

## **METODOLOGIA E RISULTATI DELL'INTERCONFRONTO NAZIONALE ISPRA-ARPA SUI MODELLI DI PREVISIONE DEL RUMORE STRADALE**

Gaetano Licitra (1), Francesca Sacchetti (2), Jacopo Fogola (3), Filippo Berlier (4), Maddalena Schirone (5)

- 1) ARPAT, Firenze
- 2) ISPRA, Roma
- 3) ARPA Piemonte, Torino
- 4) ARPA VdA, Aosta
- 5) ARPA Puglia, Bari

### **1. Abstract**

L'interconfronto nazionale sui modelli di calcolo del rumore stradale è stato realizzato con la partecipazione di 21 laboratori, provenienti da 11 Arpa e da ISPRA. Sono stati confrontati quattro diversi programmi commerciali di calcolo, implementanti la norma NMPB, ed altre norme....

Il lavoro è stato effettuato sulla base di 14 scenari predefiniti, ricavati da quelli proposti dal documento JRC "Implementation of Directive 2002/49/EC on Environmental Noise - Protocols for checking the equivalence of national noise mapping methods against the interim methods", differenziati per caratteristiche della sorgente, per ambiente di propagazione del rumore, per condizioni meteorologiche, per tipologia di flussi veicolari, ecc.

I dati ottenuti dalla modellizzazione sono stati dapprima analizzati per valutare le anomalie, sia attraverso il criterio degli z-score che mediante un'analisi sistematica delle impostazioni adottate da ogni laboratorio.

Successivamente sono stati analizzati e confrontati i risultati secondo le tradizionali tecniche statistiche (deviazioni standard, ampiezza intervalli, scarti medi,...), per scenario, macrosenario e complessivamente.

E' stata possibile, infine, una valutazione comparativa dei differenti programmi di calcolo impiegati.

I risultati consentono di definire un range di variabilità relativamente ai singoli prodotti commerciali, nel loro complesso e singolarmente, nonché di evidenziare i limiti dei modelli, gli errori degli utenti e gli approcci differenti ai problemi di implementazione dei valori di input.

## 2. Descrizione laboratori e modelli implementati

All'interconfronto hanno partecipato 11 Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente e ISPRA, per un numero complessivo di laboratori pari a 21. In Tabella 1 i laboratori coinvolti sono stati raggruppati in funzione del software utilizzato.

**Tabella 1: Laboratori partecipanti per tipologia di software**

| <b>IM<br/>MI</b> | <b>CA<br/>DNA</b> | <b>SOUNDP<br/>LAN</b> | <b>MIT<br/>HRA</b> |
|------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|
| La<br>b. 16      | Lab.<br>1         | Lab. 6                | Lab.<br>2          |
| La<br>b. 7       | Lab.<br>5         | Lab. 11               |                    |
| La<br>b. 4       | Lab.<br>8         | Lab. 9                |                    |
| La<br>b. 14      | Lab.<br>10        | Lab. 15               |                    |
| La<br>b. 17      | Lab.<br>12        | Lab. 20               |                    |
| La<br>b. 18      | Lab.<br>3         |                       |                    |
| La<br>b. 19      | Lab.<br>13        |                       |                    |
| La<br>b. 21      |                   |                       |                    |

Ad ogni laboratorio partecipante è stato fornito un tool kit comprendente vari file shape per la creazione nel modello di ogni scenario, un foglio di calcolo preimpostato nel quale inserire i risultati dei calcoli effettuati, un documento di istruzioni e il documento JRC in cui sono esplicitati tutti i parametri e le impostazioni da utilizzare.

Le istruzioni indicavano che, a seguito del calcolo, ogni laboratorio avrebbe dovuto fornire i risultati delle simulazioni compilando il foglio di calcolo preimpostato e le impostazioni del software utilizzate per le simulazioni. I risultati da fornire erano i livelli equivalenti calcolati in tutti i punti recettore indicati il cui numero varia da scenario a scenario.

Sulla base dei software utilizzati, degli algoritmi implementati e del set di dati forniti si possono effettuare le prime osservazioni ed esaminare alcune problematiche generali:

- I Lab. 9 e 20 hanno utilizzato il modello RLS90, un modello differente rispetto al quello ad interim francese, che impone delle differenti impostazioni sia di sorgente che di propagazione (come ad esempio limitazioni sulla velocità dei veicoli pesanti, sulla tipologia di flusso e sulle condizioni meteorologiche di propagazione);
- Il Lab. 2, che ha utilizzato il software MITHRA, ha dovuto far fronte ad impostazioni di base differenti (ad esempio all'impossibilità di distinguere la velocità dei mezzi leggeri da quella dei pesanti).
- Vi sono poi altri partecipanti che hanno evidentemente eluso le impostazioni previste, nonostante non sia stato possibile rintracciare tali informazioni nei rapporti.

In particolare le criticità più ricorrenti sono legate all'assorbimento del terreno, alle riflessioni e alla modellizzazione della sorgente stessa.

### 3. Descrizione scenari e documento JRC

Per l'interconfronto sono stati scelti 14 scenari a partire dal più nutrito elenco proposto dal documento JRC [?]. La scelta è stata effettuata in modo da descrivere varie tipologie di configurazione del terreno, di sorgenti, di flussi di traffico e di condizioni meteorologiche considerate.

In particolare sono stati individuati 3 macroscenari a seconda della tipologia di infrastruttura stradale interessata:

- **MOTORWAY:** Gli scenari classificati come "Motorway" presentano la configurazione tipica di una strada di grande comunicazione che percorre aree in campo libero, aree con ricettori sparsi protetti da barriere, aree urbanizzate e aree urbanizzate con barriere. Vengono inoltre presentate diverse condizioni di traffico e di propagazione atmosferica per ciascun profilo di terreno possibile (configurazione in piano; configurazione in trincea; configurazione in rilevato). Nel complesso per questo macroscenario sono previsti 114 punti recettori sui quali effettuare il confronto.
- **CITY:** Questo macroscenario esemplifica il contesto di una strada principale a doppio senso che attraversa un tessuto urbano in configurazioni di terreno analoghe al caso precedente (in piano, trincea e rilevato). Il macroscenario è suddivisibile in due aree omogenee, una con edificato non schermato e una con edificato schermato da barriere. Tale macroscenario, rispetto al Motorway, presenta un numero inferiore di punti di confronto (59) e tutti in presenza di edificato: risulta chiaro che in questo caso i parametri relativi al suono riflesso saranno quelli di maggior influenza.
- **HILL:** Il contesto esemplificato è quello di una autostrada a 4 corsie in ambiente collinare, che corre ad un'altezza intermedia tra il fondo valle e la cima della collina. I ricettori sono posti a 4 m dal terreno ma a diverse altezze della collina e anche dal lato opposto della vetta rispetto alla sorgente (quindi schermati in condizioni di propagazione omogenea); inoltre in un'ulteriore sezione viene studiato l'effetto della presenza di una barriera. Il numero complessivo di punti recettori per questo macroscenario risulta ???

Si distinguono tre scenari per tipologie di traffico differenti (misto, leggeri, pesanti).

### 4. Descrizione analisi dati

Di seguito viene esplicitata la procedura seguita per effettuare l'analisi dei risultati ottenuti. Da segnalare come l'analisi eseguita non costituisce una metodologia statistica di riferimento per gli interconfronti tra modelli di calcolo previsionale. Infatti, da una parte il numero ridotto di partecipanti ritenuti ammissibili all'analisi dei dati, dall'altra il numero esiguo di laboratori che utilizzano MITHRA, RLS90, SOUNDPLAN, non conferisce all'analisi l'adeguata significatività statistica.

- 1) Calcolo della deviazione standard e ampiezza dell'intervallo dei livelli sonori calcolati dai software commerciali.
- 2) Individuazione dei laboratori molto critici con l'analisi z-score effettuata considerando la mediana dei livelli sonori calcolati dai soli laboratori che utilizzano software commerciali.

- 3) Ricalcolo della deviazione standard e ampiezza dell'intervallo dei livelli sonori calcolati dai software commerciali dopo l'eliminazione effettuata con l'analisi z-score dei laboratori molto critici.
- 4) Individuazione delle differenze tra i due software di calcolo maggiormente utilizzati, IMMI e CADNA, che implementano entrambi il metodo di calcolo NMPB96 sui laboratori non esclusi dall'analisi z-score effettuata al punto 3.
- 5) Ulteriore eliminazione dei laboratori critici effettuata mediante l'analisi puntuale delle impostazioni di calcolo reperite nei rapporti inviati dai vari laboratori e riportate nel tabellone in appendice, che permette di determinare gli errori più evidenti rispetto alla modellizzazione richiesta.
- 6) Ricalcolo della deviazione standard e ampiezza dell'intervallo dei livelli sonori calcolati dai software commerciali dopo l'ulteriore eliminazione (punto 6) dei laboratori affetti da errori di modellizzazione.
- 7) Individuazione delle differenze tra i due software di calcolo maggiormente utilizzati, IMMI e CADNA, che implementano entrambi il metodo di calcolo NMPB96 sui laboratori non esclusi dall'analisi degli errori di implementazione (punto 6).
- 8) Calcolo della media degli scarti assoluti ottenuti come differenza tra il valore calcolato da ciascun laboratorio e la mediana del campione completo dei partecipanti.

#### **- Z score**

Per l'analisi delle anomalie è stato adottato il criterio degli z-score, secondo quanto specificato nella norma ISO 13528/2005.

Per ogni laboratorio si è così calcolata la percentuale di punti con dati critici ( $2 < z\text{-score} > 3$ ) e molto critici ( $z\text{-score} > 3$ ) rispetto al totale dei punti del macroscenario Motorway.

Il set di dati di un laboratorio è stato considerato anomalo nel caso si verificasse almeno una delle seguenti condizioni:

1. percentuale di dati molto critici superiore al 10%;
2. percentuale di dati molto critici superiore al 5% e contemporaneamente percentuale di dati critici maggiore del 15%.

Un'ulteriore analisi è stata fatta per analizzare i dati in modo conforme a quanto previsto dalla ISO 13528/2005, la quale prevede un algoritmo che si itera fino al raggiungimento di una condizione di uscita a partire dalla mediana degli scarti. Tuttavia non è stato possibile effettuare la procedura di iterazione per il calcolo dello scarto robusto secondo le norme di riferimento perché non è rispettata la condizione di normalità (troppi outliers) e quindi non si ha una gaussiana. Quindi, poiché la procedura non converge, si è deciso di non procedere con questo tipo di analisi che avrebbe comunque portato a risultati simili a quelli già ottenuti con l'analisi dello z-score.

#### **- Analisi qualitativa**

Si è poi proceduto ad un'analisi più dettagliata, al fine di determinare gli errori più evidenti e di poter così epurare il database dai risultati ottenuti in modo erroneo rispetto alla modellizzazione richiesta. Successivamente è stato poi possibile valutare la variabilità dei livelli dovuta alle impostazioni dei parametri lasciati liberi.

Questa analisi è ovviamente diversificata per scenario, in quanto non è possibile a priori presumere che i partecipanti abbiano mantenuto le stesse impostazioni per tutti gli scenari.

Tra i vari errori individuati i più frequenti ed i più significativi dal punto di vista dell'analisi dei dati sono stati:

- Il Lab. 14 ha utilizzato una sola riflessione, ma ha considerato anche il suono riflesso in facciata; inoltre non ha limitato il raggio sonoro a 2 km;
- Il Lab.11 sembra non aver impostato correttamente la propagazione 100% favorevole e il valore della temperatura;
- Il Lab.1 ha sbagliato l'assorbimento del terreno limitatamente alle carreggiate;
- I laboratori 3, 4, 16 e 7 (solo per lo scenario 4) hanno considerato anche il suono riflesso in facciata, così come il laboratorio 1 che inoltre non ha limitato la ricerca di sorgenti a 2 km;
- I risultati prodotti dai laboratori 5 e 6 presentano, in tutti gli scenari, delle differenze notevoli rispetto agli altri che lasciano pensare ad un'assenza di riflessioni (confermata dai rapporti per il Lab.5);
- Il Lab. 21 non ha trasmesso le impostazioni sull'importazione degli elementi, ma ha probabilmente utilizzato impostazioni che hanno portato ad uno shift dei valori verso l'alto di 2dB (probabilmente legate alla pavimentazione stradale);
- I laboratori 5, 12, e 3 (CADNA) e i laboratori 6, 11 – quest'ultimo relativamente allo scenario 1 (SOUNDPLAN) hanno probabilmente impostato erroneamente il parametro relativo all'assorbimento del terreno, usando un valore di default non corretto per le aree non coperte dagli shape relativi all'assorbimento del terreno, definendo quindi un terreno assorbente invece che riflettente, e ottenendo livelli sotto la media per i ricettori a sud dell'infrastruttura.

Bisogna poi ricordare tutte le differenti impostazioni tra i modelli a cui sono vincolati i partecipanti che hanno utilizzato modelli predittivi diversi dal metodo francese NMPB96.

Alla luce di questa analisi, considerando gli errori che maggiormente influiscono sui risultati, sono stati selezionati i laboratori che quasi sicuramente non hanno commesso errori notevoli. In tale analisi si è considerato che la correzione del suono riflesso in facciata sia stato un parametro non determinante sui livelli sonori calcolati, così come la temperatura e la larghezza delle carreggiate.

## 5. Risultati

Attraverso l'analisi degli z-score è possibile identificare i laboratori che presentano un'elevata percentuale di dati critici.

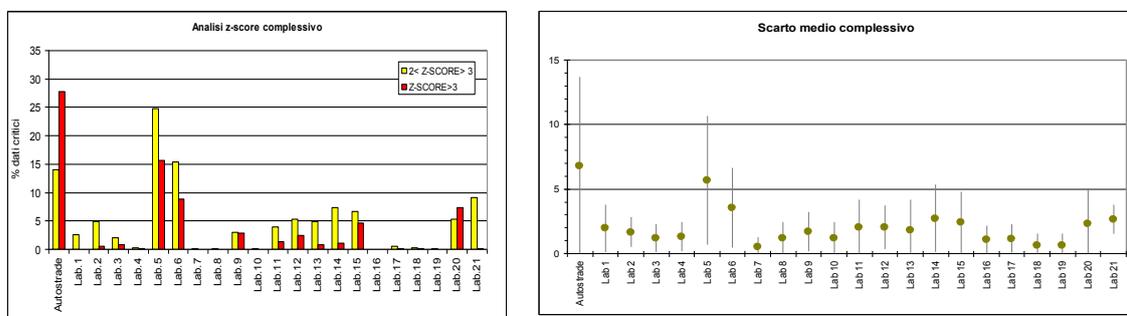


Figura 1: Analisi dello z score per ogni laboratorio

I laboratori 5 e 6 sono quelli caratterizzati dal maggior numero di criticità, superiori alle soglie di accettabilità in precedenza definite (10% di dati molto critici oppure 15% critici e 5% molto critici).

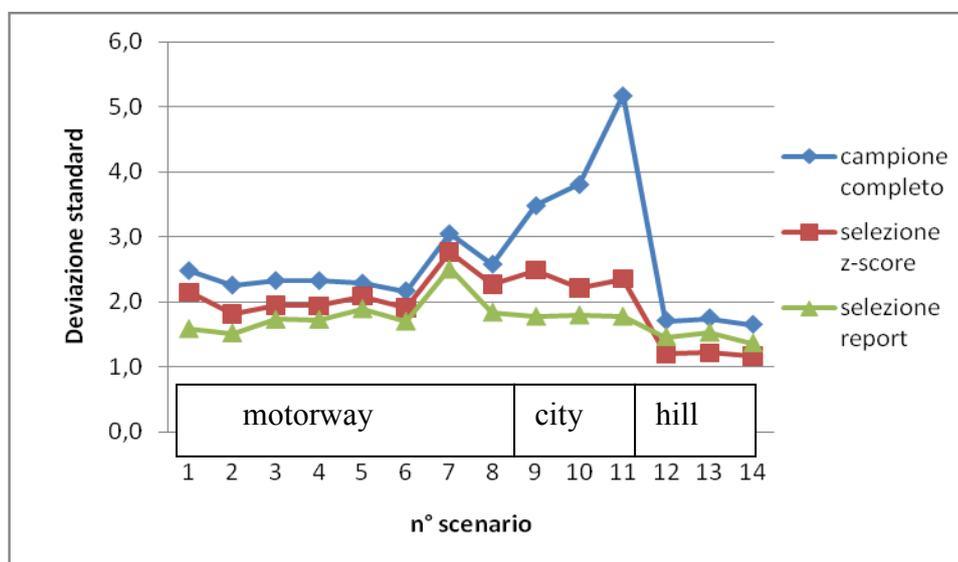
I laboratori 15 e 20 presentano anch'essi un numero di criticità non trascurabile (> 10% complessive), seppur entro le suddette soglie.

Le considerazioni effettuate attraverso l'analisi degli z-score trovano conferma nella valutazione degli scarti medi assoluti dei singoli laboratori, così come mostrato nella Figura 12.

I valori sono generalmente dell'ordine di 2dB, ad eccezione dei laboratori 5 e 6, che presentano valori rispettivamente di circa 6 e 4 dB.

Per quanto riguarda le deviazioni standard, i valori ottenuti senza considerare i dati critici (Lab.5, Lab.6) sono compresi tra 1.3 e 2.8 dB, in funzione dello specifico scenario considerato, con un valore medio complessivo di 2 dB.

Le variazioni tra i singoli scenari sono pertanto limitate e dovute essenzialmente alla complessità del contesto territoriale in cui è inserita la sorgente.



**Figura 2: Deviazione standard media per scenario**

Si noti che nel caso dei tre scenari Hill i risultati ottenuti con la selezione dai report sono peggiori di quelli ottenuti con lo z-score a causa di quanto detto per gli utilizzatori SOUNDPLAN.

In particolare si nota che lo scenario 7 è l'unico in cui la deviazione standard rimane superiore ai 2 dB, anche per il set di dati apparentemente senza gravi errori: poiché la morfologia è la stessa dello scenario 8 le deviazioni maggiori sono quasi sicuramente dovute all'implementazione delle condizioni meteorologiche. Infatti si ha una maggiore dispersione dei valori calcolati con software diversi.

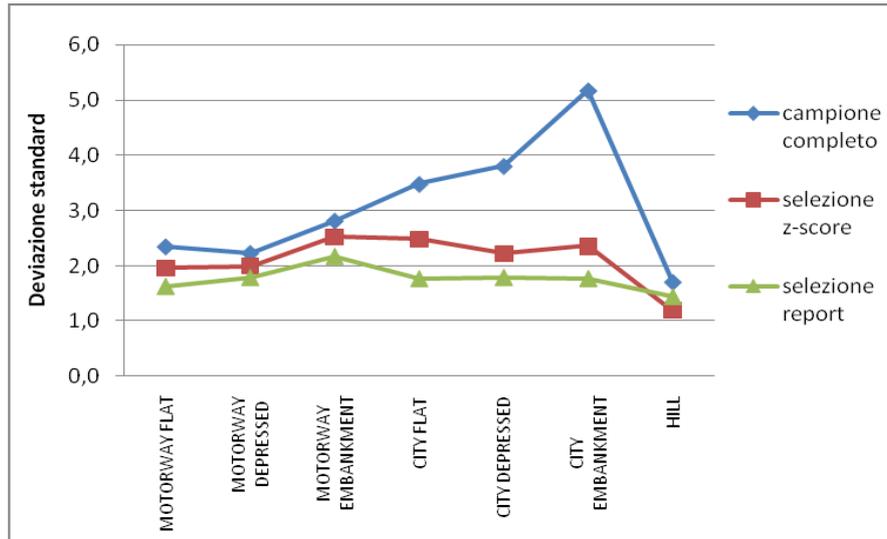


Figura 3: Deviazione standard media per scenari omogenei

## 6. Conclusioni

L'interconfronto ha permesso di analizzare le criticità di modellizzazione associate a diversi scenari, evidenziando alcune problematiche relative a impostazioni generali:

- Il numero di riflessioni e la loro attivazione;
- L'assorbimento del terreno è stato pensato secondo il default di IMMI complicando la modellizzazione per gli altri software (disomogeneità di difficoltà per i partecipanti). Inoltre tale fattore comporta differenze significative e non è chiaramente riportabile nei rapporti.
- I risultati sono condizionati non tanto dai parametri lasciati liberi quanto più da quelli disattesi o non verificabili per mancanza del dato nei rapporti (es: impostazioni sulla sorgente, sull'assorbimento del terreno, alla rappresentazione della morfologia del terreno etc...) e soprattutto dall'implementazione del modello da parte dei singoli software.

Dall'interconfronto non risulta chiaro se SOUNDPLAN produca dei risultati significativamente diversi o se siano stati i partecipanti a commettere delle inesattezze che hanno portato ad una sottostima di tutti i livelli prodotti con questo software: infatti, i partecipanti con tale software sono stati esclusi in determinati scenari, in quanto i loro dati sono affetti da errori di impostazione evidenti e quindi non è possibile ritenere tali risultati affidabili. Invece CADNA e IMMI forniscono dei valori compatibili tra loro e comunque affidabili visto il congruo numero di partecipanti.

Alcune conclusioni generali possono comunque essere tratte:

- Le dispersioni aumentano con i seguenti fattori: complessità dell'ambiente di propagazione, distanza dalla sorgente e conseguentemente con la riduzione dei livelli sonori.
- Le dispersioni ottenute sono molto probabilmente maggiori di quelle che si sarebbero registrate senza violazioni delle impostazioni richieste (ovvero un maggior livello di esperienza dei laboratori coinvolti aiuta a contenere l'intervallo di dispersione).

- I software IMMI e CADNA risultano più semplici (ma anche, di conseguenza, meno flessibili) di SOUNDPLAN nella messa a punto delle impostazioni, in quanto hanno evidenziato dispersioni minori in tutti gli scenari.

Infine si vuole sottolineare che, qualora si dovesse ripetere l'interconfronto, sarà necessario:

- Limitare il numero di scenari in base a ciò che effettivamente influenza i risultati senza duplicare la stessa tipologia di area (tra il Motorway e il City in ambito urbano non c'era sostanzialmente differenza).
- Aumentare il numero dei gruppi di lavoro e renderli omogenei per tipologia di software.
- Produrre dei file shape di input adeguati per tutti i tipi di software (considerando ad esempio i default di assorbimento del terreno dei diversi software).

## 7. Bibliografia

Esempio di elenco bibliografico numerato per un articolo su rivista [1], una memoria in atti di congresso o seminario [2], una monografia [3], una norma tecnica [4], un rapporto tecnico [5], una legge o un decreto [6] ed una pagina web [7].

- [1] CERTU, SETRA, LCPC, CSTB, French national computation method "NMPB-Routes-96" for Road Traffic Noise (January 1997).
- [2] ISO 13528:2005, *Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons*
- [3] ISO 9613-2:1996, *Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation*
- [4] JRC document