Modelli neurali per la predizione in tempo reale del rumore generato da scenari dinamici di traffico veicolare nel waterfront delle città portuali

Coordinatore scientifico: Prof. Paolo Fadda - fadda@unica.it

GRUPPO DI LAVORO:

Coordinatore tecnico: Ing. Federico Sollai - fsollai@unica.it

Ing. Roberto Baccoli rbaccoli@unica.it

Ing. Andrea Medda - a.medda@unica.it

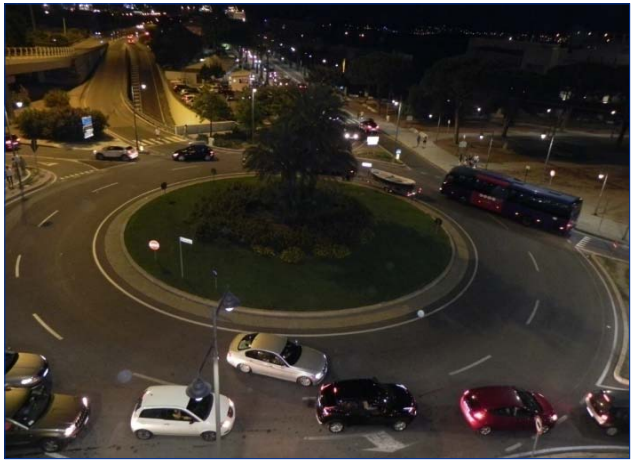
Ing. Luigi Serra - luigi.sserra@gmail.com

SVILUPPO DI UN MODELLO DI PREDIZIONE IN TEMPO REALE PER LA DETERMINAZIONE DEL RUMORE DA TRAFFICO VEICOLARE IN REGIME DINAMICO NEL CONTESTO DEL WATERFRONT DELLE CITTA' PORTUALI

Motivazione dell’attività di ricerca

I W*aterfront* delle città portuali sono spesso afflitte da un rumore generato dal traffico veicolare indotto da attività di carattere stagionale. Questo aspetto si riscontra spesso nei W*aterfront* con una elevata vocazione turistica

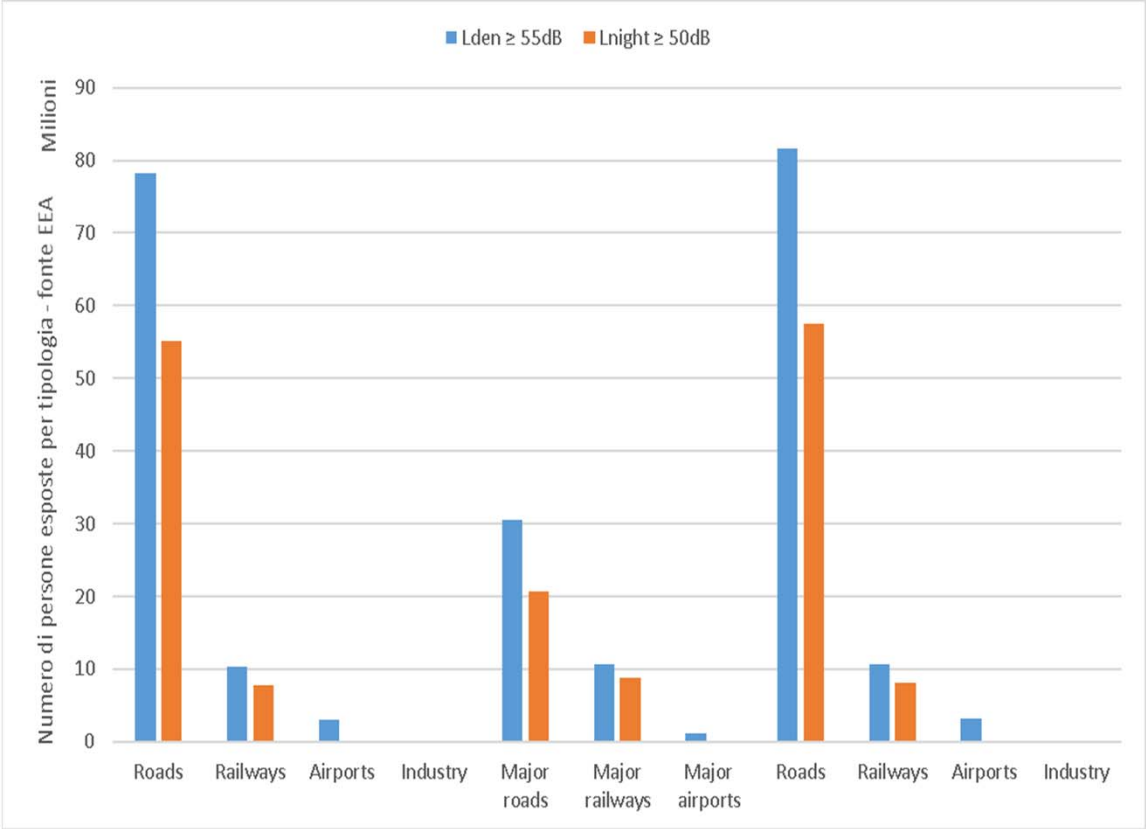
Durante i periodi di punta, aree residenziali, strutture sensibili, come scuole ospedali, case di cura possono risultare particolarmente esposte a significative fluttuazioni di rumore acustico causate dal Sistema del traffico lungo la linea urbana del *Waterfront* cittadino. Il livello della pressione sonora che si verifica in occasione di certi periodi dell’anno e in certe ore della giornata può raggiungere o anche eccedere i valori critici stabiliti dalle normative in materia ambientale.



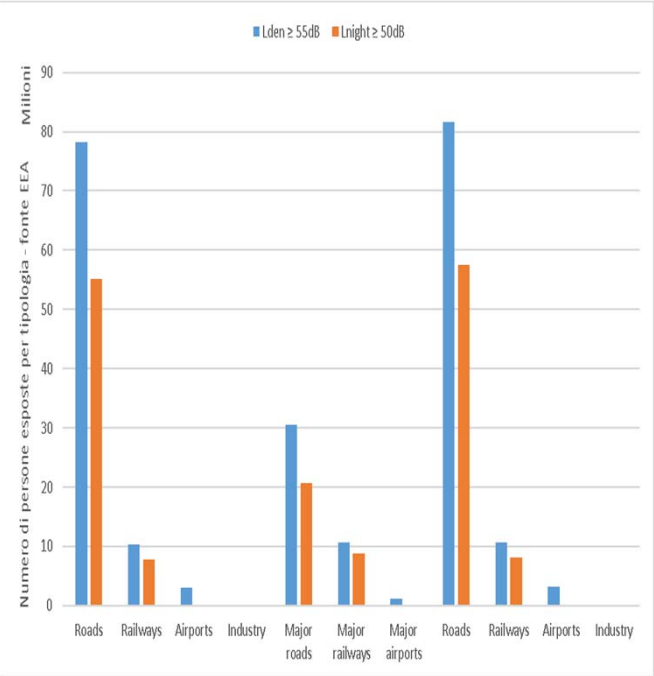
Rumore da traffico veicolare

entità del problema

L'agenzia europea per l'ambiente (EEA) ha svolto numerosi studi per valutare l'esposizione di questa tipologia di inquinante in funzione delle differenti tipologie di sorgente. In figura si riporta il numero di persone esposte per tipologia di rumore secondo l'indicatore del rumore ambientale L_{den}≥55dB. Dal grafico di figura si può osservare che l'indicatore "L_{den}" fornisce una panoramica del numero stimato di persone in Europa che sono esposte a livelli di rumore ambientale superiori ai livelli di indicatore di rumore stabiliti dalla Direttiva UE sul rumore ambientale 2002/49 / CE e dalla sua recente revisione.



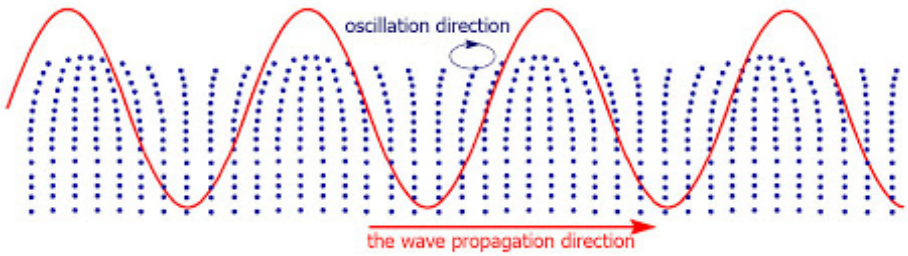
Circa $100*10^6$ di persone nell'unione europea sono esposte a valori del livello di pressione sonora del rumore da traffico veicolare superiore al valore limite diurno di 55dB(A) e diurno 50dB(A), mentre si stima che 32 milioni di persone sono esposte ad un valore superiore a 65dB(A). Anche se non è la sorgente più **disturbante** tuttavia il rumore da traffico veicolare risulta essere la **principale** fonte di inquinamento acustico, sia all'interno che all'esterno delle aree urbane e ha un impatto negativo sulla vivibilità degli spazi urbani ed anche interni degli edifici. Da non trascurare inoltre gli effetti nocivi sulla salute delle persone: patologie cardiovascolari, problemi di apprendimento, disturbi del sonno, ipertensione ……sono le possibili ripercussioni sulla salute delle persone.



Il traffico veicolare è la principale fonte di rumore ambientale che ha importanti ripercussioni sulla salute delle persone e reduce sensibilmente la qualità di vita di coloro che risiedono nelle le strade particolarmente trafficate.

Modelli fisici di traffico - rumore

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:



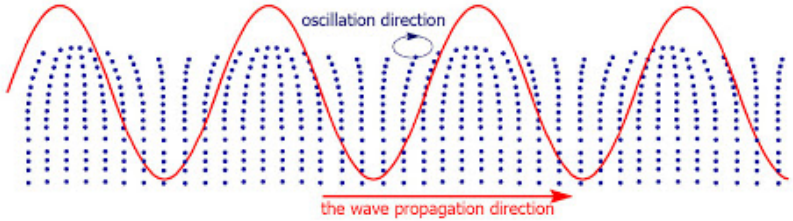
Modelli fisici di traffico - rumore

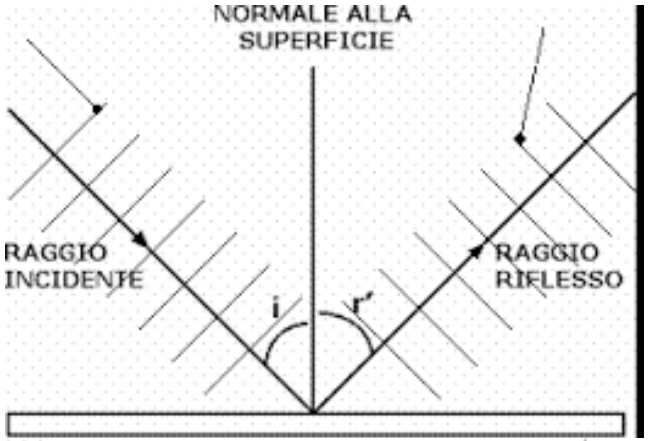
i) La sorgente di emissione vera e propria con la superficie stradale;

ii) Il meccanismo della propagazione dell'onda;

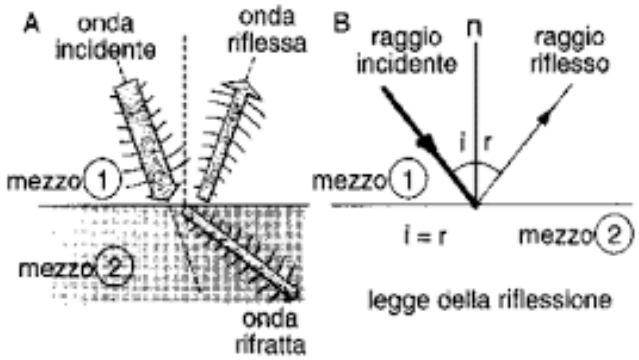
iii) Gli effetti di assorbimento, riflessione, rifrazione e interferenza dell'onda Acustica quando interagisce con l'aria il terreno e i corpi materializzati.

iv) Altri fattori complementari che consentono di migliorare l'applicabilità e l'accuratezza di specifici contesti di propagazione.





RIFLESSIONE



Modelli fisici di traffico - rumore

Chiaramente 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 dell'edificio 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 quindi convalidata da una fase di calibrazione tramite misure sperimentali.

Un altro aspetto che merita attenzione riguarda l'applicabilità dei modelli convenzionali per la stima del rumore in condizioni dinamiche di traffico che considerano il comportamento tempo variabile dei veicoli sulla rete stradale.

Modelli statici e modelli dinamici

La maggior parte dei modelli di rumore da traffico presentati nella letteratura derivano prevalentemente da schemi statistici del traffico veicolare. Si basano sulla regressione lineare e sono orientati a fornire una rappresentazione acustica nel dominio dello spazio piuttosto che nel tempo. Infatti, la maggior parte dei modelli statici accetta come fonte di dati di input la distribuzione stazionaria (senza tempo) dello scenario della sorgente di rumore e come output genera un'immagine cristallizzata corrispondente nel tempo del campo di rumore nello spazio. Il limite dei modelli statici è stato emblematicamente evidenziato da Quartieri e Guarnaccia "***il limite principale dei modelli statistici è che non tengono conto della natura intrinseca aleatoria del flusso di traffico, nel senso che non considerano il comportamento reale dei veicoli ma considerano solo quanti sono. Un modello ideale dovrebbe riprodurre la caratteristica casuale del tipo di traffico, con una ben definita distinzione tra i veicoli (anche in stesse categorie, sia per le condizioni dei veicoli che per gli atteggiamenti dei conduttori) e senza alcuna ipotesi di velocità collettiva*** ".

Modelli statici e modelli dinamici

Il campo di rumore in condizioni di traffico scorrevole rappresenta lo scenario ideale/ottimale per testare la capacità di previsione dei modelli statistici.

I modelli classici sono prevalentemente focalizzati su una rappresentazione e analisi nel dominio dello spazio, ovvero simulano valori acustici in una griglia spaziale, come richiesto ad esempio nella mappatura del rumore o nella legislazione senza esibire caratteristiche di evoluzione temporale continua.

Il campo di rumore che si realizza in condizioni di traffico scorrevole rappresenta lo scenario ideale/ottimale per testare la capacità di previsione dei modelli statistici.

Invece, le previsioni del rumore in condizioni di traffico non scorrevole in area urbana come in corrispondenza di incroci segnalati o rotatorie non hanno pieno successo a causa della complessità intrinseca relativa all'influenza stocastica degli eventi associati. In questi casi sono necessari modelli statistici che funzionano specificamente per produrre previsioni coerenti

Modelli statici e modelli dinamici

La transizione dai modelli statici a quelli dinamici risulta molto attraente per i pianificatori degli spazi urbani, dei trasporti e in generale la comunità scientifica coinvolta in acustica applicata. La necessità di modelli dinamici è stimolata dall'idea di **mettere a punto adeguate azioni di gestione del traffico per ridurre o rimodellare, nel tempo, il livelli di rumore in specifiche aree urbane fortemente esposte al traffico veicolare.**

I modelli statici non sono pienamente adeguati per supportare la decisione sulla gestione dinamica del traffico o per rappresentare il livello di rumore nella sua vasta gamma di variabilità che risulta durante le condizioni operative reali di specifici contesti micro urbani.

Modelli statici e modelli dinamici

Valutare la strategia ottimale di gestione del traffico per ridurre il rumore, tra le diverse opzioni di traffico, è fondamentale e rappresenta un compito abbastanza ambizioso. La scelta ottimale è il risultato di un'analisi complessa in cui oltre agli aspetti acustici sono coinvolti altri vincoli ambientali e di trasporto che portano dinamicamente a promuovere alcune soluzioni rispetto ad altre.

Alla luce di questi aspetti, la previsione del livello di rumore in risposta a caratteristiche dinamiche e gestionali del traffico di breve periodo necessita di strumenti di simulazione specifici che permettano di rappresentare / catturare come il quadro acustico potrebbe essere influenzato dall'adozione di strategie di traffico tra un'ampia gamma di opzioni flessibili.

Un modello di previsione del rumore da traffico veicolare nel contesto del waterfront delle città portuali

La presente indagine è ispirata dal fatto che spesso i ***Waterfront delle città portuali***, soprattutto quelle ad alta vocazione turistica, sono afflitti dal traffico di veicoli privati e commerciali / indotti dalle attività portuali. Durante specifiche finestre temporali nel periodo stagionale designato di seguito come "periodo di punta", le aree residenziali e le strutture suscettibili come scuole, ospedali, case di cura ecc. possono essere temporaneamente esposte, sia di giorno che di notte, a gravi condizioni di rumore con variazioni sostanziali che sono dettate dal traffico veicolare riconducibile alle attività portuali. Questi valori sono stabiliti dalle normative sul rumore ambientale per la protezione delle persone e dell'ambiente.

Questo fenomeno non può essere esaustivamente o completamente caratterizzato da una prospettiva di lungo periodo (almeno su base annuale), poiché entrano in gioco caratteristiche stagionali o sub-stagionali, giornaliere ed eventualmente anche orarie, durante le quali il clima acustico può subire variazioni sostanziali. In tal caso, un'analisi basata su un ipotetico valore medio degli scenari acustici di lungo e anche medio periodo potrebbe non essere del tutto adeguata al raggiungimento degli standard di qualità e di salvaguardia stabiliti dalle leggi quadro in materia di acustica ambientale.

Un modello di previsione neurale del rumore da traffico veicolare nel contesto del *Waterfront* delle città portuali

Nel gruppo di ricerca della sezione Trasporti e Fisica Tecnica dell'Università di Cagliari **è stato ideato e testato sperimentalmente un modello neurale di simulazione per una previsione in tempo reale del campo acustico generato dal rumore del traffico in condizioni di regime dinamico**. Il modello neurale è stato applicato al contesto dell'ambiente urbano del Waterfront di una città portuale (città di Olbia). Il modello di previsione non si basa sul meccanismo fisico della propagazione acustica e quindi non richiede la fase preliminare per l'implementazione delle condizioni al contorno della propagazione delle onde.

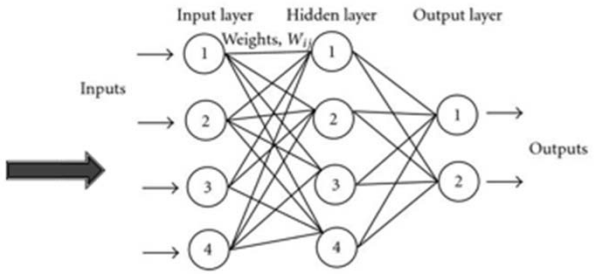
- **Il modello che è stato sviluppato consente di prevedere dinamicamente in tempo reale il comportamento del campo di rumore al variare dell'evoluzione delle sorgenti di traffico che si manifestano in diversi scenari di traffico.**

Il modello di rete neurale si ispira ad un procedimento euristico che promette un guadagno significativo in termini di efficienza di calcolo, rispetto al modello basato sul fenomeno di propagazione.

Questa caratteristica può risultare piuttosto interessante per supportare i processi decisionali con un raffinamento in tempo reale, dove può essere molto utile la capacità di prevedere gli effetti di diverse opzioni / strategie di traffico sul campo acustico. Gli scenari previsti dal modello possono essere implementati dinamicamente per definire specifiche azioni di mitigazione del rumore a beneficio di specifiche aree sensibili delle città portuali particolarmente esposte alle fluttuazioni del clima acustico.

L'applicabilità universale della rete neurale nei problemi di modellazione, classificazione e previsione è una delle ragioni che spiegano la recente attività nello sviluppo di modelli neurali per le previsioni del rumore del traffico.

Rete neurale **biologica**



Rete neurale **artificiale**

Un modello di previsione neurale del rumore da traffico veicolare nel contesto del waterfront delle città portuali

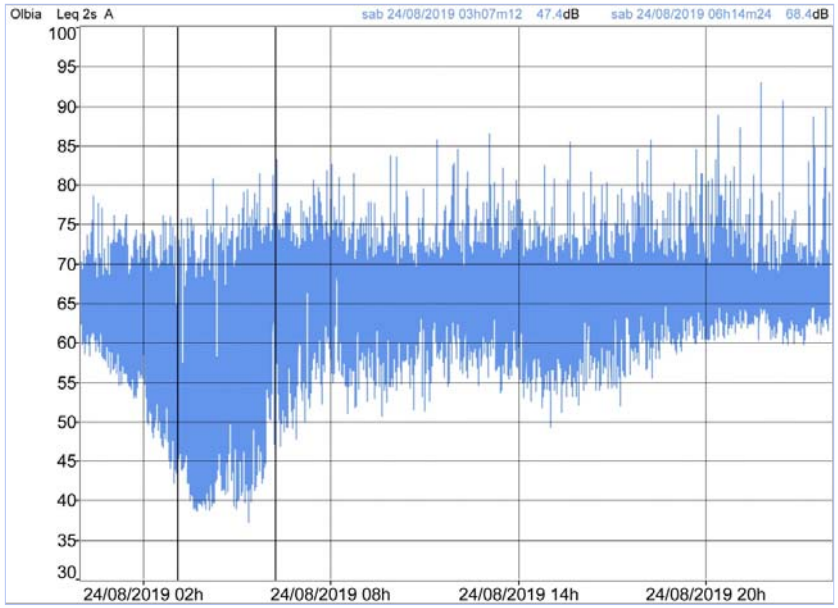
Il modello sviluppato è affidabile e mostra la capacità di stimare correttamente il livello di pressione sonora che sarebbe generato in un dato punto come conseguenza di uno scenario assegnato di composizione e layout del traffico veicolare.

Nella presente indagine sono stati considerati due distinti periodi continuativi per l'attività acustica e di acquisizione del traffico. Ogni periodo è di 72 ore. Il primo periodo è riferito al periodo di morbida del mese di marzo dove il traffico veicolare esibisce un comportamento normale (non eccezionale / di bassa intensità). Il secondo periodo va dal 24 al 27 agosto e può essere considerato rappresentativo del periodo di punta stagionale, dove il traffico è soggetto ad un eccezionale incremento (rispetto all'andamento medio annuo) dovuto ad una massiccia presenza di turisti in scalo e in partenza dal porto.

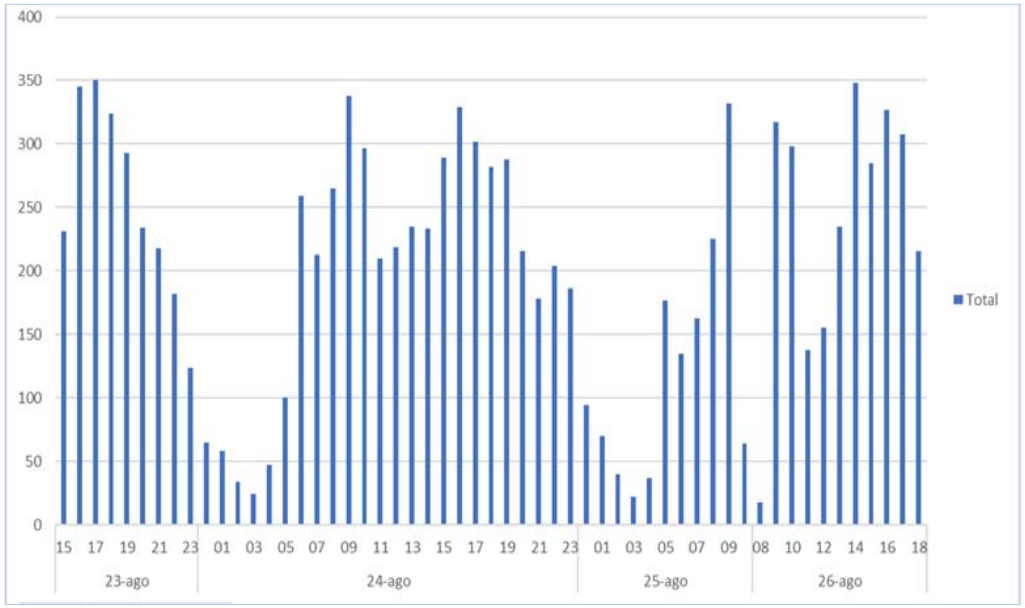
Rilievi acustici

I rilievi acustici sono stati coordinati per l'esecuzione in contemporanea con i rilievi dei flussi veicolari (ATTIVITA' T1.4). Sono stati acquisiti i seguenti parametri,suddividendo i veicoli in 5 classi:

- scansione temporale del passaggio dei veicoli;
- velocità del veicolo.

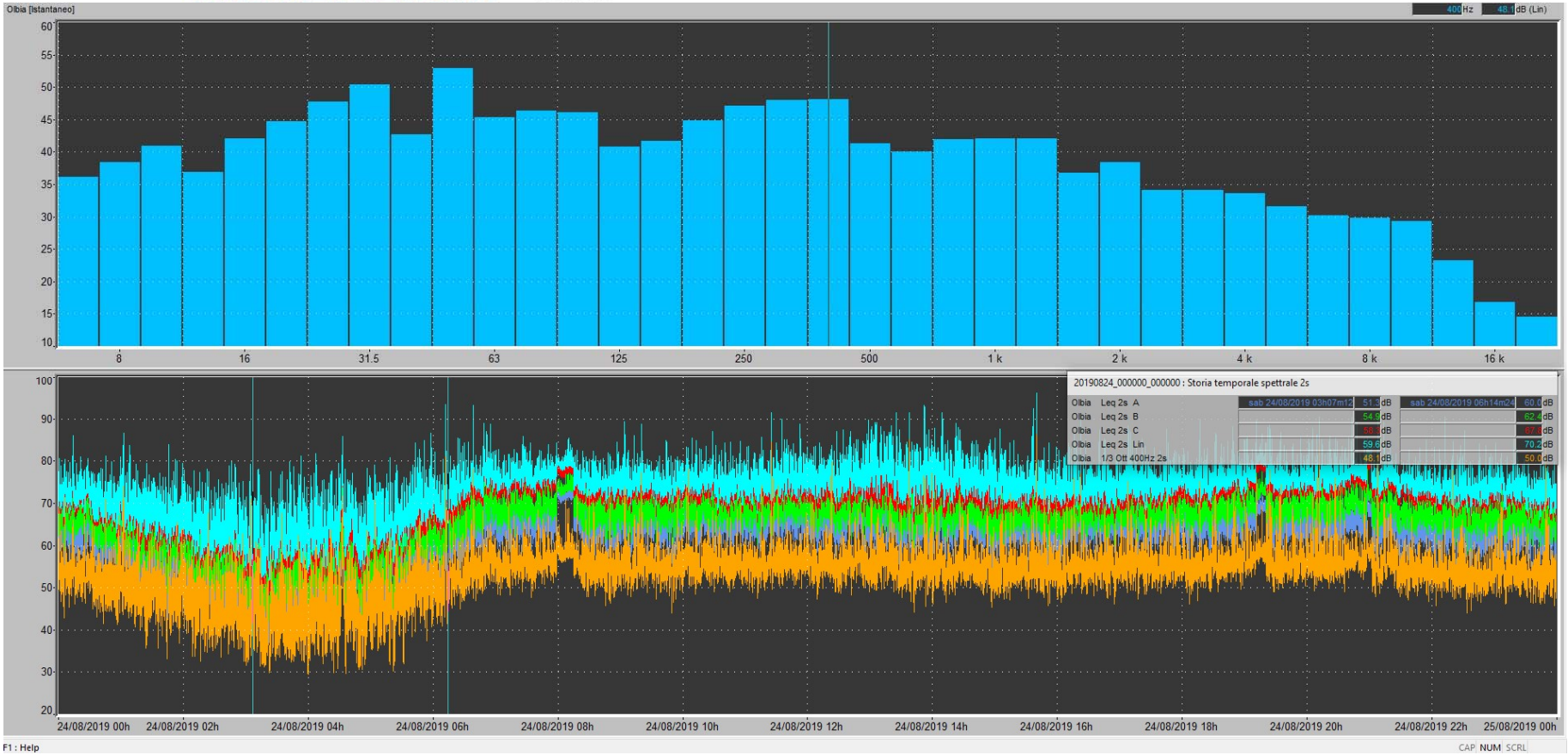


Leq(A) – pos. 2A (fronte Municipio) 24.08.2019



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

Rilievi acustici



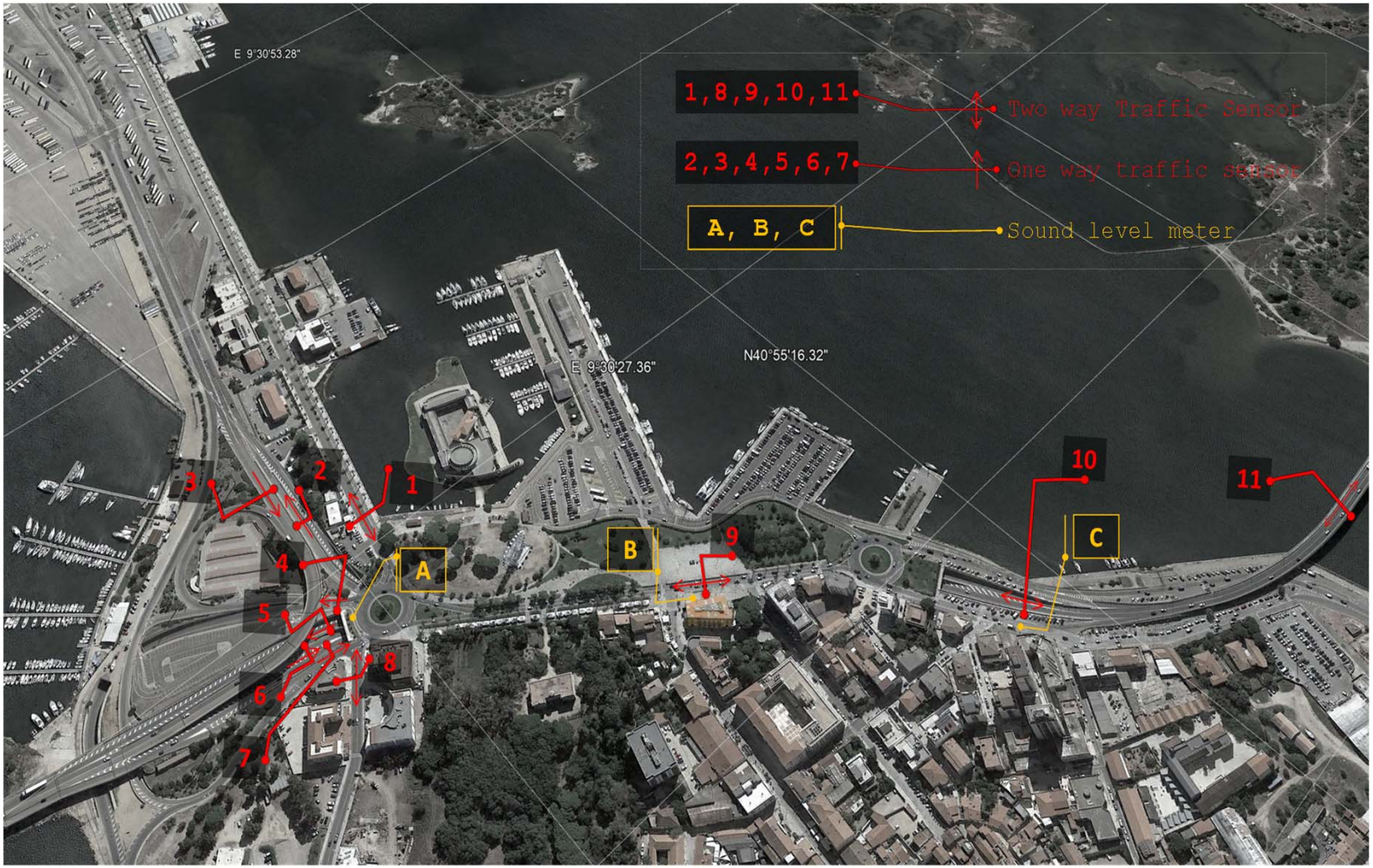
Rilievi acustici
Agosto 2019

Sono stati acquisiti i valori orari e lo spettro del segnale acustico in bande di terzi di ottava ogni decimo di secondo,

Misure sperimentali.

Il modello di rete neurale adattativa è stato individuato sulla base dei dati sperimentali della pressione acustica e della composizione del traffico, misurati nei giorni dei due periodi caratterizzanti. Un data set sperimentale composto dall'evoluzione temporale della pressione acustica (pressione del livello sonoro) è stato acquisito contemporaneamente ai dati di traffico (**occorrenza, velocità, dimensioni e direzione di marcia dei veicoli**) per un arco di tempo di 72+72 ore relativo ai due periodi di riferimento.

Monitoring area of the waterfront under analysis. Optimized selection of the measuring points of vehicular traffic (red symbol) and acosutic pressure level meters (yellow symbol).



Misure sperimentali.

La necessità di prevedere quale valore corretto del livello di pressione sonora verrebbe generato in un dato punto a causa di uno scenario di composizione e distribuzione del traffico veicolare domina il processo di sviluppo di un modello di simulazione.

Il contesto entro cui occorre operare è caratterizzato da condizioni di traffico di un'area urbana che è fortemente esposta ai flussi turistici e ad attività portuali soggette ad un ampio spettro di variabilità, difficilmente caratterizzabili a priori.

Local contextualization of the measuring points. a) position of the sound level meter labeled as "A" in fig. 2. b) position of the sound level meter labeled as "A" in fig. 2. c) position of the sound level meter labeled as "C" in fig. 2. d) position of the traffic sensor numbered as "4" in fig. 2. e) example of traffic flows along the waterfront during a day period. f) example of traffic flows along the waterfront during a night period.

Misure sperimentali.

La previsione del livello di rumore in tale contesto, durante le reali condizioni di esercizio del traffico veicolare, richiede di considerare una notevole quantità di possibili realizzazioni fisiche dello scenario di traffico in termini di occorrenza, distribuzione, dimensione e velocità delle sorgenti

Local contextualization of the measuring points. a) position of the sound level meter labeled as “A” in fig. 2. b) position of the sound level meter labeled as “A” in fig. 2. c) position of the sound level meter labeled as “C” in fig. 2. d) position of the traffic sensor numbered as “4” in fig. 2. e) example of traffic flows along the waterfront during a day period. f) example of traffic flows along the waterfront during a night period.

Reti Neurali

Per raggiungere l'obiettivo di fornire predizioni corrette sull'intero universo delle potenziali realizzazioni degli scenari del rumore a partire/(sulla base della) dall'informazione anche solo parziale del fenomeno si è fatto ricorso ad (ci si è affidati a) un sistema di riconoscimento basato sull'apprendimento di una rete neurale (Lecun et al., 2015; Schmidhuber, 2015). Ad un tale sistema di riconoscimento ci si rivolge, per la sua capacità di generalizzare i risultati e quindi di associare la risposta corretta anche a segnali di input non (mai esplicitamente) contemplati in precedenza, oppure con informazioni mancanti o parzialmente compromesse (Erhan et al., 2014).

Nel campo dei modelli di apprendimento, una rete neurale artificiale è un modello computazionale composto di ***neuroni*** artificiali, ispirato alla struttura di una rete neurale biologica (Schmidhuber, 2015)

Questi modelli ad apprendimento sono utilizzati con sempre maggiore successo per risolvere problemi di intelligenza artificiale, come quelli relativi alla. (diagnostica, supporto alle decisioni, riconoscimento del parlato e delle immagini, diagnosi di guasti, gestione dell'energia, previsioni atmosferiche etc.

Architettura della rete neurale utilizzata

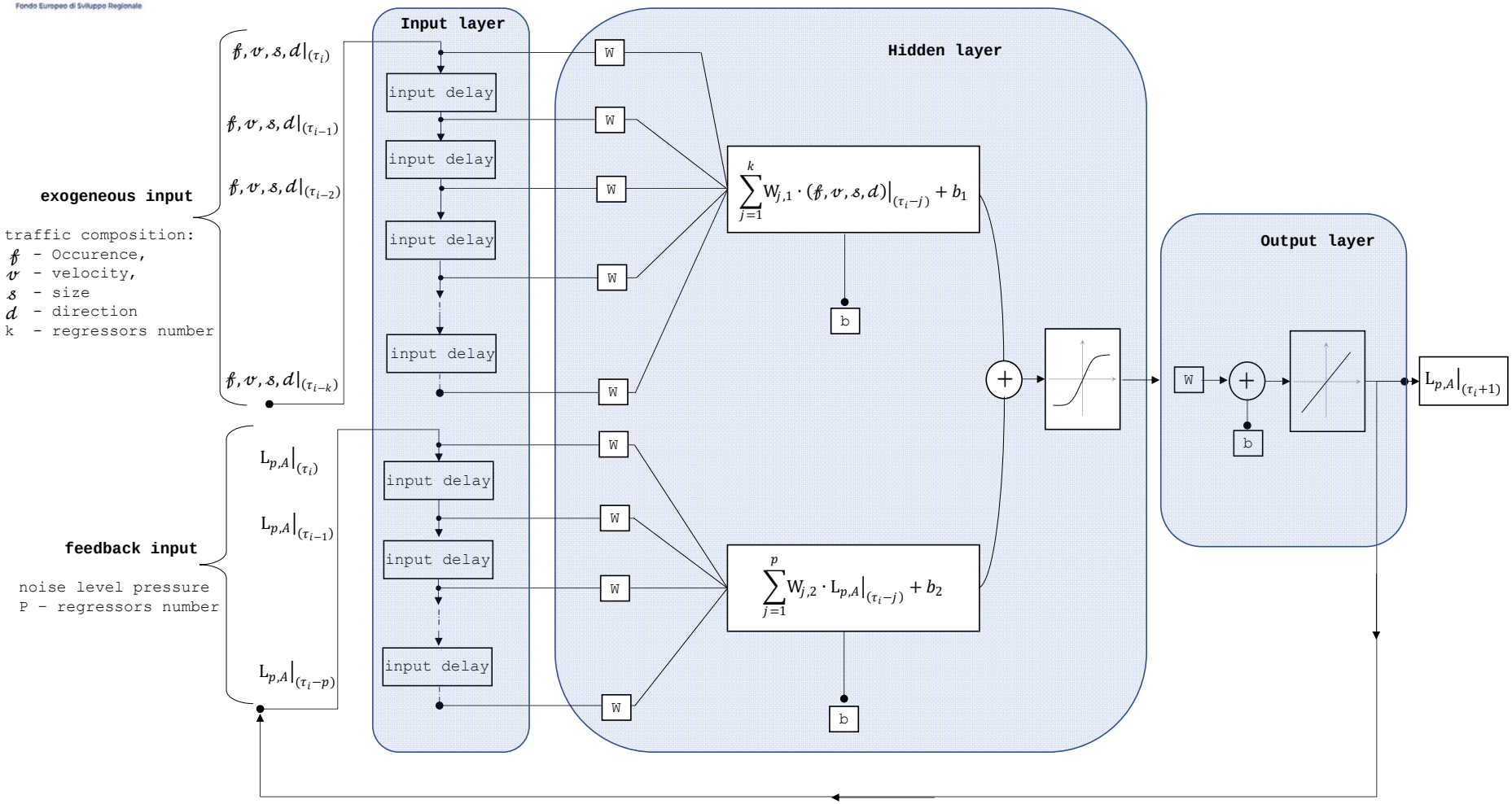
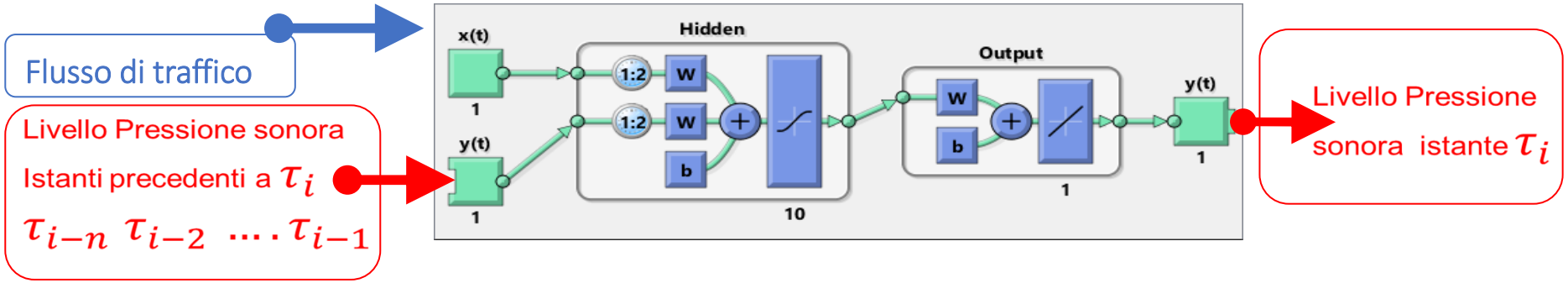


Fig. 4 Architecture of the Neural model. Schematization of the adopted NARX configuration for predicting the acoustic noise from vehicular traffic.

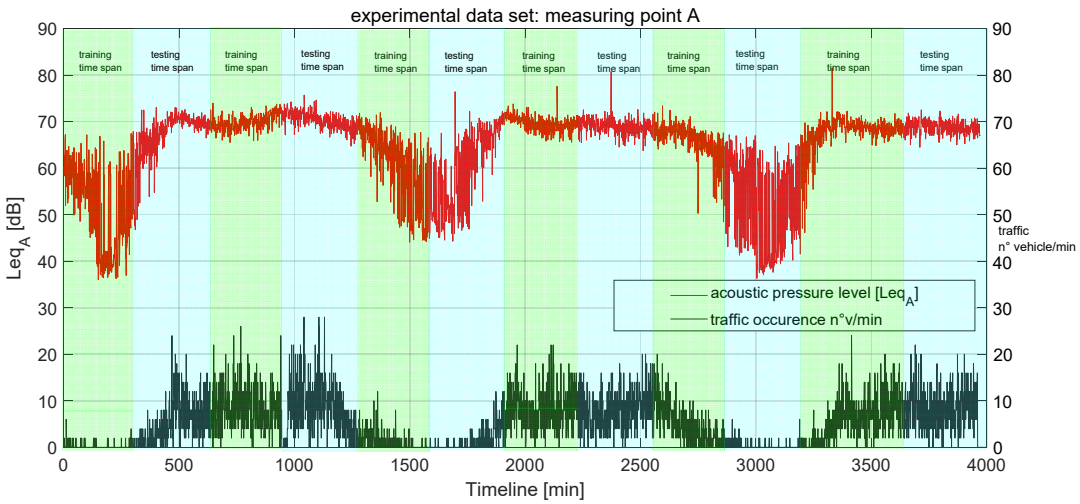
Architettura della rete neurale utilizzata

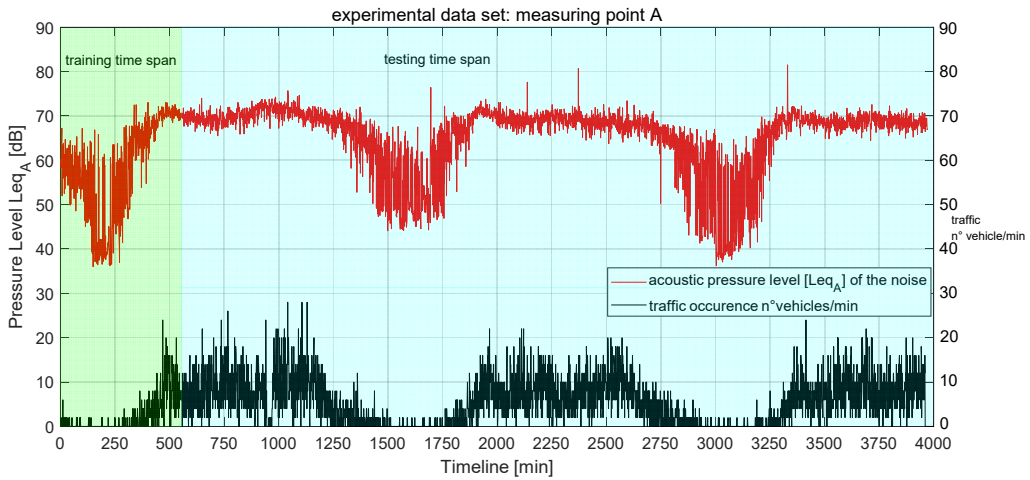


Architecture of the Neural model. Schematization of the adopted NARX configuration for predicting the acoustic noise from vehicular traffic.

Strategia di addestramento

In figura è rappresentato l'andamento del livello di pressione sonora nel punto di misura posizionato in "B". Il grafico copre l'intera ***time line*** del periodo di misura di morbida (dal 25 al 28 Marzo 2019) e viene considerato a titolo d'esempio per illustrare la strategia generale di addestramento.

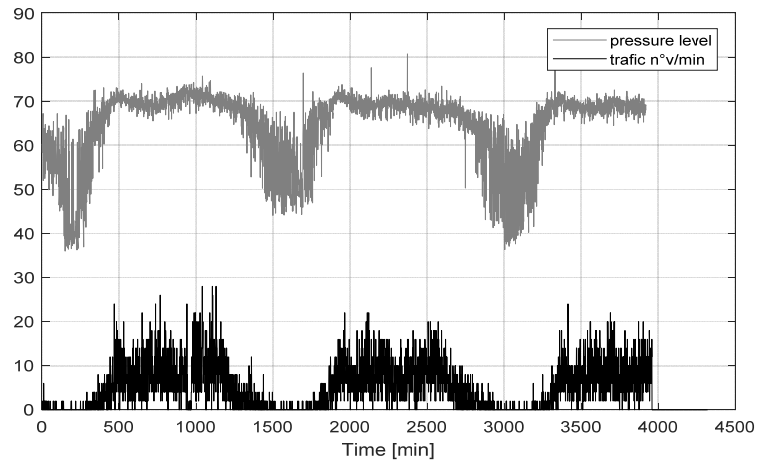


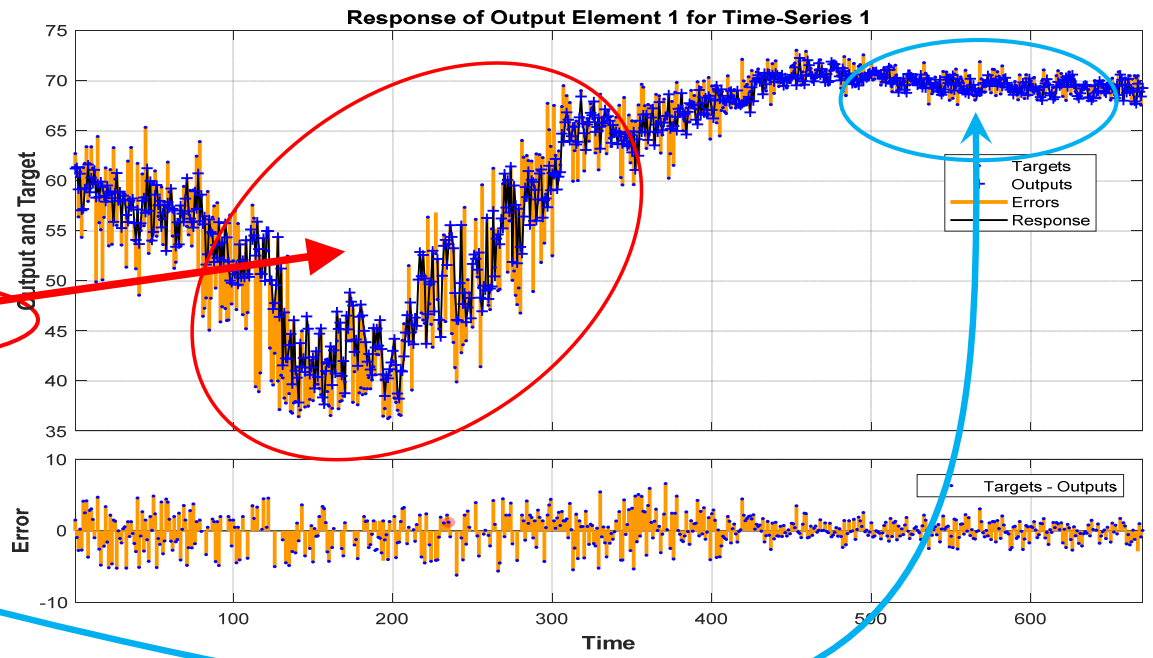


A questo punto occorre distinguere la funzione della rete neurale durante la fase di training rispetto alla fase di test.

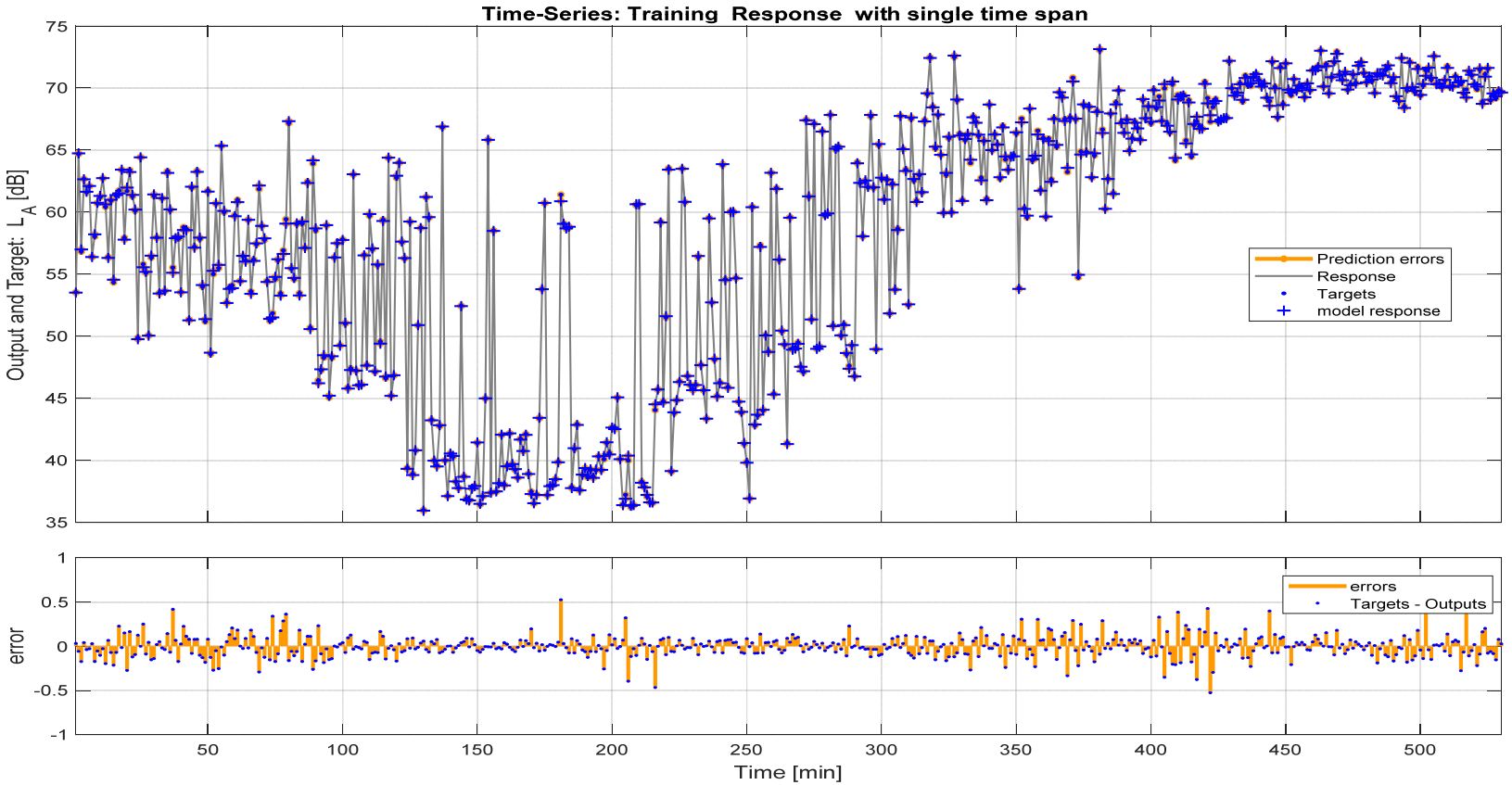
Mentre,

nella fase di training l'input temporale del traffico potrebbe essere interpretato come una sequenza di singole configurazioni di traffico che si sono susseguite nel tempo, senza potersi stabilizzare nel tempo, poiché ad una configurazione ne subentra un'altra senza possibilità di controllo. Infatti le configurazioni che si susseguono nel primo tratto hanno un'ampia variabilità mentre quelle dell'ultimo tratto la variabilità è minore e si approssimano infatti ad una condizione di quasi stazionarietà.

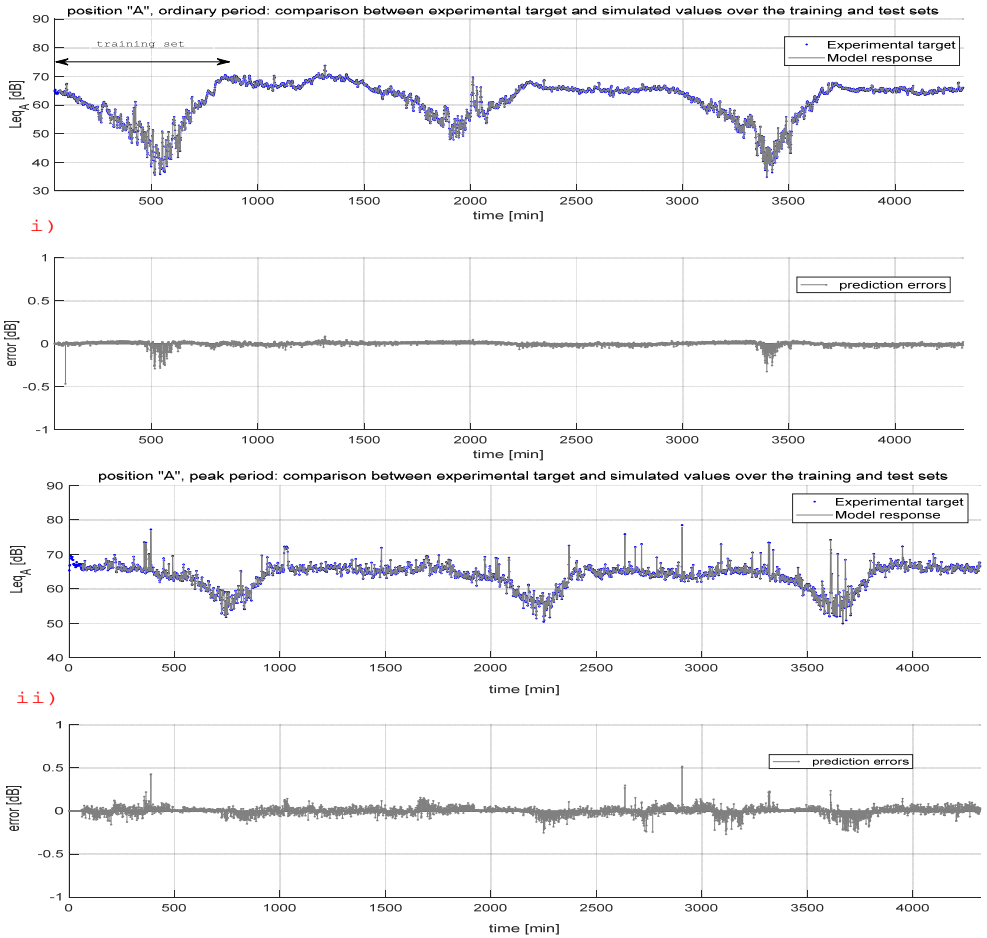


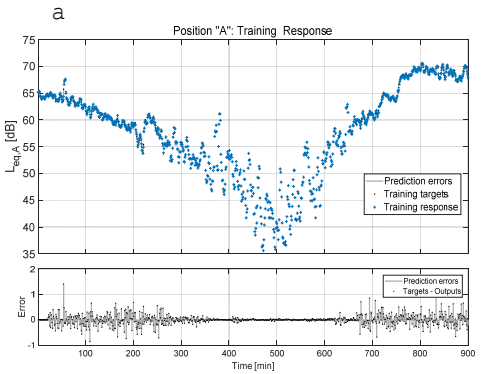


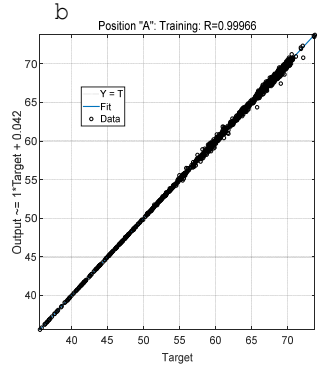
Esito dell’addestramento

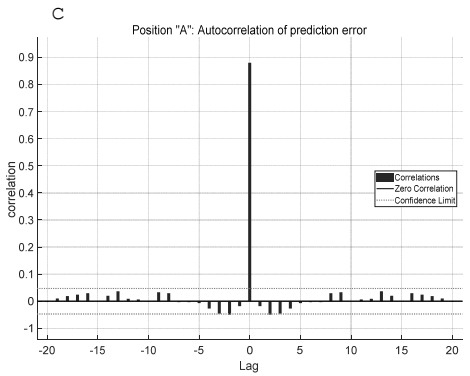


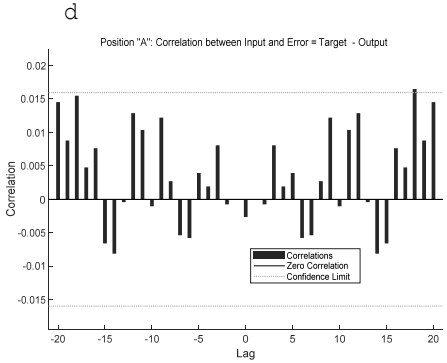
Esito della processo di generalizzazione



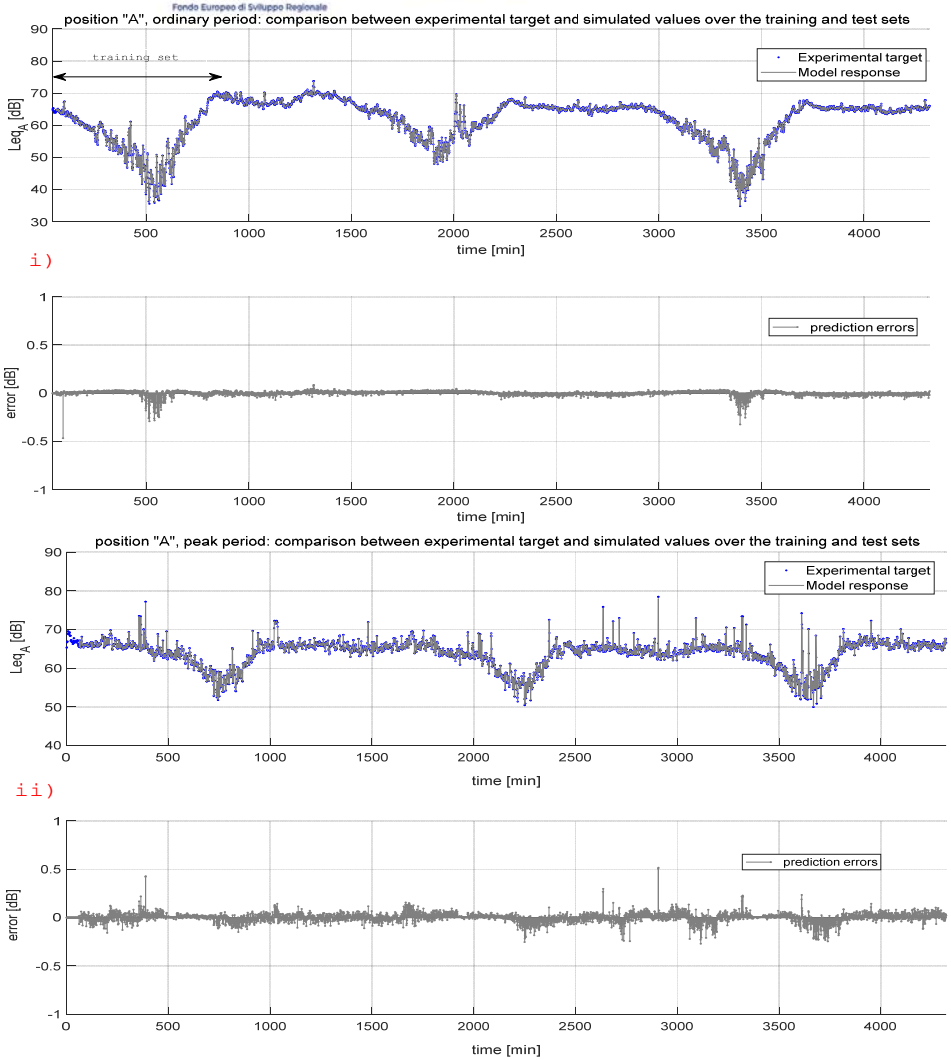


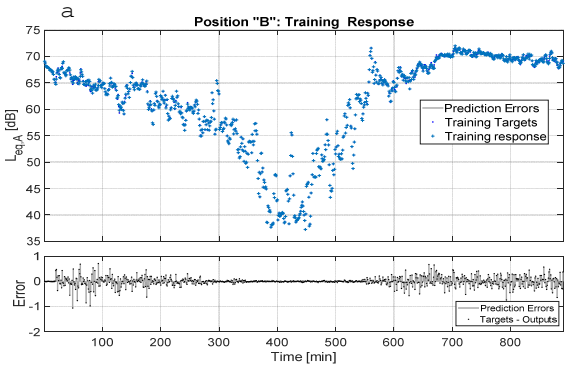


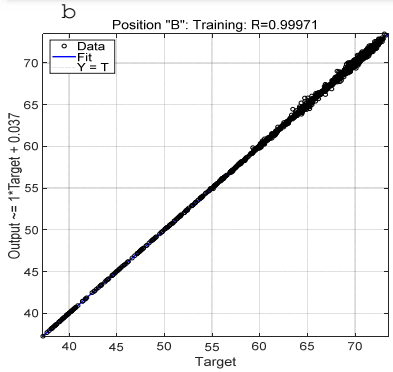


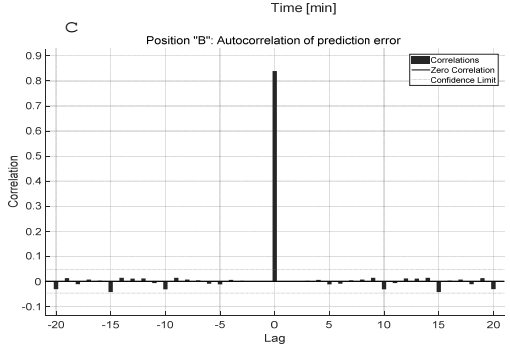


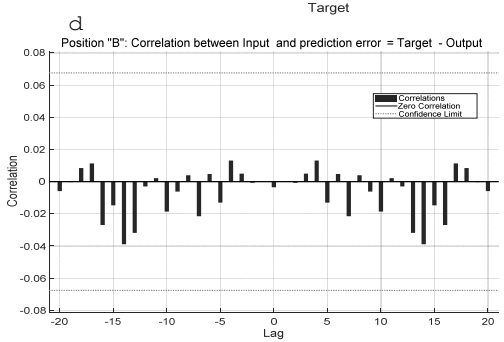
Esito della processo di generalizzazione



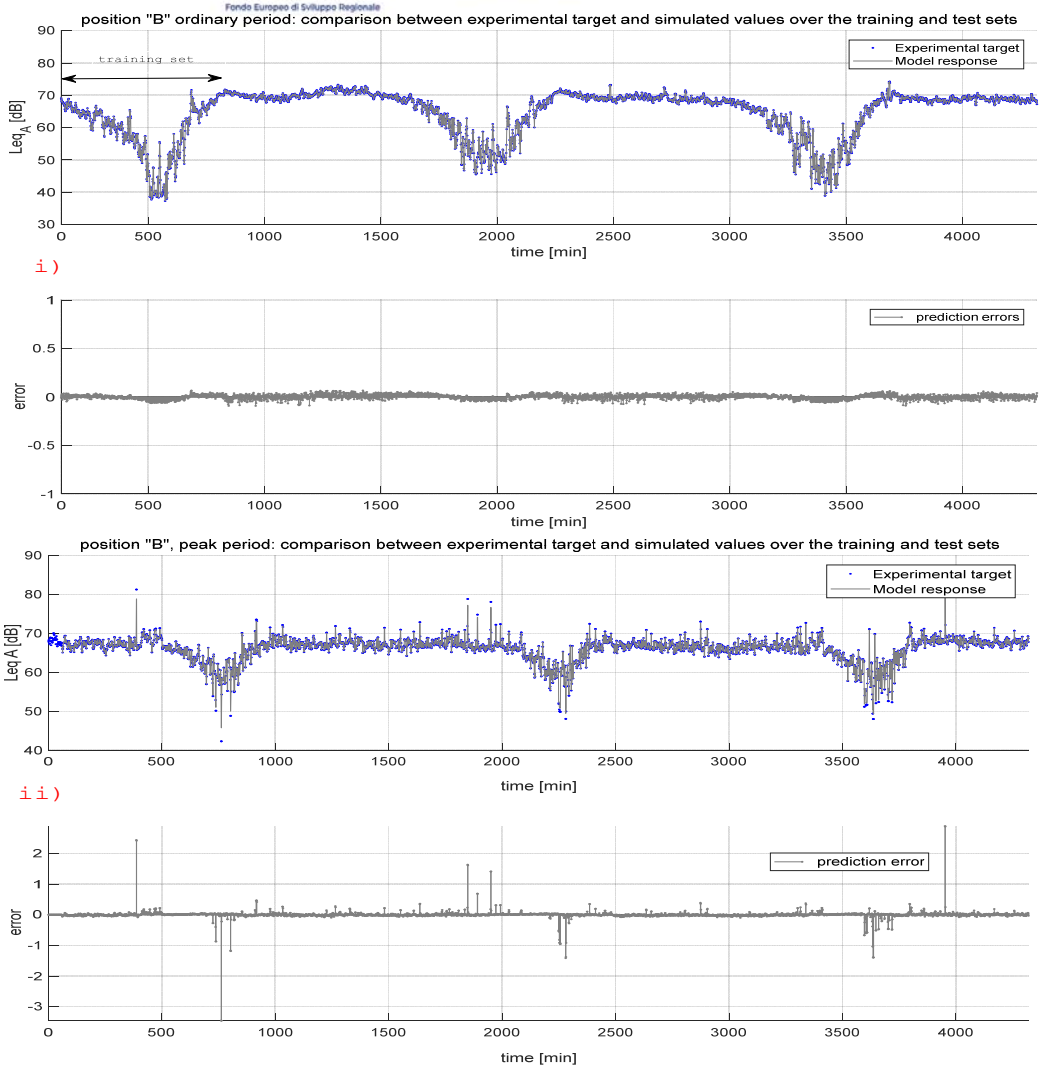


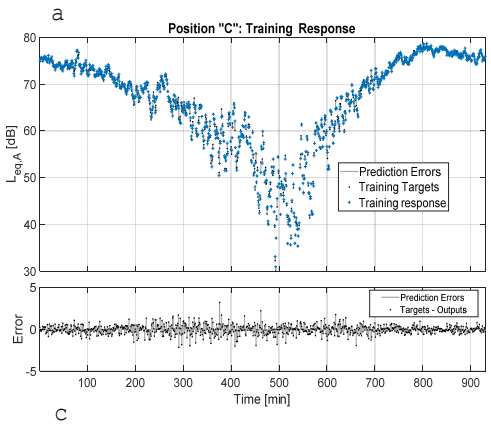


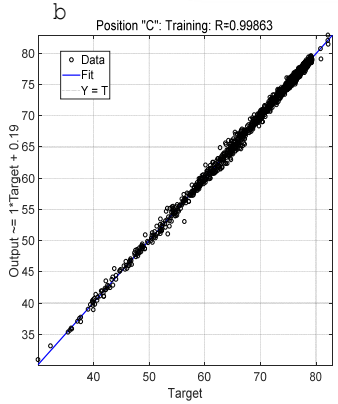


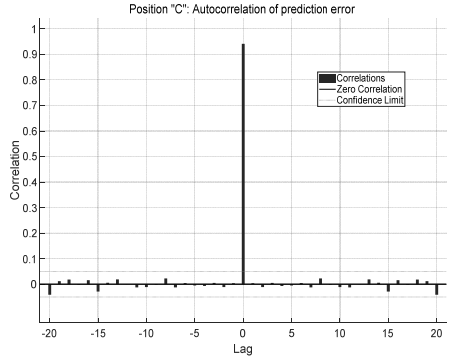


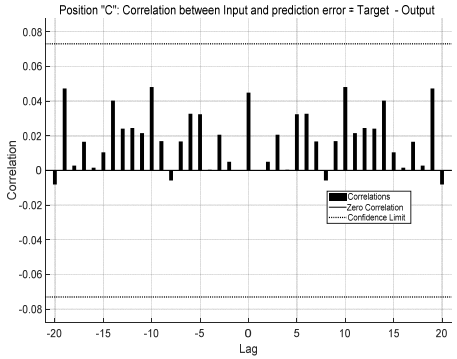
Esito della processo di generalizzazione











Conclusioni

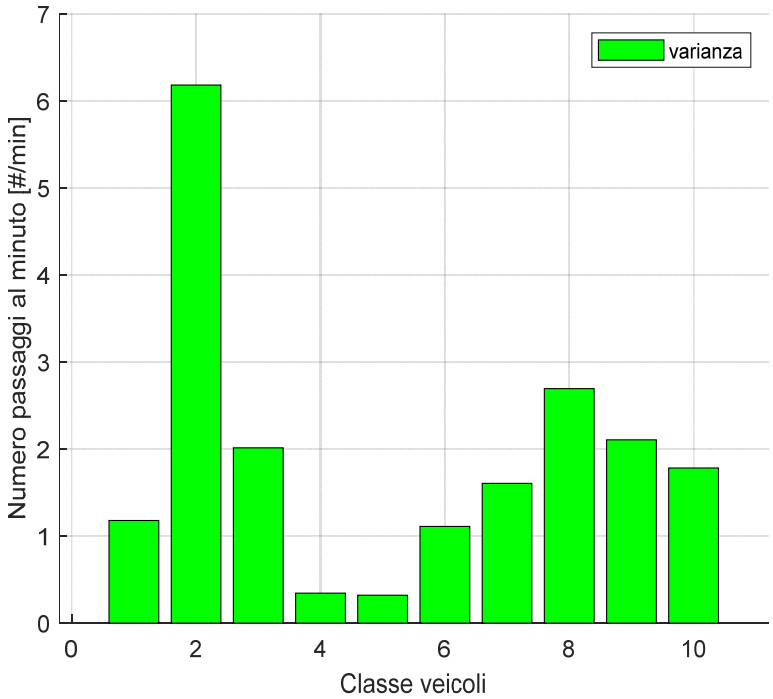
- È stato sviluppato un modello di identificazione adattativa della rete neurale per la previsione del rumore acustico del traffico veicolare, in un contesto cittadino con Waterfront urbano. Il modello è stato addestrato e testato con successo utilizzando dati sperimentali di rumore acustico e composizione del traffico, effettuati durante due diversi periodi caratterizzanti.
- Il modello sviluppato accetta come sorgente di dati di input la composizione del traffico in termini di occorrenze, velocità, taglia - classe e direzione dei veicoli e inoltre anche alcuni regressori della sequenza drl rumore. La risposta del modello consiste nel generare i valori corretti del livello di pressione acustica L_eq_A.
- Undici corsie e tre posizioni di misurazioni acustiche sono state considerate per identificare il modello neurale.
- Il modello identificato restituisce in uscita i valori simulati del livello di pressione sonora che sono in significativo accordo con i valori sperimentali.
- Un valore assoluto dell'errore di previsione inferiore a 0,5 decibel è stato osservato quasi ovunque lungo la time line considerata, ad eccezione di alcune occasioni che ricadono nella notte del periodo di picco di agosto, dove l'errore di previsione aumenta occasionalmente raggiungendo valori compresi tra 0,5-3,5 dB.

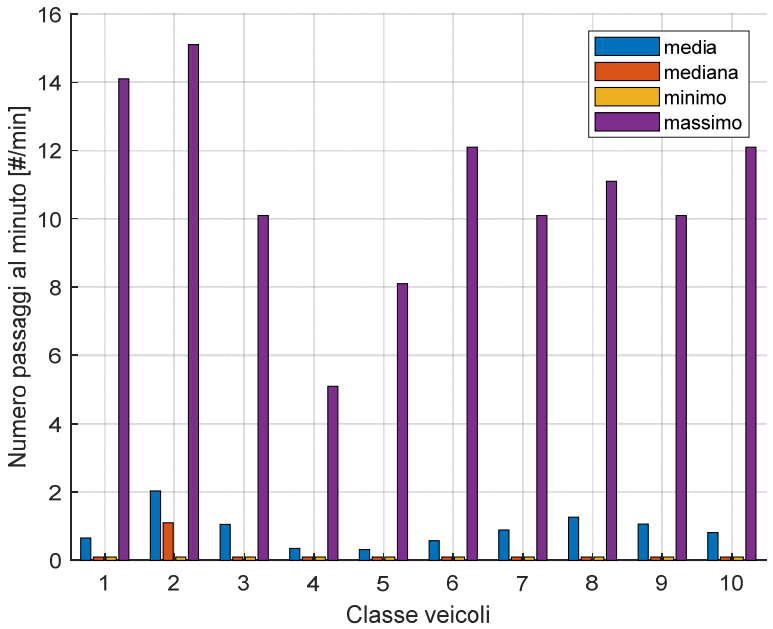
Ulteriori sviluppi

- Estendere la metodologia a casi di waterfront di altre città portuali
- Sviluppo del modello nel dominio della frequenza. Questo ulteriore passaggio permetterebbe di determinare le componenti spettrali del rumore che maggiormente sono necessarie nel processo di modellizzazione.
- Confronto del modello neurale con i modelli fisici che ormai hanno raggiunto una maturità commerciale e che incorporano le leggi della propagazione acustica su uno spazio le cui condizioni al contorno sono fissate dalla geometria dell'orografia del territorio e dell'ambiente costruito e dalle proprietà acustiche dei materiali coinvolti. Evidentemente, per il modello fisico di propagazione, tali informazioni sono indispensabili per una modellizzazione corretta del fenomeno sorgenti di traffico - clima acustico. Sebbene non sia indispensabile, anche il modello neurale potrebbe essere completato con tali informazioni con l'obiettivo di aumentarne la sua robustezza ed accuratezza. La ricerca sviluppata fino a questo punto suggerisce moltissimi risvolti e sviluppi, che vale la pena perseguire, infatti i risultati di questa prima fase sono molto confortanti che rivelano una buona base su cui sviluppare ulteriori studi.

Analisi della variabilità dei flussi di traffico

E' stata condotta un'indagine, ancora in fase di perfezionamento, di carattere statistico per dare una metrica dell' **l'ampiezza della dinamica delle realizzazioni del flusso veicolare durante il periodo di test**. Questa indagine cerca di verificare se la rete generalizza i risultati su un database di input la cui variabilità è ampia oppure no. Grande variabilità implica che la rete è stata in grado di apprendere su un data base «impegnativo» e significativo.

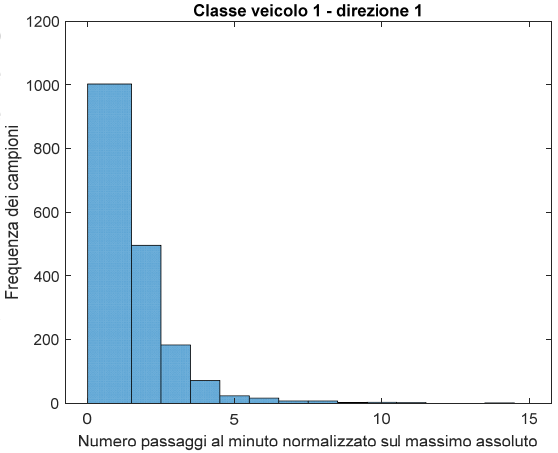


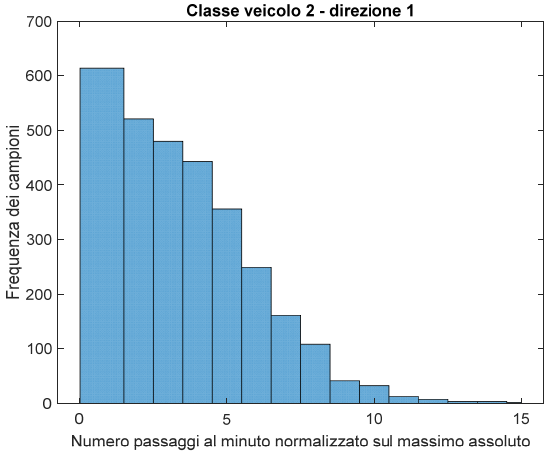


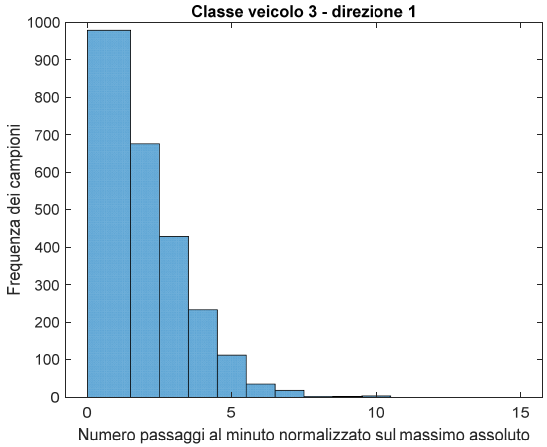
Analisi della variabilità dei flussi di traffico

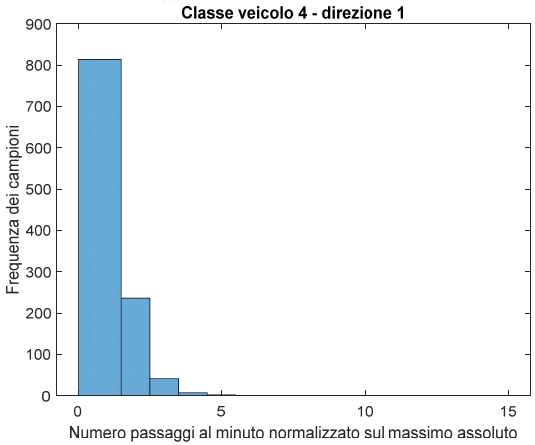
I diagrammi che seguono riguardano ciascuno una classe di veicolo e la rispettiva direzione di marcia. L'ascissa è il numero di passaggi di una certa classe di veicolo. L'ordinata rappresenta la permanenza di quella classe con il numero di passaggi indicata dalla ascissa.

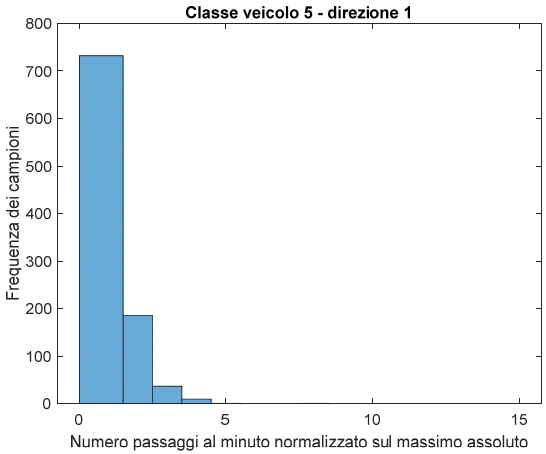
Pertanto un diagramma con una barra molto pronunciata in corrispondenza di un certo valore della ascissa significa che, per la maggior parte del tempo di misura, la classe in considerazione è fluita prevalentemente con il valore che indica la barra pronunciata. Mentre un diagramma con l'altezza delle barre ben distribuite in altezza significa una maggiore variabilità di flusso di quella classe in considerazione

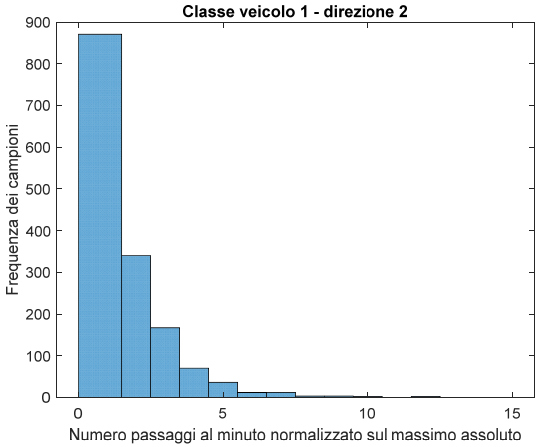






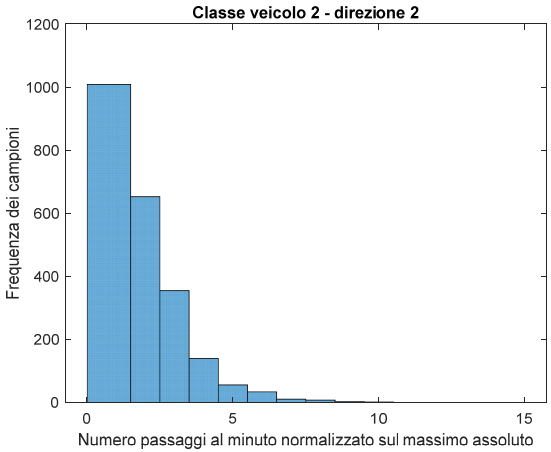


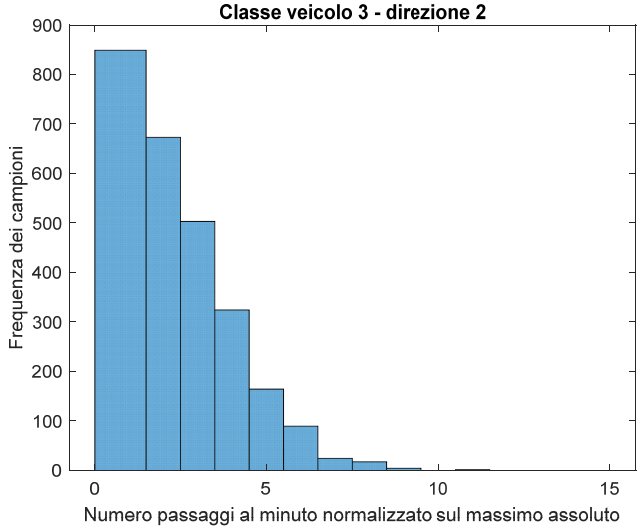


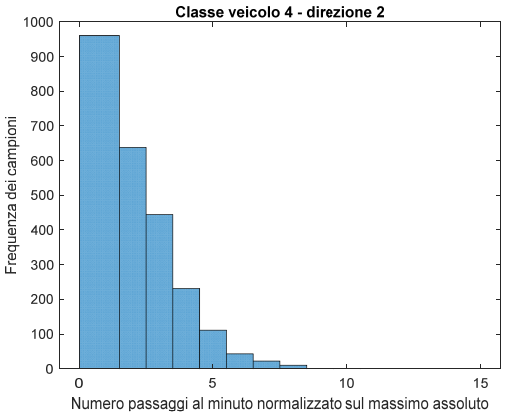


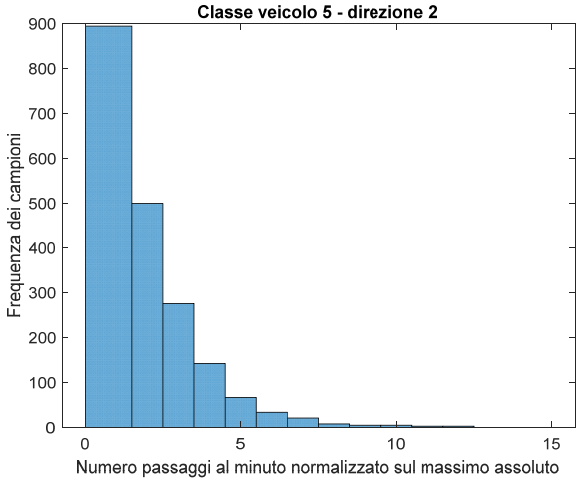
Analisi della variabilità dei flussi di traffico

I diagrammi che seguono riguardano ciascuno una classe di veicolo e la rispettiva direzione di marcia. L'ascissa è il numero di passaggi di una certa classe di veicolo. L'ordinata rappresenta la permanenza di quella classe con il numero di passaggi indicata dalla ascissa.
Pertanto un diagramma con una barra molto pronunciata in corrispondenza di un certo valore della ascissa significa che, per la maggior parte del tempo di misura, la classe in considerazione è fluita prevalentemente il valore che indica la barra pronunciata. Mentre un diagramma con l'altezza delle barre ben distribuite in altezza significa una maggiore variabilità di flusso di quella classe in considerazione









GRAZIE PER L'ATTENZIONE
E
Pazienza.....

Coordinatore scientifico: Prof. Paolo Fadda - fadda@unica.it

GRUPPO DI LAVORO:

Coordinatore tecnico: Ing. Federico Sollai - fsollai@unica.it

Ing. Roberto Baccoli rbaccoli@unica.it

Ing. Andrea Medda - a.medda@unica.it

Ing. Luigi Serra - luigi.sserra@gmail.com