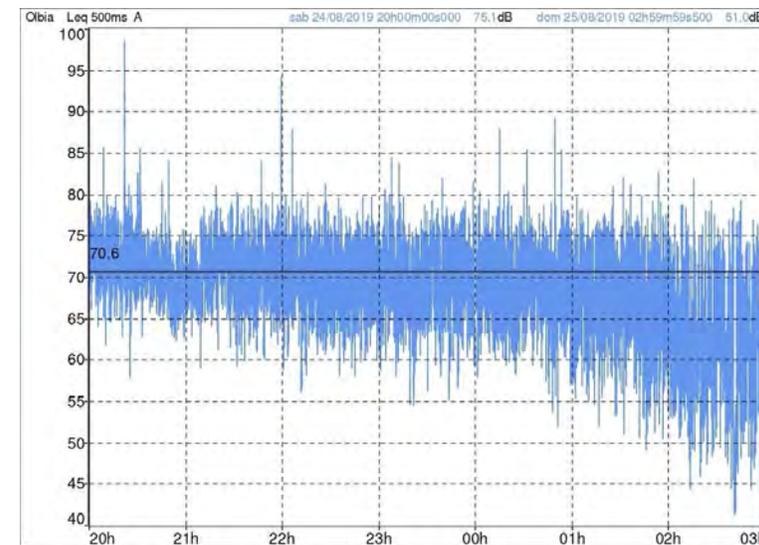
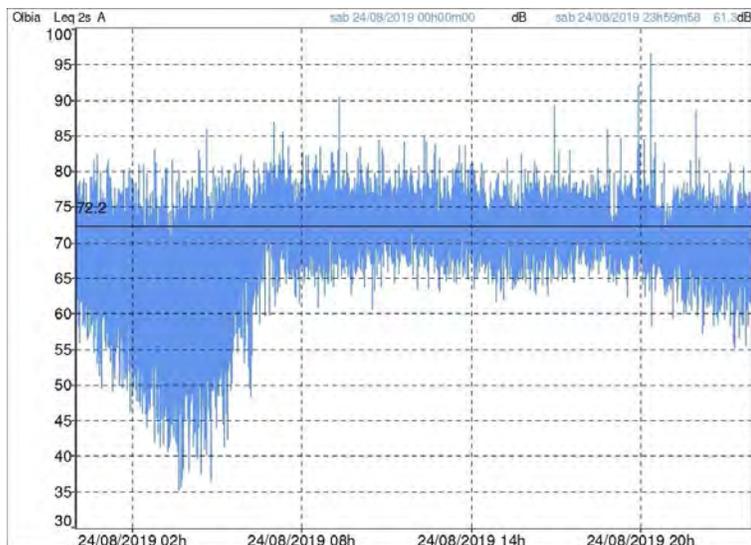
## Rilievi acustici e del traffico veicolare

Timeline del livello equivalente  
 del 27.03.2019

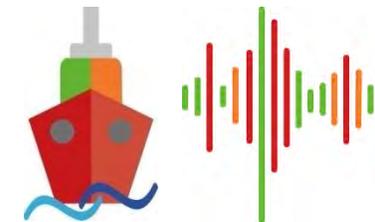


Timeline del livello equivalente  
 dalle ore 20.00 del 26.03.2019  
 alle ore 03:00 del 27.03.2019

Timeline del livello equivalente  
 del 24.08.2019

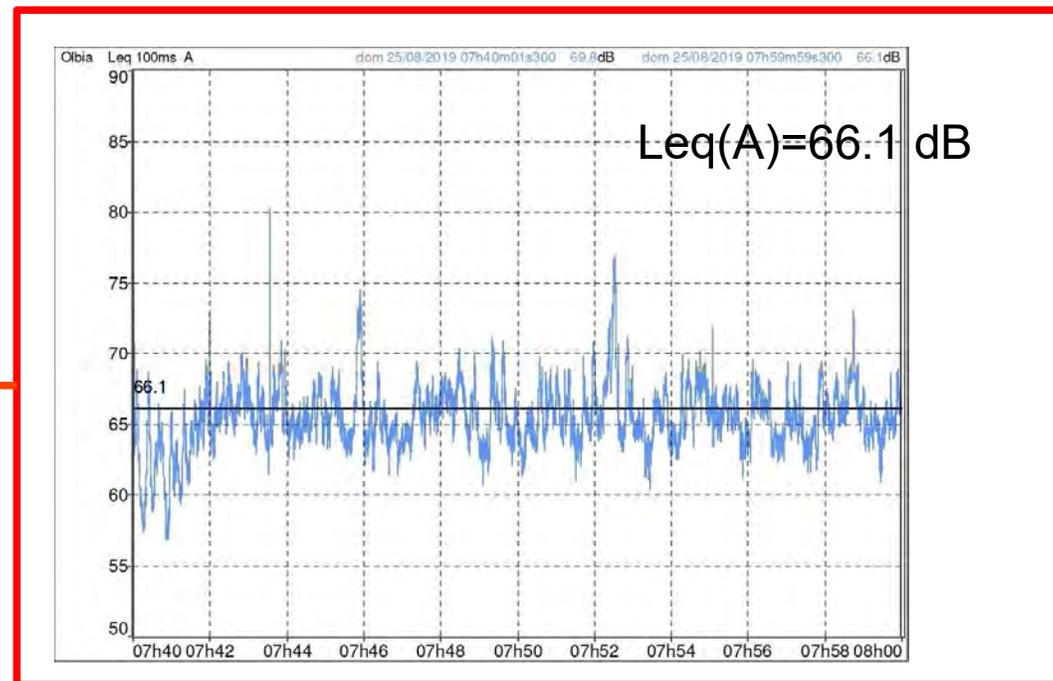
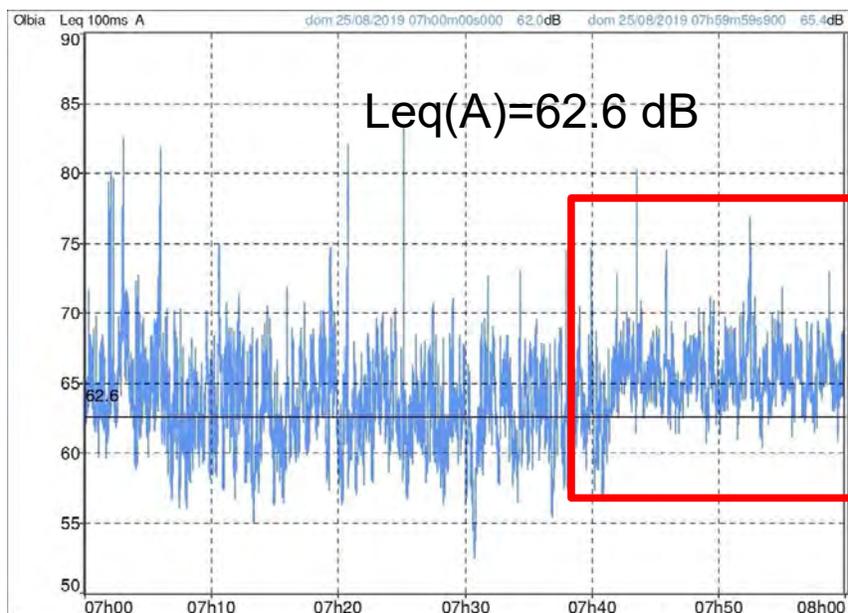


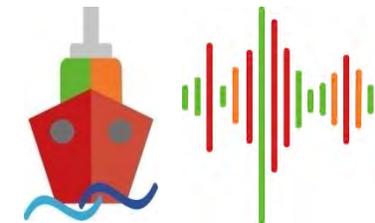
Timeline del livello equivalente  
 dalle ore 20.00 del 24.08.2019  
 alle ore 03:00 del 25.08.2019



## Rilievi acustici e del traffico veicolare

Il potenziale disturbo dovuto al rumore di un'infrastruttura di trasporto terrestre viene convenzionalmente caratterizzato tramite **Leq(A)** (livello sonoro equivalente ponderato A) espresso attraverso indicatori riferiti ai periodi diurno e notturno codificati dalla normativa europea e recepiti dalle normative nazionali. Il livello equivalente rappresenta una sorta di media del livello sonoro sul periodo di tempo T considerato e si stabilizza sempre più all'aumentare della finestra di integrazione considerata. Ci consente di quantificare il livello sonoro attraverso un unico numero ma il suo valore è un valore medio nel tempo T che deve essere adeguato alle dinamiche veicolari che si generano nel porto pena la perdita di informazione su un disturbo reale e quindi la possibilità di intervenire puntualmente con gli interventi di mitigazione. Ad esempio nelle due figure riferite alla postazione A del giorno 25.08.2019 si può rilevare che alle 7:40 si verifica un aumento dei livelli di rumore in un tempo abbastanza rapido (aumento dei flussi dovuto ad uno sbarco) percettibile come significativo aumento del disturbo da rumore (+ 3.5 dB). Il livello equivalente valutato tra le 07:00 e le 08:00 è pari a 62.6 dB, tra le 07:40 e le 08:00 è pari a 66.1 dB.





## Rilievi acustici e del traffico veicolare

Le attività di rilevamento del traffico sono state condotte con **modalità video mediante acquisizione in continuo delle immagini per un periodo di 72 h**. Le apparecchiature consentono il monitoraggio dei due sensi di marcia contemporaneamente.

E' stata quindi rilevata l'entità dei flussi di traffico determinando il numero dei veicoli per senso di marcia per ognuna delle seguenti classi:

**Classe 1:** veicoli con lunghezza compresa tra 0,00 m e 2,50 m

**Classe 2:** veicoli con lunghezza compresa tra 2,51 m e 4,50 m

**Classe 3:** veicoli con lunghezza compresa tra 4,51 m e 6,00 m

**Classe 4:** veicoli con lunghezza compresa tra 6,01 m e 7,50 m

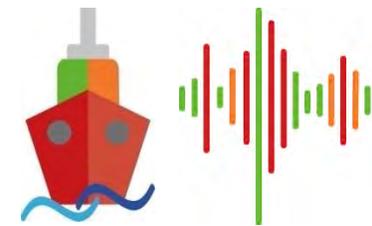
**Classe 5:** veicoli con lunghezza maggiore di 7,51 m



Misuratore di traffico sezione 1E



Misuratore di traffico sezione 1F



la cooperazione al cuore del mediterraneo  
la coopération au cœur de la méditerranée

## Rilievi acustici e del traffico veicolare



1A



1B



1C



1D



1E



1F



2A



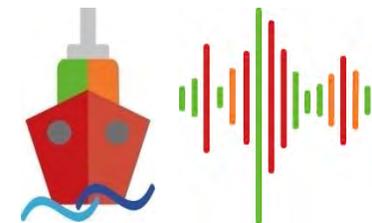
3A



3B



3C

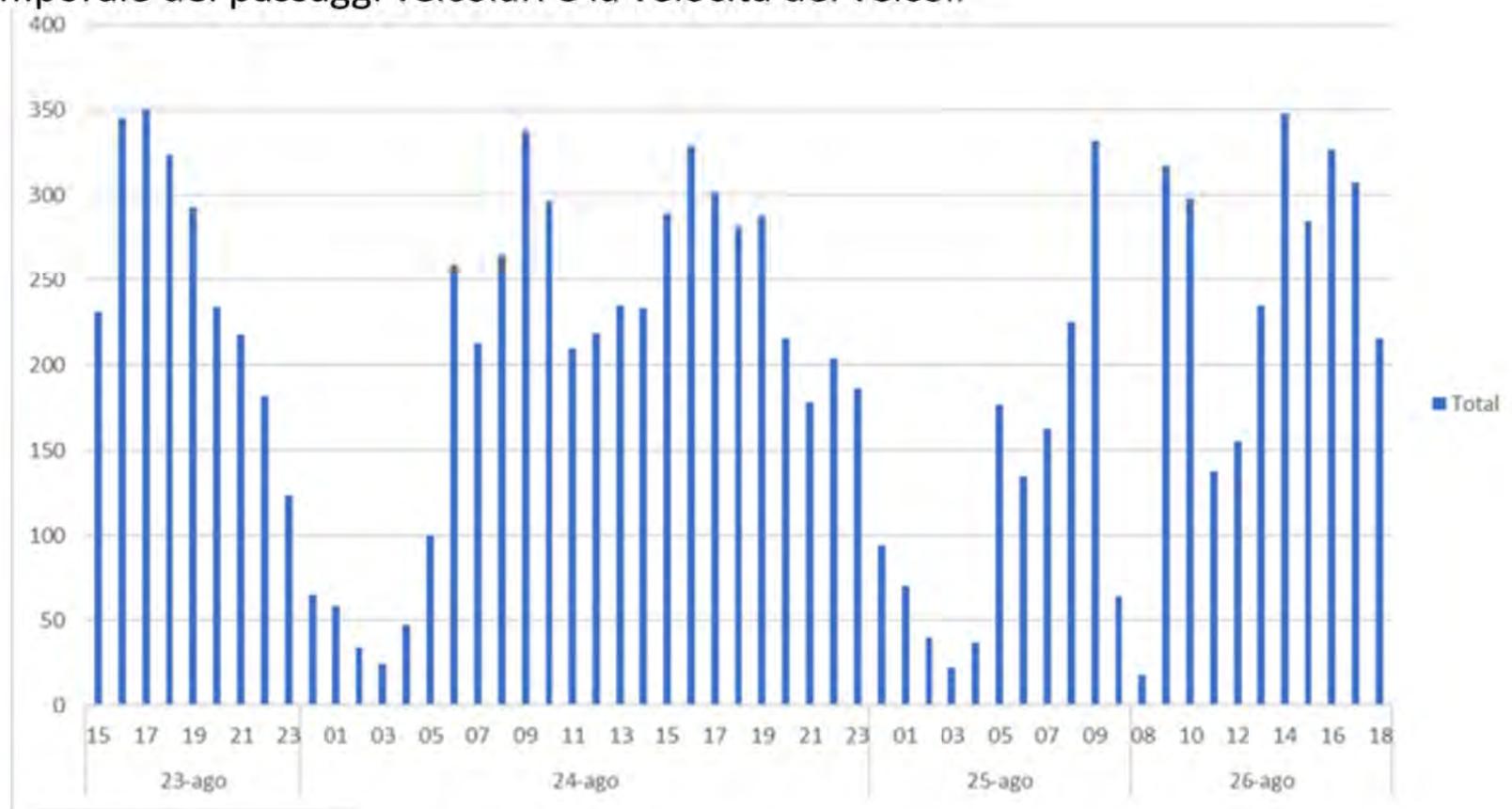


## Rilievi acustici e del traffico veicolare

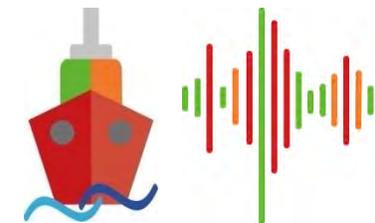
I rilievi di traffico sono stati coordinati per l'esecuzione in sincronia con i rilievi acustici.  
 E' stata acquisita la scansione temporale dei passaggi veicolari e la velocità dei veicoli



Misuratore di traffico sezione 3C



N° di veicoli/ora appartenenti alla classe II (autovetture) – pos. 2A



## Rilievi acustici e del traffico veicolare

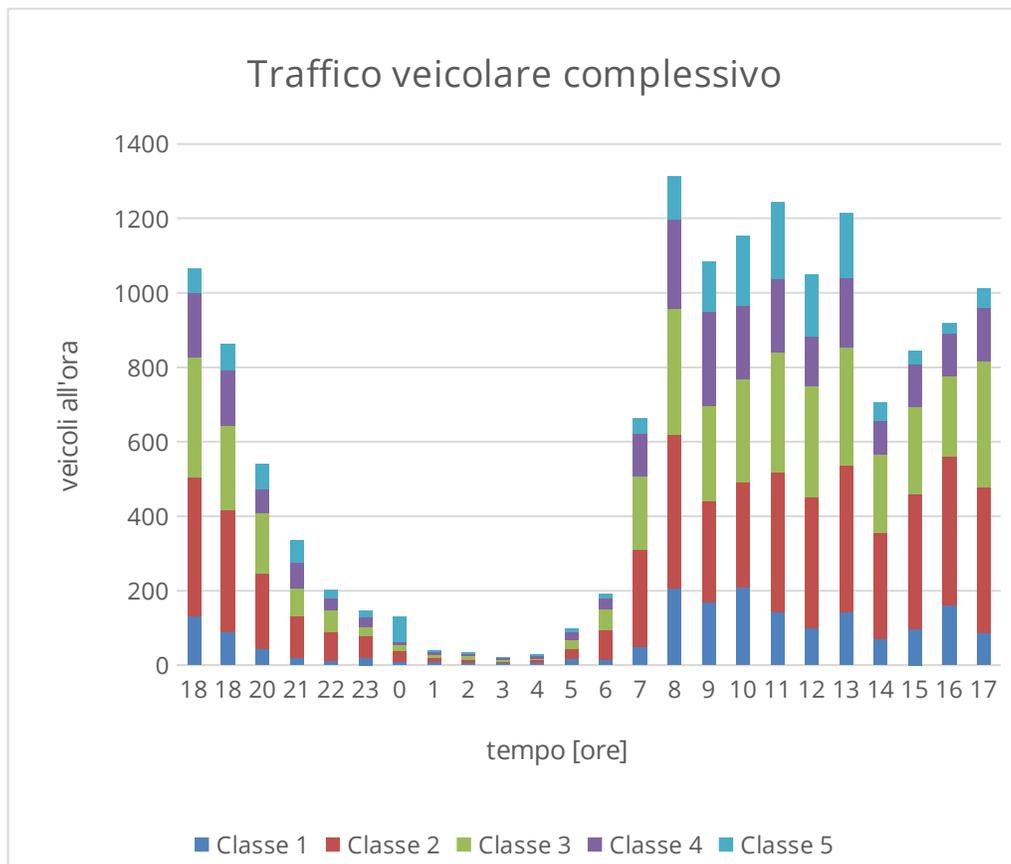


Grafico complessivo cumulato per le diverse tipologie di veicoli, dal 27 al 28 marzo. Postazione via Principe Umberto.

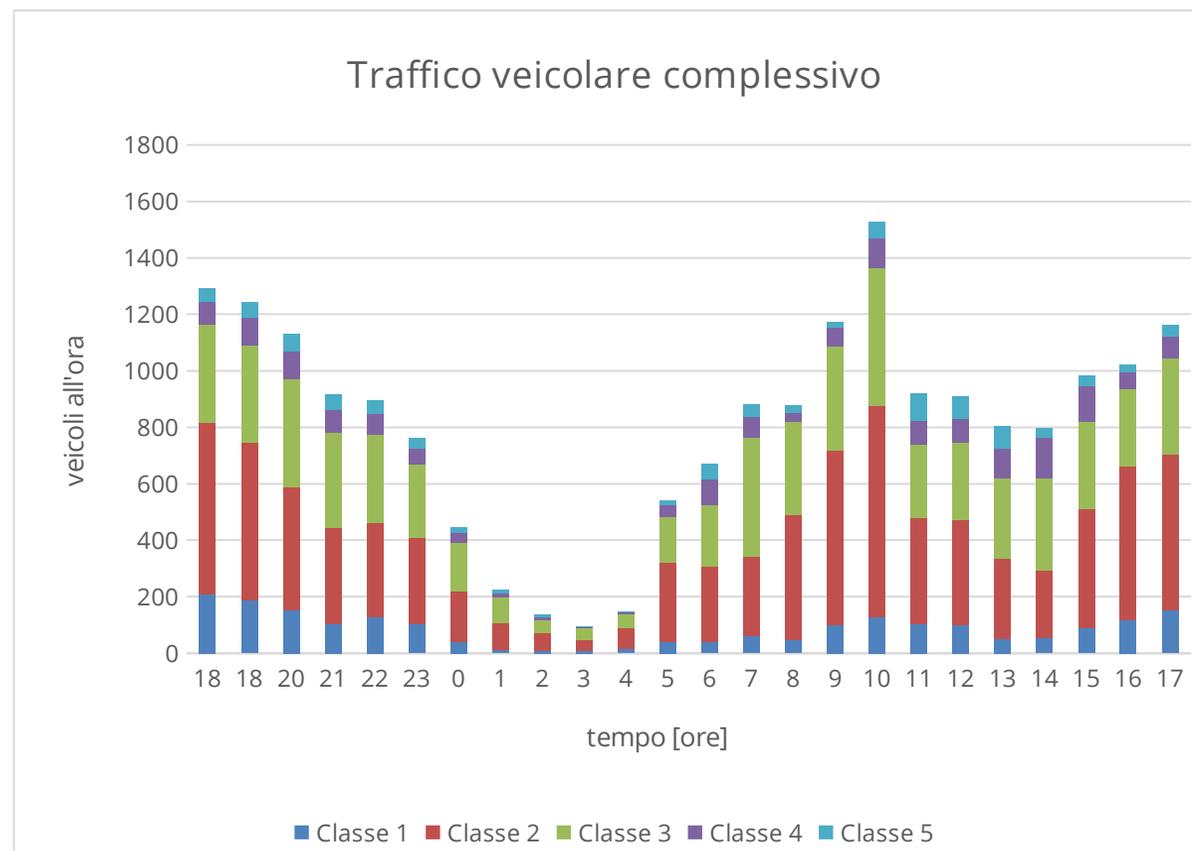


Grafico complessivo cumulato per le diverse tipologie di veicoli, dal 24 al 25 agosto. Postazione via Principe Umberto



la cooperazione al cuore del mediterraneo  
 la coopération au cœur de la méditerranée

## Rilievi acustici e del traffico veicolare

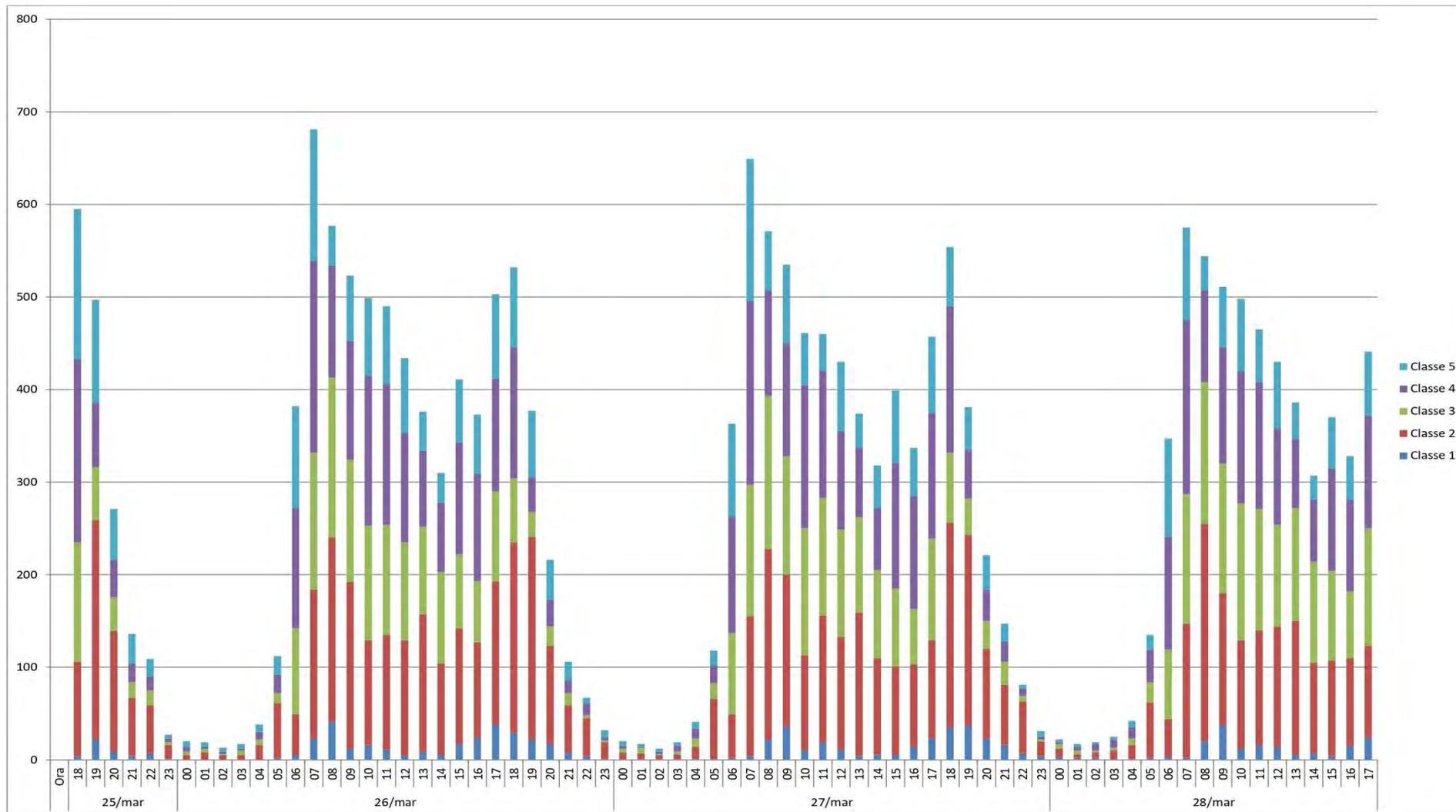


Grafico complessivo cumulato per le diverse tipologie di veicoli, dal 25 al 28 Marzo 2019 - Postazione 3C direzione 1



la cooperazione al cuore del mediterraneo  
 la coopération au cœur de la méditerranée

## Rilievi acustici e del traffico veicolare

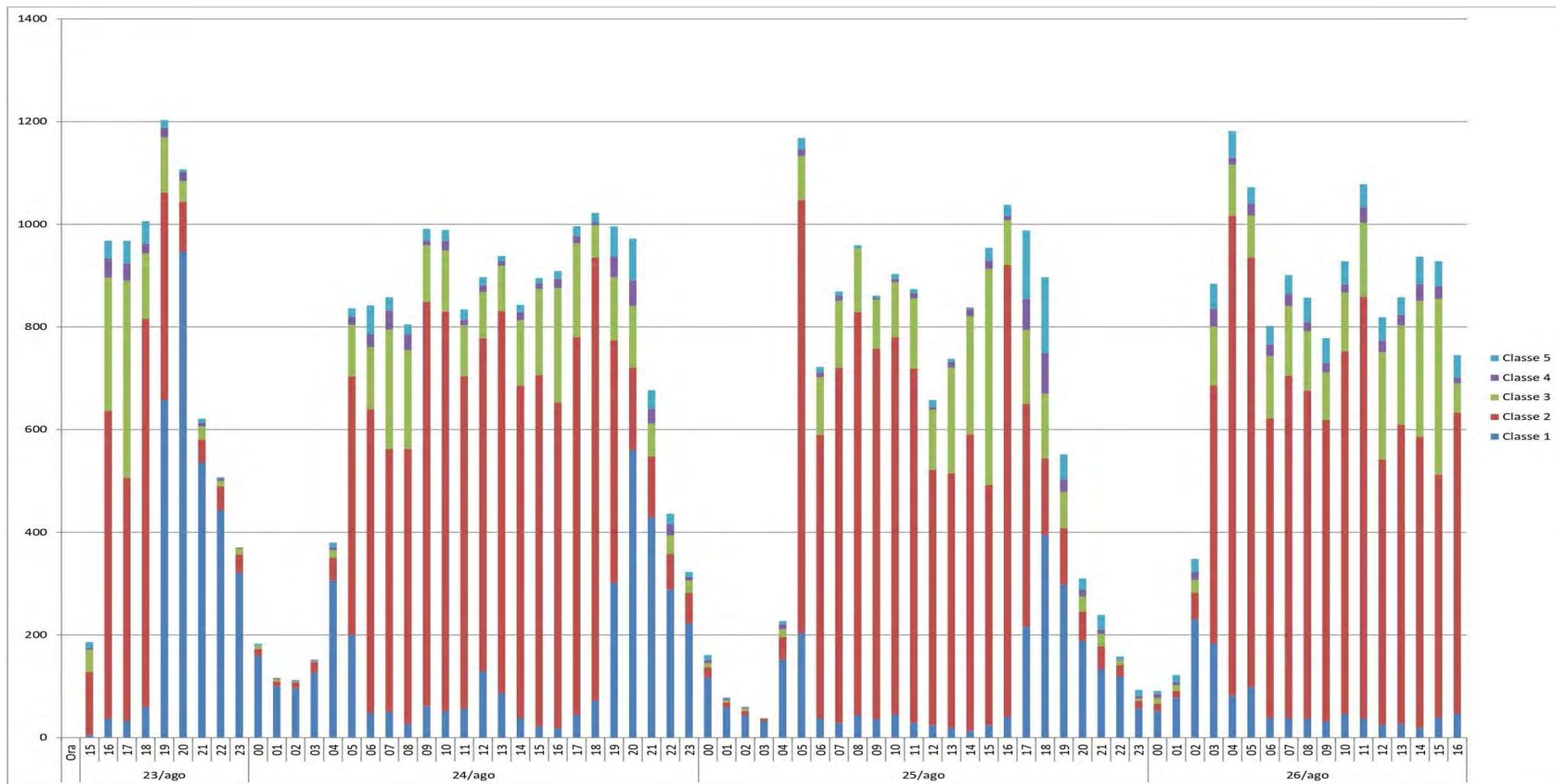
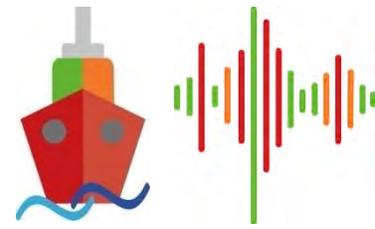


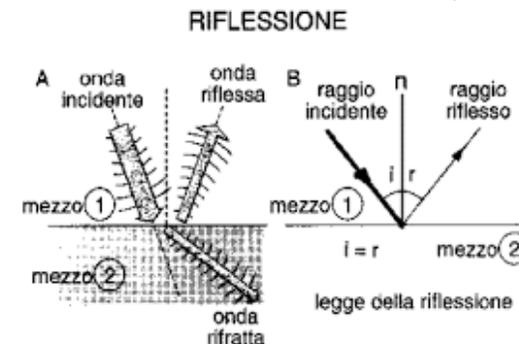
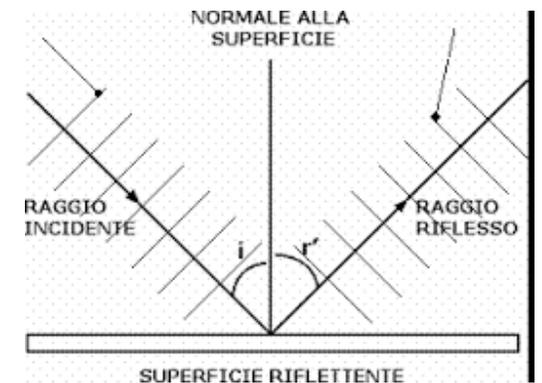
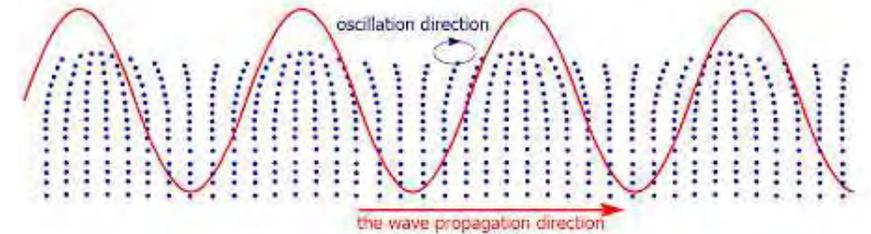
Grafico complessivo cumulato per le diverse tipologie di veicoli, dal 23 al 26 Agosto 2019 - Postazione 3C direzione 1



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Le metodologie comuni per la determinazione degli indicatori di rumore, previsti dalla 2002/49/CE sono riportate nella direttiva europea 2015/996/UE e principalmente sono basate sul modello di propagazione fisica dell'onda acustica. Queste metodologie prevalentemente incorporano diversi livelli di raffinamento/dettaglio che dipendono dal livello di approssimazione che si può considerare accettabile. L'approccio fisico richiede di definire le componenti essenziali che caratterizzano il fenomeno di propagazione dell'onda acustica:

- la sorgente di emissione vera e propria con la superficie stradale;
- il meccanismo della propagazione dell'onda;
- gli effetti di assorbimento, riflessione, rifrazione e interferenza dell'onda acustica quando interagisce con l'aria il terreno e i corpi materializzati;
- altri fattori complementari che consentono di migliorare l'applicabilità e l'accuratezza di specifici contesti di propagazione.



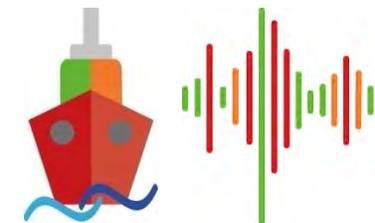


## **Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica**

La complessità di un modello fisico aumenta con l'aumento del grado di dettaglio e di accuratezza che si vuole conseguire. Infatti, oltre alla caratterizzazione del sistema delle sorgenti e delle condizioni acustiche al contorno, vengono applicati metodi numerici avanzati sulle equazioni d'onda e di continuità per la risoluzione degli effetti di propagazione del suono.

Si aggiunge che **le fasi preliminari necessarie per l'implementazione dell'orografia, delle geometrie e delle proprietà acustiche dell'ambiente naturale e degli edifici oltre alla disposizione delle sorgenti di rumore, hanno un notevole impatto sui tempi del progetto per la valutazione del rumore perché rappresenta un'attività che richiede tempo e rappresenta anche una fonte di incertezza.** In effetti, la rappresentazione del campo acustico risultante dovrebbe essere convalidata da una fase di calibrazione tramite misure sperimentali.

Nell'ambito del progetto i dati sperimentali sono stati riportati su un modello fisico di propagazione per il fronte portuale della città di Olbia a supporto delle analisi e della valutazioni sulle strategie di regolazione del traffico anche a scopo di ricerca sulla applicabilità dei modelli.



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

E' stata pertanto sviluppata la **mappatura acustica** dell'area portuale della città di Olbia, la quale deve essere intesa come **rappresentazione spaziale, in funzione di un descrittore acustico, dei livelli di pressione sonora correlati ad una singola sorgente oppure a più sorgenti di disturbo**, nel caso specifico rappresentate dal traffico veicolare, in una condizione rilevata o ipotizzata.

Di norma la funzione di tale elaborazione è indicare il superamento di pertinenti valori limite vigenti, il numero di persone esposte od il numero di abitazioni esposte a determinati valori di rumore. Il livello di rumore ambientale è espresso tramite indici codificati dalla normativa europea e recepiti dalle normative nazionale a cui si è fatto riferimento anche nel presente lavoro.





## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

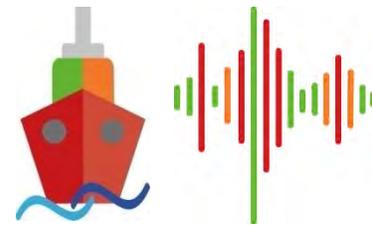
Per la elaborazione delle mappe è stato ricostruito in ambiente software il modello digitale del fronte portuale inserendo poi i dati rilevati nel corso delle campagne di misurazione dei flussi di traffico per la definizione qualitativa e quantitativa delle sorgenti di rumore rappresentate dagli assi stradali.

E' stato adottato un modello "fisico" di propagazione basato sullo standard europeo **CNOSSOS-EU (Direttiva 2002/49/EC)**.

La elaborazioni sono state eseguite in conformità a quanto indicato nella norma UNI 11143-2 al punto intitolato "Rilievi fonometrici" e norma UNI 11143-1 punto 4.3 intitolato "Rappresentazione della rumorosità".

Le mappe elaborate forniscono una rappresentazione del livello continuo equivalente tramite **curve di isolivello sonoro** la cui configurazione varia in funzione degli scenari di traffico rilevati o ipotizzati, Le mappe consentono quindi di valutare globalmente gli scenari di clima acustico relativi alle diverse configurazioni di traffico alla scala urbana o locale.





## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Sono stati presi in considerazione i descrittori acustici introdotti dal D.Lgs 194/2005: **Lden** (Day-Evening-Night Level) **Ld** (Day Level) e **Ln** (Night Level) ed **Le** (Evening Level) così come definiti dalla Direttiva europea 2002/49/CE.

Le fasce orarie in cui devono essere misurati/calcolati i descrittori acustici  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  e  $L_{night}$ , che insieme definiscono il descrittore acustico  $L_{den}$ , sono quelle indicate nella normativa italiana.

Si riporta la formula di  $L_{den}$  così come definita all'Allegato I del D.Lgs 194/2005:

$$L_{den} = 10 \cdot \text{Log}_{10} \left[ \frac{14}{24} \cdot (10^{L_{day}/10}) + \frac{2}{24} (10^{(L_{evening}+5)/10}) + \frac{8}{24} (10^{(L_{night}+10)/10}) \right]$$

**I livelli contenuti nella normativa sono definiti “livello continuo equivalente a lungo termine ponderato A” e sono valori di norma valutati su tempi molto lunghi, tipicamente un anno, volti a caratterizzare acusticamente, su un'ampia base statistica, l'intorno di una infrastruttura o un'area urbana, proprio per considerare il disturbo a lungo termine e gli effetti sulla salute.**

Per la redazione delle mappe, considerate le finalità del progetto, sono state condotte diverse sperimentazioni di calcolo assumendo tempi di valutazione delle grandezze fisiche variabili e compatibili con la scala temporale degli interventi di mitigazione sempre con riferimento a livelli sonori equivalenti.



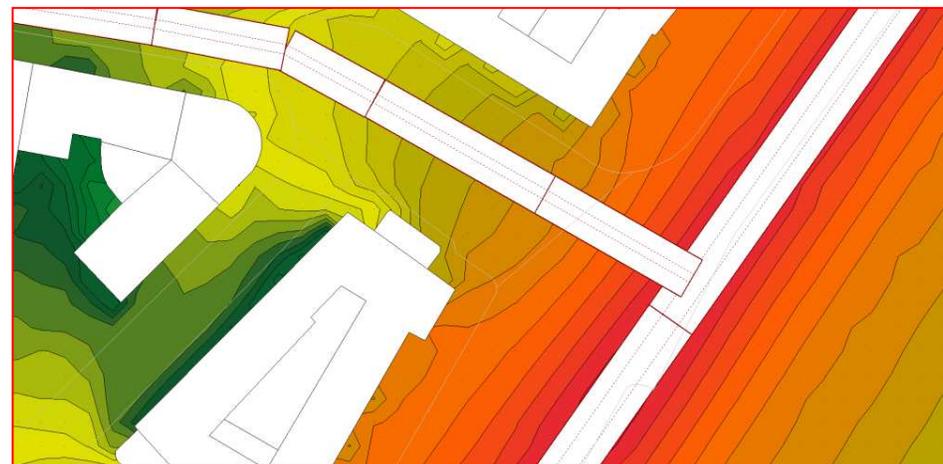
## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Per ogni contesto devono essere inseriti nel modello digitale i dati spaziali, i quali possono derivare da modelli del terreno già elaborati in ambiente GIS, e le caratteristiche acustiche delle superfici.

Il valori dei parametri acustici in output  $L_d$  (day),  $L_e$  (evening),  $L_n$  (night),  $L_{den}$  possono essere restituiti nei punti della griglia della mappa, per curve che delimitano superfici di isolivello sonoro o in corrispondenza di punti specifici, ricettori o punti di controllo.

Per i dati di input del traffico devono essere specificati, su base oraria, secondo la citata metodololgia CNOSSOS-EU, il numero dei veicoli e le percentuali relative per ogni classe veicolare nonché la velocità di percorrenza.

Sulla base del **flusso orario statico  $Q_m$**  è stimata la potenza sonora, in bande di frequenza, emessa per ogni metro di lunghezza della sorgente lineare che rappresenta la singola sorgente stradale e la propagazione sonora nello spazio.



Superfici di isolivello sonoro

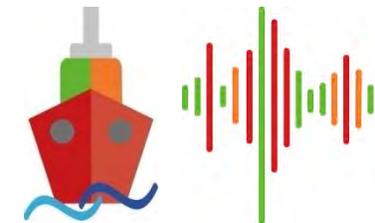


Curve di isolivello sonoro e valori puntuali

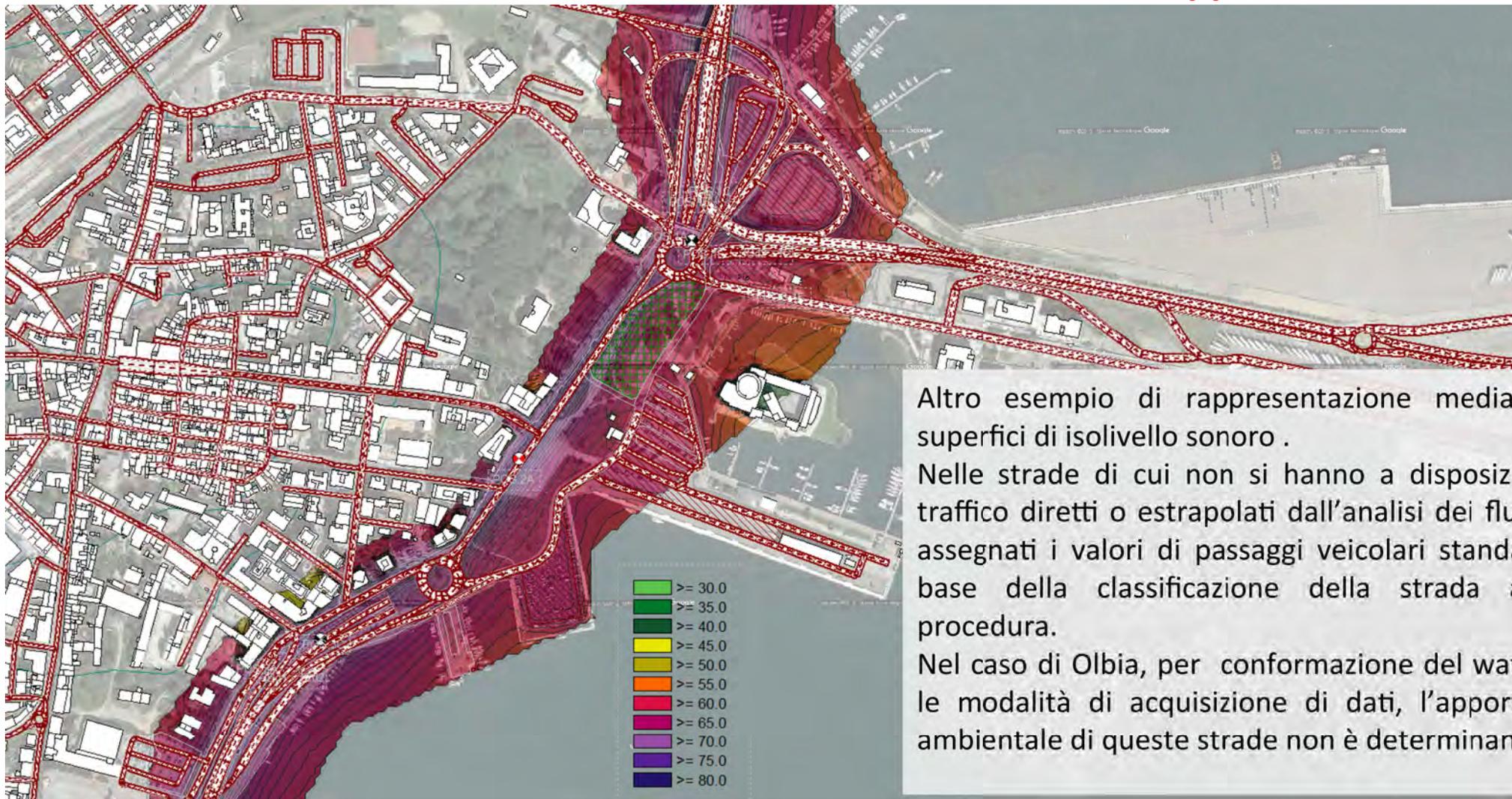


## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica





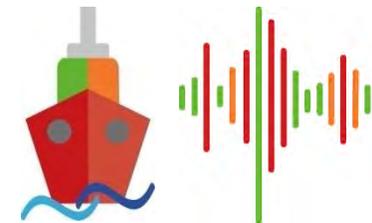
## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica



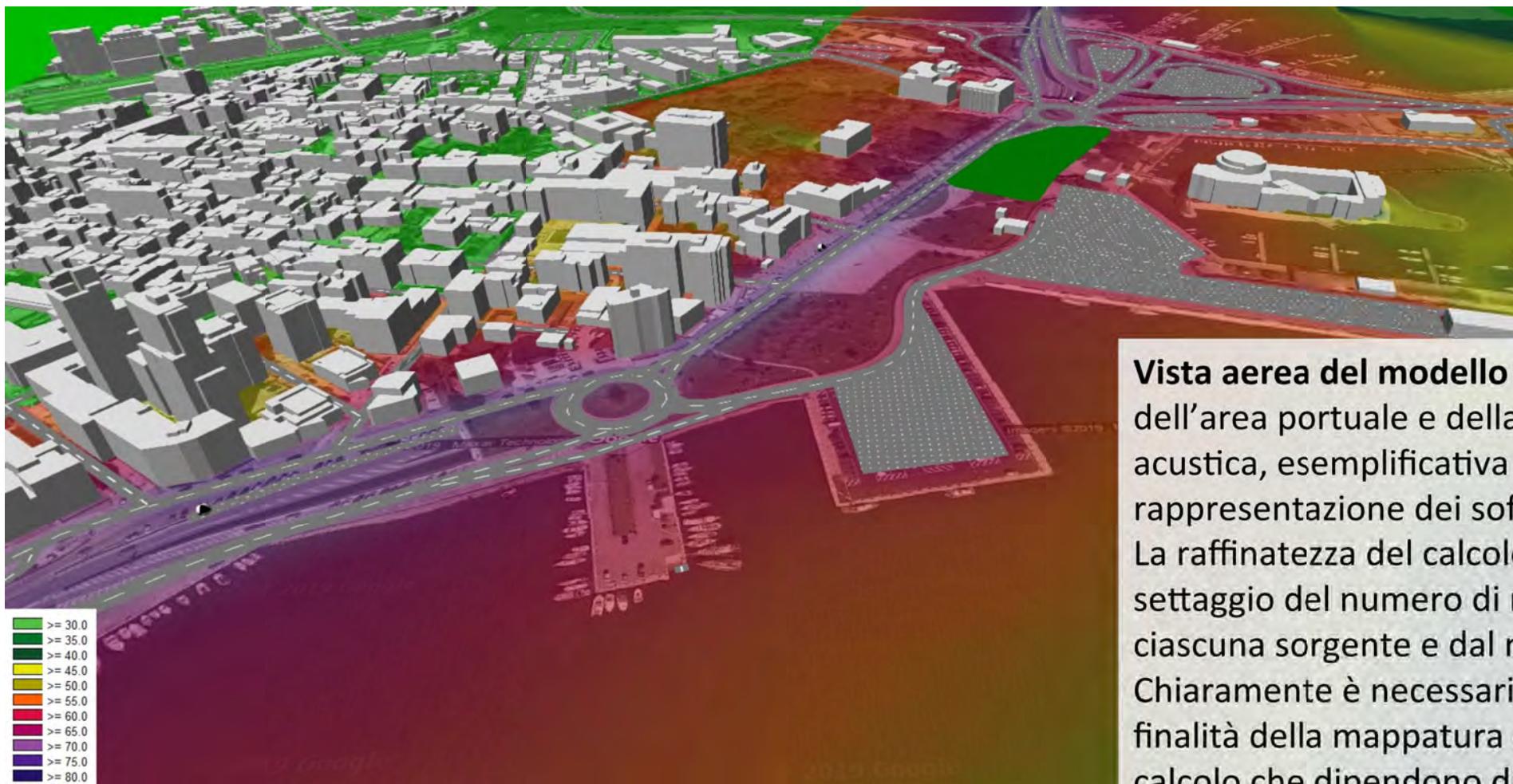
Altro esempio di rappresentazione mediante curve e superfici di isolivello sonoro .

Nelle strade di cui non si hanno a disposizione rilievi di traffico diretti o estrapolati dall'analisi dei flussi sono stati assegnati i valori di passaggi veicolari standardizzati sulla base della classificazione della strada assunti dalla procedura.

Nel caso di Olbia, per conformazione del waterfront e per le modalità di acquisizione di dati, l'apporto al rumore ambientale di queste strade non è determinante.

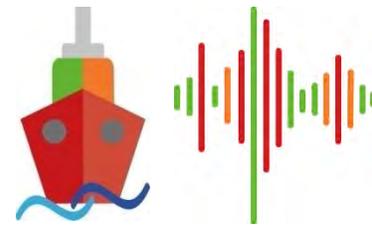


## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica



**Vista aerea del modello tridimensionale dell'area portuale e della mappatura acustica, esemplificativa delle possibilità di rappresentazione dei software.**

La raffinatezza del calcolo dipende dal settaggio del numero di raggi emessi da ciascuna sorgente e dal numero di riflessioni. Chiaramente è necessario mediare tra le finalità della mappatura e le tempistiche di calcolo che dipendono dalla estensione dell'area e dalle dotazioni hardware.



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Per valutare l'**aderenza del modello di elaborazione delle mappe acustiche alla realtà oggetto di studio** sono stati messi a confronto i livelli previsti in sede di calcolo ed i livelli di rumore ambientale rilevati.

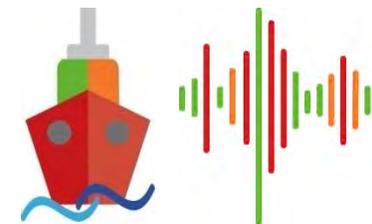
A tal fine sono state individuate alcune serie di intervalli orari campione estratti dal database delle acquisizioni effettuate nei giorni 25, 26, 27 e 28 Marzo 2019 (periodo "di morbida") e 23,24,25 e 26 Agosto 2019 (periodo di punta).

Gli intervalli orari considerati sono distribuiti nei diversi periodi di riferimento come definiti dalla normativa europea (direttiva CEE n. 49 -2002) e adottati secondo la seguente codifica:

- periodo diurno (h 06:00 — 20:00)
- periodo serale (h 20:00 — 22:00)
- periodo notturno (h 22:00 — 06:00)

Per ogni intervallo sono stati estrapolati i dati dei passaggi veicolari rilevati in ognuna delle n.10 sezioni disponibili.

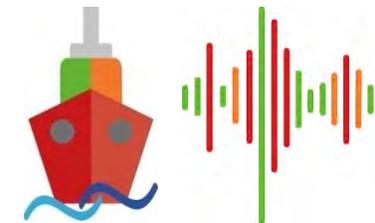
Tramite l'analisi dei flussi sono state quindi ricavate le "portate", distinte per classi di veicoli, nelle sezioni stradali dell'area del fronte portuale.



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Confronto tra i valori rilevati e i valori ottenuti da simulazione con modello fisico nel periodo di morbida:

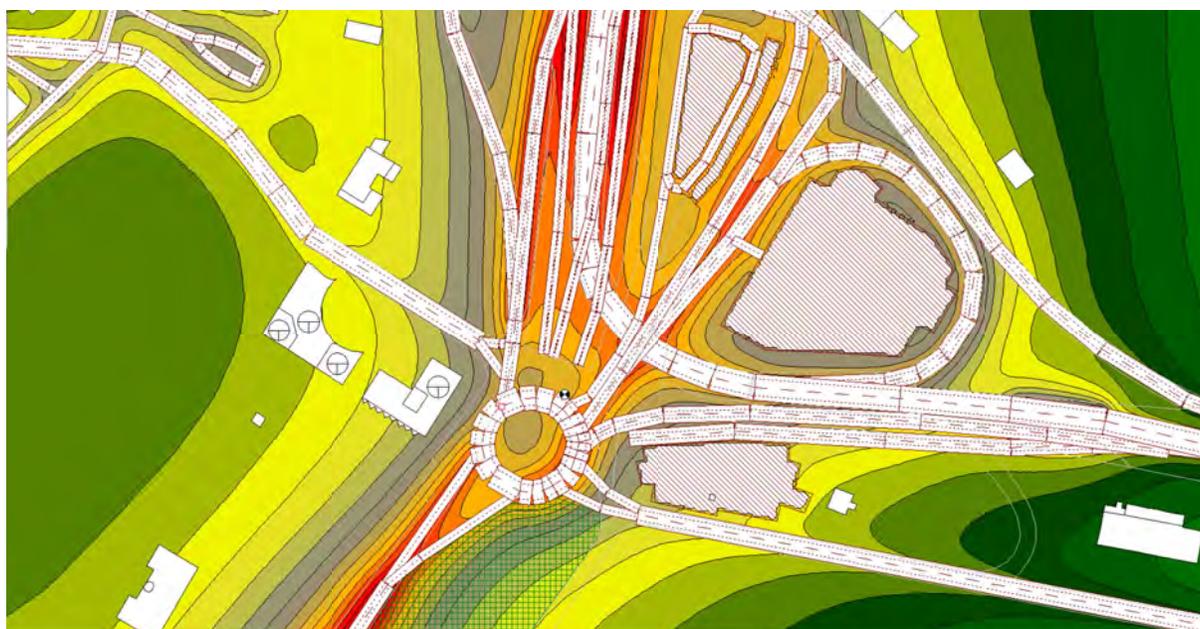
Periodo di morbida						
Posizione	Data	Intervallo orario	Indicatore	Valore simulato	Valore rilevato	$\Delta$
A	26/03/2019	18:00 - 19:00	Ld	68.1 dB	68.1 dB	0.1 dB
A	26/03/2019	21:00 - 22:00	Le	62.3 dB	64.5 dB	2.2 dB
A	26/03/2019	03:00 - 04:00	Ln	55.7 dB	48.8 dB	6.9 dB
A	27/03/2019	12:00 - 13:00	Ld	68.7 dB	69.3 dB	0.6 dB
A	27/03/2019	20:00 - 21:00	Le	65.3 dB	68.0 dB	2.7 dB
A	27/03/2019	02:00 - 03:00	Ln	54.1 dB	57.1 dB	3.0 dB
B	26/03/2019	18:00 - 19:00	Ld	73.3 dB	70.9 dB	2.4 dB
B	26/03/2019	21:00 - 22:00	Le	69.1 dB	68.6 dB	0.5 dB
B	26/03/2019	03:00 - 04:00	Ln	54.6 dB	51.7 dB	2.9 dB
C	28/03/2019	12:00 - 13:00	Ld	74.4 dB	75.0 dB	0.6 dB
C	27/03/2019	21:00 - 22:00	Le	72.8 dB	72.9 dB	0.1 dB
C	28/03/2019	02:00 - 03:00	Ln	59.0 dB	56.5 dB	2.5 dB



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Pos. A – Rotatoria Sacro cuore 26 Marzo 2019

DAY



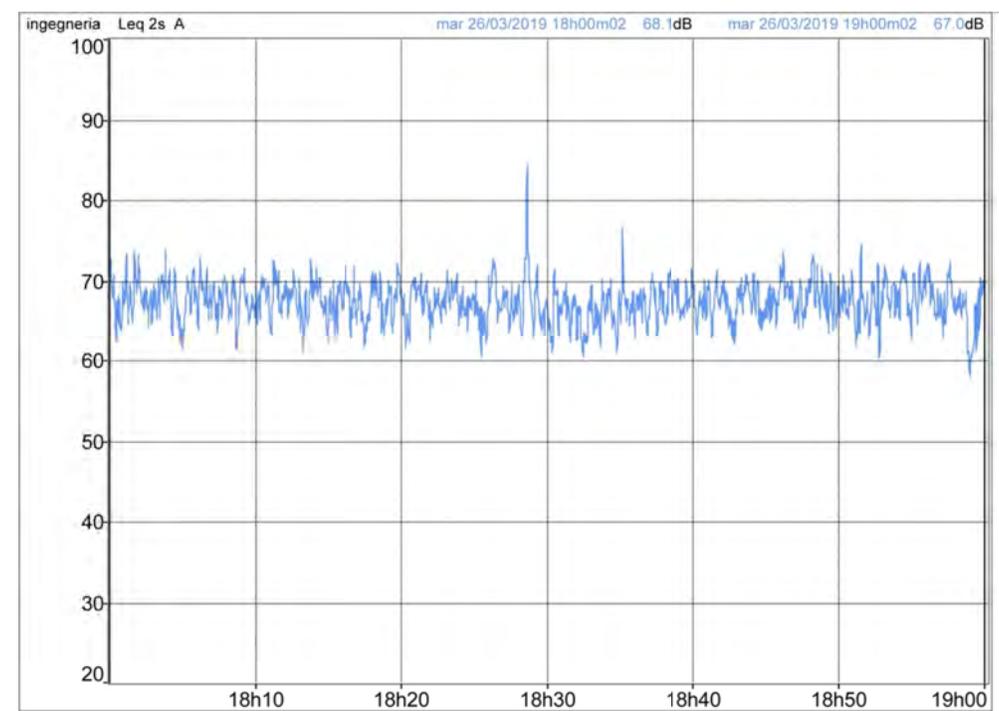
Andamento delle curve di isofoniche

Valore previsto dal modello: **Ld = 68.1 dB**

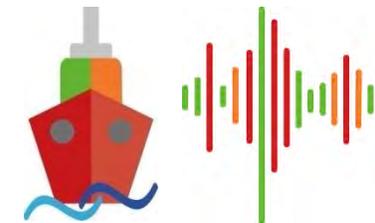
Valore rilevato: **Leq = 68.0 dB**

**Errore: 0.1 dB**

Intervallo: h18:00-19:00



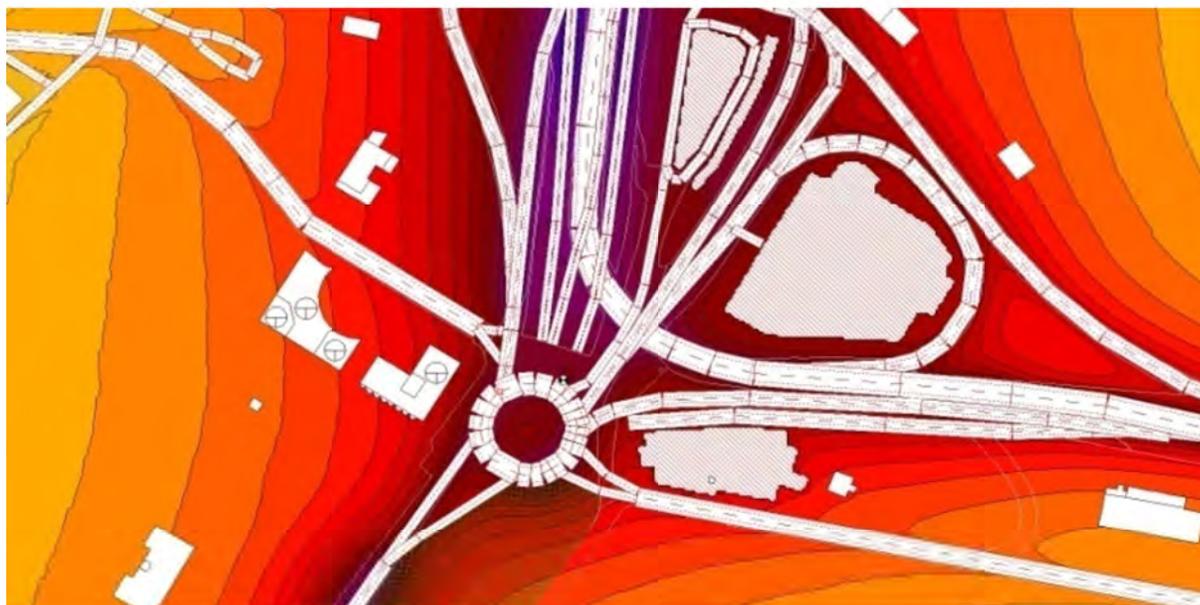
Livello equivalente



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Pos. A – Rotatoria Sacro cuore 26 Marzo 2019

EVENING



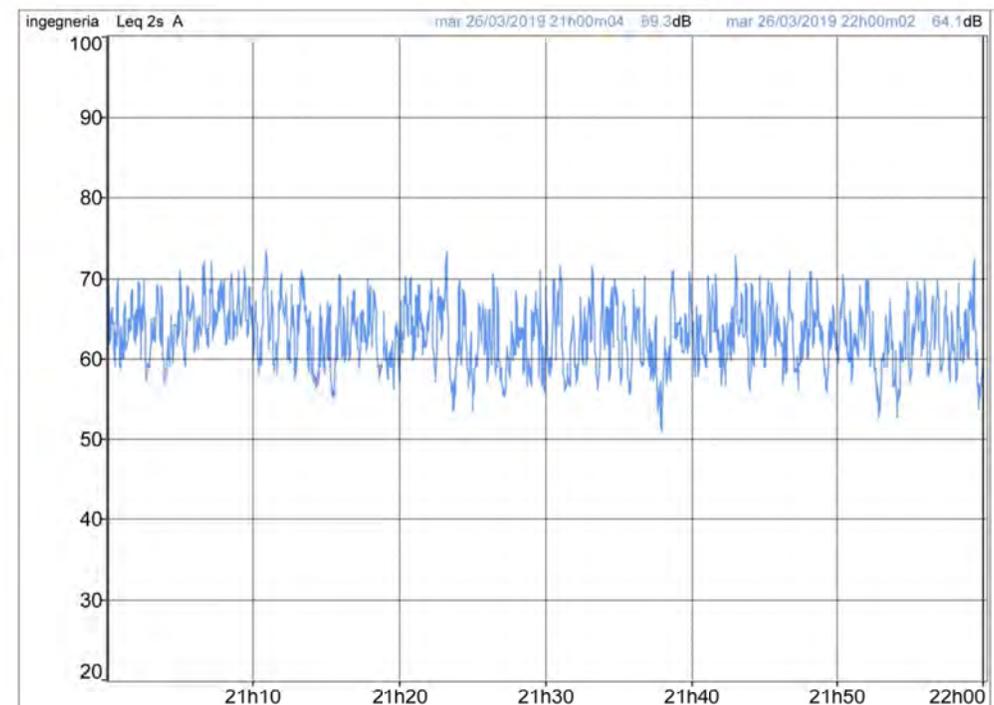
Andamento delle curve di isofoniche

Valore previsto nella mappa: **Le = 62.3 dB**

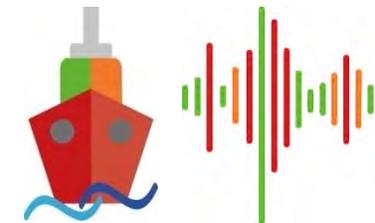
Valore rilevato: **Leq = 64.5 dB**

**Errore: 2.2 dB**

Intervallo: h 21:00- 22:00



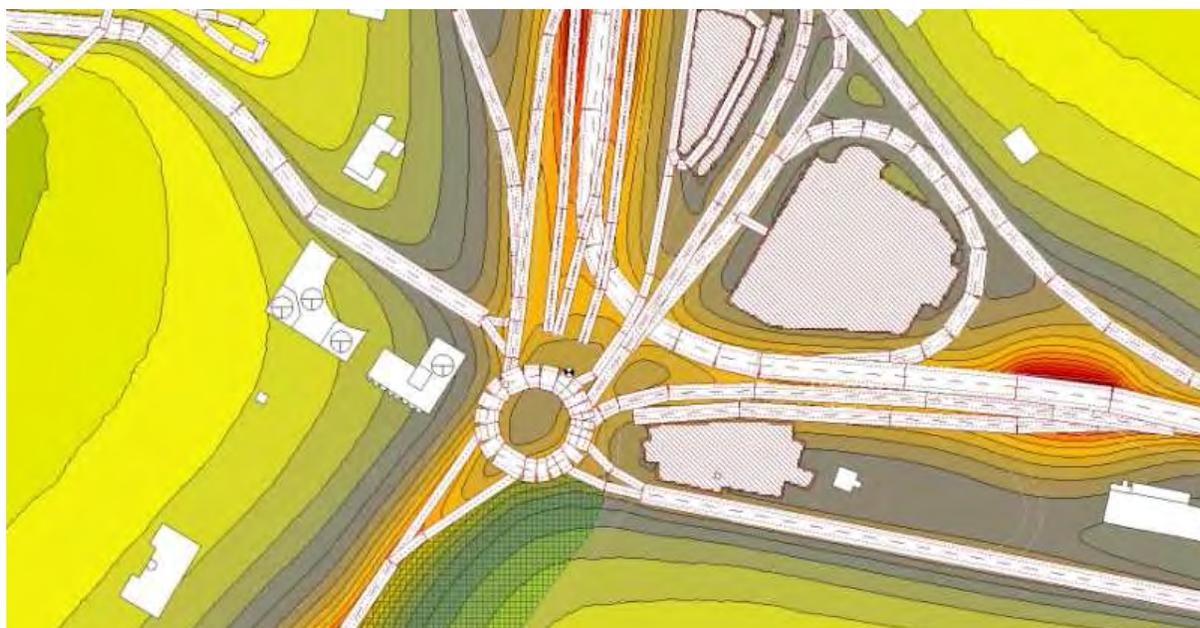
Livello equivalente



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Pos. A – Rotatoria Sacro cuore 26 Marzo 2019

NIGHT



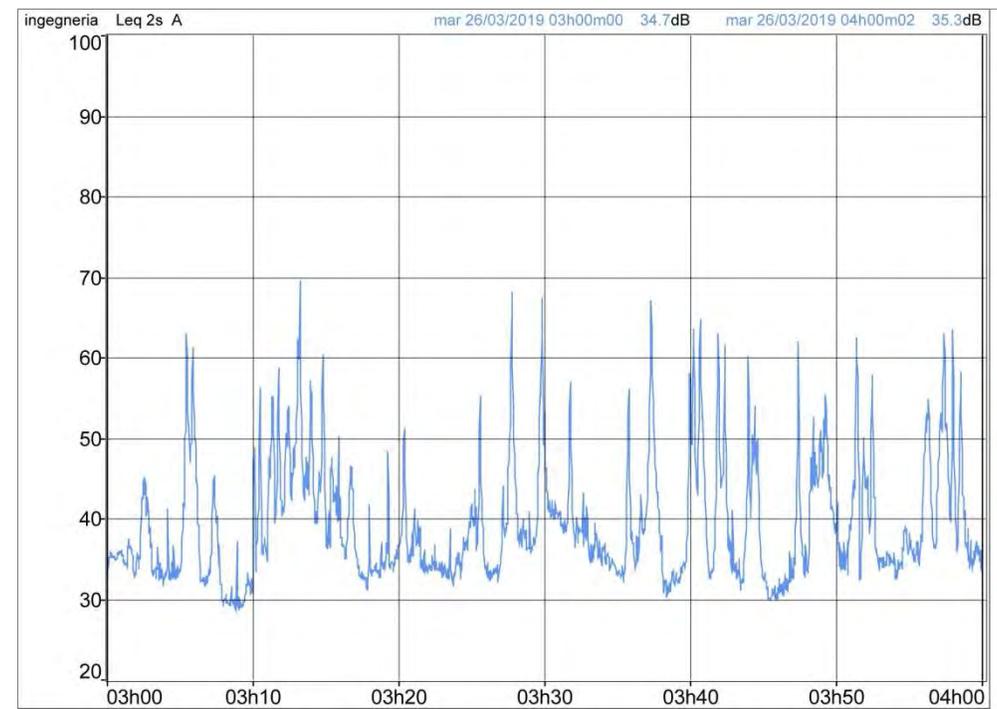
Andamento delle curve di isofoniche

Valore previsto nella mappa: **Ln = 55.7 dB**

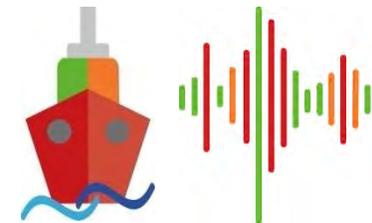
Valore rilevato: **Leq = 48.8 dB**

**Errore: 6.9 dB**

Intervallo: h 03:00 – 04:00

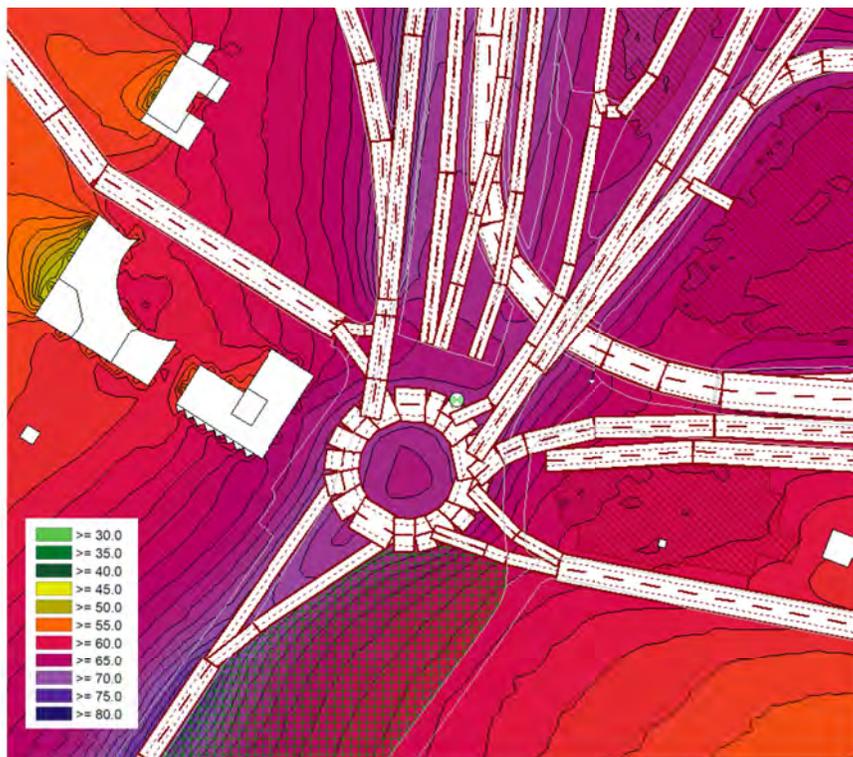


Livello equivalente



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Pos. A – Rotatoria Sacro cuore 27 Marzo 2019



Andamento delle curve di isofoniche

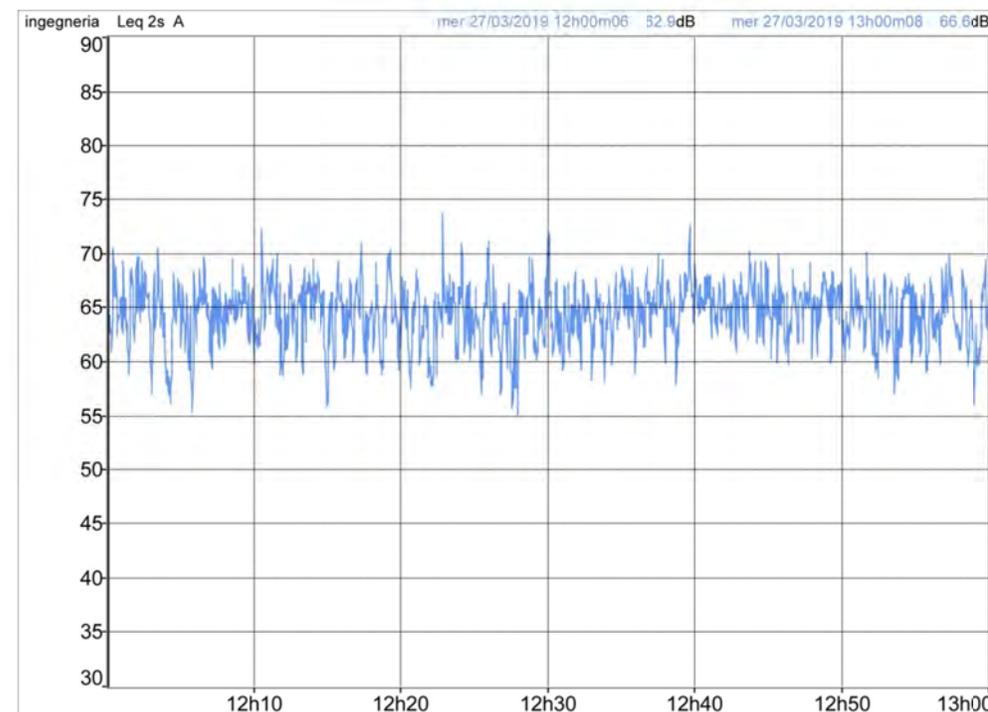
Valore previsto nella mappa: **Ld = 68.7 dB**

Valore rilevato: **Leq = 69.3 dB**

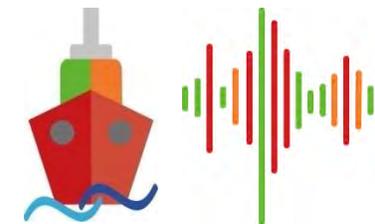
**Errore: 0.6 dB**

**DAY**

Intervallo: h 12:00-13:00

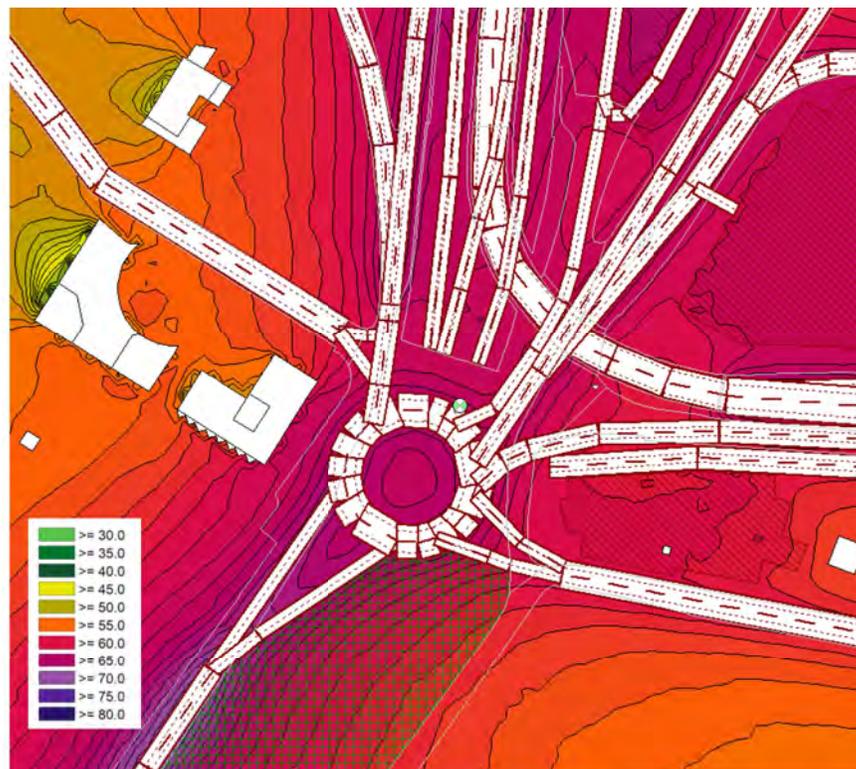


Livello equivalente



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

### Pos. A – Rotatoria Sacro cuore 27 Marzo 2019



Andamento delle curve di isofoniche

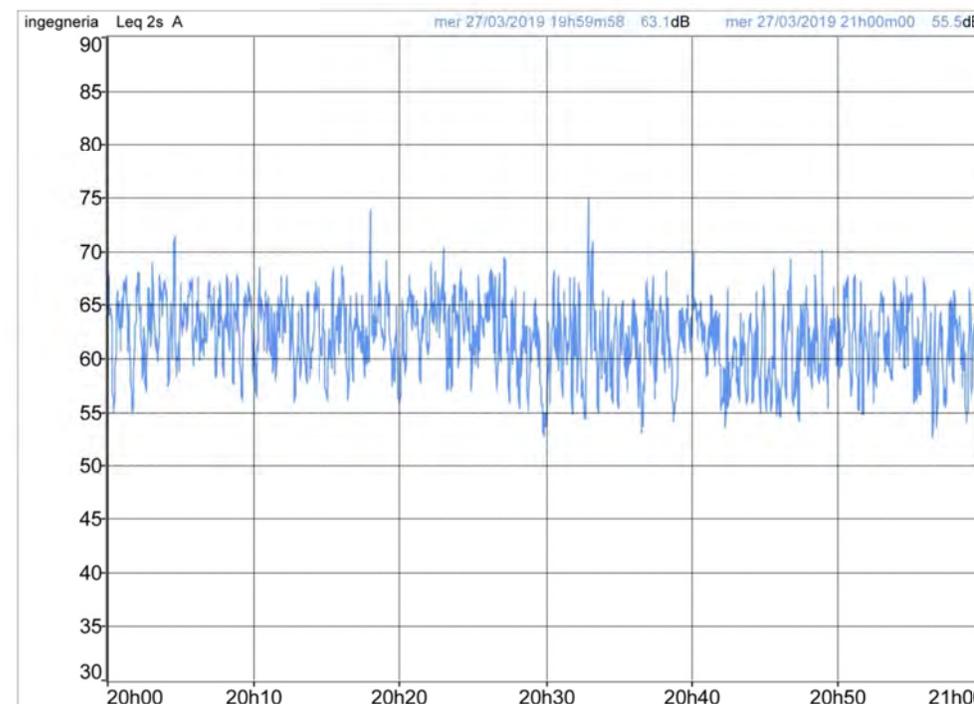
Valore previsto nella mappa: **Le = 65.3 dB**

Valore rilevato: **Leq = 68.0 dB**

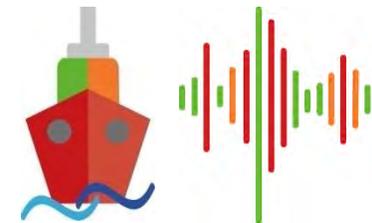
Errore: **2.7 dB**

## EVENING

Intervallo: h 20:00-21:00

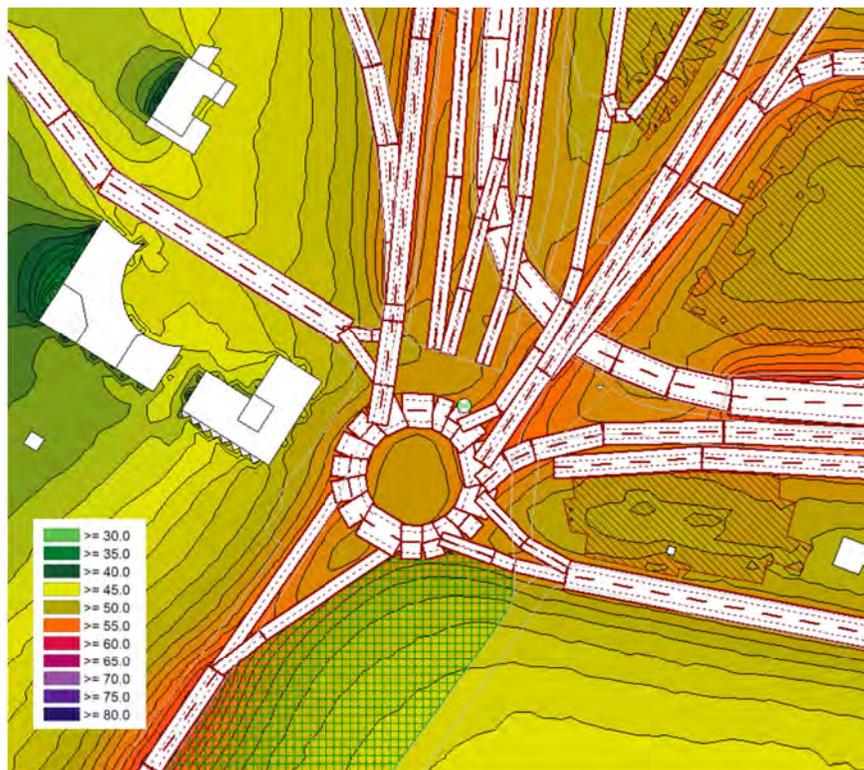


Livello equivalente



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Pos. A – Rotatoria Sacro cuore 27 Marzo 2019



Andamento delle curve di isofoniche

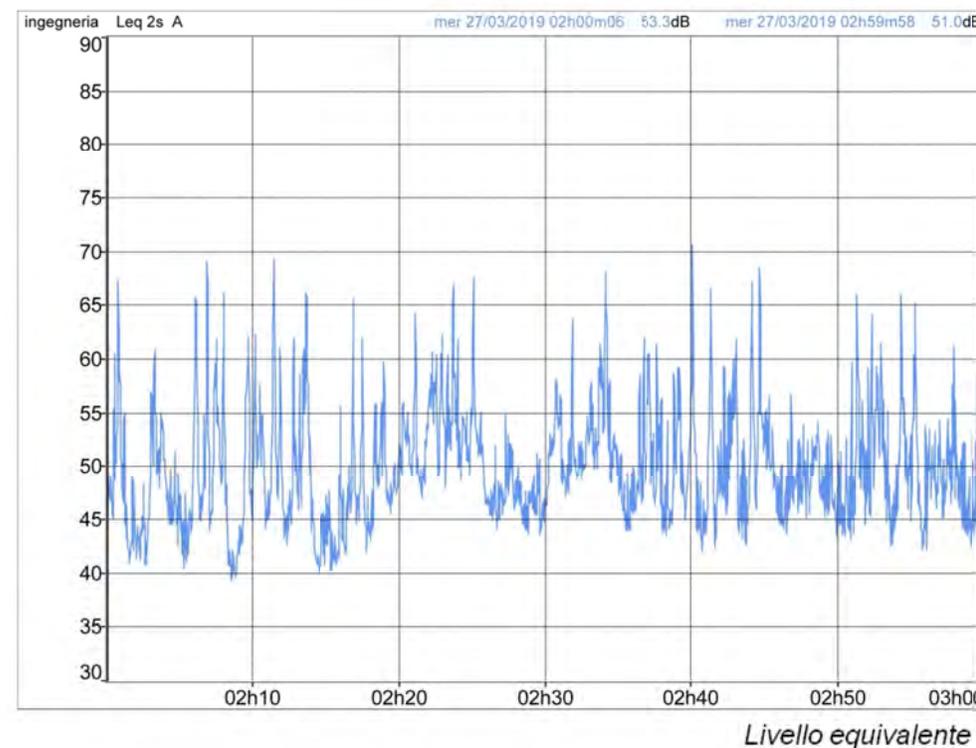
Valore previsto nella mappa:  $L_n = 54.1 \text{ dB}$

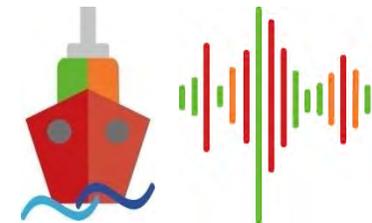
Valore rilevato:  $Leq = 57.1 \text{ dB}$

Errore: **3.0 dB**

**NIGHT**

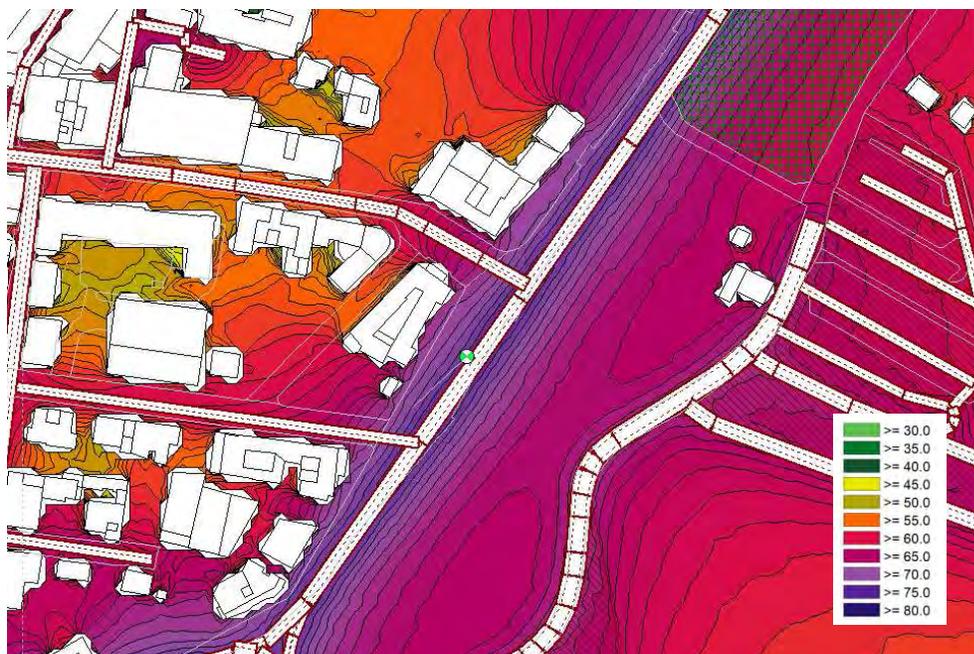
Intervallo: h 02:00-03:00





## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Pos. B – Via Principe Umberto 26 Marzo 2019



Andamento delle curve di isolivello sonoro

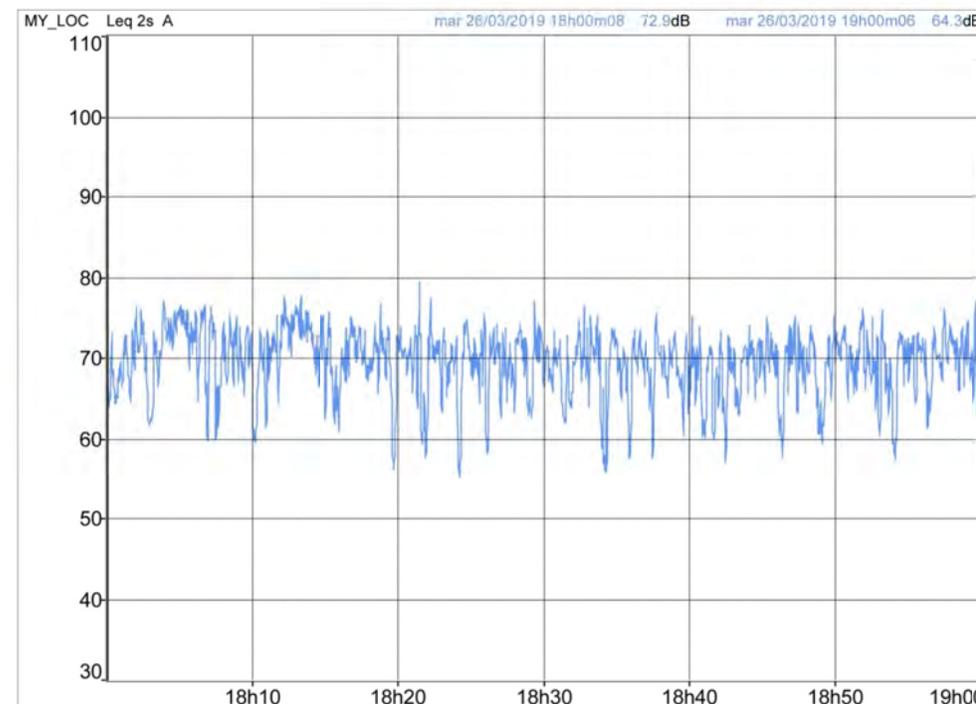
Valore previsto nella mappa: **Ld = 73.3 dB**

Valore rilevato: **Leq = 70.9 dB**

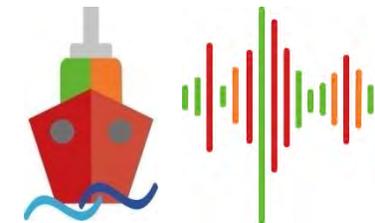
Errore: **+2.4 dB**

**DAY**

Intervallo: **h 18:00-19:00**

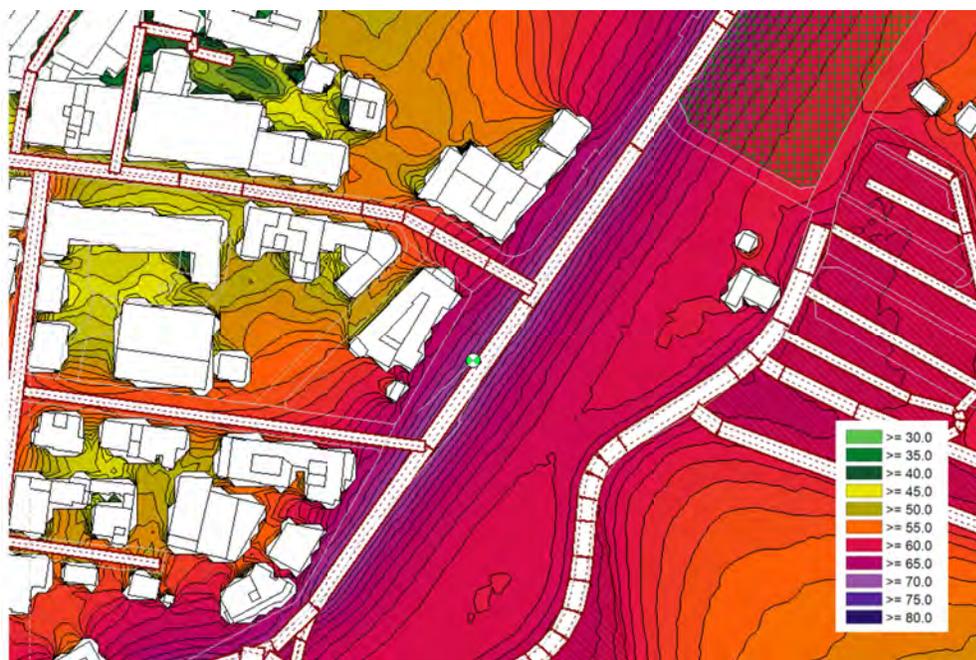


Livello equivalente



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Pos. B – Via Principe Umberto 26 Marzo 2019



Andamento delle curve di isolivello sonoro

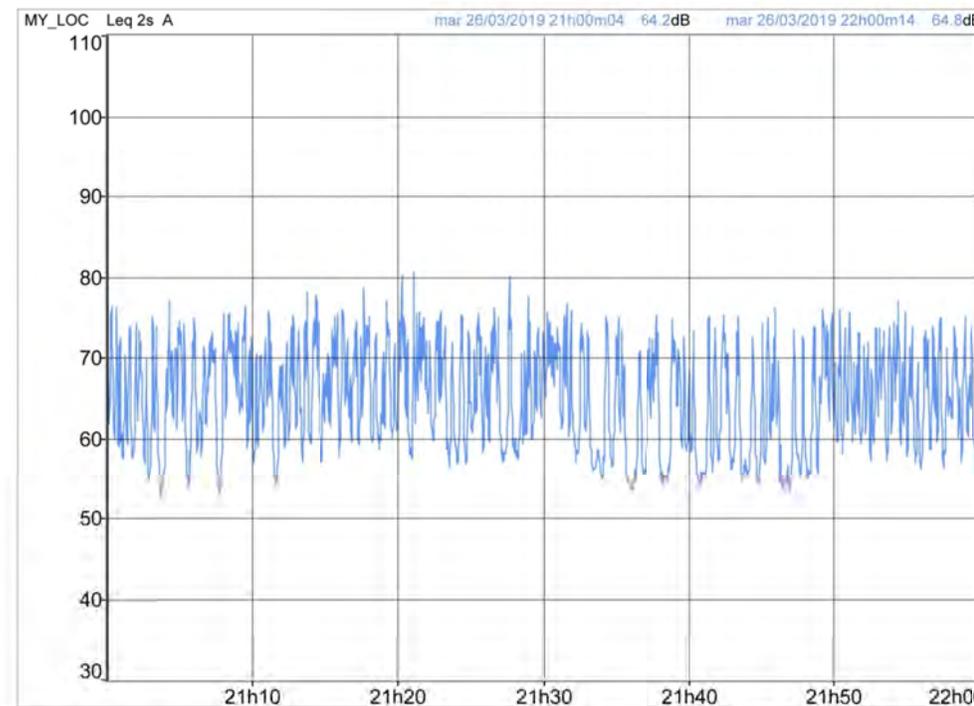
Valore previsto nella mappa: **Ld = 69.1 dB**

Valore rilevato: **Leq = 68.6 dB**

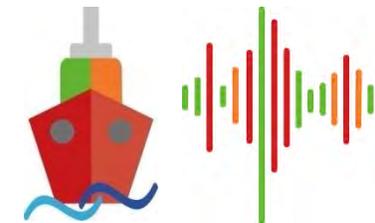
Errore: **0.5 dB**

### EVENING

Intervallo: h 21:00-22:00

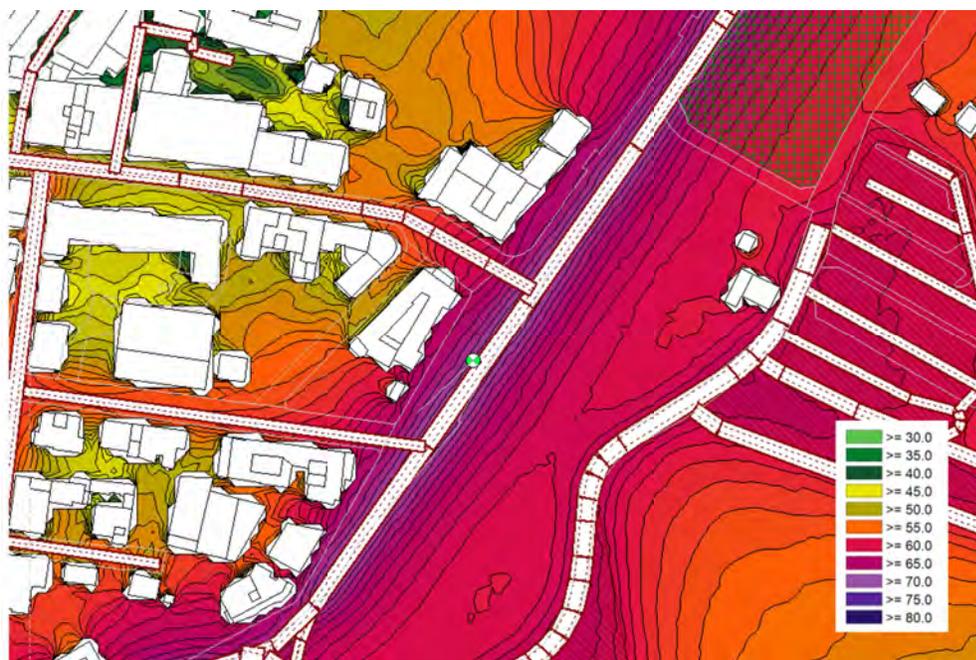


Livello equivalente



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Pos. B – Via Principe Umberto 26 Marzo 2019



Andamento delle curve di isolivello sonoro

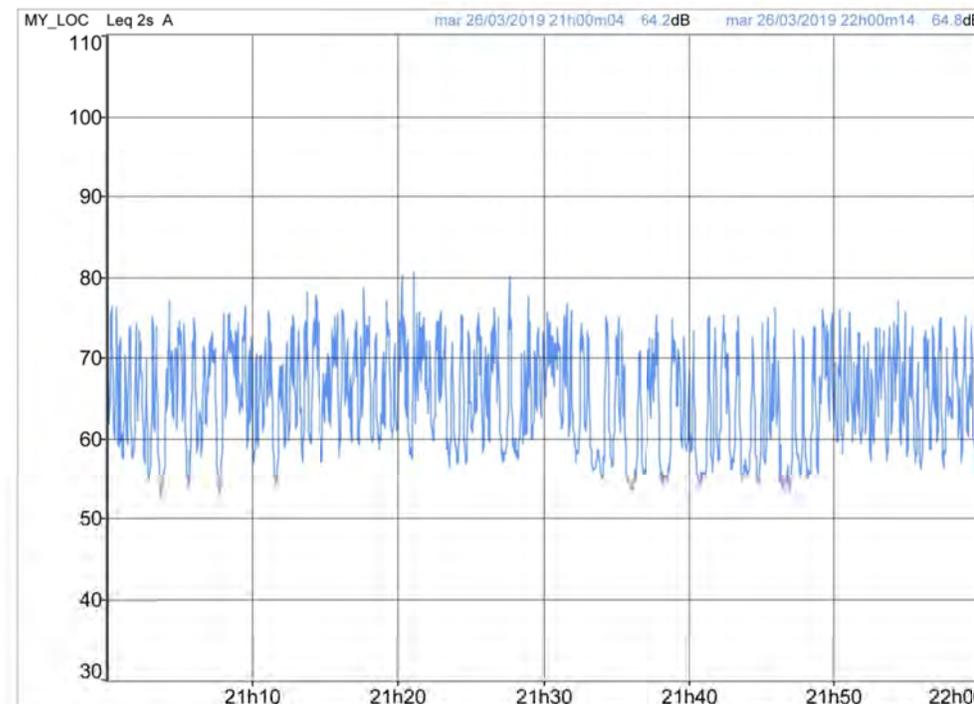
Valore previsto nella mappa: **Le = 69.1 dB**

Valore rilevato: **Leq = 68.6 dB**

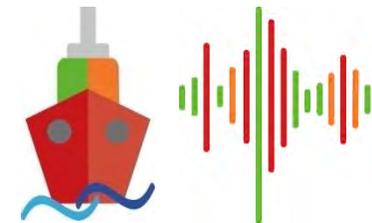
**Errore: 0.5 dB**

### EVENING

Intervallo: h 21:00-22:00



Livello equivalente



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Pos. B – Via Principe Umberto 26 Marzo 2019



Andamento delle curve di isolivello sonoro

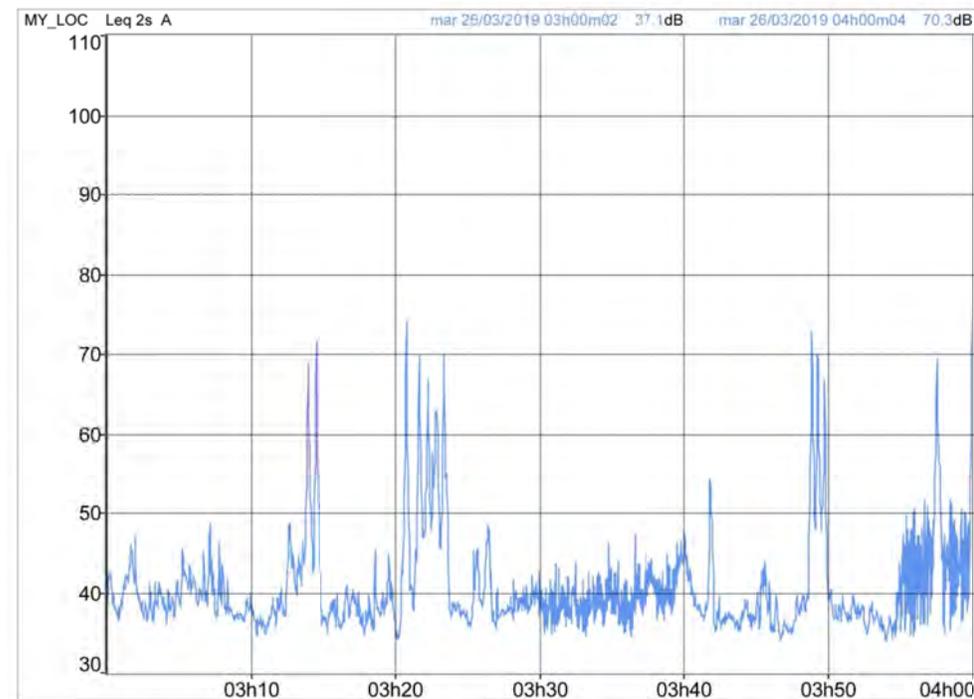
Valore previsto nella mappa:  **$L_n = 54.6$  dB**

Valore rilevato:  **$Leq = 51.7$  dB**

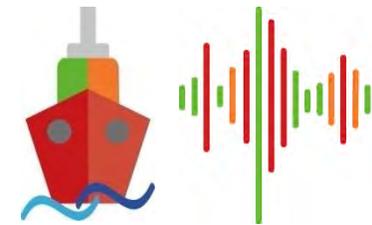
**Errore: 2.9 dB**

**NIGHT**

Intervallo: **h 03:00-04:00**

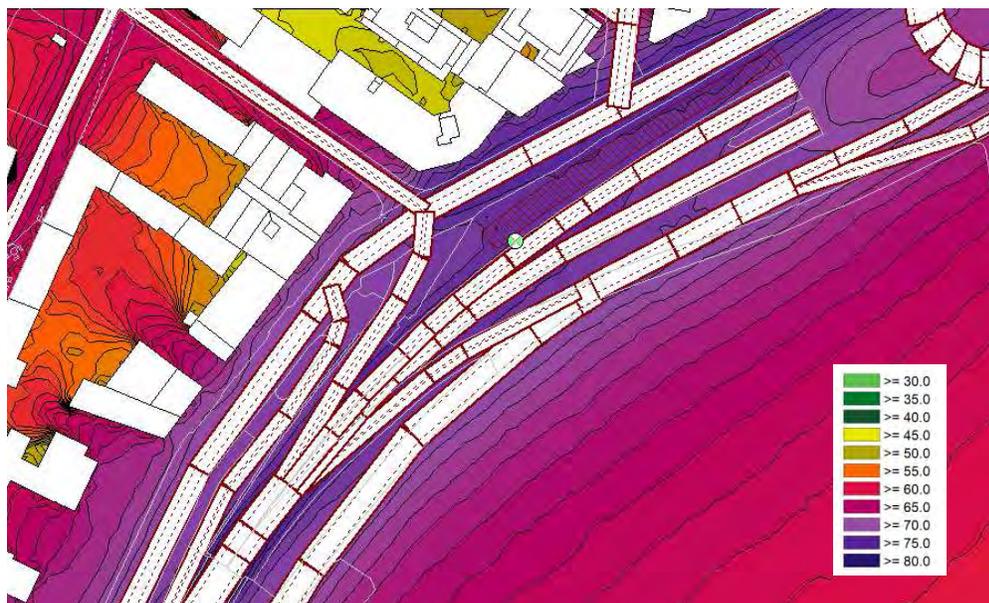


Livello equivalente



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Pos. C – Via Genova 28 Marzo 2019

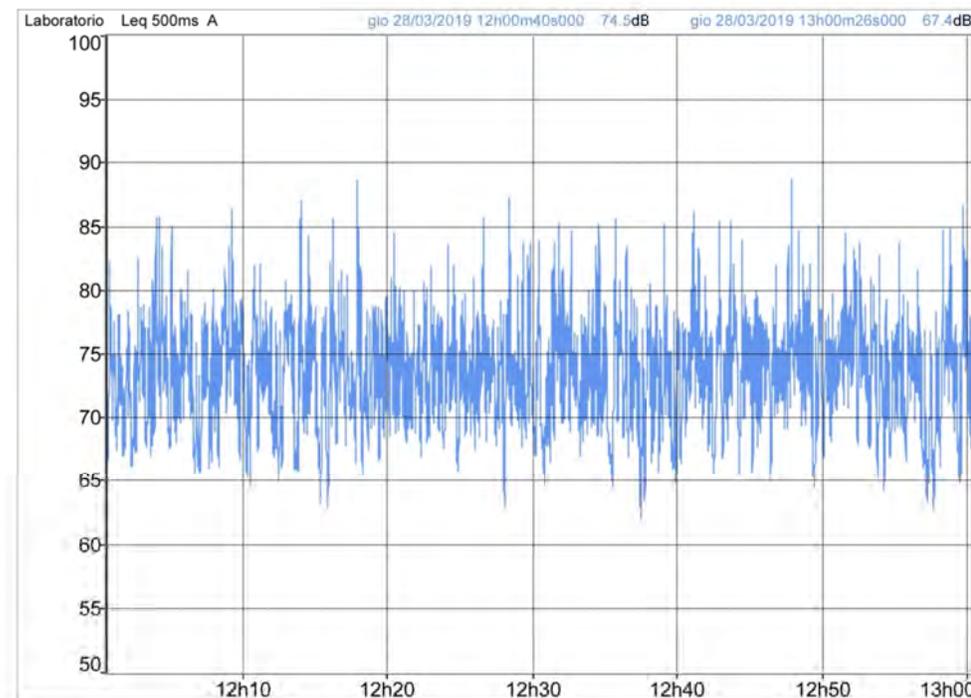


Andamento delle curve di isolivello sonoro

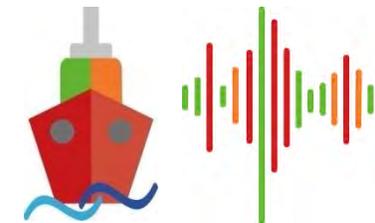
Valore previsto nella mappa: **Ld = 74.4 dB**  
Valore rilevato: **Leq = 75.0 dB**  
**Errore: 0.6 dB**

**DAY**

Intervallo: **h 12:00-13:00**

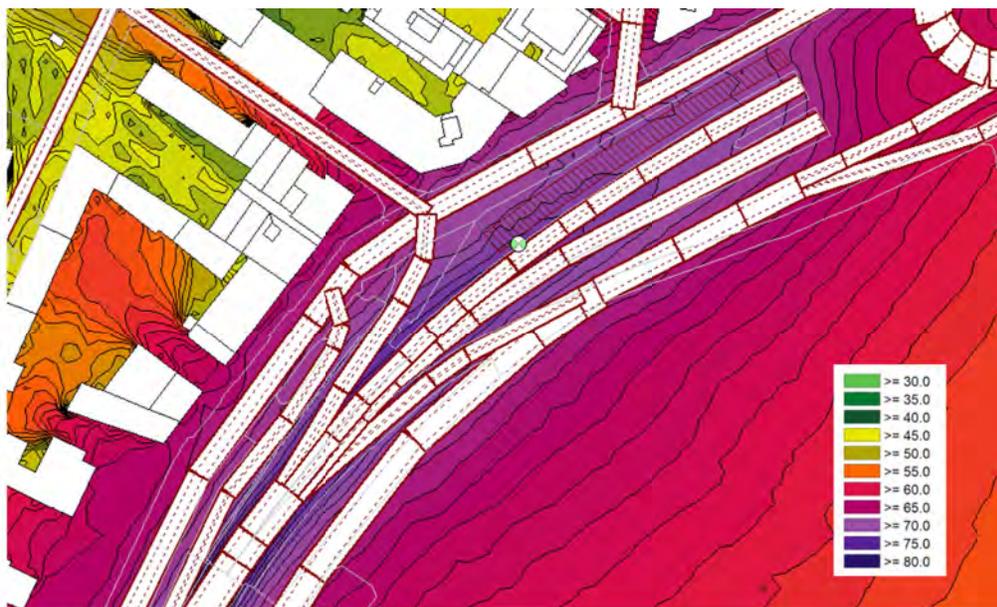


Livello equivalente



# Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Pos. C – Via Genova 27 Marzo 2019



Andamento delle curve di isolivello sonoro

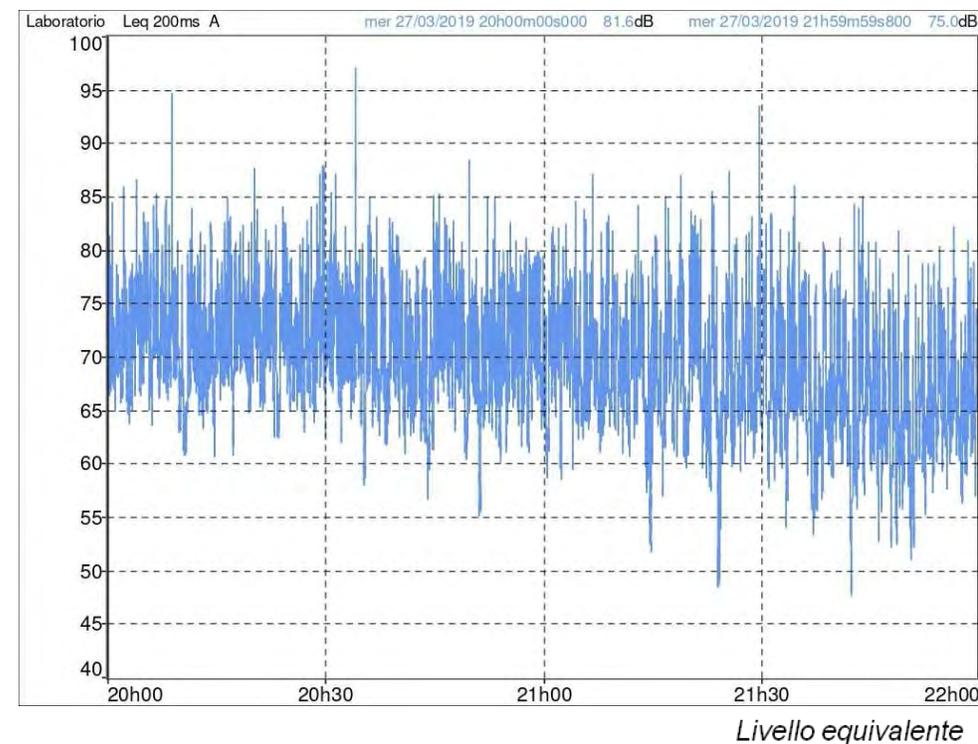
Valore previsto nella mappa: **Le = 72.8 dB**

Valore rilevato: **Leq = 72.9 dB**

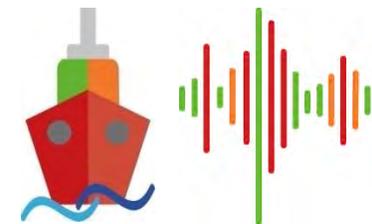
**Errore: 0.1 dB**

## EVENING

Intervallo: h 21:00-22:00

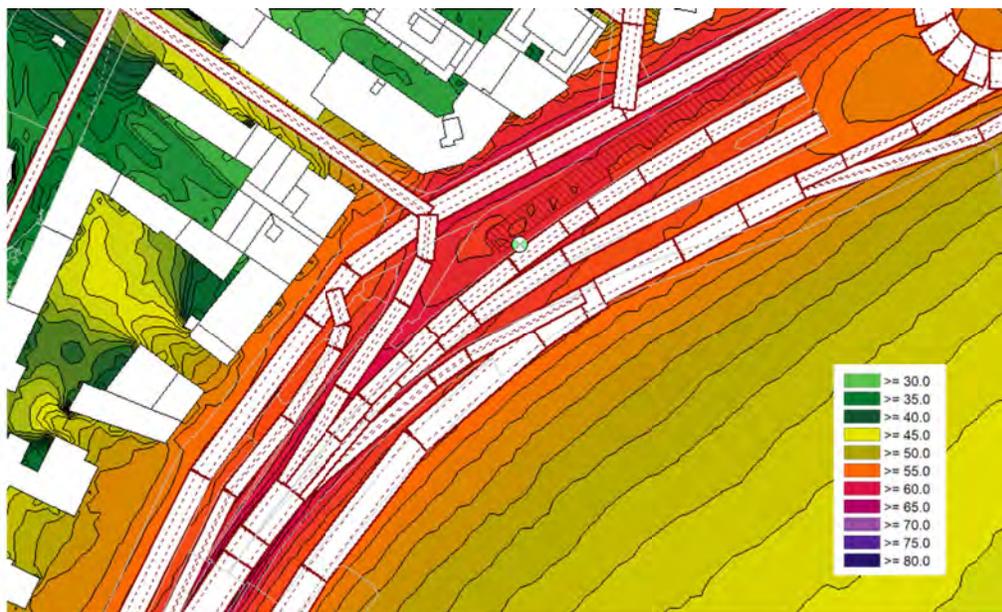


Livello equivalente



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Pos. C – Via Genova 28 Marzo 2019



Andamento delle curve di isolivello sonoro

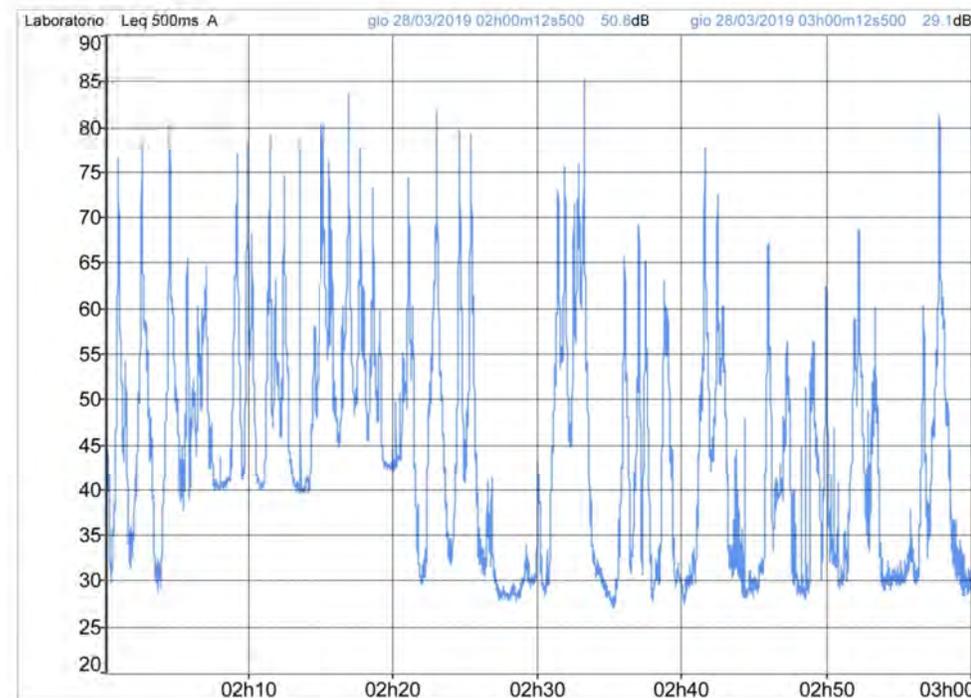
Valore previsto nella mappa:  **$L_n = 59.0$  dB**

Valore rilevato:  **$L_{eq} = 56.5$  dB**

**Errore: 2.5 dB**

**NIGHT**

Intervallo: **h 02:00-03:00**



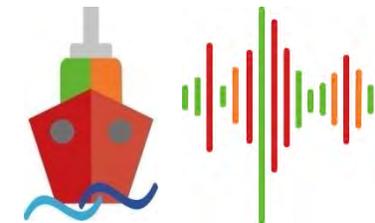
Livello equivalente



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

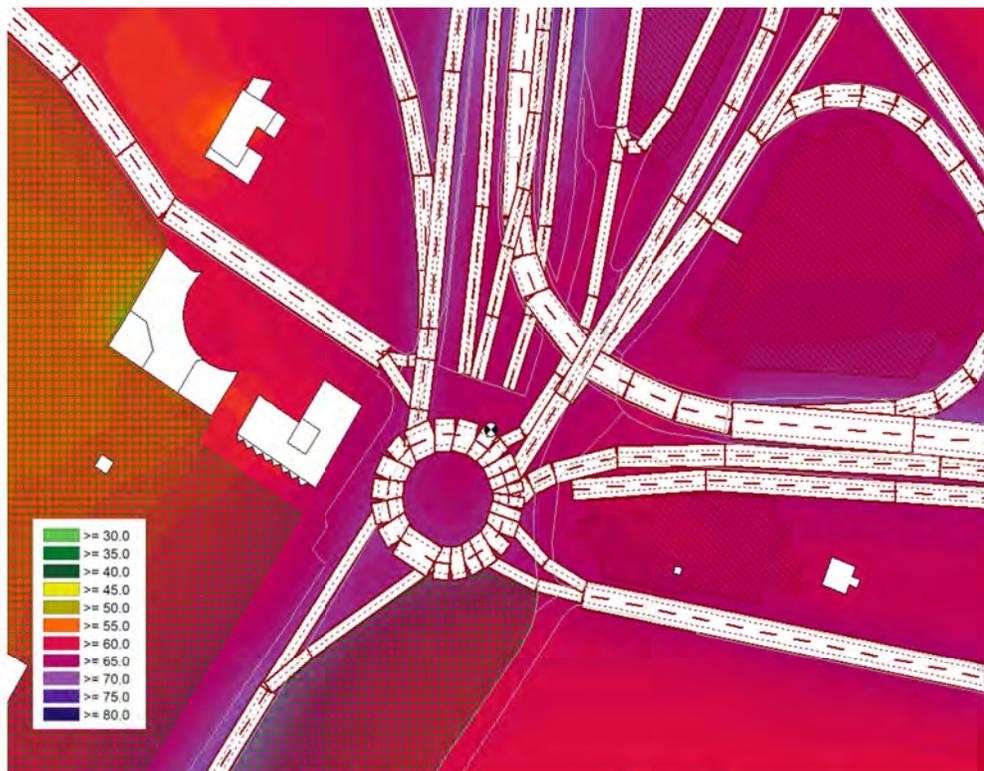
Confronto tra i valori rilevati e i valori ottenuti da simulazione con modello fisico nel periodo di punta:

Periodo di punta						
Posizione	Data	Intervallo orario	Indicatore	Valore simulato	Valore rilevato	$\Delta$
A	26/08/2019	10:00 - 11:00	Ld	67.5 dB	66.3 dB	1.2 dB
B	24/03/2019	21:00 - 22:00	Le	71.5 dB	71.3 dB	0.2 dB
C	25/03/2019	3:00 - 4:00	Ln	63.8 dB	64.4 dB	0.6 dB



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Pos. A – Rotatoria Sacro cuore 26 Agosto 2019



Andamento delle curve di isofoniche

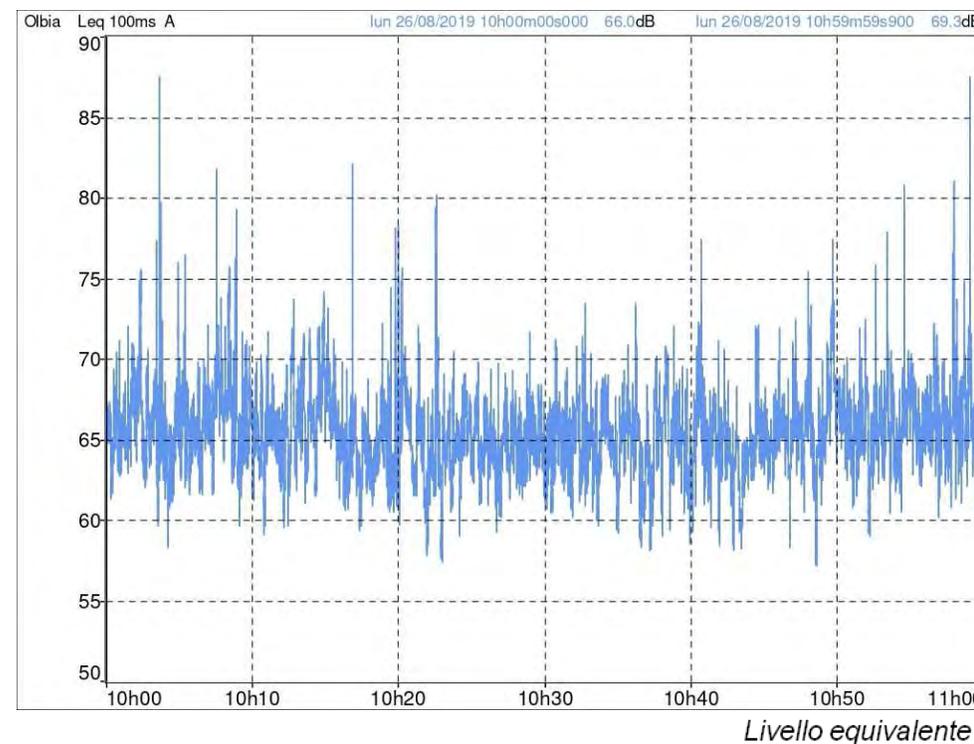
Valore previsto nella mappa: **Ld = 67.5 dB**

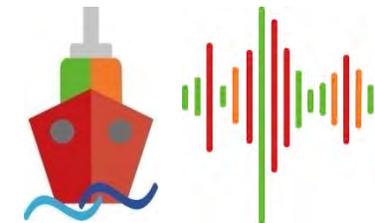
Valore rilevato: **Leq = 66.3 dB**

Errore: **1.2 dB**

**DAY**

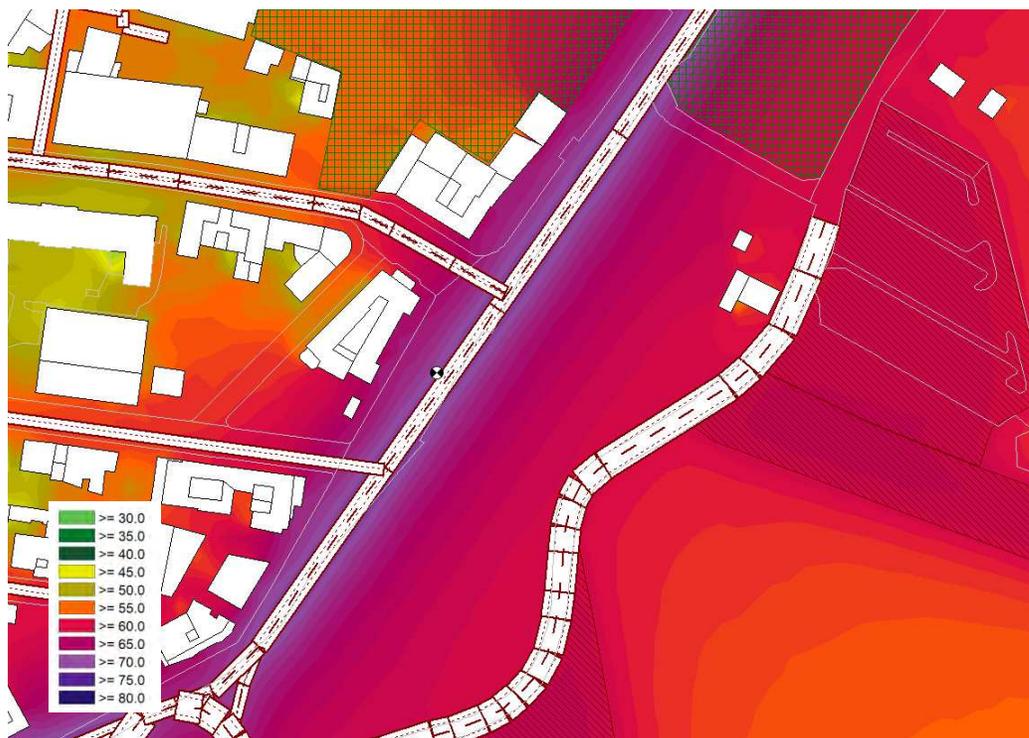
Intervallo: **h 10:00 – 11:00**





## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Pos. A – Via Principe Umberto 24 Agosto 2019



Andamento delle curve di isofoniche

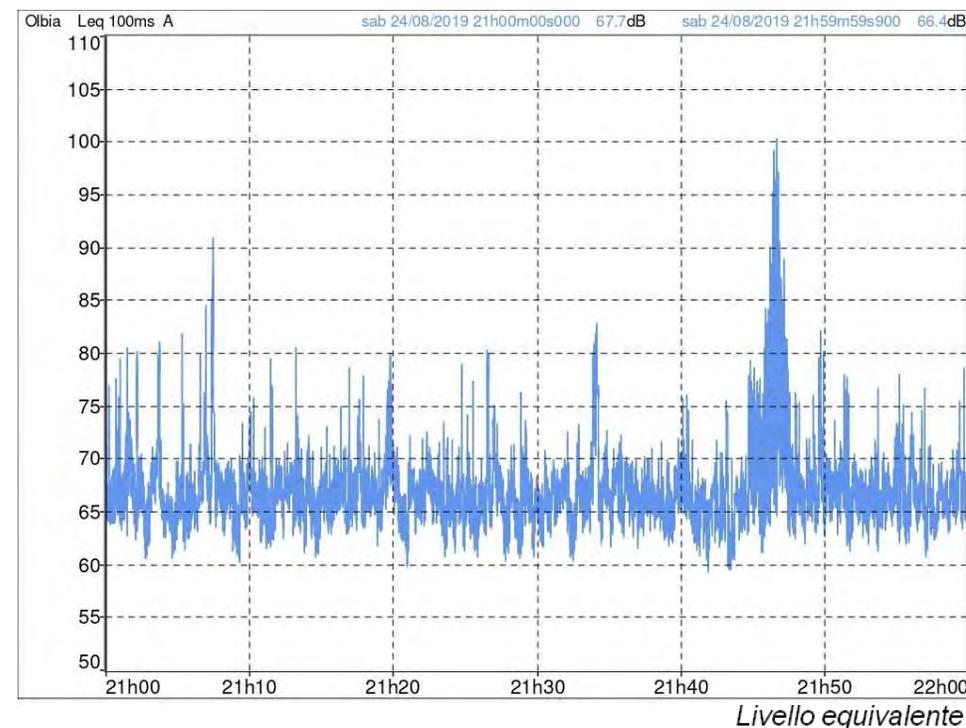
Valore previsto nella mappa: **Ld = 71.5 dB**

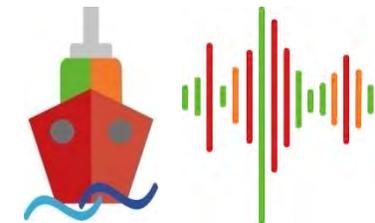
Valore rilevato: **Leq = 71.3 dB**

Errore: **0.2 dB**

**EVENING**

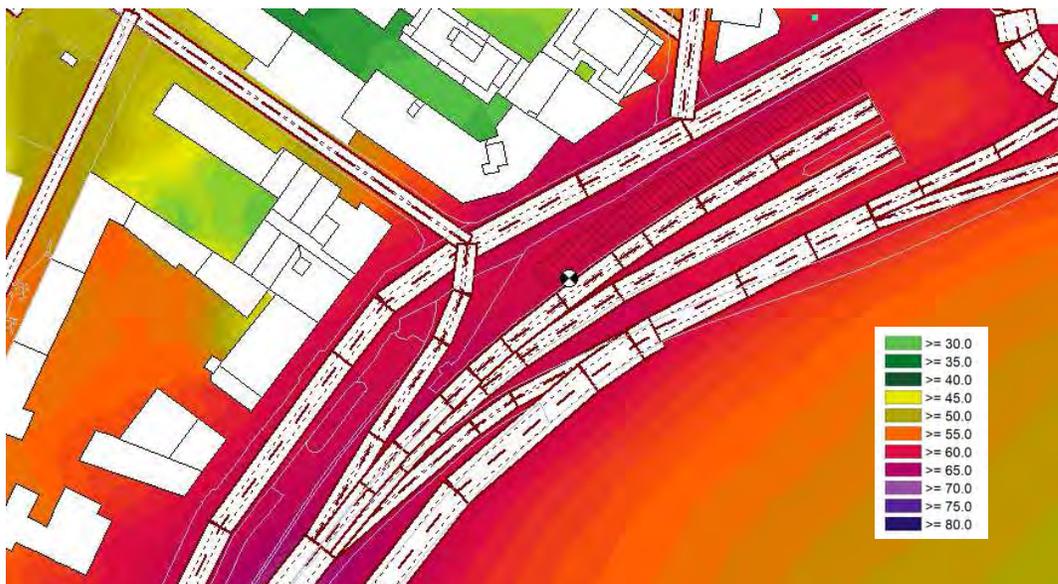
Intervallo: h 21:00 – 22:00





## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

Pos. C – Via Genova 25 Agosto 2019



Andamento delle curve di isofoniche

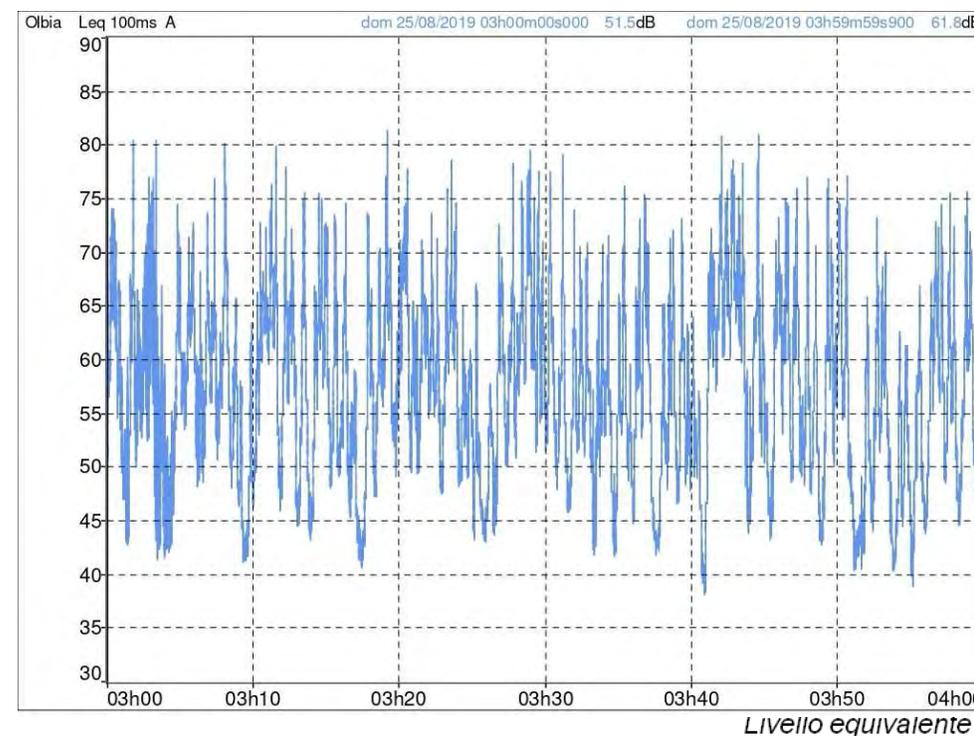
Valore previsto nella mappa: **Ld = 63.8 dB**

Valore rilevato: **Leq = 64.4 dB**

**Errore: 0.6 dB**

**NIGHT**

**Intervallo: h 03:00 – 04:00**





## **Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica**

**Le mappe acustiche elaborate** con pacchetto software che contempla i modelli fisici di propagazione **hanno restituito un campo acustico coerente**, pur con scostamenti variabili da intervallo ad intervallo, con i livelli equivalenti di pressione sonora nei tempi di riferimento Day, Evening, e Night rilevati nelle diverse postazioni fonometriche nel corso delle misure.

**Il periodo notturno è, in generale, quello più critico** in quanto caratterizzato da un flusso di traffico statisticamente più irregolare nel breve periodo. Per poter essere caratterizzato ha quindi bisogno di un maggior numero di realizzazioni.

Viceversa **il periodo diurno**, in cui il trend del traffico approssima meglio un andamento stazionario, è **stato meno segnato da scostamenti significativi**.

La mappatura acustica è estendibile a tutto il territorio e aggiornabile e potrà essere impiegata, ampliando opportunamente la base statistica dei dati e gli intervalli temporali, anche per generare indici e descrittori acustici armonizzati atti alla determinazione dei livelli sonori omogenei e confrontabili con quelli definiti dalla legislazione vigente e adottati in seno agli strumenti di pianificazione già esistenti della pianificazione (PGTU Piano generale dei Trasporti Urbani , PUM, etc...).



## Modelli fisici di traffico - rumore ed elaborazione della mappatura acustica

### Conclusioni

La valutazione del campo acustico condotta secondo un modello fisico di propagazione standardizzato **aggiunge indubbiamente valore informativo a supporto della pianificazione** delle strategie di gestione basate sui sistemi ITS.

Le simulazioni **consentono di prefigurare gli effetti globali delle azioni di gestione dei flussi di traffico** con dati in ingresso mediati su intervalli temporali variabili pur presupponendo una modellizzazione dei flussi stazionaria.

La rappresentazione spaziale del clima acustico estesa all'intero fronte portuale **consente di individuare eventuali criticità, potenziali ricettori sensibili e aree soggette a condizioni più gravose**, e indirizzare localmente gli interventi di mitigazione.

**La mappe acustiche consentono di rappresentare la distribuzione spaziale dei livelli di pressione corrispondente ad un dato scenario di traffico e di stimare/valutare in questo modo il valore degli indicatori acustici in punti non direttamente monitorati e non direttamente oggetto di previsione nei modelli. Le mappe acustiche, validate tramite misure sperimentali in punti di controllo, possono ben rappresentare l'andamento del rumore nello spazio fisico per ogni scenario di riassetto del traffico ipotizzato nelle strategie di regolazione.**

Si può concludere pertanto che le mappe acustiche potranno essere uno strumento integrato nel sistema ITS, per certi versi complementare al modello predittivo dinamico.