



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN INGEGNERIA CIVILE

---

TESI DI LAUREA

STUDIO DELL'INQUINAMENTO  
ACUSTICO DA TRAFFICO  
FERROVIARIO MEDIANTE MODELLI DI  
SIMULAZIONE

APPLICAZIONE A CASI REALI

Relatore:

Marco Pasetto

Laureando:

Alessandro Brigo

---

Anno Accademico 2013 - 2014

*Dedicato ai miei genitori*



# Introduzione.

---

Da sempre i trasporti hanno rappresentato un mezzo attraverso il quale è possibile diminuire le reciproche distanze, favorendo lo scambio di merci, di persone e quindi di cultura. Strade e più tardi ferrovie e aeroporti hanno fatto da cerniera fra popoli e territori diversi favorendo la reciproca integrazione. È proprio sapendo quale potere abbiano i collegamenti, che l'Unione Europea ha spinto sempre di più negli ultimi anni per saldare fra loro le reti di trasporto dei vari Paesi membri realizzando così un'unica ragnatela continentale di strade e binari.

È proprio su questi ultimi che l'UE punta maggiormente, riconoscendo nelle ferrovie il mezzo più efficiente ed economicamente sostenibile per le medio-lunghe distanze del nostro continente. Testimoni di ciò sono i diversi progetti di "corridoi europei", che quasi sempre coinvolgono in primis linee ferroviarie, o le svariate iniziative al fine di meglio cosa comporta e come effettivamente si svolge al giorno d'oggi il trasporto su ferro.

Se ciò è vero, è vero anche che puntare pesantemente sul trasporto ferroviario richiede la risoluzione di tutta una serie di problemi legati allo stesso, che nel dopoguerra ne ha progressivamente eroso l'appetibilità a favore del trasporto stradale ed aeroportuale. Non siamo qui per affermare che un tipo di trasporto sia meglio di un altro, anzi, è nostra ferma convinzione che debba crearsi la più totale interoperabilità tra gli stessi e non una spietata concorrenza; tuttavia, nell'ottica di rendere quanto più efficiente possibile il movimento di persone e merci è necessario che tutte le risorse a nostra disposizione (auto, treni, aerei, navi, ecc.) lavorino tutte al loro massimo, ed è evidente la difficoltà in tal senso delle ferrovie europee.

Queste ultime, sono attualmente molto indietro nella gara del trasporto merci rispetto alle autostrade e negli spostamenti a lungo raggio sono sempre più impensierite dal trasporto aereo. La costruzione di una nuova ferrovia non è più vista come un'opportunità dalla popolazione interessata, ma come un elemento disturbante, in quanto spesso non ne possono fruire immediatamente (ad esempio se la stazione è comunque distante) e perché il passaggio dei treni è comunque un'operazione piuttosto rumorosa. Negli ultimi anni la situazione è leggermente cambiata. Sotto la spinta dell'UE e delle singole compagnie di gestione delle ferrovie sono state introdotte delle innovazioni che hanno consentito di avere non solo treni più veloci, ma anche controlli sulla linea più efficienti, contribuendo così ad un nuovo vigore per questo modo di trasporto. L'introduzione dell'alta capacità/alta velocità ha poi svecchiato l'immagine delle ferrovie, ora viste come nuovo polo di innovazione e modernità in grado di garantire trasporti efficienti e rapidi, rivaleggiando con i velivoli per la maggior semplicità d'uso.

Nonostante queste considerazioni, però, rimane ancora un margine di capacità non ancora utilizzato e noi riteniamo che la cosa sia da imputare principalmente a tre motivi.

- La tecnologia disponibile sui convogli. Treni più veloci corrispondono a minor tempo nello spostamento e come dice il proverbio “il tempo è denaro”. Più saranno veloci i convogli e maggiori saranno le aziende che li utilizzeranno per muovere le proprie merci, oltre che maggiore sarà il numero di passeggeri che li utilizzeranno. La tecnologia non riguarda la sola velocità, ma anche l'economicità del trasporto. Tariffe più economiche non possono che far aumentare la domanda di nuovi mezzi e nuove linee.
- Il controllo sulle tratte. Se i treni sono veloci ma non abbiamo le tecnologie sulla linea in grado di permettere che più veicoli possano occupare la stessa linea in sicurezza, il vantaggio offerto dalla maggiore velocità viene meno. Ecco perché sono nati i sistemi di “blocco mobile” implementato su diverse linee europee. Il sistema ERTMS e simili, ha consentito di diminuire la distanza fra un treno e l'altro e di instradare più veicoli in brevi intervalli di tempo.
- La qualità e il modo in cui il trasporto ferroviario viene avvertito.

Riguardo a quest'ultimo punto ritengo ci si debba soffermare maggiormente, in quanto interessa direttamente il nostro lavoro di tesi ed il modo in cui questo si innesta nel lavoro di un ingegnere trasportista.

Molto spesso, forse troppo spesso, la figura dell'ingegnere, e nello specifico la figura dell'ingegnere dei trasporti è sempre e solo associata all'aspetto matematico di una progettazione. L'ingegnere è colui che si occupa di “far quadrare i conti”, assicurando che quanto è stato pensato sia fattibile in termini statici, o nel nostro caso, di capacità di una linea. Sembra quasi che il lavoro di un ingegnere non debba occuparsi della qualità di quanto viene costruito, lasciando che siano altri ad occuparsi di come un oggetto debba essere usato (pensiamo ad esempio al rapporto fra uno strutturista ed un architetto); anzi spesso, coloro che definiscono la forma o il modo in cui tale oggetto debba venir utilizzato, rappresentano una sorta di ostacolo al lavoro dell'ingegnere, che altrimenti potrebbe utilizzare soluzioni più semplici ed immediate. A nostro avviso tale atteggiamento è sbagliato e l'ingegnere moderno deve saper far i conti con il modo in cui l'elemento che sta progettando verrà usato, o con le conseguenze che tale uso avrà su chi lo utilizzerà. Tali affermazioni risultano ancora più chiare se le caliamo nella realtà di un ingegnere dei trasporti. Ciò che noi progettiamo sono linee di comunicazione più o meno visibili esse siano (pensiamo alle linee aeree) con cui le persone entrano direttamente in contatto, sia le utilizzino e sia che vi vivano semplicemente accanto. Pensare a massimizzare è il principale scopo della nostra professione, ma ciò ha effetti positivi solo verso coloro che utilizzano l'infrastruttura, mentre peggiora la situazione di coloro che convivono con l'infrastruttura. Molto spesso si tende a correggere tale situazione con un bilancio di opportunità e svantaggi: chi si vede costruire una strada vicino alla casa è consapevole che ciò creerà un disturbo negli anni a venire per via del rumore o dell'inquinamento, ma di contro avrà una via di comunicazione immediatamente accessibile. Tale esempio ci aiuta a capire come nel caso ferroviario la situazione sia ancora più difficile: la nuova infrastruttura non è immediatamente fruibile e il disturbo correlato è probabilmente avvertito come ancora più elevato. In definitiva, la bilancia pende decisamente verso gli svantaggi, ma stavolta senza la possibilità di porre ulteriori vantaggi sull'altro piatto.

La risoluzione di problemi simili riteniamo sia compito proprio dell'ingegnere moderno. Egli non deve limitarsi a “far quadrare i conti”, ma deve avere un occhio di riguardo per quali effetti avranno i suoi conti all'interno ed all'esterno della sua infrastruttura.

Se come abbiamo detto all'inizio l'UE vuole rilanciare il trasporto ferroviario, non deve farlo solo in termini di aumentata capacità, ma anche riabilitando un modo di fare trasporto che ha perso da tempo il lustro degli anni passati. Si deve fare in modo che un aumento di capacità (qualora vi fosse un'effettiva richiesta) non sia visto a prescindere come un aumento di confusione nelle linee ed un ulteriore disturbo per chi vive

nei pressi dei binari, ma come una nuova opportunità per le aziende del proprio territorio e per i propri spostamenti personali e ciò è ottenibile solo se verrà sottratta parte di quei svantaggi posti precedentemente sulla bilancia.

Ed è qui che si può comprendere il lavoro da noi svolto. Ovviamente, fra gli svantaggi legati al trasporto ferroviario, uno dei più evidenti è sicuramente il rumore ad esso legato. Esso costringe a porre una serie di limitazioni sulla velocità dei convogli e sugli edifici posti nelle vicinanze delle linee. Fino ad ora esso è stato combattuto attraverso l'imposizione di barriere o con dispositivi posti nei pressi dei recettori più sensibili, ma queste si sono rivelate solo dei palliativi, soluzioni parziali che risolvono il problema solo in poche e limitate aree. L'ingegnere ha il dovere di analizzare e per quanto possibile risolvere queste problematiche, di pari passo al modo con cui viene aumentata la capacità della linea stessa. Riteniamo che le due cose non possano essere trattate separatamente.

Quanto detto ci aiuta nel rispondere ad un'altra domanda. Dato che si parla dell'aspetto acustico, è proprio compito dell'ingegnere trasportista risolverlo? È ovvio come le soluzioni pratiche per realizzare convogli sempre meno rumorosi siano compito di ingegneri meccanici, ma come abbiamo visto, se è vero che il nostro lavoro consiste nel valutare e nel massimizzare la capacità di una linea, è anche vero che non possiamo farlo senza valutarne anche le conseguenze, anche in termini di emissioni acustiche. Le due cose, massimizzazione della capacità e miglioramento degli effetti sgradevoli che tale aumento avrebbe, vanno analizzate di pari passo.

Con questa introduzione vogliamo, quindi, giustificare il nostro lavoro agli occhi della più classica dottrina degli ingegneri dei trasporti, dimostrare che il nostro lavoro non consiste in semplici valutazioni matematiche, ma è anche attento nel valutare gli effetti del nostro stesso lavoro nell'ambiente in cui esso è collocato. Nel presente lavoro di tesi ciò avverrà per l'aspetto acustico, ma riteniamo che siano anche altri gli aspetti da valutare e contiamo che in futuro la nostra professione vi sarà sempre più attenta.



# Indice

---

Introduzione	5
Capitolo 1. Premesse per l'inquadramento del problema	13
Capitolo 1.1. Analisi e possibili soluzioni del rumore ferroviario	15
1.1.1. Le fonti del rumore ferroviario	16
1.1.2. La mitigazione del rumore ferroviario	18
1.1.2.1. Sistemi di riduzione del rumore ferroviario	18
1.1.2.1.1. Interventi sulla sorgente	18
1.1.2.1.1.1. Interventi sulla ruota	18
1.1.2.1.1.1.1. Riprofilatura della ruota	18
1.1.2.1.1.1.2. Freni in materiale composito tipo K	19
1.1.2.1.1.1.3. Freni in materiale composito tipo LL	21
1.1.2.1.1.1.4. Ruote silenziate con materiale viscoelastico	21
1.1.2.1.1.1.5. Ruote silenziate con assorbitori in acciaio e materiale polimerico	21
1.1.2.1.1.1.6. Ruote silenziate con anello assorbente	22
1.1.2.1.1.1.7. Ruote silenziate con assorbitori di vibrazioni	23
1.1.2.1.1.1.8. Lubrificazione della flangia	23
1.1.2.1.1.2. Interventi sul binario	24
1.1.2.1.1.2.1. Binari su platea flottante	24
1.1.2.1.1.2.2. Molatura acustica della rotaia	24
1.1.2.1.1.2.3. Smorzatori alla rotaia	25
1.1.2.1.1.2.4. Nuovi tipi di rotaia	26
1.1.2.1.2. Interventi sulla via di propagazione	26
1.1.2.1.2.1. Barriere anti rumore	27
1.1.2.1.2.2. Barriere basse	29
1.1.2.1.2.3. Barriere applicate sui convogli	29
1.1.2.1.3. Interventi sui recettori	30
1.1.2.1.3.1. Cappotto termico	30
1.1.2.1.3.2. Finestra ventilata	31
1.1.2.2. Provvedimenti per la mitigazione del rumore ferroviario	32
Capitolo 1.2. Normativa Italiana	37
1.2.1. DPCM 1 Marzo 1991 "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno"	37
1.2.2. L 447 26 Ottobre 1995 "Legge quadro sull'inquinamento acustico"	40
1.2.3. DPCM 14 Novembre 1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore"	42
1.2.4. DM 16 Marzo 1998 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico"	43
1.2.5. DPR 18 Novembre 1998 "Regolamento della Legge quadro in materia ferroviaria"	47
1.2.6. DM 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 di contenimento e di abbattimento del rumore"	49
1.2.7. Riassunto finale	50
Capitolo 1.3. Valutazione di impatto acustico	53
1.3.1. Dichiarazione Previsionale di impatto acustico (DPIA)	54

1.3.2.	Valutazione di impatto acustico ambientale (VIAA)	58
1.3.3.	Valutazione previsionale di impatto acustico (VPCA)	60
1.3.4.	Procedure semplificate	61
Capitolo 1.4. Normativa UNI-EN		62
1.4.1.	UNI-EN 1793-1 “Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Caratteristiche intrinseche di assorbimento acustico”	62
1.4.2.	UNI-EN 1793-2 “Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Caratteristiche intrinseche di isolamento acustico per via aerea”	65
1.4.3.	UNI-EN 1793-3 “Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Spettro normalizzato del rumore da traffico”	68
1.4.4.	UNI-EN 1793-4 “Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Caratteristiche intrinseche – Valori in situ della diffrazione sonora”	68
1.4.5.	UNI-EN 1793-5 “Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Caratteristiche intrinseche – Valori in situ della riflessione sonora e dell’isolamento acustico per via aerea”	69
1.4.6.	UNI-EN 14389-1 “Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Procedure di valutazione delle prestazioni a lungo termine – parte 1: Requisiti acustici”	72
1.4.7.	UNI-EN 1794 “Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Prestazioni non acustiche”	73
1.4.8.	UNI 11022 “Misurazione dell’efficacia acustica dei sistemi antirumore (insertion loss), per infrastrutture di trasporto, installati in ambiente esterno	76
1.4.9.	UNI-ISO 9613-2 “Attenuazione sonora nella propagazione all’aperto – Metodo generale di calcolo”	78
1.4.10.	UNI-ISO 1996 “Descrizione, misurazione e valutazione del rumore ambientale”	80
1.4.11.	Riassunto finale	83
Descrizione dell’attività di tesi		87
Capitolo 2. Rilievi fonometrici		89
2.1.	L’esperienza RFI	89
2.2.	L’esperienza del professor Farina nell’ambito della creazione di un database per il pacchetto DISIA	94
2.3.	Rilievi secondo la normativa italiana DM 16 Marzo 1998	95
2.4.	Scelta delle posizioni	96
2.4.1.	SITO 1. Vigonza	97
2.4.2.	SITO 2. Vigonza	100
2.4.3.	SITO 3. Mandria	103
2.4.4.	SITO 4. Vigodarzere	106
2.5.	Preparazione alle rilevazioni	109
2.6.	Strumentazione utilizzata	112
2.7.	Attuazione dei rilevamenti	113
2.7.1.	SITO 1-2. Giorno 1	114

2.7.2. SITO 1-2. Giorno 2	116
2.7.3. SITO 3	116
2.7.4. SITO 4	118
Capitolo 3. Discussione sui dati raccolti	121
3.1. Estrazione dei dati dallo strumento	121
3.2. Sistemazione dei dati secondo il tipo di treno	125
3.3. Conversione dei dati	129
3.4. Calcolo di SEL	133
3.5. Presentazione e discussione dei dati raccolti suddivisi in base alle tipologie di treno.	136
3.5.1. Freccia Bianca	137
3.5.2. Freccia Argento	145
3.5.3. Italo AV	153
3.5.4. Eurocity	161
3.5.5. Intercity	168
3.5.6. Regionale Veloce	174
3.5.7. Regionale	181
3.5.8. Mercati	191
3.5.9. Grafici riassuntivi	200
3.6. Presentazione e discussione dei dati raccolti suddivisi in base alle tipologie di locomotiva.	209
3.6.1. E656	210
3.6.2. E464	212
3.6.3. ALn 506-426	214
3.6.4. ALn 501-502	216
3.6.5. ALn 668	218
3.6.6. E 190	220
3.6.7. E 402 ETR	222
3.6.8. E 414	224
3.6.9. AGV 575 AV	226
3.6.10. ETR 600	228
3.6.11. ETR 610	230
3.6.12. Grafici riassuntivi	232
Capitolo 4. Citymap	239
4.1. Introduzione al programma	239
4.2. Funzionamento dell'algoritmo di calcolo di CITYMAP	246
4.3. DISIAPYR	247
4.4. Applicazione pratica in CITYMAP	248
4.4.1. SITO 1-2	254
4.4.2. SITO 3	256
4.4.3. SITO 4	258
4.5. Confronto con i dati rilevati	259
4.6. Taratura del modello	261
4.7. Confronto fra le simulazioni	266
4.8. Considerazioni conclusive	267
Capitolo 5. Considerazioni finali	269
Bibliografia	272

## Capitolo 1

# Premesse per l'inquadramento del problema.

---

Presentiamo di seguito alcune utili indicazioni riguardo al problema dell'inquinamento ferroviario. Come abbiamo già visto in precedenza, si tratta di un problema di non poco conto che ha interessato sia i legislatori che tutte quelle aziende che hanno a che fare con la riduzione delle emissioni, sia perché sono chiamate a ridurle per legge, sia perché propongono dispositivi in grado di assolvere tale scopo.

Tale parte della tesi, che potremmo definire come una sorta di introduzione teorica all'argomento sarà suddivisa in 4 parti:

- **Capitolo 1.1 – Analisi e possibili soluzioni del rumore ferroviario.** Si tratta di una presentazione di tutti i dispositivi e di tutte le iniziative che nel corso del tempo sono state proposte per risolvere questo problema. Il capitolo inizia con una descrizione della natura del rumore nelle ferrovie, in modo da inquadrare subito il fenomeno fisico di cui parleremo
- **Capitolo 1.2 – Normativa italiana.** Ovvero tutte le leggi e decreti che, fino al 2013, è necessario tener presente per affrontare il problema del rumore
- **Capitolo 1.3 – Valutazione di impatto acustico.** Come già prescritto dalla normativa italiana, ciascuna nuova o vecchia costruzione deve fare fronte ad un eventuale superamento dei limiti acustici. Tale superamento fa scattare una procedura definita VIAA definita da un regolamento Regionale datato 2001. Tale documento permette di avere ben chiaro l'impatto che le opere hanno nel clima acustico locale.
- **Capitolo 1.4 – Normativa UNI-EN.** Contiene tutte le leggi UNI-EN che trattano in qualche modo del calcolo del rumore o dell'omologazione di dispositivi anti-rumore. In particolare vengono trattate le barriere anti-rumore, ormai assunte come principale soluzione ad emissioni fuori norma.

## Capitolo 1.1

# Analisi e possibili soluzioni del rumore ferroviario.

---

Un'indagine promossa nel 2010 dall'Unione Europea ha messo in luce come 12 milioni di persone, siano sottoposte a livelli di rumore considerati "disturbanti" per via dell'esercizio ferroviario. Con ciò vogliamo dire che una buona fetta di europei che vive o lavora nei pressi di un'infrastruttura ferroviaria è esposta a livelli di rumore superiori a 55 dB(A) diurni o 50 dB(A) notturni. Se poi aggiungiamo che tale indagine ha riguardato solo centri abitati superiori ai 250000 abitanti e in cui abbiamo un traffico ferroviario sostenuto (oltre 60000 treni l'anno), l'immagine che emerge è piuttosto preoccupante. Il rumore, quindi, diviene uno dei principali ostacoli per un ulteriore sviluppo del servizio su rotaia, visto da coloro che si ritroverebbero nei pressi delle nuove infrastrutture come "fastidioso" e quindi trascurato a favore di altri modi di trasporto.

L'Unione Europea, dal canto suo, ritiene che lo sviluppo delle linee ferroviarie interstatali sia una risorsa fondamentale attraverso la quale migliorare lo spostamento di merci in territorio europeo e quindi l'integrazione economica fra gli Stati membri. Per questo motivo essa sta tentando di promuovere una serie di iniziative e di progetti pilota attraverso i quali ridurre sensibilmente le emissioni rumorose e ridare così nuovo slancio allo sviluppo della rete ferroviaria europea.

Nel territorio europeo il problema del rumore causato dal passaggio dei convogli (che rappresenta la principale fonte di rumore, anche se potremmo aggiungervi anche il rumore causato da servizi accessori legati alla movimentazione vera e propria) è stato affrontato con l'installazione di barriere acustiche o di finestre insonorizzate. Osserviamo, però, che tali provvedimenti, oltre che essere molto costosi si rivelano interventi fortemente localizzati e, in certi casi, poco efficaci. Le barriere possono schermare recettori posti entro una certa altezza, mentre non offrono alcun vantaggio per utenti posti ad altezze considerevoli (vedi nei condomini); inoltre, indipendentemente dall'altezza, le barriere normalmente usate permettono un abbassamento massimo di 10 dB, a fronte di un impatto visivo spesso sgradevole. Dal canto loro le finestre insonorizzate permettono di tutelare un'unità abitativa alla volta limitando fortemente la libertà di fruizione dei suoi occupanti, che non possono aprire le finestre (per esigenze di aerazione) pena la perdita completa di efficacia del provvedimento. A questo va aggiunto un costo tutt'altro che indifferente. Per far fronte ai problemi posti da questi due provvedimenti l'Unione Europea ha promosso una politica di riduzione del rumore alla fonte, ritenendo che questa sia l'unica via sensata per ottenere una riduzione dell'impatto acustico lungo l'intera estensione del tracciato ferroviario e diminuire i costi della successiva bonifica economica.

Del resto avevamo visto nel DM 29 Novembre 2000 come gli interventi di riduzione del rumore dovessero valutare provvedimenti prima sulla sorgente, poi eventualmente sulla via di propagazione e solo in ultima analisi sul recettore. Possiamo dire che l'indirizzo italiano segue quello europeo.

L'uso di barriere e gli interventi sui recettori viene comunque contemplato, ma solo come eventuale tutela ulteriore di specifici recettori quando i livelli di rumore si mantengano su livelli ancora troppo elevati.

Nel corso di questa sezione esporremo i principali provvedimenti che l'Unione Europea ha individuato come già attuabili nell'ottica della tutela acustica, separandoli in base al tipo di sorgente su cui agiscono e valutandone i pro e i contro. Per poter capire il principio su cui tali provvedimenti si basano è necessario descrivere le sorgenti di rumore dei convogli ferroviari in movimento.

### 1.1.1 Le fonti del rumore ferroviario.

Se con "rumore ferroviario" intendiamo il rumore legato solamente alle sorgenti collocate sul mezzo ferroviario o eventualmente sui binari, e non quello eventualmente causato da infrastrutture o elementi accessori comunque indispensabili per permettere la circolazione, possiamo suddividere le sorgenti di rumore in 3 diverse famiglie:

- a) Rumore causato dalla mutua interazione ruota-rotaia.

È la principale fonte di rumore per velocità intermedie (fra 60 e 200 km/h) e riguarda tutti i tipi di treni.

L'origine è da attribuire alle asperità presenti sulla ruota e sulla rotaia dovute alla non perfetta rigidità degli elementi (per quanto il materiale abbia un modulo elastico elevato è comunque un valore finito) o alla loro naturale usura. In tali condizioni sia la ruota che la rotaia (anche se il processo coinvolge l'intera sala montata e l'intero binario) si mettono in vibrazione generando rumore. Non solo, ma la presenza di asperità può dare origine ad una componente "impattiva" di rumore, causata dalla collisione fra le micro-asperità stesse. Uno studio (progetto CALM) ha mostrato come tali asperità generino un rumore contenuto quando l'impronta che la ruota realizza sulla rotaia sia di dimensioni superiori alle imperfezioni delle superfici. Questo ci porta a dire che, ammessa l'impossibilità di render completamente lisce le superfici, si possa comunque avere una sensibile diminuzione di questa componente di rumore attraverso una manutenzione ordinaria orientata in tal senso.

Il rumore causato dall'interazione ruota-rotaia diviene ancor più evidente in tratti specifici delle linee, in cui il piccolo raggio di curvatura dei binari può dare origine a uno "squeal noise", ovvero uno stridìo particolarmente fastidioso originato dall'entrata in risonanza della rotaia per una data frequenza di vibrazione. Da questo punto di vista una più attenta regolamentazione nella progettazione delle linee potrebbe contribuire ad abbattere tali componenti.

Tale componente è però limitata nello spazio ad un'area individuabile tracciando un piano a 30° sopra e sotto il piano del ferro. Per questo motivo spesso le barriere anti-rumore si rivelano efficaci nel contenere tale componente.

- b) Rumore causato dai motori, dagli impianti di condizionamento o da altri impianti.

È la componente principale del rumore quando il convoglio sosta nelle stazioni (quello che le specifiche tecniche di interoperabilità definiscono stazionamento) o comunque quando la velocità è contenuta entro i 60 km/h.

L'origine di tale rumore è rappresentata dagli impianti collocati nei treni ed ovviamente cambia a seconda del treno stesso (gli impianti montati sui treni passeggeri sono diversi da quelli installati sui treni merci). Anche il tipo di locomozione ha un ruolo fondamentale nel definire le emissioni di un mezzo: i motori diesel sono molto più rumorosi di quelli elettrici.

I provvedimenti da adottare per limitare tale componente sono da valutare in fase di progettazione del mezzo stesso o di scelta degli impianti.

c) Rumore aerodinamico.

È la principale causa di rumore per velocità superiori a 200 km/h.

È legato alla forma del mezzo e all'impatto che l'aria ha con esso a velocità sostenute. Oltre la soglia dei 200 km/h ogni asperità o discontinuità del mezzo diventa causa di rumore. Dato che la stessa separazione del convoglio in vagoni può essere una potenziale sorgente, si cerca di limitare al massimo tali spazi. Anche la forma più aerodinamica delle locomotive ha questo scopo (oltre che ovviamente uno scopo in termini di maggiori velocità raggiunte)

Il grado di emissioni di un mezzo è, inoltre, legato a doppio filo con la velocità del mezzo stesso, non solo nel determinare la componente di rumore preponderante fra le tre appena elencate, ma anche nel decidere la frequenza con cui le componenti del treno vengono sollecitate, e quindi nelle frequenze di suono emesse. La componente di rumore legata all'interazione ruota-rotaia si abbassa di 10 dB se si dimezza la velocità di percorrenza.

Tutti i progetti europei finalizzati a testare i diversi provvedimenti anti-rumore disponibili nel mercato, hanno quindi svolto tali prove in relazione a diverse velocità di percorrenza.

Di seguito riportiamo un grafico nel quale apprezzare le componenti di rumore preponderanti alle diverse velocità (fonte ISPRA).

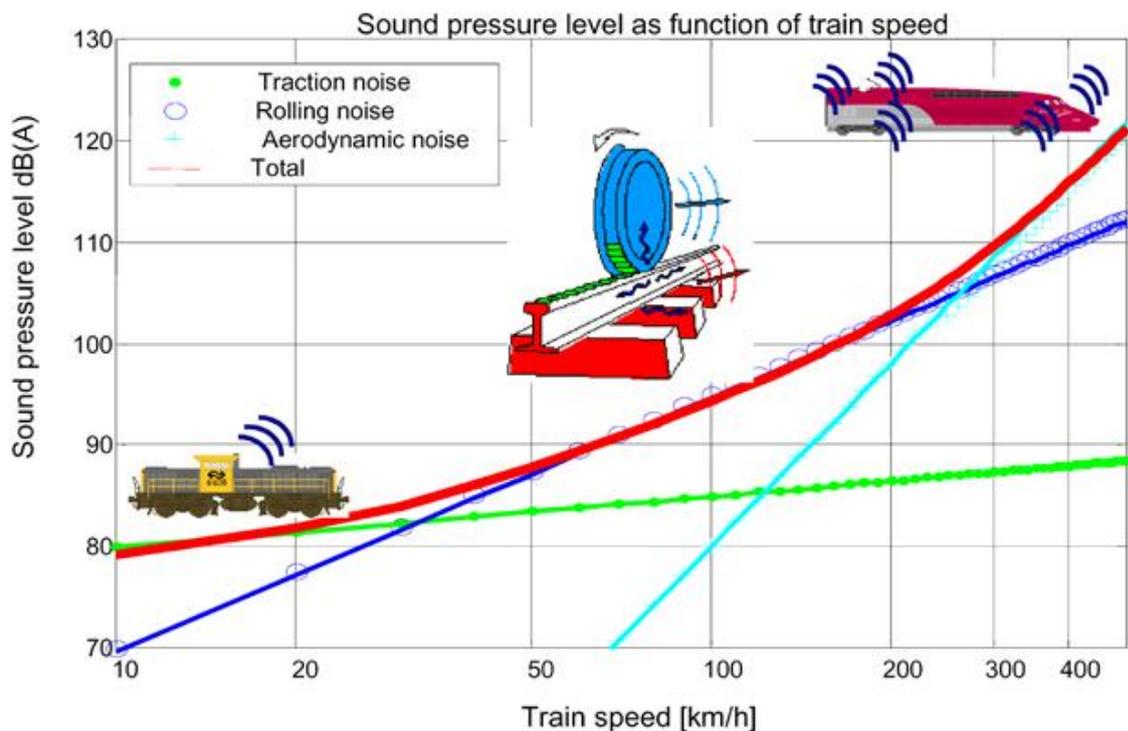


Figura1. Grafico che illustra le componenti dominanti del rumore ferroviario per diverse velocità.

Alle sorgenti così individuate possiamo affiancare altre cause di rumore ferroviario quale quello dovuto ai segnali acustici dei convogli (il classico fischio) o il rumore registrabile nei piazzali di sosta durante la movimentazione dei treni.

Nel primo caso si tratta di un rumore ad alta frequenza che, per ovvi motivi di sicurezza, non può essere rimosso, ma solo regolamentato a specifiche situazioni di utilizzo.

Nel secondo caso si tratta di una serie di differenti sorgenti (treni in partenza, in movimento, in arrivo) che possono essere gestite attraverso un'attenta programmazione delle operazioni da svolgersi.

### **1.1.2 La mitigazione del rumore ferroviario.**

Premettiamo subito che la materia in esame è più complessa di quanto non possa apparire da un'analisi superficiale. Esistono diversi approcci al problema e diverse soluzioni. Possiamo offrire a tal proposito una distinzione iniziale in "sistemi di mitigazione" ed in "provvedimenti per la mitigazione".

Nel primo gruppo rientrano tutti quei sistemi prodotti da diverse aziende in Europa, che vengono fisicamente installati sul materiale rotabile, sull'infrastruttura ferroviaria o sui recettori. Si pone quindi l'accento sul carattere fisico di tali sistemi che intervengono direttamente alla fonte del rumore.

Nel secondo gruppo comprendiamo tutti quei provvedimenti che in sede europea si sono adottati o si ha intenzione di adottare nell'immediato futuro in modo da promuovere politiche anti-rumore nei diversi Stati o nelle singole compagnie ferroviarie con lo scopo di premiare quelle virtuose in tal senso ed escludere dal mercato le altre, sfruttando la politica "liberista" che l'Unione Europea ha adottato nell'ultimo ventennio in fatto di gestione del servizio ferroviario.

In entrambi gli indirizzi l'Unione ha promosso progetti pilota in diversi Stati con lo scopo di verificarne la bontà per poi estenderli all'intero territorio comunitario.

#### **1.1.2.1 Sistemi di riduzione del rumore ferroviario.**

Il decreto 29 Novembre 2000, che disciplina i tipi di interventi adottabili in caso di riduzione del rumore, stabilisce un ordine di priorità secondo il quale programmare gli interventi consigliando di intervenire prima di tutto sulla sorgente, poi eventualmente sulla linea di propagazione del suono ed, in ultima analisi, sul recettore.

Nell'esposizione che segue cercheremo di suddividere i sistemi che presenteremo con la medesima logica, valutando prima gli interventi che riguardano le fonti del disturbo, per poi passare agli interventi che modificano il mezzo di propagazione, arrivando agli interventi direttamente eseguiti sul ricevitore.

##### **1.1.2.1.1. Interventi sulla sorgente.**

Come abbiamo visto, le possibili sorgenti di rumore individuabili sul convoglio sono diverse. Abbiamo anche osservato come il rumore preponderante per velocità medie e per qualsiasi tipo di mezzo è dovuto all'interazione fra ruota e rotaia e sarà proprio su tale sorgente che ci concentreremo nelle pagine che seguono. Le altre fonti, dal pantografo, ai sistemi di condizionamento, dal rumore del motore, al rumore aerodinamico sono risolvibili con studi specifici sulla macchina stessa: il problema del pantografo può essere eliminato adottando profili più aerodinamici, così come il rumore aerodinamico può essere risolto attraverso profili appositi dei mezzi. Riguardo il rumore provocato dagli impianti o dal motore, le uniche soluzioni possibili possono essere quello di utilizzare sistemi quanto più silenziosi possibili o disposizioni tali da minimizzare il disturbo per gli utenti. A tal riguardo le Specifiche Tecniche di Interoperabilità denominate STI-Rumore parlano anche di un disturbo riguardante l'utenza interna al mezzo. Anche a tal riguardo si dovrà intervenire con progettazioni mirate o con sistemi isolanti alternativi.

##### **1.1.2.1.1.1 Interventi sulla ruota.**

Riguardo alla ruota del convoglio, sono diversi gli interventi analizzati dai diversi progetti promossi dall'UE.

###### **1.1.2.1.1.1.1 Riprofilatura della ruota.**

Riconoscendo l'importanza che la rugosità superficiale della ruota ha nella propagazione del rumore, un primo intervento consiste nella RIPROFILATURA DELLA RUOTA. Questa è un'operazione di manutenzione ordinaria che mira ad intervenire sulle imperfezioni che si creano sulle ruote dei mezzi per via della naturale

usura o dell'azione dei freni, ristabilendo una condizione di relativa levigatezza che riduce sensibilmente la componente rumorosa generata.

Va comunque osservato come si tratti di un intervento parziale, in quanto la vera sorgente del rumore è rappresentata dall'interazione fra ruota e rotaia, per cui l'intervento appena descritto diventa pressoché inutile se non viene seguito da una molatura acustica della rotaia.

Si è inoltre verificato come il tipo di freni adoperato influisca notevolmente sullo sviluppo della rugosità: freni a ceppi di ghisa sono da questo punto di vista sconsigliati, in quanto comporterebbero una riduzione dell'intervallo di tempo fra due manutenzioni consecutive.

Infine, se da un lato rappresenta un intervento relativamente efficace (riduzioni fino a 4 dB(A)), ed è comunque un intervento di carattere ordinario, non rappresenta di certo una soluzione economica. Si parla anche di 3000 euro a ruota, o comunque di macchinari per la riprofilatura del costo di 350.000 euro.

Efficacia: 4 dB (A)

Costo: 3.000 euro/ruota o 350.000 euro per l'intero macchinario

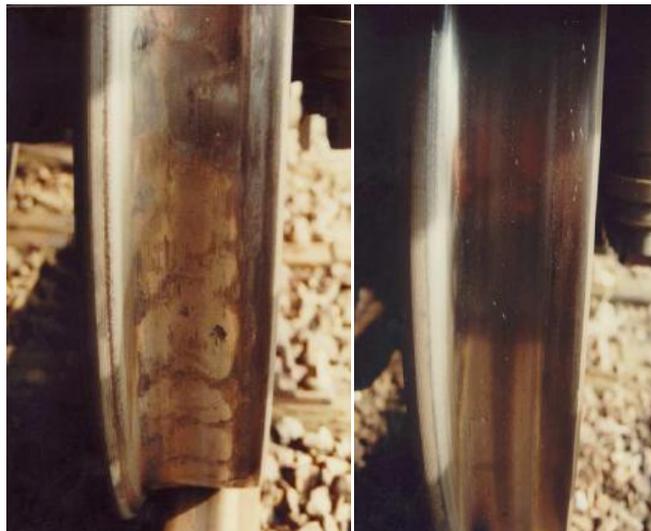


Figura 2. Effetti della riprofilatura della ruota. A sinistra prima dell'intervento, a destra dopo l'intervento.

#### **1.1.2.1.1.2 Freni in materiale composito tipo K.**

Sempre nei riguardi della ruota, un altro possibile intervento consiste nella sostituzione del tipo di freni. A tale proposito avevamo osservato come alcuni tipi di freni (a ceppi di ghisa) risultino molto più degradanti rispetto ad altri, ma il problema non finisce qui. Molti studi di settore hanno individuato nei freni a ceppi di ghisa una delle fonti principali di rumore nell'ambito della circolazione ferroviaria nella fase di frenatura; tanto che la loro semplice sostituzione comporta diminuzioni di emissioni nell'ordine dei 10 dB (più o meno come l'interposizione di una barriera). Di seguito proponiamo la diversa usura delle ruote per azione di un freno a ceppi di ghisa e un freno a ceppi di materiale composito.



Figura 3. Effetti dell'azione dei freni sulla ruota. A sinistra l'effetto di un freno a ceppi di ghisa. A destra l'effetto di un freno di materiale composito. Si notino le diverse asperità che si vengono a creare.

Il principio dei freni ferroviari a ceppi di ghisa è quello di un elemento che direttamente preme sulla ruota determinandone così il deterioramento accelerato. A questo va aggiunto il calore che si viene a sviluppare nel corso del processo, che comunque nel caso della ghisa, viene dissipato per buona parte dal freno stesso.

Il problema principale consiste nel fatto che il freno a ceppi di ghisa ha rappresentato lo standard per tutto il materiale rotabile europeo (nel 2006 si stimava che circa il 97% del parco ferroviario continentale adottasse questo tipo di tecnologia) e diviene difficile cambiarlo improvvisamente, anche perché, alla rumorosità si affiancano diversi vantaggi. Oltre alla già citata capacità di disperdere buona parte del calore (attorno al 30%) generato in frenatura, possiamo citare la sostanziale indipendenza di comportamento rispetto alle condizioni atmosferiche o la grande aderenza che il freno riesce ad avere con la superficie della ruota.

Ad ogni modo la sostituzione dei freni a ceppi di ghisa con freni a ceppi di materiale composito rappresenta uno dei punti cruciali attraverso cui abbattere le emissioni sonore nell'immediato futuro.

Fra le tecnologie proposte troviamo i FRENI COMPOSITI TIPO "K". Questa rappresenta, ormai da diversi anni, la principale alternativa alla ghisa con buoni risultati in termini di minori emissioni (10 dB(A) in meno). Lo sviluppo di questa tecnologia è stata spesso rallentata dall'aumento di distanza necessaria per la frenatura, specie nei climi più freddi, e per il fatto che, non essendo in grado di dissipare parte del calore accumulato in fase di frenatura, tende a stressare la ruota. Inoltre, la loro installazione richiede una revisione completa dell'impianto frenante con costi consistenti specie se pensiamo che l'intervento deve essere esteso a diverse ruote per convoglio. D'altro canto si è rivelata una soluzione vincente in termini di efficacia del bloccaggio delle ruote e nel fatto di poter essere facilmente affiancato al sistema di frenatura classico, riducendo così il totale delle ruote da sostituire.

Nel corso del tempo tale tecnologia si è evoluta e i freni compositi di tipo K attuali sono più economici dei vecchi freni di ghisa e rispondono meglio che in passato alle condizioni atmosferiche più rigide.

Per questi motivi i freni K sono promossi dall'Unione Europea come uno dei principali interventi da attuare nell'immediato futuro per ridurre le emissioni. Tale riduzione si può considerare significativa se il numero di freni in ghisa per treno si abbasserà al di sotto del 35%. Dal canto loro i gestori dei servizi ferroviari tendono ad essere scettici su tale soluzione, visto che sarebbero costretti a modificare sensibilmente gli impianti frenanti dei propri mezzi ed anche perché attendono gli sviluppi dei progetti legati ai freni a ceppi in materiale composito di tipo "LL"

Efficacia: 8-10 dB(A)

Costo: 4.500-8.500 dB(A) a ruota

#### **1.1.2.1.1.3 Freni in materiale composito tipo LL.**

Rappresentano la nuova soluzione in ambito di sistemi frenanti e cercano di ovviare ai problemi dei vecchi freni a ceppi di ghisa di cui abbiamo parlato precedentemente. Sono la soluzione cui diversi produttori stanno guardando per risolvere il problema delle emissioni con uno sforzo economico limitato.

Dal canto loro si comportano esattamente come un freno a ceppo di ghisa, ma sostituiscono tale materiale con un materiale composito acquisendone tutti i vantaggi in termini di minor rumorosità. I primi test hanno permesso di valutarne anche il comportamento in termini di sforzo frenante, verificando come le performance siano molto simili a quelle dei freni classici e dei freni a K.

I primi test svolti in Svizzera alcuni anni fa hanno evidenziato una carenza nel comportamento dei freni nelle pendenze alpine, tuttavia, le caratteristiche simili a quelle del tipo K e soprattutto il fatto di potersi installare durante una classica sostituzione periodica dei freni (si tratta semplicemente di cambiare il materiale d'attrito anziché l'intero sistema frenante) lo rendono particolarmente appetibile per i gestori del materiale rotabile.

Efficacia: 6-8 dB(A)

Costo: identico a quello di una ordinaria sostituzione dei freni.

#### **1.1.2.1.1.4 Ruote silenziate con materiale viscoelastico.**

Si tratta di una soluzione relativamente recente sviluppata da alcune aziende europee. La soluzione consiste nell'applicazione di un pannello metallico sulla cartella della ruota stessa, mediante l'uso di un apposito adesivo viscoelastico. L'applicazione ha lo scopo di realizzare una sorta di primo isolamento per ogni emissione proveniente dalla ruota stessa.

Il sistema ha presentato diversi vantaggi per la facile applicazione e per la durata dell'intervento, che, vista la buona resistenza agli agenti chimici e fisici esterni, corrisponde alla durata della vita della ruota stessa. Inoltre ha un impatto limitato sul complesso del carrello, dato che altera di poco il suo peso e le sue caratteristiche fisiche o di resistenza.

Il sistema è adottabile solo per ruote con freni a disco ma sono in fase di studio dei sistemi per renderlo compatibile con ruote frenate da ceppi di ghisa.

Efficacia: 4-5 dB(A)

Costo: Dipende dall'azienda.



Figura 4. Ruote silenziate dopo l'applicazione del rivestimento visco-elastico.

#### **1.1.2.1.1.5 Ruote silenziate con assorbitori in acciaio e materiale polimerico.**

Si tratta anch'essa di una soluzione innovativa realizzata da alcune aziende europee e testata (fin'ora) solo su linee olandesi.

La soluzione prevede l'installazione su ciascuna ruota di un anello elastico cui vengono collegate delle appendici di materiale composito metallico-polimerico con lo scopo di fungere da primo isolante nella propagazione del rumore, specie per alcune frequenze specifiche. Il sistema si è rivelato particolarmente efficace nel ridurre lo "squeal noise" ovvero lo stridio in curva (con abbattimenti di 13 dB(A)).

Il sistema è concepito per ruote con freni a ceppi, di convogli urbani e non, che possiedono la caratteristica di surriscaldare la ruota in fase di rallentamento. L'anello elastico ha, infatti, la duplice caratteristica di adattarsi al meglio alle eventuali modifiche di forma della ruota, nonché di isolare le appendici metalliche. Efficacia: 3 dB(A) / 13 dB(A) riguardo allo squeal noise.

Costo: Dipende dall'azienda.



Figura 5. Ruota silenziata con assorbitori in acciaio.

#### **1.1.2.1.1.6 Ruote silenziata con anello assorbente.**

Si tratta di dispositivi che vengono applicati sulla cartella della ruota e abbattano le emissioni intervenendo, come nei casi visti precedentemente, sulla natura vibratoria della ruota stessa. Si rivelano spesso efficaci negli interventi volti ad abbattere lo squeal noise.

Esistono dispositivi, a tal proposito, costituiti da diversi elementi metallici che vengono sovrapposti a sandwich con l'interposizione di materiale elastico. In questo caso la vibrazione della ruota viene trasformata in forza d'attrito fra i diversi elementi del dispositivo e quindi dissipata.

Si sono rivelati particolarmente efficaci nel caso di freni a ceppi (vedi il trasporto merci), in quanto sono particolarmente adattabili al cambiamento di forma e di temperatura della ruota.

La principale limitazione di tali soluzioni risiede nella difficile installazione di alcuni modelli. Infatti, se da un lato alcuni di questi possono essere collocati e rimossi dalla ruota abbastanza facilmente (sono inseriti in appositi incastri che devono preventivamente essere eseguiti sulla ruota stessa), altri richiedono procedure più complicate che ne possono far lievitare il prezzo.

Efficacia: 10-20 dB(A) nello squeal noise

Costo: Nei casi più costosi anche 2000-3000 euro a ruota.

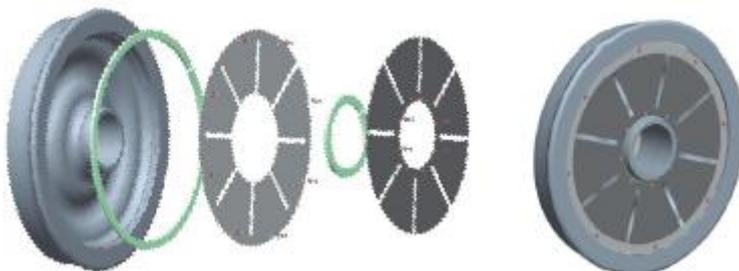


Figura 6. Montaggio di un silenziatore di ruota ad anello assorbente. Le sue diverse componenti dissipano in attrito l'energia sonora altrimenti emessa.

#### **1.1.2.1.1.7 Ruote silenziate con assorbitori di vibrazioni.**

Corrispondono ad interventi molto simili che analizzeremo più tardi con riferimento agli interventi sul binario. Si tratta di appositi assorbitori di vibrazioni che vengono collegati alla parte più esterna della ruota. Come nei casi precedenti, e come nel caso dei binari che vedremo successivamente, tali dispositivi sono in grado di dissipare le vibrazioni che darebbero origine al rumore. Se installati in numero adeguato su un sufficiente numero di ruote, consentono discrete riduzioni.

Efficacia: 7 dB(A) –secondo altre fonti 13- 35 dB(A)

Costo: 250-550 euro per ruota.



Figura 7. Assorbitori di vibrazioni installati su una ruota. Corrispondono ai dispositivi rettangolari grigi che vediamo tutt'attorno la ruota stessa.

#### **1.1.2.1.1.8 Lubrificazione della flangia.**

Tale intervento può essere riferito sia alla ruota che alla rotaia e cerca di porre rimedio alle imperfezioni di questi due elementi interponendo una sostanza lubrificante nell'interfaccia di contatto fra i due elementi.

Nel caso della ruota, si tratta di inserire a bordo di ciascun veicolo un erogatore della sostanza, che viene spruzzata sul binario prima del passaggio del convoglio, allo stesso modo con cui la sabbia viene spruzzata per aumentare l'attrito del mezzo.

Nel caso della rotaia si tratta di appositi ugelli che vengono inseriti in un foro ricavato nella rotaia. Essi sono collegati a centraline, nelle quali si trova il serbatoio del liquido, che deve essere periodicamente riempito durante la manutenzione ordinaria. Ovviamente il sistema diventa efficiente se dotato anche di un sistema di rilevazione del convoglio in transito, che attiverà l'erogazione. La possibilità di estendere il sistema a soli brevi tratti della linea lo ha reso appetibile per risolvere situazioni puntuali.

Il sistema a rotaia (così come quello a ruota) si sono rivelati abbastanza efficienti, specie se localizzati nei tratti ritenuti "critici", come curve strette o luoghi particolarmente sensibili. Data l'impossibilità di porre barriere anti-rumore e di evitare curve strette questo sistema è particolarmente efficiente nei centri urbani e nella circolazione urbana dei tram.

Efficacia: In alcuni casi è in grado di eliminare quasi completamente il rumore.

Costo: 1.800 per veicolo nel caso di installazione a bordo e 150 euro per ogni ricarica.

#### **1.1.2.1.1.2 Interventi sul binario.**

Gli interventi sul binario mirano a "completare" gli interventi svolti sulle ruote. Con "interventi sui binari" possiamo comprendere una serie di soluzioni che vanno al di là di interventi localizzati sulla rotaia, ma possono comprendere anche interventi sull'intero complesso della sovrastruttura ferroviaria.

##### **1.1.2.1.1.2.1 Binari su platea flottante.**

Con questa voce vogliamo comprendere in generale tutti gli interventi riguardanti l'intera sovrastruttura ferroviaria. In molti casi, specie su ponti in ferro o altri punti particolari del tracciato, non è tanto l'interazione ruota-rotaia che genera la componente principale di rumore, ma quanto la vibrazione dell'intero complesso che sostiene i binari.

Un esempio in tal senso si può trovare in un intervento svolto a Pisa in un ponte metallico nei pressi della città. In questo caso si è deciso di intervenire cercando di limitare al massimo la vibrazione dell'intero complesso del ponte attraverso l'inserimento di pannelli assorbenti e di altre soluzioni fra quelle che vedremo nel seguito. Come vediamo, quindi, il problema del rumore ferroviario può essere affrontato in diversi modi, anche con soluzioni non standardizzate ma pensate in relazione al problema da risolvere.

Un altro esempio di intervento sull'intera sovrastruttura è quello della platea flottante. In questo caso si adotta un principio che sarà più tardi richiamato quando parleremo di smorzatori alla rotaia.

Essenzialmente consiste nell'utilizzare platee prefabbricate che vengono "immerse" in materiale resiliente in grado di assorbire le vibrazioni. In questo modo, al passaggio del treno, l'intero complesso della sovrastruttura vibra come un corpo unico binari compresi. Tale vibrazione viene, tuttavia, dissipata dall'azione del materiale in cui la sovrastruttura è adagiata e contrasta le emissioni rumorose.

Essendo un intervento abbastanza costoso si tende a preferirlo su zone puntuali (vedi ponti o altro) nelle quali risulta facile l'uso di elementi prefabbricati.

##### **1.1.2.1.1.2.2 Molatura acustica della rotaia.**

Rappresenta l'altra faccia della riprofilatura delle ruote e di fatto è inutile senza quest'ultima.

Il principio su cui si basa è nell'ammettere che gran parte del rumore da rotolamento è dovuto alle imperfezioni nell'interfaccia ruota-rotaia, per questo motivo è necessario agire con una manutenzione ordinaria attentamente pianificata lungo l'intera linea.

Tale opera di manutenzione offre non solo vantaggi in termini di minori emissioni rumorose, ma si rivela efficace nel regolare le vibrazioni del veicolo e della sovrastruttura, preservandone l'integrità e la resistenza strutturale. Interventi di questo tipo sono importanti anche per la sicurezza della circolazione.

Attualmente è una pratica comune di tutti i gestori di infrastrutture e può venir svolta efficacemente attraverso l'uso di diversi macchinari e diverse tecniche. Si può, quindi, parlare di riprofilatura statica o oscillante e con diversi trattamenti riservati alla superficie da trattare. Le differenze fra i diversi metodi consistono nel tipo di macchinario adottato e nella posizione delle frese rispetto ai binari, ottenendo, così anche differenti risultati.

Efficacia: da 7 a 10 dB(A).

Costo: 4 euro a rotaia.

#### **1.1.2.1.1.2.3 Smorzatori alla rotaia.**

Con questo termine comprendiamo tutta una serie di interventi (anche diversi fra loro) che ammettono una comune teoria di fondo, ovvero il rumore da rotolamento può essere diminuito solo se vengono abbattute le vibrazioni della rotaia.

In tal senso diverse aziende hanno proposto negli anni una serie di soluzioni più o meno costose e più o meno efficaci con cui avvolgere la rotaia con materiali in grado di assorbirne le vibrazioni. Alcune di esse tendono a ricoprire interamente il gambo della rotaia con tale materiale, altre si limitano ad avvolgerne la parte più vicina alla suola, altre ancora prevedono di immergere direttamente la rotaia dentro tali materiali fino a lasciarne uscire solo il fungo.

La soluzione più spesso adottata consiste nel posizionare per un tratto più o meno esteso del gambo del binario delle strisce di materiale resiliente, in genere composto da un polimero, adeguatamente sostenuto da una sorta di telaio in materiale metallico. Tali elementi vengono applicati o attraverso l'uso di colle che vengono stese sul binario da trattare, oppure attraverso sistemi di applicazione meccanici che consentono la ri-utilizzabilità del sistema. Il tratto di linea da trattare può essere interamente ricoperto con tale sistema, o solo per piccoli tratti ad intervalli regolari. La decisione circa il tratto da trattare e la tecnologia da impiegare è fondamentale per le successive operazioni di manutenzione: un sistema incollato è un tutt'uno con la rotaia e non deve essere risistemato durante le operazioni di riposizionamento dei binari; a contrario, le soluzioni che impiegano sistemi meccanici (normalmente si tratta di clip ad U che passano sotto le soles dei binari) devono essere ricollocate al termine delle operazioni.

Altro tipo di soluzione di relativo semplice impiego può consistere nell'uso di appositi ammortizzatori (damper) che vengono applicati in specifici punti delle tratte ritenute sensibili. Questi dispositivi consistono in una serie di elementi metallici fra loro collegati come in un sandwich, fra i quali viene posto del materiale smorzante. Essi sono montati su piccole piattaforme che vengono fatte scivolare sotto la suola del binario in modo che il dispositivo principale (il sandwich che abbiamo descritto) vada ad appoggiarsi sul gambo del binario. Una volta che il binario viene messo in vibrazione dal passaggio dei convogli, il dispositivo vibra a sua volta dissipando parte del rumore.

Altro intervento, molto più invasivo, consiste nella totale "immersione" della rotaia nel materiale resiliente. In questo caso è proprio questo elemento che assorbe le vibrazioni. Questo provvedimento diviene comunque di difficile attuazione su elementi già realizzati, mentre diventa una soluzione abbordabile se la linea deve ancora essere realizzata. Per ovviare a questo inconveniente si sono pensate delle procedure alternative consistenti nella modifica della sezione della rotaia spezzandola in più punti e riunendola con materiale smorzante interposto.

Efficacia: da 1 a 7 dB(A) a seconda della soluzione scelta.

Costo: da 100 a 800 euro per metro di rotaia a seconda della soluzione scelta.

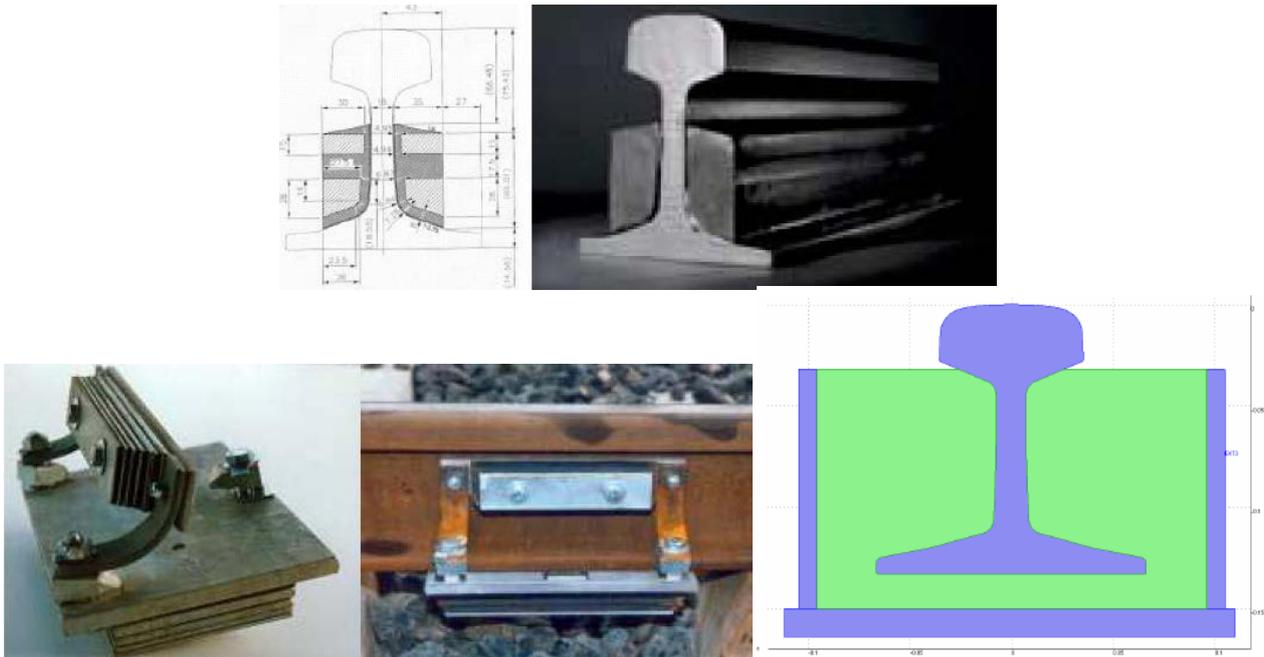


Figura 8. Nell'ordine, la soluzione con polimero, la soluzione con damper e la soluzione con la totale immersione della rotaia.

#### 1.1.2.1.1.2.4 Nuovi tipi di rotaia.

Una soluzione "radicale" del problema è stata proposta recentemente. Sapendo che nella relativa snellezza della rotaia risiede parte dei meccanismi di emissione del rumore, si è pensato di passare a profili diversi e più tozzi da proporre per le nuove realizzazioni. Un esempio da questo punto di vista lo riportiamo di seguito. Il profilo è indicato come VA71b.

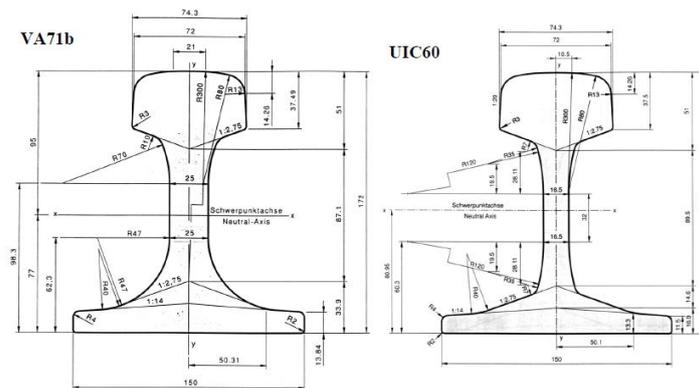


Figura 9. Confronto fra la più classica sezione dell'UIC 60 e l'innovativa VA71b

#### 1.1.2.1.2. Interventi sulla via di propagazione.

Qualora non si potesse intervenire sulla sorgente, o tutti gli interventi realizzati si rivelassero insufficienti o economicamente sconvenienti, la legge italiana autorizza ad intervenire sulla via di propagazione.

Dal punto di vista fisico ciò corrisponde non a diminuire la quantità di rumore emesso, ma a diminuire il relativo impatto su recettori considerati sensibili. In tal senso, a differenza di quanto può accadere nel caso stradale, gli interventi vanno realizzati in riferimento a recettori esterni all'infrastruttura e solo in seconda analisi rispetto agli utenti del servizio stesso. Ciò significa che l'aspetto dell'isolamento acustico è prevalente rispetto all'assorbimento.

A tale famiglia di interventi appartengono i dispositivi più usati (e spesso inflazionati) per l'abbattimento del rumore acustico, ovvero le barriere anti-rumore. A tali interventi possiamo affiancare altre soluzioni poco conosciute ma comunque esistenti, sperimentate anche nell'ambito di diversi piani europei.

È doveroso aggiungere come gli studi eseguiti in ambito italiano concordino nel ritenere attuabili anche provvedimenti urbanistici che ottengano effetti schermanti sugli eventuali recettori. Così vengono consigliate:

- a) Facciate studiate in modo tale da evitare effetti di risonanza dati dalla chiusura dei balconi da parte dei ballatoi soprastanti, oppure piani via via più arretrati salendo di piano in modo da evitare i segnali acustici diretti.
- b) Disposizioni mutue fra gli edifici atte ad evitare il “rimbalzo” del segnale acustico fra facciate che si fronteggiano
- c) Disposizioni degli edifici in modo che gli edifici più vicini alla sorgente “schermino” quelli posti di seguito e comunque evitino di amplificare ulteriormente il rumore.
- d) Interposizione di terrapieni o di tratti alberati in grado di isolare la sorgente dal mondo esterno. L’uso dei terrapieni, con la costruzione dell’infrastruttura in trincea viene spesso trascurata ma risulta una soluzione ottimale per diverse ragioni. Anzitutto la parete della trincea funge da barriera naturale alla propagazione del rumore; dall’altro lato fa sì che il segnale diretto (che quindi deve passare al di sopra del terrapieno) trovi maggiori difficoltà a colpire eventuali recettori sensibili. Anche l’uso di tratti alberati viene fortemente consigliato anche dalla normativa UNI in materia come provvedimento atto ad abbattere parte delle emissioni rumorose. La principale difficoltà da questo punto di vista consiste essenzialmente nell’estensione di vegetazione necessaria per avere un abbattimento sensibile.

A questi “provvedimenti urbanistici” attuabili per migliorare la qualità della vita degli abitanti, aggiungiamo, quindi, tutti quei sistemi che intervengono comunque sulla via di propagazione del suono.

#### **1.1.2.1.2.1 Barriere anti-rumore.**

A partire dagli anni '60 hanno rappresentato la soluzione maggiormente adottata per far fronte alle emissioni sonore indesiderate, specie se provenienti da infrastrutture di trasporto.

Esse modificano le caratteristiche della via di propagazione, e i principi fisici su cui si basano sono 3:

- a) Diffrazione. Secondo tale fenomeno un’onda intercettata da un ostacolo è costretta a scavalcarlo aumentando così il totale di spazio percorso ed abbassando la sua pressione. Un’onda che scavalca un ostacolo, però, viene anche curvata verso la parte schermata dalla barriera stessa. Il fenomeno è più accentuato per le lunghezze d’onda maggiori (che quindi curvano di più verso il basso) ed è il parametro secondo il quale viene determinata l’altezza delle barriere stesse.
- b) Assorbimento. I materiali che compongono le barriere sono porosi e le onde che li colpiscono sono “fatte rimbalzare” più volte nelle cavità in modo da ottenere una riduzione complessiva dell’energia trasportata. Ciò diminuisce sia la componente che attraversa la barriera, sia quella che torna verso la sorgente.
- c) Isolamento. Materiali oltre una certa densità possiedono un grado elevato di isolamento acustico, ovvero diminuiscono l’energia sonora che rimane all’onda che riesce ad attraversare la barriera stessa. Per questo motivo le barriere vegetali prima descritte sono poco efficaci se non estese a dovere, in quanto offrono una bassa densità e quindi uno scarso potere fono-isolante. Barriere in materiale disomogeneo (vedi i materiali porosi solitamente utilizzati) evitano, inoltre fenomeni di risonanza che amplificano il segnale stesso.

Le barriere devono essere progettate in modo da tener conto di tutti tali fenomeni e di amplificare quelli specifici per il caso in esame.

Oltre alle caratteristiche acustiche dobbiamo tenere conto di altre caratteristiche fisiche in modo da confezionare un prodotto non solo efficiente dal punto di vista acustico, ma anche resistente contro agenti

fisici e chimici. In questo modo si possono ottenere prodotti dalla durata consistente e dalla manutenzione limitata.

Nella progettazione delle barriere dobbiamo tener conto di:

- a) L'effettiva prestazione acustica che ci aspettiamo di ottenere. Come abbiamo visto in occasione della normativa di settore, le caratteristiche acustiche variano dall'assorbimento all'isolamento acustico all'insertion loss. Il tipo di materiale e di successione di strati che andranno a comporre la barriera devono essere scelti in relazione a tali caratteristiche: la protezione di una galleria (dove l'aspetto assorbente è fondamentale) richiede prodotti diversi rispetto alla protezione di un centro abitato (dove è più importante il potere fonoisolante).  
La progettazione acustica influenza anche il sistema di montaggio. Così come vedremo nelle finestre ventilate, ogni intercapedine creata nel dispositivo può essere sfruttata dal segnale sonoro per propagarsi, rendendo così inutile il resto del sistema. I sistemi adottati possono essere diversi e richiedono montanti sui quali vengono agganciati i pannelli principali attraverso viti (sconsigliate per via delle intercapedini che potrebbero creare), incastri o altri metodi.
- b) L'effetto di diffrazione che si cerca di limitare e l'eventuale tutela di recettori in posizioni elevate. In tal senso si deve determinare l'altezza opportuna della barriera tenendo conto anche della stabilità al vento della struttura. Esistono a proposito delle barriere circolari o con appendici inclinate che diminuiscono l'effetto di diffrazione, ma che tendono ad aumentare la componente riflessa verso la sorgente.
- c) Le sollecitazioni fisiche della barriera. Come visto nelle UNI1794 esistono moltissimi agenti fisici che possono mettere alla prova la resistenza del nostro dispositivo, dal vento, al peso proprio, all'impatto di un mezzo o della neve sparata da uno spazzaneve, all'azione del fuoco. In questo senso esistono numerose prove fisiche che devono essere svolte per assicurare la sufficiente resistenza.
- d) La durabilità agli agenti fisici-chimici. Oltre che gli aspetti fisici anche l'azione di acqua o altre sostanze chimiche possono degradare la barriera o dare origine a reazioni sgradite o potenzialmente pericolose. I materiali utilizzati devono essere assicurati da simili evenienze.
- e) La sicurezza. Ponendo che le barriere anti-rumore non sono chiamate a fungere da dispositivi di sicurezza (salvo dispositivi specifici), tale voce comprende tutti quei comportamenti con i quali la barriera può diminuire la sicurezza complessiva dell'infrastruttura. Ne rientrano la trasparenza o comunque la riduzione di visibilità, la possibile frantumazione o altri.
- f) L'aspetto estetico. Spesso le barriere sono osteggiate dalla popolazione locale perché sgradevoli da guardare o per il senso di oppressione che esse sono in grado di comunicare, specie se molto alte. Da questo punto di vista, barriere trasparenti o con materiali specifici possono attenuare tale sensazione.

Tali considerazioni hanno portato, nel tempo a 3 tipi principali di barriere, fra loro distinte dal materiale principale che le costituisce:

- a) Barriere in materiali metallici (in genere alluminio o acciaio). Sono tra le più diffuse e prevedono l'uso di un sistema a sandwich in cui il materiale isolante (lana di roccia o simili) è compreso fra due lamiere metalliche generalmente grecate in modo da accentuare il comportamento assorbente. Generalmente sono strutture modulari montate una sopra l'altra e fissate ai lati a montanti verticali.
- b) Barriere in conglomerato. In questo caso si tratta di un doppio strato sempre in conglomerato. Uno degli strati (il più distante dalla sorgente) funge da sostegno, mentre l'altro ha una composizione porosa che gli conferisce il potere fonoassorbente. Spesso la parte rivolta verso la sorgente viene

grecata con motivi particolari, in modo da esaltarne le caratteristiche. Si presentano anch'essi in moduli da montare uno sopra l'altro badando alla realizzazione delle interfacce.

- c) Barriere in legno. La barriera ha una struttura simile alle precedenti: un sandwich contenente al suo interno uno strato assorbente e ricoperto da strati di legno eventualmente grecati. Vengono fissati ai montanti con sistemi appositi di viti e se adeguatamente trattati possono offrire ottime prestazioni.
- d) Barriere trasparenti. Si tratta di elementi composti da un solo strato inserito all'interno di un'apposita cornice poi montata sui montanti. Le caratteristiche acustiche di tale dispositivo variano con il grado di trasparenza dello stesso. Sono spesso scelte per dare una maggior visibilità agli eventuali utenti dell'infrastruttura o quando si voglia diminuire il senso di oppressione del sistema, specie se molto alto. Un'attenta manutenzione deve assicurare tali caratteristiche.

Il sistema delle barriere è quindi molto vario e permette di accontentare esigenze diverse fra loro. Rimane però una soluzione parziale del problema, in quanto in grado di tutelare solo una piccola parte dei recettori. Inoltre, la riduzione assicurata rimane molto bassa a fronte dei costi sostenuti (in genere la riduzione è nell'ordine dei 10 dB). Rimane tuttavia una scelta valida qualora, una volta intervenuti sulla sorgente si abbia bisogno di una riduzione ulteriore in un sito specifico.

Efficacia: 10 dB circa

Costo: varia con il produttore.

#### **1.1.2.1.2.2 Barriera basse.**

Con questa classe intendiamo tutti quei dispositivi che funzionano esattamente secondo il principio delle barriere, ma tendono a schermare solo le ruote del convoglio.

Esse sfruttano quel principio secondo il quale il rumore da rotolamento ha un'emissione limitata entro i 30° sopra e sotto il piano del ferro. Per questo motivo, schermando tale diffusione nelle immediate vicinanze del binario possiamo abbattere una certa quantità di suono.

Spesso hanno un carattere fortemente puntuale e compaiono solo nei punti più sensibili del tracciato come curve strette o recettori sensibili.

I materiali di cui sono costituite possono essere molto simili a quelli impiegati nelle barriere di dimensione normale.



Figura 10. Esempio di barriere definite "basse".

#### **1.1.2.1.2.3. Barriere applicate sui convogli.**

Si tratta di provvedimenti adottati sui convogli merci, che sono ritenuti più fastidiosi dal punto di vista acustico. Si tratta di elementi composti da lamiera metallica che vengono posti a lato dei vagoni stessi con l'obiettivo di schermarne le ruote e filtrare parte del rumore da rotolamento.



Figura 11. Esempio di barriere applicate direttamente sui recettori.

### **1.1.2.1.3. Interventi sui recettori.**

L'intervento sui recettori viene considerato come intervento limite e sempre da sconsigliarsi a meno che non si riveli l'unica soluzione tecnicamente o economicamente perseguibile.

Le motivazioni di tale decisione (sancita dalla legge italiana) sta nel fatto che tali provvedimenti sono fortemente localizzati e sono in grado di tutelare un'unità abitativa alla volta e solo finché l'eventuale recettore si mantiene all'interno dell'unità stessa e mantiene in funzione i dispositivi. Ciò significa che essi rappresentano una fonte di riduzione della libertà personale, e che non hanno alcun effetto sugli eventuali recettori che non si trovino all'interno delle unità abitative trattate (comprendendo anche i semplici passanti).

Ricordiamo, inoltre, che si tratta di interventi relativamente costosi, soprattutto perché devono essere estesi ad un numero più o meno consistente di edifici, quindi ripetuti più e più volte.

Riguardo alla responsabilità dell'installazione di tali dispositivi, ricordiamo il principio secondo cui coloro che generano il rumore fuori norma devono occuparsi della tutela dei recettori pagando loro stessi i dispositivi di bonifica necessari. Ciò non vale nel caso di nuove realizzazioni in "aree rumorose".

#### **1.1.2.1.3.1. Cappotto termico.**

La fisica tecnica ci insegna che un buon isolante acustico deve essere tale da accogliere al suo interno l'onda sonora che lo colpisce, quindi "farla rimbalzare" in apposite cavità in modo da diminuirne il contenuto energetico (e quindi il "volume"). Tali condizioni si trovano soddisfatte anche nel caso degli isolanti termici che divengono, quindi, degli ottimi isolanti acustici.

Nella maggior parte dei casi, quindi, le abitazioni isolate termicamente (ad esempio impiegando sistemi in lana di roccia o simili) risultano schermate anche dal rumore. In genere tale caratteristica si sviluppa con la realizzazione dell'edificio stesso, dato che il materiale isolante viene posto direttamente nella muratura, ma è possibile realizzare degli interventi post-costruzione attraverso la tecnologia del cappotto.

Il cappotto è una soluzione adottata per migliorare le caratteristiche di isolamento termico degli edifici in cui tale isolamento risulti insufficiente. Si tratta di un dispositivo composto da diversi strati che alternano caratteristiche di semplice isolamento, alla resistenza dagli agenti atmosferici, alla semplice finitura superficiale, che vengono incollati con adesivi speciali sulle pareti degli edifici, potendo poi venir verniciati come se si trattasse di semplice muratura. Possono essere incollati all'interno o all'esterno degli edifici, anche se la seconda soluzione è di gran lunga la preferita e la più efficace (la soluzione "interna" viene adottata solo qualora la soluzione esterna non sia perseguibile, ad esempio nel caso di un appartamento in un condominio).

Ad ogni modo la soluzione del cappotto termico diviene una valida alternativa anche quando si parla di isolamento acustico. Ovviamente scegliendo questa soluzione si deve considerare che si tratta di una soluzione che non risolve completamente il problema: ad esempio, se non vengono adeguatamente isolate

le finestre, non si otterrà alcun beneficio dall'installazione del cappotto, così come accade nel caso di finestre isolate, ma aperte per esigenze di ventilazione. Di conseguenza il cappotto isolante rappresenta solo una parte di un intervento di isolamento efficace.

Efficienza: 4-5 dB(A)

Costo: 30-40 euro/mq

#### **1.1.2.1.3.2 Finestra ventilata.**

La finestra ventilata rappresenta la miglior soluzione adottabile per l'isolamento dei recettori disponibile nel mercato. Essa non solo assicura una più che buona risposta acustica, ma permette, attraverso un ingegnoso meccanismo, di assicurare la ventilazione della stanza, evitando così di dover aprire le finestre. L'aspetto acustico richiede l'uso di una serie di vetri (due o tre) affiancati, in modo da creare una serie di strati d'aria in grado di fungere da isolante per le emissioni in arrivo. Spesso alcune lastre di vetro possono essere accoppiate fra loro diminuendo il numero di intercapedini, ma realizzando un diverso spessore fra le vetrate, il che rende più difficile imbattersi in fenomeni di risonanza (ovvero, se il primo vetro entra in risonanza per azione del suono, il diverso spessore della seconda lastra evita che anche quest'ultima subisca lo stesso effetto irradiando il segnale nella stanza e vanificando l'effetto isolante). Ovviamente, il mercato mette a disposizione diverse soluzioni che fra loro si distinguono in base al numero di lastre e allo spessore delle stesse.

Tuttavia, l'effetto isolante delle finestre viene comunque meno quando non si provveda al tempo stesso all'isolamento degli infissi. In questo caso la soluzione più comune consiste nel creare diverse guarnizioni (fino a 3) che hanno il compito di schermare una possibile via d'accesso del segnale sonoro e di evitare al contempo l'entrata di acqua.

Come è facile capire, l'efficacia di tale metodo si limita al caso in cui la finestra rimanga chiusa, tuttavia si deve tener conto delle esigenze di ventilazione delle stanze. A tal proposito sono state ideate le FINESTRE VENTILATE. Esse sfruttano le intercapedini d'aria che si creano fra le diverse lastre di vetro come dei corridoi attraverso i quali far passare l'aria evitando al contempo che questa trasporti calore indesiderato. Il sistema prevede di rilevare la temperatura del vetro più esterno (che misura la temperatura dell'ambiente circostante) e quella del vetro più interno (che misura la temperatura della stanza). Rilevata una differenza il sistema interviene nel modo che ritiene più opportuno per assicurare una temperatura ideale agli occupanti dell'ambiente. Nel caso di clima esterno caldo, il sistema aspira l'aria dalla stanza, evitando che questa possa riscaldare l'ambiente, la incanala all'interno di una delle intercapedini della finestra mantenendola a temperatura costante attraverso la ventilazione di una ventola inserita nel cassonetto superiore, ed infine la espelle all'esterno sotto forma di aria calda. In definitiva si tratta di un sistema di ventilazione forzata che assicura il ricambio d'aria delle stanze senza per questo alterarne la temperatura. In alcuni casi le finestre contengono al loro interno un sistema di veneziane che impedisce di ricevere luce solare diretta. In modo analogo la finestra funziona nel caso di clima esterno freddo.

Il sistema comunque non è definitivo e non offre lo stesso grado di ventilazione offerto dalla semplice apertura delle ante.

La situazione diventa ancor più critica quando le finestre, benché isolanti, non sono anche ventilate. In questo caso la struttura delle finestre rimane uguale (doppi o tripli vetri, guarnizioni multiple) ma manca completamente il sistema di ventilazione (il cui costo di funzionamento deve essere messo in preventivo). Ciò obbliga a dover tener sempre chiuse le finestre (come nel caso precedente) per continuare a godere del beneficio acustico, ma anche a dotarsi di un sistema di ventilazione alternativo (condizionatore, sistema di ventilazione dell'aria ecc.). anche questi prezzi devono essere messi in preventivo.

Efficacia: 35-45 dB(A)

Costo: 100-200 euro

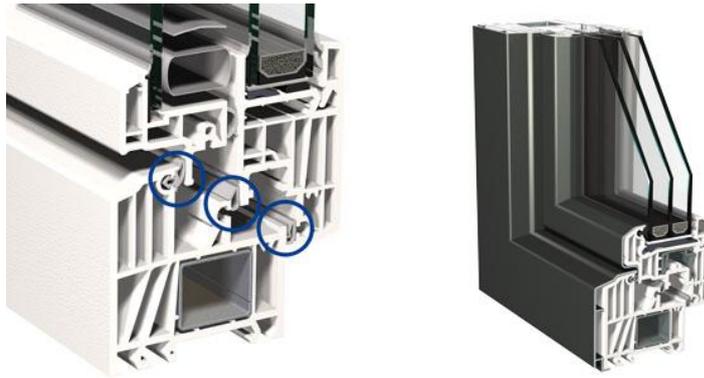


Figura 12. Dettaglio che illustra le diverse guarnizioni da apporre sugli infissi e l'alternanza di vetri e intercapedini di dimensione diversa.

### 1.1.2.2 Provvedimenti per la mitigazione del rumore ferroviario.

Come abbiamo ricordato in precedenza, l'Unione Europea punta molto del suo rilancio economico sul rapido spostamento di merci e persone, visto come presupposto fondamentale per assicurare un mercato unico veramente unito. Ne sono testimonianza il diversi corridoi europei tuttora in costruzione in tutto il continente.

In questo quadro il trasporto ferroviario ricopre un ruolo fondamentale, anzi, esso rappresenta il modo di trasporto di riferimento, in quanto rapido, di massa ed ecologico. Tuttavia, lo sviluppo della rete ferroviaria europea in termini di realizzazioni vere e proprie e di sensibilizzazione della popolazione nei confronti di questo modo di spostarsi, è stato spesso rallentato dai difetti delle infrastrutture, fra cui non ultime le emissioni rumorose, spesso ritenute fastidiose (ovvero sopra i 65 dB(A) diurni). Nel corso del tempo i diversi Stati hanno adottato leggi e sistemi propri per risolvere il problema, ma l'Unione ha evidenziato come spesso tali soluzioni sono stati solo un tampone locale e temporaneo, risolvendo il problema solo per una ristretta zona o per certe categorie di veicoli.

Come abbiamo visto, il rumore ferroviario è strettamente legato alla velocità raggiunta dai convogli e cresce con quest'ultima. Nell'ottica di un futuro di alta velocità ed alta capacità della rete europea il problema potrebbe diventare di sempre più difficile soluzione, in quanto soluzioni fin'ora ritenute valide potrebbero rivelarsi insufficienti.

Per questo motivo si è pensato di risolvere il problema alla fonte, cercando di adeguare il parco macchine a livelli di emissione accettabili. Uno degli obiettivi era quello di ridurre le emissioni dei convogli in circolazione nel 2000 di 10 dB rispetto ai convogli degli anni '60.

Sono stati così proposti diversi progetti pilota con lo scopo di individuare nuovi interventi e combinazioni di interventi, in modo da dare alle imprese e ai governi coinvolti, un quadro completo dei meccanismi da adottare a seconda del problema da risolvere.

È in quest'ottica che è nato il "progetto STAIRRS" (Strategies and Tools to Assess and Implement noise Reducing measures for Railway Systems), conclusosi ormai nel 2003, che aveva lo scopo di testare diverse soluzioni in termini di prodotti che il mercato mette a disposizione (rientrano nel progetto tutte le soluzioni descritte nella sezione precedente), in modo da valutare, di volta in volta, gli effetti di riduzione delle diverse combinazioni. A quest'analisi acustica si è accompagnata un'analisi dei costi, che avrebbe aiutato, chiunque fosse interessato a scegliere la soluzione migliore al proprio problema in base anche alla propria disponibilità economica.

Ovviamente, STAIRRS non rappresenta l'unico piano di questo tipo, ma ne è un esempio più che valido.

L'Unione Europea, ritiene, tuttavia, che sarebbe efficace, in termini di riduzione delle emissioni, agire anche attraverso altre vie che non siano interventi diretti sui convogli. In questo essa può sfruttare il proprio ruolo di organismo sovranazionale e definire regolamenti e politiche che governino l'azione degli Stati e dei gestori dei servizi ferroviari, spingendoli verso una maggior attenzione verso il problema delle emissioni.

Una delle disposizioni più dibattute è l'uso di barriere all'entrata del mercato per aziende non virtuose dal punto di vista acustico, ovvero che utilizzino mezzi le cui emissioni siano fuori norma. Per inquadrare con più chiarezza questa via è necessario parlare della liberalizzazione ferroviaria europea che ha avuto origine dalla direttiva 440/1991 (in Italia la materia è trattata nel D. Lgs 8 luglio 2003).

Secondo la direttiva il mercato ferroviario europeo era ad una svolta. Nel corso degli anni, il sistema ferroviario continentale è divenuto una sorta di appendice dei vari Stati. Solo questi ultimi, nella maggior parte dei casi avevano i mezzi necessari per realizzare le infrastrutture, oltre che per far funzionare il sistema, specie nel caso in cui si trattasse del trasporto di persone. In questo caso, il dovere di assicurare un servizio efficiente ed a buon mercato si è dovuto scontrare con la sconvenienza economica del progetto, realizzando di fatto un'attività sempre in perdita, le cui spese ulteriori dovevano essere coperte dallo Stato stesso. Questo spesso generava un servizio fuori mercato gestito da un monopolio che trascurava l'aspetto dell'efficienza del servizio, generando così un modo di trasporto poco appetibile per gli eventuali clienti. All'alba del 2000 la situazione doveva cambiare e la gestione dei servizi ferroviari doveva tornare nel mercato della libera concorrenza, in cui, il fatto di doversi confrontare con altre aziende e di dover stare attenti al bilancio (l'aspetto economico è uno di quelli su cui la normativa europea più preme nella normativa), avrebbe reso il servizio ferroviario sempre più efficiente e utilizzato dai clienti.

La prima mossa da fare in tal senso sarebbe stata quella di separare (nel bilancio per prima cosa) l'ente gestore dell'infrastruttura dall'impresa ferroviaria, ovvero il gestore del servizio. Se nel primo caso l'ente di riferimento è il più delle volte unico, le imprese possono essere diversi soggetti che competono per avere diritto di utilizzare l'infrastruttura stessa. Si attua così il primo passo verso uno stato di concorrenza per il mercato (se intendiamo per mercato le singole tracce orarie, ovvero una frazione della capacità della rete) e nel mercato (se intendiamo con ciò il fatto che i clienti possano fra loro confrontare i servizi delle diverse compagnie e valutare chi offra il servizio migliore).

Le aziende ferroviarie devono possedere apposita licenza rilasciata da uno Stato europeo e valida per tutto il territorio dell'unione. Ovviamente sono consentiti accorpamenti in modo da formare aziende internazionali. Tali aziende si occupano anche della gestione del materiale rotabile e sono responsabili di eventuali danneggiamenti all'infrastruttura.

Il gestore dell'infrastruttura, invece, si occupa di definire tracce di orario e capacità massime delle linee che compongono la rete ferroviaria stessa. Su ciascuna di queste linee viene svolta una gara non discriminatoria fra le diverse aziende, fra le quali viene scelta la vincente che si occuperà di svolgere il servizio per le linee e per gli orari indicati per una durata pari a quella dell'accordo, avendo accesso alla rete e a tutti gli altri servizi ad essa collegati. In cambio il gestore dell'infrastruttura percepirà un canone finanziario.

Ammettendo le particolarità del mercato ferroviario, e la sua importante azione sociale, gli enti gestori devono prevedere anche sistemi mirati a favorire tratte o orari non particolarmente convenienti dal punto di vista economico, attraverso rimborsi delle imprese coinvolte.

In Italia il D Lgs. 8 Luglio 2003 fa un quadro chiaro della situazione attuale e indica le vie da seguire nel futuro sviluppo dell'infrastruttura.

La gestione dell'infrastruttura e del servizio erano affidate all'ente Ferrovie dello Stato fino al 2000, quando l'ente si separò in Trenitalia s.p.a. (creata il 1 Giugno 2000) e RFI s.p.a. (creata il 1 Luglio 2001). Questi due organismi ricoprono il ruolo rispettivamente di azienda ferroviaria e di gestore dell'infrastruttura.

Seguendo i dettami della direttiva europea a Trenitalia potevano affiancarsi altre aziende nazionali ed internazionali a patto di possedere apposita licenza. Quest'ultima (art. 7 del decreto) certifica il possesso di personale qualificato, materiale rotabile certificato, specie in termini di sicurezza e di una copertura assicurativa contro eventuali incidenti causati durante l'esercizio.

RFI, in qualità di gestore dell'infrastruttura è chiamata a redigere un "prospetto informativo della rete". Questo documento, che deve continuamente essere aggiornato e completato almeno 4 mesi prima della scadenza per la presentazione di partecipazione all'assegnazione, contiene:

- a) Un'esposizione completa dell'infrastruttura disponibile, delle condizioni di accesso alla stessa e ai servizi ad essa collegati.
- b) Modalità e criteri attraverso i quali si stabiliscono e riscuotono i canoni di utilizzo delle linee e dei servizi ad esse collegati.
- c) Modalità attraverso le quali vengono svolte le procedure di assegnazione delle porzioni di capacità della rete (tracce orarie), oltre che le modalità attraverso cui un'impresa può partecipare alla gara stessa (requisiti da possedere, scadenze per la presentazione...)
- d) Porzioni di capacità riservate a servizi di trasporto internazionale o mantenute "di riserva" nel caso di incidenti o altre situazioni impreviste.

Il prospetto, quindi, contiene la proposta che viene avanzata nei confronti delle imprese, le quali presenteranno le loro offerte per ciascuna porzione di capacità cui sono interessate.

A questo proposito possono essere svolti degli accordi quadro fra RFI e le imprese, nelle quali vengono esposti diritti e doveri di gestore e aziende nell'ambito dell'assegnazione della capacità e della riscossione dei canoni.

Durante la successiva "procedura di coordinamento" l'ente gestore effettua l'assegnazione di capacità alle imprese interessate secondo le modalità definite nel prospetto precedentemente definito e cercando di saturare completamente la rete. Eventuali aziende escluse per via della saturazione della rete possono essere rimborsate adeguatamente, mentre porzioni di capacità devono comunque essere mantenute per far fronte a richieste internazionali o situazioni impreviste.

La procedura di coordinamento, nel nostro Paese, viene gestita direttamente dal Ministero dei trasporti, vista la non completa separazione di RFI da Trenitalia.

Tali procedure di assegnazione non riguardano tratte regionali o di trasporto locale, la cui gestione rimane in mano alle Regioni che procedono in maniera autonoma (anche se si auspica un procedimento simile al caso nazionale).

Una volta compreso il processo attraverso il quale viene gestito il trasporto ferroviario europeo, possiamo capire una delle vie che l'UE ha deciso di percorrere nell'ottica di tutela acustica. L'Unione Europea prevede di inserire nelle discriminanti usate dai gestori delle infrastrutture per l'affidamento del servizio ferroviario, anche una componente acustica. Ciò significa che le emissioni rumorose dei convogli possono avere un peso rilevante nelle scelte e, a parità delle altre condizioni, una compagnia più "silenziosa" verrà preferita ad una più "rumorosa". Inoltre, l'Unione sta discutendo circa l'aumento di "peso specifico" della componente rumore, così che sia una delle voci principali sulla quale basare la futura decisione. Se tale approccio verrà attuato nel prossimo futuro, solo alcune compagnie, più attente alla materia acustica, saranno ammesse alla circolazione, migliorando gli effetti del sistema ferroviario sull'ambiente e stimolando le compagnie a perseguire metodi di riduzione del rumore sempre più efficaci sui convogli da esse utilizzate.

Ovviamente, se da un lato la ricerca continua di soluzioni innovative sempre più efficaci, e il miglioramento della situazione dei recettori, rappresentano i pregi di una tale iniziativa, essa nasconde anche problemi di carattere finanziario non indifferenti. Abbiamo già osservato come il trasporto ferroviario, specie se di passeggeri, difficilmente copre i costi di gestione e si rivolge spesso a contributi statali (fra l'altro previsti spesso negli accordi quadro stessi). Ora, se ai già onerosi costi di cui sopra aggiungiamo anche il prezzo dei dispositivi da adottare per diminuire le emissioni, il contributo diventa ancor più pesante ed il servizio ferroviario sempre meno economicamente autosufficiente. C'è da osservare come i contributi elargiti dagli Stati potrebbero tranquillamente essere sottratti dai fondi destinati a barriere o altri dispositivi simili, ma attualmente, la nuova soluzione appare difficile da sostenere.

A questo va aggiunto il fatto che i modi di trasporto alternativi, come le strade, non possiedono legislazioni acustiche simili. Ciò significa che gli Stati sono spinti a favorire tale modo rispetto alle ferrovie, perché di più economica gestione, inoltre, se le imprese ferroviarie saranno costrette ad aumentare i prezzi di servizio, per far fronte alle innovazioni apportate ai mezzi, la ferrovia diverrà ancor meno appetibile rispetto all'automobile o al tir.

In tal senso l'Europa sta spingendo affinché la tutela acustica venga regolamentata nello stesso modo indipendentemente dal modo di trasporto (trattamento uguale sia per le strade che per le ferrovie), realizzando una concorrenza "leale" fra di essi.

Esiste anche un altro problema e riguarda il controllo delle emissioni effettivamente prodotte, in modo da fornire un sistema sul quale basare la successiva tassazione delle compagnie. Le soluzioni possibili sono 3:

- a) Un monitoraggio delle aree critiche. È una soluzione diretta del problema consistente in un sistema di ricezione, collocato in punti strategici che sappia valutare le emissioni dei convogli di passaggio. Ovviamente è un sistema localizzato e molto costoso e pertanto difficile da impiantare.
- b) Una classificazione dei treni come organismi unici. In questo senso il proprietario dei convogli determina le caratteristiche del treno attraverso una auto-certificazione. È semplice da attuare ma non tiene conto della composizione del treno stesso, ovvero dei vagoni che trasporta. Per ottenere cali di rumorosità complessiva occorrono molti carri "silenziosi", pertanto comportamenti virtuosi (pochi carri rumorosi) possono essere trascurati a fronte di un comportamento complessivamente "rumoroso".
- c) Un controllo di ciascun vagone. Essendo i vagoni la principale causa del rumore ferroviario si attuerebbe un controllo a distanza di questi ultimi, includendo informazioni circa il loro stato di manutenzione ed il loro contenuto, utilizzando i dati così raccolti per classificare le emissioni del treno. Il metodo, per quanto efficiente, richiede uno sforzo notevole in termini di logistica. Si dovrebbe attuare un controllo continuo di milioni di vagoni in circolazione.

Il controllo svolto sulla rumorosità è fondamentale per dare un senso alla penalizzazione delle imprese virtuose e al premio di quelle virtuose, ma attualmente è ancora un tema dibattuto.

Oltre a tali iniziative per regolare l'entrata nel mercato, l'Unione Europea ha redatto una serie di specifiche tecniche da tenere in considerazione nella redazione delle licenze di servizio ferroviario delle aziende. Le Specifiche Tecniche di Interoperabilità, documento nato per uniformare il materiale rotabile e le infrastrutture in tutto il territorio comunitario (sempre nell'ottica di un mercato ed una rete unica), contengono limiti e pratiche da rispettare anche riguardo la tutela acustica.

L'STI-Rumore del 2011 contiene specifiche in tal senso. L'UE spinge affinché tali specifiche diventino obbligatorie per tutto il nuovo materiale rotabile e definiscano compiutamente i processi di manutenzione affinché diventino più efficaci possibili. I limiti proposti sono limiti "dinamici" e tendono ad abbassare progressivamente i limiti ammessi nel corso dei prossimi 10-12 anni.

A tal proposito, un altro concetto è da poco apparso nell'agenda europea e si è velocemente affermato come un valido sistema per la determinazione dei limiti. Il sistema in questione è il sistema TOP RUNNER. Il sistema top runner è nato in Giappone, ed oltre ad essere stato usato con successo nell'ambito ferroviario, si è rivelato un modello vincente nel classificare elettrodomestici o altro.

Il sistema può essere letto come "l'adeguamento alla migliore tecnologia disponibile nel mercato". In poche parole si tratta di un "limite dinamico" che viene imposto a determinate caratteristiche (nel nostro caso si tratta delle emissioni sonore) per certi tipi di prodotti, determinato sulla base dei prodotti resi disponibili dal mercato e adottati da altre aziende del settore. Ad esempio, se l'azienda A è dotata di una tecnologia innovativa in grado di assicurare emissioni entro i 60 dB, e tale tecnologia rappresenta la migliore tecnologia disponibile nel mercato (economicamente disponibile, ovvero sono escluse soluzioni più efficaci ma economicamente irrealizzabili), il limite di emissioni viene posto a 60 dB e l'azienda B e C che vogliono accedere al mercato dovranno rispettare tale limite. Se nel futuro l'azienda B riesca ad abbassare ulteriormente il livello a 50 dB, questo diverrà il nuovo limite e le aziende A e C dovranno adeguarsi. In poche parole sarà l'avanzamento tecnologico a fungere da "legislatore" e ciò promuoverà ulteriormente la ricerca di soluzioni innovative e abbasserà continuamente le emissioni prodotte.

Un simile sistema, adottato nell'ambito ferroviario, è considerato un sistema vincente e auspicabile nel prossimo futuro.

In definitiva l'UE sta agendo attraverso diversi canali per raggiungere lo stesso obiettivo:

- a) Promuove progetti per testare tutte le soluzioni e le combinazioni di soluzioni che il mercato mette a disposizione. Nei progetti si chiede di valutarne l'efficacia e il costo, offrendo alle aziende interessate un quadro completo delle soluzioni tecnicamente ed economicamente più adatte a risolvere il proprio problema.
- b) Promuove una selezione delle aziende ferroviarie che possono o non possono accedere alle gare di assegnazione delle capacità ferroviarie (quindi intervenendo nelle licenze), basata sul grado di emissioni prodotte. Tale provvedimento deve considerare la possibilità di estendere oneri simili anche ai modi di trasporto concorrenti, in modo da non penalizzare troppo il trasporto su ferro.
- c) Definisce diversi programmi di controllo delle emissioni, in modo da dare il via ad un trend nel quale si premia coloro che emettono meno e si penalizza chi svolge un servizio più rumoroso. Ciò favorisce la ricerca di soluzioni innovative all'interno delle aziende stesse.
- d) Promuove la redazione di appositi limiti di riferimento (vedi l'STI-Rumore) sulla quale basare la costruzione e la manutenzione dei mezzi. Riguardo alla manutenzione tale aspetto è particolarmente importante, in quanto abbiamo visto come il logorio dell'interfaccia ruota-rotaia crei la maggior parte delle emissioni fuori norma.
- e) Nel definire i limiti di legge ci si rifà alla filosofia del "Top Runner" nel quale i limiti divengono dinamici e sono scanditi dal procedere dello stato dell'arte.

## Capitolo 1.2

# Normativa Italiana.

---

Come descritto nell'introduzione del DPCM 1 Marzo 1991 *"Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno"*, i limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni, e i limiti massimi di esposizione relativamente all'inquinamento acustico, sono divenuti, a partire dai primi anni Novanta, una priorità assoluta nel lavoro del Ministro dell'ambiente e del Ministro della sanità.

Il decreto menzionato è però solo il primo dei provvedimenti presi in materia, cui seguirà nel 1995 la più completa *"Legge quadro sull'inquinamento acustico"* (L n°447 del 26 Ottobre 1995) la quale metterà ordine nelle competenze di Stato, Regioni e Comuni nel definire limiti, zone a rischio e metodologie da seguire per realizzare piani di abbattimento delle emissioni.

La Legge Quadro stabilisce anche gli oneri relativi agli enti gestori di fonti inquinanti, fra cui spiccano, in particolare, i gestori della rete stradale e ferroviaria.

Nel seguito descriveremo brevemente leggi e decreti, che regolano la materia acustica nel nostro Paese, soffermandoci in particolare sulle norme e sugli articoli che si focalizzano sull'ambito ferroviario e sugli interventi di mitigazione del rumore. Infine raccoglieremo il tutto in un'analisi completa che raccolga tutto ciò che riguarda specificatamente il rumore provocato dalle ferrovie.

Per una più facile consultazione e per apprezzare l'evoluzione della normativa nell'ambito di studio, presenteremo le diverse norme in ordine cronologico.

### 1.2.1 DPCM 1 Marzo 1991

#### *"Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno"*

La norma si rivolge a tutte le attività rumorose ad esclusione delle attività aeroportuali e di attività temporanee (fra cui cantieri edili o manifestazioni in luogo pubblico) se espressamente autorizzate tramite deroga proveniente dal sindaco del Comune (art.1). Pertanto, la norma si rivolge anche al trasporto ferroviario.

La parte più importante della norma consiste, però, nella classificazione in "zone acustiche" dei territori comunali. Questi ultimi vengono, quindi, classificati sulla base del traffico veicolare, della densità di popolazione e di attività commerciali o industriali, in modo da definire classi omogenee di "rumore sopportabile". Dato che tale classificazione si ritrova nella Legge quadro e rappresenta la base sulla quale vengono stabiliti i limiti di immissione, riteniamo d'interesse riportarla di seguito:

*Tabella 1*

*Classe I (Aree particolarmente protette).*

Rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo ed allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.

*Classe II (Aree destinate ad uso prevalentemente residenziale).*

Rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali ed artigianali.

*Classe III (Aree di tipo misto).*

Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale o di attraversamento, con media densità di popolazione con presenza di attività commerciali, uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali: aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici.

*Classe IV (Aree di intensa attività umana).*

Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali e uffici, con presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; le aree portuali; le aree con limitata presenza di piccole industrie.

*Classe V (Aree prevalentemente industriali).*

Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.

*Classe VI (Aree esclusivamente industriali).*

Rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi.

La norma riporta nell'Allegato A anche una serie di definizioni. Dato che molti di questi termini vengono richiamati nelle norme seguenti, riteniamo utile riportarle.

Allegato A

*Ambiente abitativo.*

Ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o comunità ed utilizzato per le diverse attività umane: vengono esclusi gli ambienti di lavoro salvo quanto concerne l'immissione di rumore da sorgenti esterne o interne non connesse con attività lavorativa.

*Rumore.*

Qualunque emissione sonora che provochi sull'uomo effetti indesiderati, disturbanti o dannosi o che determini un qualsiasi deterioramento qualitativo dell'ambiente.

*Livello di rumore residuo – Lr.*

È il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato 'A' che si rileva quando si escludono le specifiche sorgenti disturbanti...

*Livello di rumore ambientale – La.*

È il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato 'A' prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato tempo. Il rumore ambientale è costituito dall'insieme del rumore residuo e da quello prodotto dalle specifiche sorgenti disturbanti.

*Sorgente sonora.*

Qualsiasi oggetto, dispositivo, macchina o impianto o essere vivente idoneo a produrre emissioni sonore.

*Sorgente specifica.*

Sorgente sonora selettivamente identificabile che costituisce la causa del disturbo.

*Livello di pressione sonora.*

Esprime il valore della pressione acustica di un fenomeno sonoro mediante la scala logaritmica dei decibel (dB) ed è dato dalla relazione seguente:

$$L_p = 10 \log (p/p_0)^2 \text{ dB}$$

Dove  $p$  è il valore efficace della pressione sonora misurata in Pascal (Pa) e  $p_0$  è la pressione di riferimento che si assume uguale a  $20 \cdot 10^{-6}$  Pa (in condizioni standard).

Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato 'A'.

È il parametro fisico adottato per la misura del rumore, definito dalla relazione analitica seguente:

$$Leq_{(A),T} = 10 \log [ (1/T) * \int_0^T (p_A/p_0)^2 dt ] \text{ dB(A)}$$

Dove  $p_A(t)$  è il valore istantaneo della pressione sonora ponderata secondo la curva A (norma I.E.C. n° 651);  $T$  è l'intervallo di integrazione (normalmente i dB(A) vengono usati in materia di "disturbo provocato dal rumore" in quanto è riferito alla percezione umana della pressione sonora; i dB vengono usati come unità di misura delle prestazioni sonore)

Livello differenziale di rumore.

Differenza tra il livello  $Leq$  (A) di rumore ambientale e quello del rumore residuo.

Rumore con componenti impulsive.

Emissione sonora nella quale siano chiaramente udibili e strumentalmente rilevabili eventi sonori di durata inferiore ad un secondo (possiamo notare come il DM 16 Marzo 1998 stabilisca tre criteri per stabilire un "rumore impulsivo": 1- l'evento deve essere ripetitivo, ovvero deve ripetersi almeno 10 volte l'ora nel periodo diurno (dalla 6:00 alle 22:00) o almeno 2 volte l'ora nel periodo notturno (dalle 22:00 alle 6:00); 2- definendo con  $L_{Amax}$  e  $L_{ASmax}$  i livelli massimi di pressione sonora ponderata con costanti di tempo "impulsive" e "slow" rispettivamente, deve verificarsi che  $L_{Amax} - L_{ASmax}$  deve essere superiore a 6dB; 3- la durata dell'evento a -10 dB dal valore  $L_{AFmax}$ , intendendo con questo il massimo livello di pressione sonora ponderata con costante di tempo "fast", deve essere superiore a 1s)

Rumori con componenti tonali

Emissioni sonore all'interno delle quali sono evidenziabili suoni corrispondenti ad un tono puro o contenuti entro 1/3 di ottava e che siano chiaramente udibili e strumentalmente rilevabili (il DM 16 Marzo 1998 Allegato B indica come le componenti tonali debbano essere rilevate impostando una costante di tempo "fast" ed effettuando un'analisi spettrale per bande normalizzate di 1/3 di ottava da 20 Hz a 20.000 Hz, rilevando la componente tonale se una banda supera le bande adiacenti di almeno 5 dB)

Tempo di riferimento –  $T_r$

È il parametro che rappresenta la collocazione del fenomeno acustico nelle 24 ore: si individuano periodo diurno (dalle h 6.00 alle h 22.00) e notturno (dalle h 22.00 alle h 6.00) (in alcuni casi è presente un tempo di riferimento serale fra le h 20.00 e le h 22.00)

Tempo di osservazione –  $T_o$

È un periodo di tempo, compreso entro uno dei tempi di riferimento  $T_r$ , durante il quale l'operatore effettua il controllo e la verifica delle condizioni di rumorosità.

Tempo di misura –  $T_m$

È il periodo di tempo, compreso entro il tempo di osservazione, durante il quale vengono effettuate le misure di rumore.

L'Allegato B della norma indica le modalità di misurazione del rumore in ambienti aperti e chiusi, sottolineando le condizioni standard in cui tale rilevazione va effettuata, le strumentazioni adeguate, i metodi attraverso i quali è possibile riconoscere componenti tonali o impulsive e i rispettivi coefficienti correttivi nel valore finale del livello acustico misurato. Dato però che il DM 16 Marzo 1998 contiene un intero allegato dedicato alla misura specifica del rumore ferroviario ci rifaremo a quest'ultimo per descrivere la procedura di misura adatta al nostro caso.

### 1.2.2 L n°447 del 26 Ottobre 1995

#### “Legge quadro sull’inquinamento acustico”

La “legge quadro” del 1995 rappresenta il punto di riferimento italiano per quanto riguarda le competenze dei diversi enti pubblici e gli interventi che quest’ultimi devono adottare nell’ottica dell’abbattimento dell’inquinamento acustico. Essa quindi non entra in dettaglio nelle procedure pratiche, quali possono essere la misura del rumore, i limiti da rispettare o le procedure per la zonizzazione dei territori comunali, rimandando, invece, tali argomenti a regolamenti successivi, di cui la legge sollecita al più presto la redazione.

Riportiamo di seguito un estratto dall’art. 2, il quale contiene le definizioni dei termini più specifici utilizzati nella norma, che si vanno ad aggiungere a quelli già riportati nella norma del 1991.

*Sorgenti sonore fisse.*

*Gli impianti tecnici degli edifici e le altre installazioni unite agli immobili anche in via transitoria il cui uso procura emissioni sonore; le infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali, marittime, industriali...*

*Valori limite di emissione.*

*Il valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della sorgente stessa.*

*Valori limite di immissione.*

*Il valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell’ambiente abitativo nell’ambiente esterno, misurato in prossimità dei recettori (una parte successiva dell’articolo precisa come tali limiti debbano dividersi in limiti assoluti quando riferiti al livello equivalente di rumore ambientale ed in differenziali quando intesi come differenza fra il livello equivalente di rumore ambientale e residuo).*

*Valori di attenzione.*

*Il valore di immissione che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l’ambiente.*

*Valori di qualità.*

*I valori di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla presente legge.*

La norma specifica (nello stesso articolo) come gli interventi di limitazione delle emissioni possono essere di natura tecnica, amministrativa, costruttiva e gestionale; comprendendo quindi sia procedure di collaudo, omologazione ecc., sia pianificazioni urbanistiche specifiche, sia interventi diretti con barriere, sia altre metodologie che vedremo più avanti nella sezione dedicata agli interventi di riduzione del rumore nell’ambito ferroviario.

Segue poi la parte dedicata alle competenze di Stato, Regioni, province e comuni.

Il compito dello Stato è quello di dettare la direzione d’azione degli enti ad esso subordinati e di stabilire, in collaborazione con enti di ricerca preposti, i limiti e i livelli di qualità che si possono definire accettabili in ambito nazionale. Rientrano tra i compiti statali, quindi:

- a) I limiti definiti nell’articolo 2 (di emissione, d’immissione ecc.)
- b) La definizione della normativa relativa all’accettazione e omologazione dei prodotti per il contenimento dell’inquinamento acustico e degli strumenti per la sua rilevazione
- c) La definizione dei metodi per la rilevazione del rumore (vedi, per l’ambito ferroviario, l’allegato C del DM 16 Marzo 1998)

- d) Il coordinamento degli enti di ricerca preposti a studiare le emissioni rumorose e la definizione dei rispettivi limiti, nonché l'accettazione di tali limiti per l'intero territorio nazionale in riferimento sia alle emissioni massime delle sorgenti, che ai massimi livelli di esposizione ammissibili
- e) L'adozione di piani pluriennali per il contenimento delle emissioni sonore prodotte dallo svolgimento dei servizi pubblici essenziali quali ferrovie, autostrade ecc.

Riguardo ai compiti regionali troviamo:

- a) I criteri in base ai quali i comuni classificano il proprio territorio in zone omogenee sulla base delle classi descritte nel DPCM 1 Marzo 1991, badando che le zone al confine fra due comuni adiacenti non abbiano livelli sonori equivalenti troppo diversi tra loro. Sempre la Regione si occupa di stabilire gli enti che subentrano in tale classificazione in caso di inadempienza da parte dei comuni interessati, nonché le sanzioni che scattano in quest'ultimo caso.
- b) I criteri in base ai quali vengono rilasciate le concessioni edilizie e le autorizzazioni per attività inquinanti dal punto di vista acustico (impianti sportivi, servizi commerciali...)
- c) Le procedure di risanamento acustico che possono essere adottate dai comuni.
- d) I criteri in base ai quali i comuni individuano aree di particolare interesse paesaggistico, turistico o altro che richiedono una particolare tutela dal punto di vista acustico.
- e) I criteri in base ai quali i comuni rilasciano le autorizzazioni per attività "rumorose" temporanee
- f) La definizione di compiti delle province
- g) L'organizzazione degli organi preposti al controllo del rispetto della normativa e di altri aspetti specificati nell'art. 14 (fra cui il rispetto dei limiti imposti a traffico e sorgenti fisse, il controllo dell'attività comunale nell'ambito della zonizzazione acustica ecc.)
- h) La definizione di piani triennali, che muovendosi attorno alle indicazioni date dai piani pluriennali statali, indirizzano le politiche di bonifica acustica

Alle province competono solo compiti attribuiti loro da parte delle Regioni, mentre i comuni, sempre nell'ambito della normativa regionale, sono obbligati a:

- a) Classificare il territorio comunale in zone acustiche omogenee sulla base delle attività svolte e dei limiti ammissibili.
- b) Controllare nell'ambito del rilascio delle concessioni edilizie e di autorizzazioni varie, il rispetto dei limiti imposti da normativa, nonché il rispetto dei livelli massimi ammissibili in corrispondenza di linee ferroviarie o altri sistemi di trasporto.
- c) Adottare regolamenti attuativi della disciplina statale e regionale.
- d) Definire le autorizzazioni necessarie per "attività rumorose" temporanee.

I comuni adottano anche appositi regolamenti acustici validi nel territorio comunale, zone di particolare interesse paesaggistico, ambientale e turistico in cui possono essere modificati i limiti di legge. Infine, vigilano sugli interventi di bonifica già realizzati o in fase di realizzazione.

Sempre i comuni si occupano (nel caso di superamento dei valori di attenzione) di adottare appositi piani di risanamento acustico nei quali viene, nell'ordine: individuata la fonte del rumore; i soggetti cui competono gli interventi necessari; le priorità, i metodi e i tempi di intervento; la stima degli oneri finanziari e dei mezzi necessari e le eventuali misure temporanee di emergenza.

La "legge quadro" ha anche il merito di equiparare l'inquinamento acustico ad ogni altro tipo di inquinamento, sottolineando come nei progetti già realizzati va effettuata una misura dell'inquinamento acustico effettivamente prodotto, mentre per quelli futuri l'aspetto acustico dovrà essere presente anche nella valutazione di impatto ambientale (è qui che nasce la VIAA ovvero la "Valutazione di impatto acustico", che approfondiremo più avanti). Ciascun gestore diventa quindi obbligato ad adottare appositi piani di bonifica al fine di abbassare le emissioni fin sotto valori di soglia ammissibili; inoltre i gestori di

sistemi di trasporto, fra cui ANAS e ciascun gestore ferroviario, sono obbligati ad accantonare parte dei ricavi (il 7% almeno) da impiegare per interventi di bonifica futuri.

### **1.2.3 DPCM 14 Novembre 1997**

#### **“Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore”**

Come abbiamo avuto modo di vedere nel corso dell’esposizione della Legge Quadro, quest’ultima si propone di definire solo i compiti dei diversi enti pubblici (Stato, Regioni, province e comuni) e la “politica acustica” che il Paese dovrà adottare negli anni a venire, stabilendo una nuova zonizzazione dei territori comunali, pensata in base alle emissioni sonore prodotte e ai massimi livelli sopportabili, e obbligando ciascun gestore di “attività rumorose” (i trasporti in primis) ad adottare anche appositi piani di risanamento in base alle zone “disturbate”. Quest’ultimo aspetto è diventato di tale importanza da rientrare all’interno della valutazione di impatto ambientale (sottoforma del VIAA), quindi tale da essere un particolare imprescindibile per ogni progettazione.

Tuttavia tale legge è incompleta per quel che riguarda effettivamente i limiti da rispettare, i metodi per effettuare la zonizzazione di cui sopra ecc. Per questo essa stessa (art. 11) rimanda alla redazione futura di regolamenti specifici, studiati appositamente per ciascun ambito (anche ferroviario).

A tal proposito discutiamo di seguito il DPCM 14 Novembre 1997, il quale viene qui presentato come norma di riferimento per quanto riguarda l’analisi dei recettori. Come abbiamo visto, infatti, l’emissione rumorosa va analizzata a due diversi livelli: a livello di colui che emette il suono (per cui sono predisposti i limiti di emissione) e a livello di colui che percepisce il suono (per cui sono predisposti i limiti di immissione). Dato che esiste una norma specifica che si occupa delle emissioni delle linee ferroviarie (DPR 18 Novembre 1998), analizzeremo il DPCM del 1997 come un’esposizione di limiti massimi imposti ai recettori. Sottolineiamo, inoltre, come tali limiti siano validi per tutte le zone poste al di fuori della fascia di pertinenza della linea ferroviaria (dove il rumore da essa causato va a sommarsi a quello proveniente da altre fonti) all’interno della quale sussistono limiti alternativi (art. 3).

Riportiamo di seguito i limiti proposti dalla norma in esame. Le diverse tabelle indicano:

- a) Valori limite di emissione (quindi riferiti a coloro che emettono il suono, quindi le sorgenti sia mobili che fisse) riportati nella TABELLA B.
- b) Valori limite di immissione (quindi riferiti a coloro che recepiscono il suono) riportati nella TABELLA C. Come già sottolineato non riguardano sorgenti sonore (mobili o fisse) all’interno della loro fascia di pertinenza. I valori limite di immissione possiedono anche un valore limite differenziale, che non analizzeremo oltre dato che non riguarda emissioni legate a infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali o marittime.
- c) Valori di attenzione, espressi come livelli continui equivalenti di pressione sonora ponderata (dBA) riferiti al tempo a lungo termine (TL, ovvero ad un periodo di tempo rispetto al quale vogliamo avere la caratterizzazione acustica dell’area e che rappresenta un multiplo intero dei periodi di riferimento TR) e riportati:
  - Nella TABELLA C se relativi ai periodi di riferimento ( $TL = n \cdot TR$ )
  - Sempre nella TABELLA C se riferiti ad un’ora, ma maggiorati di 10 dB nel periodo diurno e di 5 dB nel periodo notturno.Anche tali valori non riguardano zone appartenenti alle fasce di pertinenza delle infrastrutture stradali, ferroviarie, ecc.
- d) Valori di qualità (sempre da riferirsi ai recettori) riportati nella TABELLA D.

Classi di destinazione d'uso	Tempi di riferimento (TR)	
	Diurno (06.00-22.00)	Notturno (22.00-06.00)
I – aree particolarmente protette	45	35
II – aree prevalentemente industriali	50	40
III – aree di tipo misto	55	45
IV – aree di intensa attività umana	60	50
V – aree prevalentemente industriali	65	55
VI – aree esclusivamente industriali	65	65

TABELLA C

Classi di destinazione d'uso	Tempi di riferimento (TR)	
	Diurno (06.00-22.00)	Notturno (22.00-06.00)
I – aree particolarmente protette	50	40
II – aree prevalentemente industriali	55	45
III – aree di tipo misto	60	50
IV – aree di intensa attività umana	65	55
V – aree prevalentemente industriali	70	60
VI – aree esclusivamente industriali	70	70

TABELLA D

Classi di destinazione d'uso	Tempi di riferimento (TR)	
	Diurno (06.00-22.00)	Notturno (22.00-06.00)
I – aree particolarmente protette	47	37
II – aree prevalentemente industriali	52	42
III – aree di tipo misto	57	47
IV – aree di intensa attività umana	62	52
V – aree prevalentemente industriali	67	57
VI – aree esclusivamente industriali	70	70

#### 1.2.4 DM 16 Marzo 1998

##### “Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico”

Il DM 16 Marzo 1998 nasce in relazione al bisogno di avere una procedura specifica e normalizzata per la misura del rumore. A tale scopo ricordiamo come un intero allegato (Allegato B) del decreto 1 Marzo 1991 cercasse di descrivere nel dettaglio tali procedure; il decreto che andiamo ora a presentare mira a specificarle ulteriormente.

La norma, nella sua prima parte, indica quali debbano essere i requisiti degli strumenti di misura utilizzati (di norma fonometri) e a quali classi debbano appartenere (nello specifico “classe 1 secondo EN 60651/1994 ed EN 60804/1994”) Altri strumenti, quali filtri o microfoni possiedono altre specifiche. Inoltre devono subire un attento processo di calibrazione prima e dopo le misure, in modo da assicurare l'affidabilità della misura. Rimandiamo, comunque, alla norma per ulteriori approfondimenti.

Tuttavia, la parte più importante del documento risiede nei tre allegati, che specificano rispettivamente: definizioni importanti (Allegato A), metodo di misura (Allegato B), metodo di misura in ambito ferroviario (Allegato C) e presentazione di risultati (Allegato D).

Riguardo l'allegato A, che riporta le definizioni più importanti, ne riportiamo di seguito un suo estratto, che va ad integrarsi con i termini e le espressioni già viste in occasione del Decreto del '91 e della Legge Quadro.

#### Allegato A

##### *Tempo a lungo termine (TL).*

*Rappresenta un insieme sufficientemente ampio di TR all'interno del quale si valutano i valori di attenzione. La durata di TL è correlata alle variazioni dei fattori che influenzano la rumorosità a lungo periodo.*

##### *Livelli dei valori efficaci di pressione sonora ponderata "A" (LAS, LAF e LAI)*

*Esprimono i valori efficaci in media logaritmica mobile della pressione sonora ponderata "A" LPA secondo le costanti di tempo "slow", "fast" e "impulsive" (i rispettivi valori massimi si esprimono come LASmax, LAFmax e LAImax)*

##### *Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata "A".*

Avevamo già parlato di questo valore nel decreto del '91, tuttavia, riteniamo importante riportare la definizione che la norma in analisi dà di questo valore. La formula matematica per il suo calcolo, invece, rimane invariata.

*Valore del livello di pressione sonora ponderata "A" di un suono costante che, nel corso di un periodo specificato T, ha la medesima pressione quadratica media di un suono considerato, il cui livello varia in funzione del tempo.*

*Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata "A" relativo al tempo a lungo termine TL (LAeq,TL).*

*Il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata "A" relativo al tempo a lungo termine può essere riferito:*

a) *Al valore medio su tutto il periodo con riferimento al livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata "A" relativo a tutto il tempo TL, espresso della relazione:*

$$L_{Aeq,TL} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1(L_{Aeq,TR})_i} \right] \text{ dB(A)}$$

Come abbiamo già visto, il tempo TL è in realtà un insieme di TR. In questa prima procedura di suddivide il tempo di TL nei suoi N sottomultipli TR, quindi si inserisce il livello continuo equivalente di ciascun TR all'interno della formula riportata sopra per ottenere il livello totale.

b) *Al singolo intervallo orario nei TR. In questo caso si individua un TM di 1 ora all'interno dei TO nel quale si svolge il fenomeno in esame. (LAeq,TL) rappresenta il livello equivalente di pressione sonora ponderata "A" risultante dalla somma degli M tempi di misura TM, espresso dalla seguente relazione:*

$$L_{Aeq,TL} = 10 \log \left[ \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M 10^{0.1(L_{Aeq,TR})_i} \right] \text{ dB(A)}$$

In questo caso si entra ancor più nello specifico, suddividendo il tempo TL in intervalli di un'ora ritenuti TM (ovvero tempi di misura). Nella formula si sommano, quindi, i livelli equivalenti dei diversi TM (indicati dall'indice i presente sotto alla sommatoria) dei diversi TR in cui suddividiamo il più generale TL (in quest'ordine, il pedice i presente sotto a LAeq,TR indica i diversi TR in cui è stato suddiviso TL (in particolare indica l'i-esimo intervallo TR che compone il periodo TL).

Come ricorderemo dalla norma analizzata in precedenza, tali misure vanno confrontate con i relativi limiti di attenzione.

*Livello sonoro di un singolo evento LAE (SEL): è dato dalla formula:*

$$SEL = L_{AE} = 10 \log \left[ \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad dB(A)$$

Dove  $t_2-t_1$  è un intervallo di tempo sufficientemente lungo da comprendere l'evento;  $t_0$  è la durata dell'evento (1 s).

*Livello di rumore ambientale (LA).*

È il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato "A", prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato tempo. Il rumore ambientale è costituito dall'insieme del rumore residuo e da quello prodotto dalle specifiche sorgenti disturbanti, con l'esclusione degli eventi sonori singolarmente identificabili di natura eccezionale rispetto al valore ambientale della zona. È il livello che di confronta con i limiti massimi di esposizione:

- a) Nel caso dei limiti differenziali, è riferito a TM
- b) Nel caso dei limiti assoluti è riferito a TR

Abbiamo riportato anche questa definizione (che avevamo già visto) per sottolineare a quali intervalli di tempo tali valori vadano riferiti.

*Livello differenziale di rumore (LD)*

*Differenza tra il livello di rumore ambientale (LA) e quello di rumore residuo (LR)*

$$L_D = (L_A - L_R)$$

Segue il secondo allegato che riporta ulteriori specifiche sulla metodologia da seguire per le misurazioni in ambito acustico, che si vanno ad aggiungere a quelle già descritte nel decreto del 1 Marzo 1991. Queste ultime sono relative alle misure che vengono effettuate all'interno di ambienti chiusi o in spazi aperti con lo scopo di valutare i livelli sonori raggiunti e l'eventuale superamento dei limiti dati dalla legge, in particolare i limiti dei livelli di immissione.

Come abbiamo già osservato, le misurazioni dell'inquinamento acustico provocato da infrastrutture quali linee ferroviarie o stradali non vengono svolte come qualsiasi altra misura acustica qualora decidessimo di valutare i livelli di pressione sonora entro la relativa "fascia di pertinenza", tuttavia, una volta usciti da tale fascia tali sorgenti vengono equiparate a tutte le altre e contribuiscono al livello sonoro più generale. In quest'ultimo caso, quindi, ha senso proporre il metodo di misurazione riportato nell'allegato B della norma in analisi, nell'ottica di valutare l'ammissibilità del "rumore ferroviario" nelle zone esterne alla relativa "fascia di pertinenza".

Ovviamente per poter svolgere correttamente una misura del livello sonoro è necessario che le condizioni generali e atmosferiche della zona in cui ci troviamo non vadano a inficiare i dati rilevati. Pertanto la norma raccomanda che vi sia assenza di precipitazioni atmosferiche e velocità del vento inferiore a 5 m/s (fatto salvo che lo strumento deve sempre essere dotato di una cuffia anti-vento). A dire il vero sono diversi gli elementi che possono influenzare i dati rilevati. A tal proposito rimandiamo alla norma UNI 11022 che specifica quali siano tali elementi e in che misura possono essere considerati accettabili.

Una volta verificate tali condizioni si passa alla predisposizione della strumentazione (tipicamente un microfono), la quale va posta sempre ad almeno un metro da qualsiasi superficie riflettente (come pareti o altro). A questo punto si distingue fra misure in esterno e in interno, e riguardo queste ultime, fra misure a finestre aperte e a finestre chiuse.

Nel primo caso (misure in esterno) l'altezza dello strumento deve essere commisurata a quella dei recettori e la posizione deve essere quella in cui il disturbo è massimo (fatto salvo le distanze richiamate poc'anzi dalle superfici riflettenti).

Nelle misure interne, invece, si procede a finestre chiuse e a finestre aperte fino a trovare la condizione più sfavorevole. Nel primo caso (finestre chiuse) lo strumento va posto ad un'altezza di 1.5 m dal suolo e sempre a 1 m dalle superfici riflettenti. Nel secondo caso (finestre aperte) lo strumento mantiene le stesse regole di posizionamento, ma inoltre deve essere posto ad 1 m dalle finestre. In entrambi i casi deve essere ricercata sempre la posizione in cui è massimo il disturbo.

Riguardo ai valori che devono essere rilevati, si tratta del livello equivalente di pressione sonora ponderata "A" entro un dato TR. A tal proposito sono accettate due diverse procedure: una che segue per tutto il periodo di riferimento TR l'andamento della pressione; l'altra che segue una sorta di "metodo di campionamento", ovvero si suddivide il TR in una serie di TO e si registra il livello relativo a ciascuno di questi periodi. Alla fine si ottiene il livello cercato attraverso la formula seguente:

$$L_{Aeq,TR} = 10 \log \left[ \frac{1}{T_R} \sum_{i=1}^n (T_0)_i 10^{0.1 L_{Aeq,(T_0)_i}} \right] dB(A)$$

A tali livelli si applicano, poi, appositi fattori correttivi legati alla presenza di componenti tonali, impulsive o a bassa frequenza. Queste ultime sono presenti qualora, ravvisate delle componenti tonali, queste siano contenute entro l'intervallo di frequenza 20Hz – 20.000Hz.

Sottolineiamo, comunque che ogni fattore correttivo viene cancellato quando relativo al "rumore" causato da infrastrutture dei trasporti. Per questo motivo tralascieremo tale aspetto rimandando gli interessati alla norma in questione.

Riguardo all'argomento in analisi, comunque, ricopre un ruolo importantissimo l'allegato C del decreto 16 Marzo 1998, in quanto riguardante proprio la metodologia di misura del "rumore ferroviario" (l'allegato D riguarda esclusivamente la "presentazione dei risultati" ed essendo per noi di scarso interesse lo trascureremo).

Come in occasione delle "misure in esterno" precedentemente descritte, anche in questo caso più specifico è necessario porre l'attenzione sulle condizioni atmosferiche contingenti, badando al rispetto delle regole prima descritte. È necessario quindi rispettare le seguenti regole per una corretta misurazione:

- a) Assicurarsi condizioni atmosferiche accettabili e svolgere la misura in una giornata di traffico ferroviario standard
- b) Il microfono (dotato di cuffia anti-vento) deve essere posto a 1m da qualsiasi superficie riflettente, posizionato a 4m d'altezza e rivolto verso il passaggio dei convogli.
- c) Lo strumento deve essere impostato con costante di tempo Fast.
- d) La rilevazione deve permettere di individuare distintamente il passaggio dei singoli convogli potendone individuare il profilo temporale LAF(t), il livello di esposizione sonora (LAE) e deve verificarsi che ad ogni convoglio il livello LAFmax raggiunto superi di almeno 10dB il rumore residuo.
- e) La misura deve durare non meno di 24 h.

Una volta prese tutte queste accortezze il livello di pressione sonora equivalente relativo al periodo TR sarà dato dalla formula:

$$L_{Aeq,TR} = 10 \log \sum_{i=1}^n (T_0)_i 10^{0.1(LAE)_i} - k \quad (1)$$

Dove TR è il periodo di riferimento (notturno o diurno); n è il numero di transiti avvenuto nel periodo TR e k pari a k = 47.6 dB(A) nel periodo diurno e k = 44.6 dB(A) nel periodo notturno.

La presenza di eventi straordinari può invalidare la misura di alcuni convogli. Qualora i convogli invalidati siano inferiori al 10% del totale si devono eliminare i dati relativi a questi ultimi e sostituiti dalla media aritmetica dei LAE ottenuti dai convogli rimanenti.

Qualora, invece, tale numero superi il 10% oppure se il rumore residuo non consenta la corretta determinazione dei valori di LAE (si pensi ad un tratto ferroviario nei pressi di attività industriali particolarmente rumorose), ci si deve appoggiare alle rilevazioni effettuate in un secondo punto definito PR (punto di riferimento), il quale viene collocato in prossimità dell'infrastruttura ferroviaria ed in condizioni di campo sonoro libero, rilevando il passaggio dei convogli per almeno 24 h in modo assolutamente analogo a quanto viene fatto nella postazione originale. Deve poi essere svolta un'apposita correlazione fra i dati rilevati in PR e quelli rilevati nella postazione originale, per almeno 10 transiti per ciascun binario presente. A questo punto, per ciascun binario deve svolgersi la media aritmetica della differenza fra i valori di LAE trovati nei due punti di osservazione. Il valore così trovato va sottratto al valore di LAeq,TR determinato in PR, ottenendo una grandezza diversa per ciascun binario e denominata (LAEq,TR)<sub>k</sub>, con k un indice relativo a ciascun binario. La formula per determinare il livello equivalente nel punto di ricezione sarà

$$L_{Aeq,TR} = 10 \log \left[ \frac{1}{TR} \sum_{k=1}^n 10^{0.1(L_{Aeq,TR})_k} \right] dB(A) \quad (2)$$

Dove n è il numero dei binari.

Ricapitolando, in questo secondo caso dobbiamo:

- a) Predisporre un punto di riferimento PR nei pressi dell'infrastruttura in condizioni di campo sonoro libero.
- b) Rilevare il livello sonoro LAE in PR per almeno 24 h.
- c) Correlare il passaggio di almeno 10 convogli per ciascun binario fra i dati rilevati in PR e quelli rilevati nel punto di ricezione.
- d) Si sottraggono i LAE rilevati in PR e nel punto di ricezione per ciascun passaggio di convoglio e per ciascun binario.
- e) Si calcola la media, per ciascun binario, delle differenze così calcolate.
- f) Tale media, per ciascun binario, deve essere sottratta al valore di LAeq,TR, calcolato con la prima formula (1) usando i dati rilevati in PR. Si ottiene così, per ciascun binario, il valore di (LAEq,TR)<sub>k</sub>, con k l'indice che indica il binario.
- g) Si inserisce (LAEq,TR)<sub>k</sub> nella formula (2).

### 1.2.5 DPR 18 Novembre 1998

#### **“Regolamento della legge quadro in materia ferroviaria”**

Secondo l'art.11 della Legge Quadro in materia acustica specifiche sorgenti sonore, quali sono anche le infrastrutture ferroviarie, devono dotarsi di appositi regolamenti che disciplinino la prevenzione ed il contenimento dell'inquinamento acustico proveniente dalle sorgenti stesse. A tal proposito, il regolamento del 18 Novembre 1998 si propone come regolamento ad hoc per l'ambito ferroviario. Lo stesso regolamento, inoltre, mira a riempire le lacune lasciate dalla normativa precedente riguardo ai limiti e alle disposizioni valide all'interno di quelle che vengono chiamate “fasce di pertinenza” dell'infrastruttura, occupandosi, nel contempo di dare piena definizione di queste ultime.

La norma viene articolata in due parti, offrendo limiti e trattamenti differenti fra infrastrutture esistenti e di nuova realizzazione, oltre che fra infrastrutture la cui velocità di progetto è inferiore a 200km/h e infrastrutture in cui la velocità di progetto supera tale valore.

Definendo con “infrastruttura” l’insieme di materiale rotabile, binari, stazioni, scali, parchi, piazzali e sottostazioni elettriche (art.1), si definisce “esistente” ogni infrastruttura già in esercizio all’entrata in vigore della presente legge; mentre è di “nuova realizzazione” ogni linea non ancora in esercizio alla data di cui sopra. Ovviamente ad infrastrutture già esistenti possono affiancarsi elementi di nuova realizzazione originando così (nel caso non esistano aree intercluse non di pertinenza) un “affiancamento di infrastrutture di nuova realizzazione a infrastrutture esistenti”, oppure una “variante” se si tratta di un nuovo tratto in sostituzione di uno già esistente per una lunghezza inferiore a 5 km (dopo i quali si parla, evidentemente, di tratto di nuova realizzazione).

La norma prende in esame tutti questi casi, raggruppando fra di loro le infrastrutture esistenti, le varianti e le infrastrutture di nuova realizzazione che si affiancano a quelle già esistenti (chiameremo d’ora in poi queste infrastrutture come “infrastrutture di tipologia A”); e trattando a parte le infrastrutture di nuova realizzazione (che chiameremo d’ora in poi come “infrastrutture di tipologia B”).

Vengono successivamente definite le “fasce di pertinenza” dell’infrastruttura:

- a) Per le infrastrutture di tipologia A e per quelle di tipologia B con velocità di progetto inferiore a 200 km/h, la fascia è larga 250 m a partire dalla mezzera del binario più esterno ed estesa da entrambe le parti dello stesso. In questi 250m si individuano 2 sotto-fasce denominate rispettivamente “fascia A” (estesa per i 100m più vicini alla mezzera del binario più esterno) e “fascia B” (comprendente la rimanente parte)
- b) Per le infrastrutture di tipologia B con velocità di progetto superiore a 200 km/h la “fascia di pertinenza” si estende ai lati del binario per 250 m a partire dalla mezzera dello stesso, senza suddivisioni ulteriori in sotto-fasce.

L’inquinamento acustico provocato dal trasporto ferroviario va quindi analizzato secondo due aspetti: il primo limitatamente alla “fascia di pertinenza”, entro la quale la ferrovia rappresenta la sorgente inquinante preponderante, e il secondo al di fuori delle fasce, dove il rumore ferroviario viene aggiunto agli altri già presenti nell’ambiente.

Se nel primo caso è ovvio come debba essere il gestore del servizio ad occuparsi del rispetto dei limiti imposti dalla normativa; nel secondo caso è sempre il gestore a doversi occupare dell’eventuale risanamento solo per la parte che gli compete (ecco quindi spiegata l’analisi del DPCM 16 Novembre 1997 che abbiamo visto in precedenza). L’unico caso in cui sia il titolare della concezione edilizia (e non il gestore del servizio) a doversi occupare degli interventi di contenimento, è quello in cui si parli di aree non ancora edificate poste nei pressi di infrastrutture esistenti.

Tenuti validi, quindi, i limiti imposti dal DPCM del 1997, per le zone esterne alle fasce di pertinenza, esponiamo qui di seguito i limiti validi entro le fasce di pertinenza stesse:

Per le infrastrutture di tipologia B con velocità di progetto superiore a 200 km/h abbiamo:

- 50 dB(A) diurno e 40 dB(A) notturno, se la fascia contiene ospedali, scuole, case di riposo ecc. (ciò significa che all’interno delle strutture stesse, con misurazioni svolte secondo il DM 16 Marzo 1998, eseguite all’esterno degli edifici, non devono essere superati i limiti di immissione riportati sopra)
- 65 dB(A) diurno e 55 dB(A) notturno, altrimenti.

Per le infrastrutture di tipologia A o quelle di tipologia B con velocità di progetto superiore a 200 km/h abbiamo:

- 50 dB(A) diurno e 40 dB(A) notturno, se la fascia contiene ospedali, scuole, case di riposo ecc. indipendentemente se tali elementi sono in fascia A o B. Altrimenti:
- 70 dB(A) diurno e 60 dB(A) notturno, se in fascia A.

- 65 dB(A) diurno e 55 dB(A) notturno, se in fascia B.

Tali limiti vanno aggiunti a quelli richiamati nel decreto del '97 e rappresentano dei valori da non superare pena l'adozione di appositi piani di bonifica e di dispositivi per il contenimento del rumore, da parte del gestore dell'infrastruttura stessa (normalmente RFI).

Per quanto riguarda le infrastrutture di tipologia B, il primo provvedimento da prendere riguarda l'aspetto progettuale stesso, ovvero le nuove linee devono cercare di toccare territori quanto meno abitati possibili, in modo che sia maggiore il limite ammesso (vedi i diversi limiti per le diverse classi di utilizzo del territorio riportati nel DPCM 14 Novembre 1997) e di tenersi più lontano possibile da ospedali, scuole e quant'altro. La norma, comunque, prevede il caso di incompatibilità con i limiti da essa stessa imposti, ovvero prevede il caso in cui la disposizione mutua fra linee e centri abitati, o altri fattori rendano impossibile l'abbattimento del rumore fin sotto i valori imposti. Per questo motivo sono imposti dei limiti tassativi da rispettarsi (indipendentemente dal tipo di infrastruttura):

- 35 dB(A) notturno per ospedali, case di cura e case di riposo;
- 40 dB(A) notturno per tutti gli altri recettori;
- 45 dB(A) diurno per le scuole.

Tali valori vanno però misurati all'interno degli edifici stessi con microfono posto a 1.5 m dal suolo a finestre chiuse.

Il contenimento delle emissioni entro tali limiti prevede provvedimenti attuati sotto la supervisione di un'apposita commissione attuata con specifico decreto ministeriale. Più in generale, i gestori delle infrastrutture dovranno prevedere appositi piani di bonifica acustica da prevedersi in caso di superamento dei limiti di legge, oltre che accantonare una percentuale dei ricavi annuali (7%) per interventi mirati in tal senso.

La normativa mira a responsabilizzare anche i costruttori del materiale rotabile, imponendo loro (art. 6) appositi limiti di emissione da rispettarsi al momento di costruzione e ad ogni successiva revisione (ogni 6 anni o ogni 5 nel caso di materiale rotabile con velocità di esercizio superiore ai 200km/h). Approfondiremo più avanti tale aspetto, ma possiamo già anticipare che è proprio sulla "rumorosità" del materiale rotabile che si fonda gran parte dell'inquinamento acustico dovuto all'infrastruttura ferroviaria. In questo senso le normative europee spingono i produttori verso soluzioni tecnologiche sempre meno rumorose. Rimandiamo all'allegato A del regolamento per ulteriori informazioni a riguardo.

### **1.2.6 DM 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".**

Per finire la nostra esposizione della normativa italiana inerente le emissioni acustiche ed introdurre una delle sezioni successive riguardante la valutazione di impatto ambientale acustico, presentiamo il DM 29 Novembre 2000, il quale obbliga i gestori di attività inquinanti sotto l'aspetto acustico (ad esclusione di comuni, province e Regioni) ad individuare aree dove i limiti non vengono rispettati ed a elaborare di conseguenza appositi piani di contenimento delle emissioni.

L'iter competente a ciascun gestore di servizi di trasporto e infrastrutture prevede come primo passo quello di individuare tutte le zone interessate dal superamento dei limiti imposti dalla legge (si veda a tal proposito i decreti DPCM 14 Novembre 1997 e il DPR 18 Novembre 1998 riguardo alla materia ferroviaria). Nel caso si sovrappongano zone con limiti differenti (come due fasce di pertinenza di diverse infrastrutture) si fa ovviamente riferimento ai limiti più stringenti (ovvero, se un limite è posto a 40dB e l'altro a 50dB, sarà il primo, ovvero quello più vincolante, ad dover essere considerato).

Tale attività viene aggiornata nel tempo dato che cambiamenti nel traffico o nuove realizzazioni possono comportare un aggiornamento dei controlli svolti.

I dati così rilevati vengono trasmessi ai comuni, alle Regioni e agli altri enti ritenuti competenti, seguiti entro 18 mesi da un piano di contenimento ed abbattimento dell'inquinamento acustico. Seguono poi, per la maggior parte dei casi un periodo di 15 anni entro i quali i provvedimenti devono essere attuati (e le emissioni devono quindi tornare entro i limiti). I piani così presentati devono prevedere:

- a) L'individuazione degli interventi e le relative modalità di realizzazione;
- b) La presenza di infrastrutture concorrenti al superamento dei limiti: è ovvio come il superamento dei limiti imposti dalla legge sia dovuto alla contemporanea emissione di diverse sorgenti. La norma stessa nell'allegato 4 suggerisce un metodo per calcolare in quale percentuale si possa stabilire la "responsabilità" di un intervento e, quindi, quale debba essere il contributo dei diversi gestori coinvolti nell'operazione.
- c) Indicazione dei tempi di esecuzione e dei costi previsti: nell'allegato 3 la norma suggerisce quali possano essere dei prezzi ragionevoli di esecuzione di alcune fra le più comuni opere di risanamento previste.
- d) Il grado di priorità di ciascun intervento: nell'allegato 1 della legge stessa si riporta il metodo di calcolo dell'indice di priorità stesso, che è basato sul grado di superamento del limite imposto per la zona in questione e per il numero di recettori esposti al "rumore", avendo l'accortezza di aggiungere un coefficiente moltiplicativo per zone sensibili quali ospedali o scuole.
- e) Eventuali interventi attuati sui recettori. Come suggerito dall'art. 5 della norma gli interventi possono svolgersi su 3 direttrici: fonte del rumore, via di propagazione e recettori. Quest'ultimo intervento, tuttavia, risulta, oltre che invasivo nei confronti del recettore stesso, anche una soluzione abbastanza parziale, in quanto permette di risolvere il problema solo per alcuni soggetti ed in alcuni casi non completamente (si pensi all'installazione di finestre fono-isolanti). Per questo motivo si permette una soluzione simile solo qualora altre soluzioni si siano rivelate irrealizzabili dal punto di vista tecnologico o tecnico o siano eccessivamente penalizzanti dal punto di vista economico.

L'aspetto acustico viene quindi trattato alla stregua di ogni altro inquinamento, responsabilizzando i gestori sulle emissioni effettivamente accettabili e sulle eventuali procedure di abbattimento/contenimento attuabili. L'operato di tali gestori viene controllato dal Ministero dell'ambiente, dalle Regioni e dai comuni, ai quali ogni 31 Marzo di ogni anno devono essere inviati, da parte dei vari enti gestori, aggiornamenti riguardo l'entità dei fondi accantonati per interventi di risanamento (vedi art.10 della legge quadro) e circa lo stato di avanzamento degli interventi previsti o già conclusi (per informare gli enti competenti circa la loro manutenzione).

### **1.2.7 Riassunto finale.**

Cercheremo ora di fare un riepilogo di quanto visto fin'ora cercando di specificare quanto detto con riguardo alla materia ferroviaria.

Secondo la normativa italiana (DPCM 1 Marzo 1991) ogni suono che rechi disturbo o che possa essere considerato "deteriorante" per l'ambiente circostante è considerato a tutti gli effetti un tipo di inquinamento, e come tale deve essere trattato.

La soglia del "disturbo" viene stabilita per legge e cambia da zona a zona. In tal senso la normativa italiana suddivide il territorio in "classi d'uso" (DPCM 1 Marzo 1991) dove, a seconda dello scopo per cui quella zona è pensata (per residenze, attività industriali o altro...) viene stabilito un livello massimo consentito.

Nel caso ferroviario tali limiti devono essere distinti a seconda della posizione del recettore rispetto all'infrastruttura stessa:

- a) Nei pressi dell'infrastruttura, in quelle che vengono definite come "fasce di pertinenza", si deve ammettere che l'attività in analisi (il trasporto ferroviario) è per sua stessa natura rumorosa, per cui i limiti da porsi sono relativamente alti (si veda il DPR 18 Novembre 1998)
- b) Lontano dall'infrastruttura (ovvero fuori dalle fasce di cui sopra) il rumore ferroviario può contribuire assieme al rumore provocato da altre sorgenti al superamento dei limiti più generali forniti dalla normativa (DPCM 14 Novembre 1997).

In entrambi i casi, al superamento dei limiti imposti da legge (come per qualsiasi altro inquinamento, del resto) scattano le obbligatorie misure di bonifica.

È opportuno sottolineare che all'interno delle fasce di pertinenza (dove l'infrastruttura ferroviaria viene di fatto considerata come la principale sorgente inquinante) la responsabilità dell'inquinamento è del gestore dell'infrastruttura, al quale compete la verifica del superamento dei limiti, la predisposizione del piano di bonifica e il controllo sull'esecuzione dello stesso (tempistica e modalità di attuazione di questo processo viene specificato nel DM 29 Novembre 2000).

Tale processo viene articolato nel VIAA o Valutazione di Impatto Acustico, di fatto istituito con l'art. 8 della legge quadro del '95, nel quale si chiede al gestore dell'infrastruttura (o ad altri enti responsabili di "sorgenti rumorose" o di "recettori sensibili" quali scuole o ospedali) di effettuare una zonizzazione dell'area interessata specificando i limiti per ciascuna zona; identificare le sorgenti di rumore interessate; valutare in che modo le emissioni di tali sorgenti interagiscono con l'ambiente circostante (presenza di riflessioni, assorbimenti, ecc.); valutare, quindi, l'eventuale superamento dei limiti; e, infine predisporre eventuali piani di abbattimento delle emissioni e valutarne l'efficacia (ovvero valutando l'effettivo rientro nei limiti di legge).

Tali oneri competono al gestore dell'infrastruttura ferroviaria (che stiamo analizzando nello specifico) anche per aree esterne alla fascia di pertinenza nei quali, però, il trasporto ferroviario contribuisce al superamento dei limiti. In questo caso la responsabilità viene suddivisa fra i responsabili delle diverse sorgenti contribuenti all'emissione fuori norma secondo le modalità descritte nell'allegato 4 del DM 29 Novembre 2000.

Sempre fra gli oneri dei gestori di infrastrutture ferroviarie troviamo l'accantonamento di almeno il 7% dei ricavi annuali per interventi di bonifica acustica.

La normativa, per stabilire l'urgenza degli interventi stabilisce, oltre ai limiti di immissione anche dei limiti di attenzione e di qualità, che rappresentano rispettivamente: i limiti ai quali le emissioni rappresentano un serio rischio per individui o ambienti e i limiti cui si dovrebbe mirare per ottenere un accettabile qualità della vita.

Oltretutto, volendo analizzare e regolarizzare le emissioni direttamente alla fonte, la legge fornisce limiti da imporsi direttamente alle sorgenti, indipendentemente dagli effetti che queste avranno nei confronti dei recettori. Nel caso ferroviario, dove la maggior parte delle emissioni sono da imputare al materiale rotabile, tali limiti sono riportati all'allegato A del DPR 18 Novembre 1998.

Oltre a stabilire i limiti di legge, la normativa italiana, in particolare con il DM 16 Marzo 1998, indica i modi attraverso i quali possiamo misurare le emissioni, per poi confrontarle con i limiti di cui abbiamo parlato fino ad ora. Nel caso ferroviario l'allegato C della legge appena menzionata descrive il modo attraverso il quale il rumore ferroviario deve venir misurato. Sottolineiamo che tale metodo è quello seguito anche per stabilire i limiti di legge, quindi è l'unico che ha senso seguire per far sì che il successivo confronto fra dati rilevati e normativa abbia senso.

Per un'esposizione completa del metodo rimandiamo alla sezione precedente facente capo al decreto di cui sopra, o direttamente alla normativa.

Sottolineiamo, inoltre, che qualora si debba misurare i livelli sonori interni ad ambienti abitativi in cui il superamento dei limiti non si possa facilmente ricondurre al solo rumore ferroviario, ma in cui si presume che quest'ultimo ricopra comunque un ruolo, si deve adottare una procedura alternativa esposta sempre nel decreto del Marzo '98.

In conclusione, il rumore causato dal trasporto ferroviario va analizzato sia a livello della sorgente che a livello del recettore. In questi due casi si deve procedere misurando le emissioni tramite la procedura normata e confrontare i valori ottenuti con i limiti sempre imposti dalla legge. Nel caso di superamento di questi ultimi si procede con opportune misure di contenimento e abbattimento del rumore fino a riportarlo entro valori accettabili. La responsabilità di tale procedimento, ovvero la verifica e il monitoraggio di eventuali emissioni fuori norma, competono sempre al gestore dell'infrastruttura.

## Capitolo 1.3

# Documentazione necessaria per la valutazione e la prevenzione dell'impatto acustico.

---

Nell'analisi della normativa italiana abbiamo avuto modo di apprezzare il crescente interesse riservato per la tutela del cittadino dall'inquinamento acustico, ormai equiparato ad ogni altro tipo di inquinamento ambientale.

In quest'ottica la legge Quadro del 1995 stabilisce i doveri di Stato, Regioni e comuni, che sono chiamati a vigilare su ciascuna attività definita rumorosa. A tal riguardo, a dire il vero, la normativa si era già pronunciata nella legge n°349 dell'8 luglio 1986 nell'ambito delle procedure di valutazione dell'impatto ambientale. In quest'occasione il "rumore" visto come fonte di disturbo e di degrado ambientale veniva equiparato a qualsiasi altra forma inquinante, senza però entrare in dettaglio nelle procedure necessarie a definire oggettivamente quali emissioni potessero considerarsi disturbanti. Quest'ultimo aspetto viene rimandato al DPCM 1 Marzo 1991 e soprattutto alla Legge quadro. È proprio in questa occasione che il legislatore prescrive alle Regioni di stabilire un metodo univoco, attraverso il quale i relativi comuni possano suddividere il proprio territorio in Classi d'uso (art. 4 Legge quadro), ed è sempre nella stessa norma che si sancisce che ogni nuova attività rumorosa deve rivelarsi compatibile con la suddivisione stessa (art. 8), attraverso la redazione di un apposito documento definito "documentazione preliminare di impatto acustico" DPIA.

Entriamo ora più nel dettaglio, con un'attività che apparirà per certi versi una ripetizione di quanto già visto nei capitoli precedenti, ma che ci aiuterà a fare il quadro della situazione.

La legge 349 del 1986 prevedeva la redazione di una "Valutazione di impatto ambientale" (VIA) per una serie di opere che potessero pregiudicare la qualità ambientale con la loro attività o con la loro realizzazione. La legge quadro del 1995 affianca a tale documento anche un'analisi svolta con riguardo alla materia acustica. Nasce così la "Valutazione di impatto acustico", obbligatoria per:

- a) Aeroporti, avio superfici, eliporti;
- b) Strade di tipo A, B, C, D, E ed F;
- c) Ferrovie ad altri sistemi di trasporto collettivo su strada.

Nello spirito della tutela acustica, i comuni possono richiedere tale documentazione anche per la realizzazione, modifica o potenziamento di:

- d) Discoteche;
- e) Circoli privati e pubblici esercizi ove sono installati macchinari o impianti rumorosi;

f) Impianti sportivi e ricreativi.

Infine, sempre ai sensi della legge quadro, è richiesta la presentazione di un documento analogo nel caso di:

g) Rilascio della concessione edilizia (o altri provvedimenti abitativi) per nuovi impianti ed infrastrutture adibiti ad attività produttive, sportive o ricreative;

h) Rilascio dell'autorizzazione all'esercizio di attività produttive.

In definitiva, ciascuna attività ritenuta possibile fonte di rumore deve essere analizzata riguardo ai possibili effetti acustici che questa può avere nelle aree circostanti. Tale documentazione diventa una discriminante fondamentale per consentire l'effettiva realizzazione dell'opera o l'inizio delle attività. Essa diventa obbligatoria (o comunque può essere richiesta dai comuni quando ritenuto appropriato) in tutte la attività di modifica di tali attività (comprendendo anche modifiche negli orari di attività, nei percorsi dei mezzi ecc.), che possano comportare modifiche sostanziali nelle emissioni.

### **1.3.1 Dichiarazione previsionale di impatto acustico (DPIA).**

La valutazione acustica di tali attività si condensa nel documento definito "Documentazione Previsionale di Impatto Acustico" descritta nell'art.8 della Legge quadro.

Le modalità di redazione di tale documento sono competenza delle Regioni, che possono appoggiarsi in questo, alle agenzie per la tutela ambientale (ARPA) come è accaduto nel caso veneto. Nella nostra Regione il documento di riferimento è la legge regionale 11 del 2001, redatto in collaborazione con l'ARPAV.

Nel nostro caso il DPIA ha due precisi scopi che sono quelli di individuare chiaramente gli aspetti caratterizzanti (anche non acustici) dello stato attuale e quello dello stato post-realizzazione, e distinguere la quota di rumorosità indotta dalla sola opera in questione e quella derivata dalle restanti sorgenti sparse nel territorio in esame.

Una volta che l'indagine avrà valutato l'effetto che la nuova opera ha sul territorio circostante (anche nelle aree non adiacenti all'attività) nel breve e nel lungo termine, si deve verificare la compatibilità della nuova opera con i limiti acustici di tale territorio. Ciò significa che deve essere nota la classificazione acustica del territorio e quindi verificare che le emissioni della nuova attività non superino i limiti assoluti e differenziali di tali zone.

Qualora si verificasse un superamento delle soglie massime, anche in zone non immediatamente adiacenti alla sorgente, devono scattare apposite procedure di tutela ambientale, che consentano alle emissioni che oltrepassino i confini dell'attività, di non superare le soglie massime poste per le zone circostanti.

Analizziamo nel dettaglio i contenuti minimi del DPIA secondo quanto stabilito dalla normativa veneta.

Secondo la normativa regionale il documento si suddivide in 4 diverse parti:

a) INFORMAZIONI IDENTIFICATIVE ED URBANISTICHE DI CARATTERE GENERALE.

Rientrano in questa parte tutte le informazioni relative al committente dell'opera in questione ed alle caratteristiche di quest'ultima, oltre che una descrizione del sito in cui verrà collocata.

Dobbiamo, quindi, specificare:

- 1) Dati identificativi del soggetto proponente e del soggetto gestore
- 2) Comuni attraversati o interessati dal tracciato
- 3) Individuazione dell'area di influenza interessata da una variazione significativa dei livelli di rumore nel caso di realizzazione dell'opera. A tal riguardo sottolineiamo che le opere realizzabili non si limitano ad opere lineari come nuove linee ferroviarie, ma possono comprendere anche opere puntuali come sottostazioni elettriche, scali merci, parchi di smaltimento, officine di manutenzione, depositi ecc.
- 4) Descrizione del tracciato sia in planimetria che in altimetria definendo la destinazione d'uso dell'area di influenza

- 5) Definizione dei limiti acustici dati dalla normativa italiana nell'area di influenza e nella relativa area di pertinenza
- 6) Individuazione di tutti gli elementi che possono influire sulla propagazione acustica. In questo senso alcuni rilievi, o una particolare disposizione degli edifici possono avere un effetto schermante sui recettori posti nelle vicinanze. Contemporanea individuazione dei recettori stessi interessati dalla nuova realizzazione con particolare interesse verso quei recettori ritenuti "sensibili" quali ospedali o scuole.
- 7) Tutte le informazioni precedenti devono, quindi, essere riassunte in apposite planimetrie orientate o in equivalenti file vettoriali.
- 8) Vengono, infine, allegati tutte le normative, nazionali o europee, cui si fa riferimento nella redazione del documento.

In definitiva, la prima parte del documento serve a identificare dal punto di vista geografico la nuova realizzazione ed a contestualizzarla rispetto alla zonizzazione acustica ivi costruita. Alla fine del procedimento si potrà avere una chiara identificazione della posizione dell'opera, del modo con cui il territorio circostante amplifica o scherma le eventuali emissioni rumorose e del livello di tutela da assicurare alle zone limitrofe.

b) **DATI INFORMATIVI DI CARATTERIZZAZIONE DELL'INFRASTRUTTURA IN PROGETTO.**

Al secondo punto del DPIA devono essere specificate le caratteristiche della nostra sorgente. Nel caso ferroviario devono essere specificati:

- 1) Immaginando di avere a che fare con una nuova linea ferroviaria (il caso di sorgenti puntuali è analogo) dobbiamo riuscire a suddividere il tracciato in una serie di sorgenti omogenee in base alle caratteristiche del traffico e della sovrastruttura ferroviaria, oltre che includere tutte le possibili strutture accessorie che caratterizzano l'opera.
- 2) Ogni sorgente (corrispondente ad un arco di ferrovia) viene caratterizzata rispetto alla rugosità della superficie di rotolamento; alla presenza di scambi o singolarità varie; alla tipologia di massicciata impiegata e alla tipologia di traversine, includendo anche informazioni riguardo specifiche tecnologie adottate per queste o altre parti della sovrastruttura ferroviaria.
- 3) Ogni sorgente deve essere caratterizzata rispetto al traffico che la interessa, suddiviso in base ai diversi periodi della giornata e riferito sia al traffico medio attuale che al massimo traffico sostenibile dalla struttura.
- 4) Ogni convoglio richiamato nel punto precedente deve essere caratterizzato rispetto al proprio grado di rumorosità, includendo informazioni relativamente al tipo di locomotiva, alla sua composizione di vagoni, alla sua velocità e lunghezza ed al tipo di trasporto svolto (merci o passeggeri)
- 5) Devono, infine, essere comprese tutte le altre sorgenti accessorie quali stazioni o impianti, oltre che tutte le altre possibili fonti di rumore indirettamente prodotto dall'opera (vedi un maggior traffico veicolare che si sviluppa nei pressi di una stazione)

Scopo di questa seconda parte è caratterizzare nello specifico la sorgente con cui abbiamo a che fare, indipendentemente dalla sua collocazione geografica (trattata nel punto precedente).

Puntualizziamo che non siamo ancora arrivati alla definizione dei livelli sonori, ma possediamo tutte le informazioni riguardo quegli elementi che possono di fatto influenzarli.

c) **MODALITA' DI REALIZZAZIONE DELLA VALUTAZIONE PREVISIONALI DI IMPATTO ACUSTICO.**

L'ultima parte del documento in analisi consiste nella valutazione vera e propria dei livelli sonori raggiunti dalla nuova sorgente avendo come input i dati registrati nei primi due punti. In questa parte racchiudiamo:

- 1) Le stime dei livelli di rumore raggiunti dopo la costruzione e l'inizio delle attività nella nuova infrastruttura. Tali stime vanno condotte rispetto al tipo di convoglio e sovrastruttura indicati nel punto precedente, e devono distinguere fra rumorosità indotta dalla nuova opera e rumorosità già presente nel sito. Con rumorosità indotta dalla nuova opera intendiamo anche tutte le emissioni derivate da opere accessorie o da sorgenti sonore indotte indirettamente. Le misure riguardano sia l'area di pertinenza sia l'esterno di quest'ultima.
- 2) Le stime dei livelli di rumore raggiunti durante la costruzione e legata alle sorgenti presenti nel cantiere e alle sorgenti indotte indirettamente come il traffico di mezzi pesanti.
- 3) Un'apposita resa grafica delle misurazioni: le stime così condotte nei diversi periodi di riferimento (notturno e diurno) e rispetto ai punti ritenuti maggiormente critici, vanno riassunte in una planimetria di curve iso-livello in modo da poter subito valutare il livello di emissioni raggiunto in corrispondenza dei diversi recettori.
- 4) I metodi utilizzati per dare origine alle curve iso-livello indicate alla voce precedente. Tali metodi possono essere di diversa natura (possono comporsi di sole rilevazioni in situ, di sole elaborazioni grafiche o può trattarsi di metodi ibridi) e lasciamo la loro completa trattazione al punto successivo.
- 5) I sistemi anti-rumore adottati nel caso di emissioni fuori norma rispetto ai limiti posti dalla normativa italiana nelle zone circostanti l'opera e nelle aree di pertinenza (DPCM 14 Novembre 1997 e DPR 18 Novembre 1998 rispettivamente). Tali sistemi possono essere adottati sia durante che dopo la costruzione dell'opera. In ogni caso devono essere annotati nel documento in analisi indicando quali siano effettivamente gli abbassamenti di rumore ottenuti (e se questi nuovi livelli raggiunti siano sufficienti per rispettare i limiti di cui parlavamo in precedenza)
- 6) Se i sistemi adottati sono di fatto dei sistemi anti-rumore (piuttosto che semplici rivisitazioni della progettazione), devono essere indicate tutte le caratteristiche meccaniche e fisiche dell'opera.
- 7) Le misurazioni dei livelli di rumore registrati in appositi punti di ricezione. Il DPIA richiede che vengano svolte delle campagne di misurazione delle emissioni di rumore in alcuni punti sia all'interno che all'esterno dell'area di pertinenza in modo da poter monitorare la situazione prima, durante e dopo la costruzione dell'opera. Tali punti devono essere scelti in modo da essere particolarmente rappresentativi della situazione acustica del sito. La norma lascia la possibilità di poter aggiungere ulteriori punti alla rilevazione nel caso lo si ritenga opportuno vista l'area d'influenza dell'elemento realizzato.  
Lo scopo di tali rilevazioni è quello di valutare la situazione ante operam (potendo così valutare l'effettiva situazione del sito e l'effettivo "peso acustico" posseduto dal nostro intervento) e la situazione durante e dopo la realizzazione per poter, non solo fare delle valutazioni rispetto alle stime previsionali descritte nelle voci di precedenza, ma anche rispetto all'efficacia dei sistemi anti-rumore adottati.
- 8) Descrizione delle eventuali modificazioni nel traffico delle arterie stradali o in altre attività presenti nel sito in analisi. Le modalità con cui tali aspetti devono essere valutati vengono riportate negli appositi articoli della norma regionale in analisi.

In definitiva, questa terza parte si propone come il vero centro della valutazione previsionale. È qui che vengono svolte tutte le valutazioni rispetto agli effetti che il nostro intervento avrà nel

territorio circostante dal punto di vista acustico. Come possiamo vedere, vengono usati i dati elencati nei primi due punti, ovvero i livelli di emissione della nostra opera e le caratteristiche di propagazione del territorio circostante, nonché i limiti delle zone del territorio stesso. Questi ultimi sono anche la discriminante in base alla quale è necessario o meno installare dei dispositivi di riduzione del rumore o meno. In entrambi i casi la nuova opera non può avere emissioni che eccedano le soglie imposte dalla legge. Sottolineiamo che tali interventi di riduzione del rumore non si compongono solo di dispositivi appositi (vedi barriere anti-rumore) ma possono consistere in una diversa disposizione delle sorgenti all'interno dell'opera, la predisposizione di direzioni alternative nelle quali convogliare il nuovo traffico generato dall'opera o altro ancora.

d) MODALITA' DI APPLICAZIONE DEI MODELLI DI CALCOLO PREVISIONALI.

Al fine di proporre una valutazione previsionale di impatto ambientale, è necessario possedere degli strumenti appositi che ci consentano di poter avere un'idea quanto più attendibile possibile della situazione post operam.

A tal proposito si possono adottare tre diversi approcci:

- Il primo è l'approccio puramente "empirico" consistente nello svolgimento di una serie di misure dei livelli sonori in appositi punti recettori, che siano sufficienti per avere un'immagine completa dell'area d'influenza dell'opera. In quest'operazione ci si può appoggiare ad un sito equivalente in cui abbiamo territorio, recettori ed opera quanto più simili possibili al sito in analisi. Tale operazione è però molto lunga e dispendiosa, in quanto, per avere un'idea chiara di un territorio più o meno vasto abbiamo bisogno di numerose postazioni di misura che devono registrare dati per un periodo che va dalle 24 ore ai 7 giorni.
- Il secondo è l'approccio completamente teorico. Si tratta di implementare alcuni metodi matematici entro appositi software che permettono di ricostruire le curve di isolivello conoscendo le sole caratteristiche della sorgente e la conformazione del territorio circostante (comprendendo effetti schermanti o amplificanti). È un metodo relativamente economico, in quanto si basa sulla raccolta di pochi dati e permette di mappare un territorio relativamente ampio. Per questi stessi motivi è però un metodo abbastanza "fragile" in quanto piccoli errori nei dati di partenza possono comportare grossi errori in fase di output.
- Il terzo è l'approccio misto che permette di colmare le lacune dei due metodi appena presentati e di sfruttare al tempo stesso tutte le loro caratteristiche positive. Esso si basa sulla raccolta di alcuni dati seguendo il metodo "empirico" (quindi attribuendo a questi dati una relativa certezza) e di sfruttare tali dati all'interno di appositi software che permettono di estenderne i risultati ad un'area molto ampia. In questo modo si contengono i costi, in quanto le misurazioni sul campo necessarie sono relativamente poche e si ha una relativa sicurezza nei dati di input usati nell'elaborazione del software. Inoltre, l'area così coperta è particolarmente ampia a seconda delle specifiche del programma usato.

A tal proposito la normativa regionale prescrive di usare un software usato nei Paesi Bassi.

Attualmente, comunque, grazie alla collaborazione di numerose università italiane sono disponibili software altrettanto validi made in Italy.

Ad ogni modo il DPIA prescrive di indicare tutti i dati che devono essere immessi all'interno del programma, dalle caratteristiche del territorio analizzato alle specifiche della sorgente (nei programmi appositi basta inserire le caratteristiche della macchina utilizzata per ottenere la rispettiva emissione). Tutti tali dati vanno accompagnati con la sensibilità degli strumenti utilizzati. Analogamente vanno inseriti tutti i dati relativi a sorgenti accessorie utilizzando appositi software specificatamente pensati per sorgenti stradali o di altra natura.

Le rilevazioni effettuate non hanno, poi, il solo scopo di rilevare la situazione contingente, ma possono arricchire una banca dati delle sorgenti (facilitando future rilevazioni simili) o possono essere usate per calibrare appositi sistemi di calcolo.

Secondo quanto stabilito dalla normativa regionale ogni rilevazione si compone di:

- 1) Istanti di inizio dell'evento
- 2) Livello sonoro massimo raggiunto misurato con costante di tempo Fast
- 3) LAE o livello di esposizione ponderato espresso in terzi di bande d'ottava di ciascun evento
- 4) Il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata LAeq per un intervallo di tempo compreso fra due istanti in cui il livello sonoro dell'evento (valutato con costante di tempo Fast) è 10 dB minore del valore LAFmax
- 5) Profilo temporale del livello continuo equivalente sonora ponderata LAeq espresso per intervalli inferiori al secondo
- 6) Distanza della strumentazione dall'asse centrale del binario più vicino
- 7) Caratteristiche del convoglio rilevato comprendente tipologia e categoria del convoglio, velocità media di passaggio, lunghezza e composizione.

A conclusione di questa sezione dedicata al DPIA dobbiamo osservare come esso costituisca una discriminante fondamentale per concedere il permesso di costruzione di una data opera o la sua eventuale modifica. Tuttavia essa non deve essere avvertita solo come uno strumento di tutela del recettore o dell'ambiente più in generale, ma quanto come uno strumento utile al committente dell'opera per valutare l'effettiva convenienza economica del progetto. Assunto che la legge nazionale impedisce la realizzazione di sorgenti che possano comportare il superamento dei limiti imposti per le diverse classi d'uso, ogni ente responsabile di nuovi progetti deve rendersi conto degli eventuali provvedimenti accessori anti-rumore che dovrà predisporre per rendere idonea e quindi approvabile la propria opera, e quindi dei costi ad essi legati. In questo senso lo strumento del DPIA si pone come completa panoramica sui costi di costruzione di infrastrutture di trasporto o di altre attività rumorose.

### **1.3.2 Valutazione di impatto ambientale acustico (VIAA).**

La valutazione di impatto ambientale si differenzia dal DPIA solo per via della natura previsionale di quest'ultimo che è, invece, assente nel caso in esame. La VIAA si affianca, dunque, al più generale VIA nell'indicare tutti gli effetti di degrado indotti nella realizzazione e nell'esercizio dell'opera stessa. In quest'ottica il VIAA non indica possibili soluzioni ad eventuali emissioni fuori norma (come era, invece, d'obbligo nel caso precedente) ma si limita ad una registrazione passiva degli effetti che l'opera ha nel territorio circostante.

Secondo la normativa veneta il documento si divide in due parti.

La prima viene interamente dedicata alla descrizione dello "scenario" in cui l'opera è collocata, soffermandosi sul tipo di sorgente in esame (tipo di servizio offerto dalla linea, ecc.) e sui recettori coinvolti. Viene, quindi, richiesto di riportare:

- a) Una chiara identificazione della tipologia di infrastruttura ai sensi del DPR 18 Novembre 1998 in cui la distinzione avviene rispetto alla velocità di progetto e all'età dell'opera.
- b) Una descrizione dell'area d'influenza dell'infrastruttura riportando eventuali opere che possano amplificare o attenuare l'emissione sonora e i diversi recettori coinvolti, con particolare attenzione riservata ai recettori più sensibili. Devono essere compresi anche recettori che ancora non esistono ma sono già approvati da piani regolatori o altro (ovvero ogni opera già approvata anche se non ancora realizzata va tenuta in considerazione come se di fatto già esistesse). In tal caso vale il

principio secondo cui tutto ciò che deve ancora essere approvato deve conformarsi a quanto già esiste o è già stato approvato.

- c) Una completa descrizione dell'infrastruttura realizzata comprendente:
- Il tracciato dell'infrastruttura sia in pianta che in elevazione, con indicazione dei comuni coinvolti
  - Indicazione dei principali recettori e delle aree interessate, entro ed oltre i confini dell'area di pertinenza.
  - Indicazioni riguardo ai limiti delle zone così coinvolte
  - Tutte le informazioni precedentemente indicate devono essere presentate in una planimetria comprendente curve di isolivello
  - Indicazioni delle norme regionali, nazionali e sovranazionali utilizzati nella redazione della documentazione.

La seconda parte della documentazione consiste nella vera e propria valutazione di impatto e si compone di:

- a) Individuazione di alcuni punti dove porre i recettori, che permettono di avere un'idea completa del livello acustico raggiunto nel territorio circostante l'infrastruttura. I punti devono essere scelti in modo da essere quanto rappresentativi possibili e le modalità e i tempi da dedicare alla rilevazione sono indicati nell'apposita normativa (DM 16 Marzo 1998).
- b) Ciascuna misura svolta nelle postazioni indicate deve riportare dati e caratteristiche relative alla sorgente sonora che si vuole analizzare cercando di separarne l'effetto da quello ottenuto dalle altre sorgenti presenti nel territorio. A tal riguardo onde rendere quanto più chiare e rappresentative le misurazioni sarà necessario misurare in apposite condizioni atmosferiche e di traffico ordinarie. Ciascuna misura effettuata deve comprendere tutti i dati necessari per descrivere compiutamente il recettore stesso. Quindi devono essere riportate distanze, altezze e quant'altro sia sufficiente per inquadrare al meglio la posizione della postazione.
- c) Una descrizione completa del tratto di infrastruttura interessato da misura. Dopo una caratterizzazione del recettore l'attenzione viene spostata sulla sorgente. In quest'ottica devono essere fornite informazioni esaurienti riguardo alle condizioni del binario (rugosità, presenza di deviatori, tipo di traverse utilizzate...) e della sovrastruttura utilizzata per un tratto di linea lungo 500 m verso monte e valle rispetto al punto di rilevazione.
- d) Una redazione completa di ciascuna misura che comprenda non solo la misura in sé, ma ogni altra informazione che possa influenzare quest'ultima, pertanto è necessario riportare:
- Tipo di convoglio (composizione, tipo di locomozione ecc.)
  - Fatti accidentali occorsi nel corso della misurazione (sappiamo che la norma del '98 indica misure svolte per diverse ore, quindi è probabile che in questo lasso di tempo possano accadere degli eventi imprevedibili che possono falsare le nostre rilevazioni)
  - Istante d'inizio dell'evento sonoro
  - Livello sonoro massimo registrato con una costante di tempo Fast
  - Il livello di esposizione sonora LAE (o SEL) espresso in terzi di bande d'ottava
  - Il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata ed il relativo profilo temporale.
- e) Il numero di convogli passati nel corso della giornata, comprendendo anche direzione, periodo di rilevazione e binario occupato
- f) Ciascuna misura dovrà poi essere analizzata criticamente. Con questo intendiamo che il profilo temporale della pressione sonora ci permetterà di isolare le emissioni relative al passaggio dei diversi convogli da ogni altra sorgente. Inoltre, per poter essere sicuri che la rilevazione abbia

effettivamente riguardato un convoglio ferroviario dobbiamo confrontare il passaggio di ogni treno con gli orari di arrivo alle diverse stazioni.

Come sappiamo, infine, tali misure potranno venire influenzate da eventi straordinari che, ovviamente, dovranno essere rimossi dalla rilevazione ottenendo così delle misure relative al traffico ordinario. A tal riguardo, il già citato DM 16 Marzo 1998 prescrive di individuare tutti gli eventi ritenuti straordinari e di sostituirli con il valore medio di pressione sonora. Questo vale finché tali eventi occupano meno del 10% delle rilevazioni. In caso contrario (superamento della soglia del 10%) si deve adottare un metodo alternativo consistente nell'usare dati provenienti sia dalla postazione di ricezione, che da una postazione definita "posizione di riferimento" posta nei pressi dell'infrastruttura. Unendo tali risultati si ottiene un procedimento che corregge i livelli inizialmente rilevati (rimandiamo alla parte di normativa per un approfondimento).

Come vediamo, quindi, il VIAA si discosta molto poco dal DPIA, infatti adotta procedimenti molto simili della misura. La reale differenza sta nella filosofia di base. Nel caso del VIAA si vuole analizzare la situazione attuale eventualmente segnalando quali possano essere i problemi di superamento dei limiti; nel caso del DPIA si vuole far capire quali saranno gli effetti di una nuova realizzazione o modifica e quali devono essere gli accorgimenti da prendere per rendere approvabile il progetto. Potremo azzardarci a dire che il DPIA comprende buona parte del VIAA per quel che riguarda la parte descrittiva, ma a questa aggiunge anche una parte prescrittiva.

### **1.3.3 Valutazione Previsionale di Clima Acustico (VPCA).**

Per completezza alleghiamo anche una descrizione del VPCA, che completa la serie di documenti da redigersi per valutare il grado di inquinamento acustico di un dato territorio. Esso, a differenza degli altri due esempi visti non si pone dalla parte della sorgente valutandone l'impatto sul territorio circostante, ma si pone dal lato del recettore permettendo di valutare quali zone, a seconda del loro clima acustico attuale, siano adatte ad ospitare determinate attività e quali no.

Tale documento ha un interesse indiretto nell'ambito ferroviario. In questo caso, infatti, l'infrastruttura ferroviaria è una sorgente come le altre, che si aggiunge alle altre per creare il clima acustico di un dato territorio, scegliendo implicitamente quali attività vi possano essere svolte.

Il VPCA è l'altra faccia del DPIA e difatti diventa un documento fondamentale per consentire la costruzione di residenze o attività sensibili in appositi siti. Per questo motivo esso viene allegato al permesso di costruzione, o nel caso di modifica dell'opera.

Esso si compone di una prima parte nella quale si devono conoscere le caratteristiche dell'opera che andiamo a realizzare, e quindi dei limiti che sono da imporsi ad una zona che ospiterà l'opera stessa; segue un elenco delle sorgenti (e delle loro caratteristiche), delle loro aree di influenza comprendono e si conclude con un'analisi critica del sito, riportando i livelli sonori raggiunti dall'effetto delle diverse fonti sonore unite e valutando se la nuova attività di cui è stata presentata richiesta possa o meno esservi collocata.

Ovviamente, nell'analisi delle sorgenti devono essere analizzate tutte quelle sorgenti che possono insorgere una volta realizzata l'opera, e tutte le emissioni provenienti dalle opere già approvate ma non ancora realizzate.

In base alle conclusioni del VPCA possono subentrare diversi scenari che vanno dalla concessione/non concessione del permesso di costruire o dell'agibilità (a seconda del rispetto o meno dei limiti propri dell'opera che stiamo realizzando), o alla concessione del permesso a condizione della realizzazione di appositi interventi atti a regolarizzare il clima acustico sulla base dei limiti propri dell'opera. Tali interventi

potranno essere a carico del recettore stesso o delle sorgenti coinvolte (ecco l'interesse nei confronti delle sorgenti ferroviarie) a seconda delle decisioni degli enti competenti.

#### **1.3.4 Procedure semplificate.**

Molte delle attività antropiche non offrono emissioni tali da richiedere un'attenta analisi acustica delle sorgenti e per questo motivo la legislazione regionale ha riservato ad attività "non rumorose" ed a siti distanti da possibili fonti sonore delle procedure semplificate per DPIA e VPCA rispettivamente.

Nel primo caso si permette di accedere alle procedure semplificate quelle attività che non possiedono sorgenti di rumore, ovvero che non possiedono macchinari, che non inducono traffici o attività antropiche di rilievo o che non prevedano movimentazione di merci. Tutte queste attività possono ritenersi soddisfatte l'onere del DPIA attraverso un documento che indichi:

- Descrizione dell'opera e del territorio interessato dalla sua area d'influenza
- Classificazione acustica dell'area circostante
- Considerazioni anche solo qualitative riguardo l'effettiva trascurabilità delle emissioni.

Ad ogni modo la procedura semplificata è inaccessibile qualora l'area di influenza tocchi aree di classe d'uso 1 (aree particolarmente protette).

Analogamente per far uso del VPCA semplificato è sufficiente specificare che il sito si trova sufficientemente lontano da infrastrutture di trasporto o da altre sorgenti di rilievo ed allegare alla domanda del permesso di costruzione:

- Una descrizione delle sorgenti locali anche di futura realizzazione
- Classificazione dell'area dal punto di vista acustico
- Considerazioni anche solo qualitative riguardo l'effettiva trascurabilità delle emissioni.

Inoltre, è presente una procedura semplificata del DPIA nel caso non si abbiano informazioni riguardo la natura o la collocazione delle sorgenti, attendendo un approfondimento della documentazione in sede di richiesta di inizio attività.

In questo caso basta riportare:

- Indicazioni sull'area su cui sorgerà l'opera
- Indicazioni sui valori limite stabiliti per la zona circostante
- Indicazioni sui locali dove si prevede verranno collocate le future sorgenti di rumore
- Descrizione delle aree dedicate alla viabilità afferente al sito.

Ovviamente si tratta di procedure che hanno poco a che fare con le infrastrutture ferroviarie, che sono opere per le quali è richiesta addirittura la compilazione di una VIA, ma che riportiamo per completezza.

# Normativa UNI-EN.

---

Se la normativa italiana risulta esauriente dal punto di vista della descrizione dei limiti e delle responsabilità dei diversi gestori, dall'altro lato risulta carente nel definire le strumentazioni ammesse e i metodi per valutare le prestazioni acustiche e non acustiche dei dispositivi antirumore adottabili (in particolare delle barriere, che rappresentano la soluzione più spesso adottata).

Infatti, è doveroso osservare come le norme nazionali, per loro stessa natura generali, nell'ottica di lasciare quanta più libertà possibile nella scelta delle soluzioni e nelle caratteristiche che devono avere, rimandano loro stesse più volte alle norme UNI-EN relative, in modo da lasciare a queste ultime l'onere di entrare più nel dettaglio negli aspetti tecnici di tali dispositivi.

Nell'esposizione che segue, come fatto in precedenza per la normativa nazionale, presenteremo di seguito le normative più importanti, concludendo poi con un riassunto finale.

Riguardo al tipo di dispositivi che tratteremo, si parlerà più nel dettaglio delle barriere anti-rumore, essendo queste le soluzioni adottate nella maggior parte dei casi. Ad ogni modo, a queste si affiancano una serie di altri dispositivi, con alle spalle una loro serie di normative UNI-EN dedicate. Chiunque fosse interessato, potrà trovarle facilmente a seconda del tipo di soluzione che vorrà approfondire.

### 1.4.1 UNI-EN 1793-1

#### **“Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Caratteristiche intrinseche di assorbimento acustico”**

È indubbio come l'uso dei pannelli anti-rumore attualmente rappresenti la soluzione del problema acustico più spesso percorsa dai responsabili di bonifiche ed in particolare dai gestori di infrastrutture.

A tal riguardo la normativa UNI-EN 1793 rappresenta il punto di riferimento per tutti i soggetti coinvolti nell'installazione e nella produzione di tali elementi. La normativa in questione risulta suddivisa in una serie di sezioni che trattano i diversi aspetti dei pannelli, dalle caratteristiche di assorbimento agli effetti di isolamento, a caratteristiche meccaniche più generali.

Nella parte 1 della norma 1793 si trattano le caratteristiche intrinseche dell'assorbimento acustico di tali dispositivi. Vale quindi la pena di specificare fin da subito il significato dei termini “caratteristiche intrinseche” e “assorbimento acustico”.

La parte 1 e 2 della norma 1793 riguardano, nello specifico, delle prove da effettuarsi in laboratorio in determinate condizioni standard e con una strumentazione ben determinata. Le prestazioni così misurate fanno riferimento al comportamento che le barriere hanno nelle condizioni appena descritte, e vien da sé come, una volte poste in opera, esse possano reagire un modo diverso. È altrettanto ovvio che i produttori ed i compratori di tali dispositivi debbano basarsi, per la loro realizzazione e acquisto, su parametri standardizzati che consentano di confrontare prodotti diversi.

Nel nostro caso la norma UNI-EN 1793-1 soddisfa proprio questo requisito, ovvero fornire delle “categorie di prestazione” basate sulla risposta che il dispositivo restituisce una volta sottoposto alla prova descritta. È qui che trova posto la definizione di “caratteristica intrinseca”, ovvero valutata in laboratorio in condizioni standard e non in opera.

Riguardo all’“assorbimento acustico” questo diviene, assieme all’“isolamento acustico”, che avremo modo di approfondire nel corso della norma UNI-EN 1793-2, uno dei due parametri fondamentali per valutare l’efficacia di una barriera anti-rumore. Come osservato dalla norma UNI-EN 1793-1, nella sua INTRODUZIONE, in determinate condizioni, quali:

- a) Presenza di barriere anti-rumore (pre-installate evidentemente), muri di sostegno o rocce;
- b) Presenza di pareti verticali di confine in strade di trincea o altre superfici riflettenti;
- c) Presenza di gallerie;
- d) Presenza di barriere riflettenti di qualsiasi altro tipo;

il suono emesso da una sorgente qualsiasi, in particolare da un’infrastruttura ferroviaria, può venir riflesso da pareti (per questo definite “riflettenti”), e recare disturbo agli utenti posti nei pressi della sorgente stessa. Basti pensare, ad esempio, al rumore amplificato che può sentire un automobilista o il passeggero di un treno quando l’auto o il treno sfrecciano all’interno di una galleria.

Per limitare al massimo questo disturbo si possono utilizzare appositi “pannelli fono-assorbenti” che, posti sulla parete riflettente”, assorbono la maggior parte del rumore, evitando che quest’ultimo possa tornare verso gli utenti stessi.

Entriamo, ora, più in dettaglio nella norma.

Specifichiamo anzi tutto che si tratta di una norma pensata per le sole barriere piane (anche se il titolo rimanda a generali dispositivi anti-rumore). Alla voce SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE possiamo leggere *“il metodo di prova [...] al quale di fa riferimento nella presente norma, ha una validità limitata soltanto agli assorbitori piani e in particolare esclude i dispositivi che agiscono come risonatori debolmente smorzati. Alcuni dispositivi si scosteranno in modo significativo da questi requisiti e in questi casi è necessario essere prudenti nell’interpretazione dei risultati.”* Ovvero, nel caso di barriere leggermente curvate o altro, si può continuare ad adoperare il metodo avendo l’accortezza di fare le dovute considerazioni in fase di analisi dei risultati.

La prova viene svolta all’interno di un apposito ambiente di laboratorio descritto nella norma UNI 20354, consistente in una camera con specifiche caratteristiche (per sapere quali rimandiamo alla norma stessa) nella quale viene montato il dispositivo in modo da ricoprire le pareti dell’ambiente. Una volta montato, in modo da evitare qualsiasi tipo di alterazione dovuta alla fase di montaggio, si lascia “riposare” l’elemento per almeno 24 h dopo le quali avviene la prova. Nello stesso ambiente vengono collocati una sorgente di suono omnidirezionale ed un microfono.

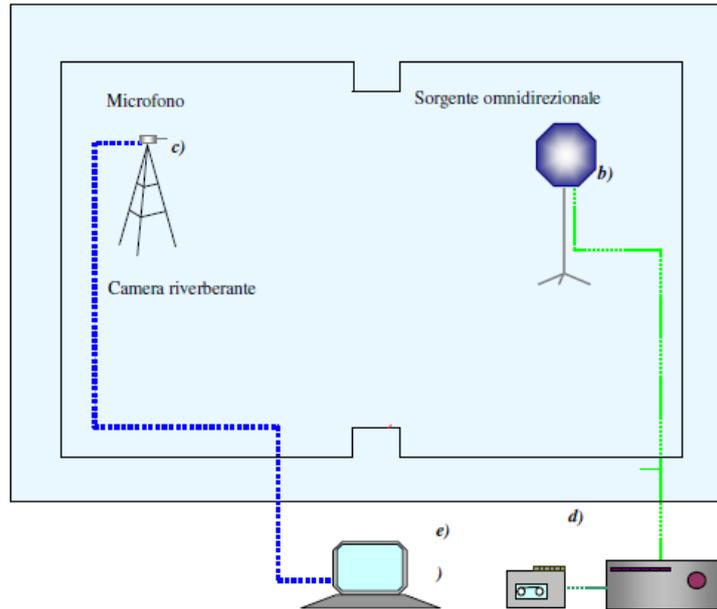


Figura 1. Dispositivo di prova per la misura del coefficiente di assorbimento acustico. Pianta. Fonte: CIRIAF

Vengono quindi rilevate le componenti tonali del suono fra 100 e 5000 Hz utilizzando i livelli così misurati nella formula seguente:

$$DL_{\alpha} = -10 \lg \left| 1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{Si} 10^{0,1L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1L_i}} \right|$$

Dove  $\alpha$  indica il grado di assorbimento del dispositivo per ciascun terzo di banda tonale (indicata dal coefficiente  $i$ ), secondo la norma EN 20354 ed  $L$  valuta i livelli sonori sempre riferiti alle singole bande. Ovviamente, affinché la prova svolta abbia senso è necessario che l'installazione del dispositivo all'interno della camera di prova avvenga con le medesime procedure adottate anche nell'ambiente reale: ovvero deve essere impiegata la stessa tecnica di montaggio, gli stessi elementi (viti, bulloni ecc.), deve essere ricalcato il sistemi di montanti usati...

Alla fine, si ottengono come risultati: gli indici di assorbimento acustico ottenuti secondo la procedura descritta nella norma EN 20354, per ciascun terzo di banda di ottava, e l'indice DL di valutazione dell'assorbimento acustico.

I primi vengono successivamente utilizzati per costruire un grafico riportante in ordinata i valori di  $\alpha$  ed in ascissa le diverse frequenze; mentre DL serve a collocare il dispositivo entro le categorie di prestazione (da A0 a A4) descritte a conclusione della norma e qui di seguito riportate:

Categoria	DL $\alpha$ (dB)
A0	Non determinato
A1	Inferiore a 4
A2	Da 4 a 7
A3	Da 8 a 11
A4	Superiore a 11

L'indice così ottenuto è ottimo per caratterizzare la prestazione dei pannelli fono-assorbenti in fatto di "suoni riflessi" in modo semplice, ovvero senza ulteriori riflessioni; mentre non ha valore nel caso di ulteriori "rimbalzi" dell'onda sonora o di fenomeni di diffrazione.

Di seguito presentiamo un estratto di un certificato del CIRIAF, centro perugino specializzato nello studio dell'inquinamento causato dagli agenti fisici, in cui compare un grafico relativo all'assorbimento acustico.

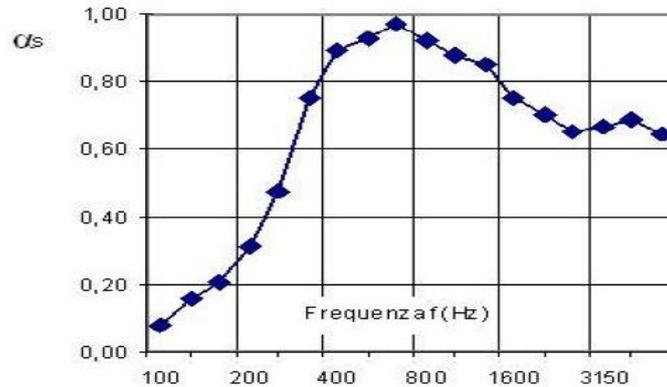


Figura 2. Esempio di un grafico che mostra il coefficiente di assorbimento acustico rispetto alle frequenze centrali di terzi di bande d'ottava.

#### 1.4.2 UNI-EN 1793-2

##### **“Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Caratteristiche intrinseche di isolamento acustico per via aerea”**

Come abbiamo visto, nell'esposizione della norma UNI-EN 1793-1, l'analisi dei pannelli anti-rumore può svolgersi a due distinti livelli: a livello intrinseco, se con riferimento alle caratteristiche misurate in laboratorio, ed a livello estrinseco, se con riferimento alle caratteristiche misurate sul campo dopo l'installazione del dispositivo. Anche per quanto riguarda la norma UNI-EN 1793-2 continuiamo a parlare di caratteristiche intrinseche. Stavolta, però, analizziamo un aspetto diverso dei dispositivi anti-rumore, ovvero l'isolamento acustico.

Le infrastrutture di trasporto, e quelle ferroviarie in particolare, rappresentano alcune delle sorgenti di rumore dalle emissioni più "disturbanti". Per questo motivo, al di là del potere di "assorbimento" del rumore, che mira a tutelare gli utenti dell'infrastruttura, è necessario che un dispositivo anti-rumore abbia la capacità di preservare da tale disturbo gli utenti esterni alla ferrovia, alla strada o all'aeroporto di turno. Il potere fono-isolante di una barriera consiste, pertanto, nella capacità della stessa di ridurre ad un livello accettabile le emissioni sonore che vanno ad attraversarla, quindi si propone di essere un intervento mirato alla modifica delle caratteristiche del mezzo di propagazione del suono. C'è da osservare, comunque, come la trasmissione diretta del suono (quella che l'interposizione della barriera mira a diminuire) non è l'unica esistente. Come vediamo nell'illustrazione sottostante proveniente da un lavoro del professore Gianfranco Cellai riguardante l'acustica ambientale, i metodi di propagazione del suono sono molto diversi, anche se possiamo considerare principalmente i metodi di propagazione diretto e rifratto (2 e 3 nell'immagine). La norma specifica chiaramente nella sua INTRODUZIONE come l'effetto di isolamento acustico è efficace quando *il suono trasmesso direttamente attraverso il dispositivo non è significativo in confronto al suono difratto sopra la parte superiore.*

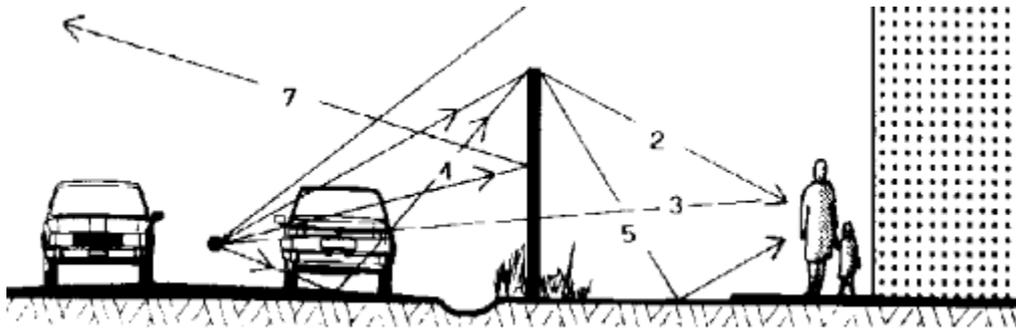


Figura 3. Possibili vie di propagazione del suono proveniente da un'infrastruttura passante attraverso una barriera anti-rumore. Fonte prof. Cellai – lezioni di acustica ambientale

Entriamo, ora, più in dettaglio nella norma in analisi.

Come per la norma precedente si tratta di un documento relativo a barriere antirumore stradali (anche se noi ne estenderemo i concetti al caso ferroviario) la cui forma è legata, in questo caso, alla possibilità di essere inserite all'interno dell'installazione di prova descritta nella EN ISO 140-3, cui rimandiamo per ulteriori dettagli.

Riguardo a tale dispositivo possiamo generalmente descriverlo come un ambiente del tutto simile a quello visto nel caso della prova di assorbimento acustico (definito "camere riverberanti accoppiate") dove, stavolta, il dispositivo viene collocato al centro dell'ambiente in modo da realizzare una sorta di quinta parete che va a dividere in due la camera di partenza. Il provino deve essere montato nello stesso modo con cui verrebbe montato in opera, ovvero comprendendo anche tutti i montanti, viti, bulloni ecc. Per evitare che eventuali perturbazioni dovute al montaggio possano influenzare l'esito della prova, si devono aspettare almeno 24 h fra la collocazione della barriera di prova e l'inizio delle misurazioni.

A questo punto viene collocata, in uno dei due ambienti in cui si è trovata divisa la camera riverberante, una sorgente omnidirezionale (dalla parte della barriera nella quale dovrebbe trovarsi il traffico veicolare una volta collocato il dispositivo in opera), mentre dall'altro viene posto un microfono. Inoltre, si colloca un ulteriore microfono nello stesso lato della sorgente. La camera di prova assumerà l'aspetto prescritto dalla EN-ISO 140-3 esposto qui sotto:

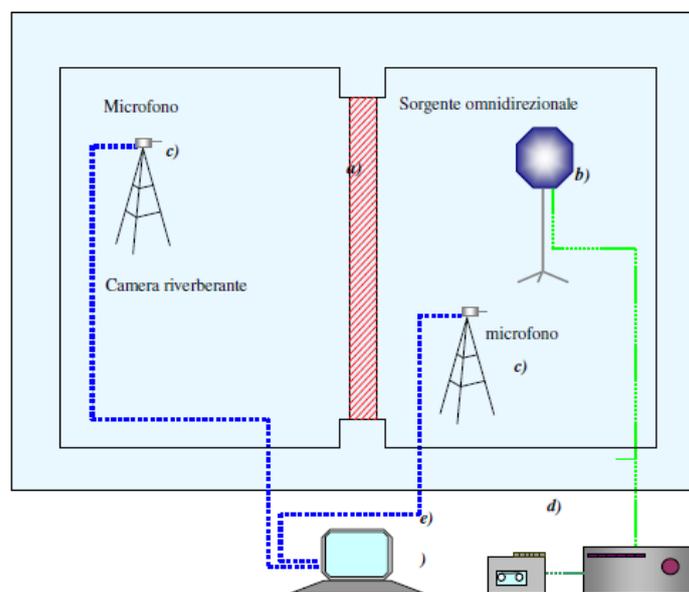


Figura 4. Dispositivo di prova per la misurazione del coefficiente di isolamento acustico. Pianta. Fonte: CIRIAF

Vengono, quindi, raccolti i livelli sonori registrati dai due microfoni (in particolare da quello posto dalla parte opposta della barriera rispetto alla sorgente) relativamente a ciascun terzo di ottava compreso fra le frequenze 100 e 5000 Hz. Sempre tramite la stessa procedura si individua il potere fono-isolante R (sempre in riferimento a ciascun terzo d'ottava) secondo il metodo EN-ISO 140-3.

Da tale prova otteniamo due diversi risultati:

Il primo consiste nell'indice di prestazione fono-isolante del prodotto. Questo valore viene calcolato attraverso la formula seguente:

$$DL_R = -10 \lg \left| \frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i} 10^{-0,1 R_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}} \right|$$

Dove vengono compresi i livelli relativi a tutte le bande d'ottava di interesse. Nella formula  $L_i$  rappresentano i livelli di pressione sonora ponderato A della  $i$ -esima banda di terzo d'ottava, mentre  $R_i$  è il potere isolante della  $i$ -esima banda di terzo d'ottava.

Il valore di  $DL_r$  trovato servirà a determinare la classe di prestazione dalla categoria B0 alla B3 (vedi la tabella seguente); classificazione, che aiuterà i produttori a conoscere il propri prodotti e gli acquirenti a selezionare la soluzione più adatta.

Categoria	DLr (dB)
B0	Non determinato
B1	Inferiore a 15
B2	Da 15 a 24
B3	Superiore a 24

Altro output della prova consiste in un grafico riportante in ascissa i diversi valori delle frequenze ed in ordinata i valori dei coefficienti di isolamento acustico. Si ottiene così un grafico del tutto simile a quello posto di seguito.

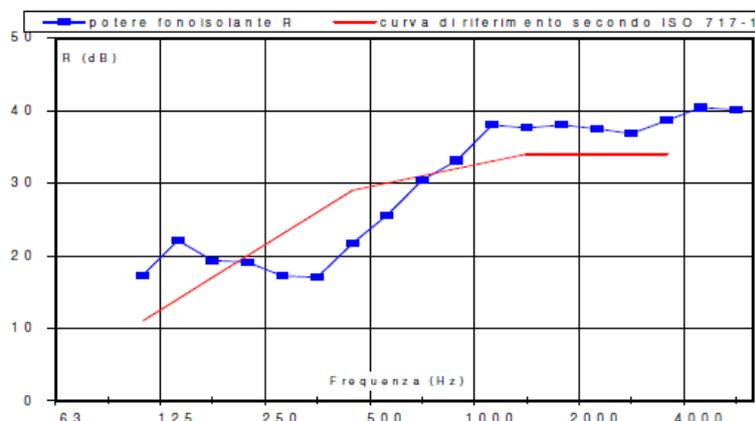


Figura 5. Esempio di un grafico che mostra il coefficiente di isolamento acustico rispetto alle frequenze centrali di terzi di bande d'ottava.

### 1.4.3 UNI-EN 1793-3

#### **“Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Spettro normalizzato del rumore da traffico”**

La terza parte della norma UNI-EN 1793 non riguarda strettamente l'ambito strettamente ferroviario, ma rappresenta un punto di partenza per effettuare la prova stessa anche nel caso ferroviario.

Entrambe le prove fin qui analizzate avevano una sorgente omnidirezionale come punto in comune.

Ovviamente, per valutare l'efficacia delle barriere nel contenere un rumore causato da un'infrastruttura di trasporto c'è la necessità che la prova avvenga con una sorgente quanto più simile possibile alla sorgente reale. La norma 1793-3 fornisce proprio i livelli acustici (lo spettro) del rumore di traffico stradale, fornendo di conseguenza anche l'input da dare alla sorgente di cui sopra.

Dato, però, che tale spettro viene riferito al solo traffico stradale, nel caso ferroviario sarà necessario aggiornare la tabella fornita dalla norma.

### 1.4.4 UNI-EN 1793-4

#### **“Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Caratteristiche intrinseche – Valori in situ della diffrazione sonora”**

La quarta parte della norma UNI-EN 1793 (peraltro reperibile solo in lingua inglese ma ugualmente facente parte della normativa italiana) riguarda dispositivi che possono venir aggiunti ai comuni pannelli piani verticali per attenuare l'effetto di difrazione sonora.

Come abbiamo visto, la propagazione del suono da una sorgente al rispettivo recettore quando viene interposta una barriera lungo la via di propagazione può avvenire in diverse maniere. Una di queste consiste nel segnale difratto, ovvero della porzione di suono che passando sopra le barriere può dirigersi verso il recettore (corrisponde al segnale indicato con 2 nella Figura 3). Per limitare al massimo il disturbo causato da tale componente sonora si adottano degli appositi dispositivi che vengono installati al di sopra dei pannelli stessi. La norma in analisi fornisce il metodo di prova attraverso il quale è possibile valutare l'efficacia di tali sistemi.

Sottolineiamo che la normativa fa riferimento a misure delle caratteristiche intrinseche, ovvero del tutto indipendenti dall'effettiva efficacia del dispositivo una volta posto in opera. Per far sì che la prova svolta si possa considerare accettabile, la norma fornisce una serie di misure e di accortezze di cui tenere conto durante lo svolgimento della stessa, e che definiscono il confine entro il quale i risultati di due prove diverse possano considerarsi confrontabili.

La norma procede secondo lo schema proprio già della norma UNI-EN 1793-1 e 1793-2.

Per poter misurare l'indice di prestazione del dispositivo anti-difrazione dobbiamo svolgere una doppia prova: la prima viene svolta prima sul pannello privo di questo dispositivo, la seconda viene svolta sul pannello su cui è, invece, montato il dispositivo. La prova può venir svolta sia su pannelli fono-isolanti che su pannelli fono-assorbenti. Nei due casi sono leggermente diverse le formule da impiegare per quanto riguarda i livelli di pressione effettivamente da misurare.

La norma descrive il sistema di prova che deve essere predisposto, comprendendo le posizioni mutue di sorgenti e microfoni recettori ed il numero di misure che devono essere svolte. Fra queste possiamo trovare la posizione di sorgente e microfono alla stessa altezza (trasmissione diretta del segnale) ed a altezze differenti (trasmissione del segnale lungo una direttrice inclinata).

Ovviamente, perché la prova sia valida, è necessario che il segnale difratto sia chiaramente distinguibile da altre componenti quale la parte di segnale che attraversa la barriera, la parte riflessa dalla barriera ed il semplice rumore di fondo. Sapendo che tali segnali arrivano ai microfoni in momenti diversi si può

chiaramente individuare il segnale difratto attraverso l'uso di una ben specifica finestra temporale nella quale abbiamo l'effettiva rilevazione del segnale, definita "finestra temporale Adrienne".

Ovviamente, affinché la prova sia valida, essa deve essere "ripetibile" ovvero svolta in condizioni standard sia per quanto riguarda le condizioni atmosferiche che per quanto riguarda i particolari di montaggio dei dispositivi.

Una volta predisposta la strumentazione e l'ambiente di prova, viene svolta la rilevazione per terzi di bande d'ottava nell'intervallo di frequenza fra 100 e 5000 Hz. Le misure così ottenute vengono impiegate nella formula fornita dalla norma per il calcolo del livello di prestazione DL. Tale valore viene usato per classificare i dispositivi anti-diffrazione nello stesso modo in cui venivano classificati i pannelli fono-isolanti e fono-assorbenti nelle norme precedentemente descritte.

#### **1.4.5 UNI-EN 1793-5**

##### **"Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Caratteristiche intrinseche – Valori in sito della riflessione sonora e dell'isolamento acustico per via aerea"**

La norma UNI-EN 1793-5 si occupa di completare la rassegna di metodi di misura delle caratteristiche intrinseche delle barriere anti-rumore usate nelle infrastrutture di trasporto, introducendo due nuovi indici definiti "REFLECTION INDEX RI" e "INSULATION INDEX SI", che servono a valutare le caratteristiche di assorbimento e isolamento acustico possedute dai dispositivi in analisi.

Potrebbe sorgere il dubbio riguardo l'effettiva utilità di questi due indici, dato che esistevano già indici di prestazione precedentemente menzionati che sembravano valutare gli stessi aspetti. In realtà si tratta, in questo caso, di misure effettuate in situ, quindi rivolte a valutare il comportamento delle barriere al di fuori dei laboratori, anche se già installate. A tal proposito, RI ed SI permettono di valutare la corrispondenza fra dati ottenuti in laboratorio e quelli ottenuti in situ, permettendo di valutare anche l'eventuale variazione di tali valori in un arco di tempo più o meno lungo. Ciò non preclude la definizione di "caratteristica intrinseca", in quanto si definisce tale ogni caratteristica che venga misurata indipendentemente dal luogo e dai recettori coinvolti e che quindi si propone come misura ripetibile nel tempo. In parole semplici, si tratta di misurazioni che non tengono conto delle condizioni contingenti in cui il dispositivo verrà impiegato, ma si svolgono allo stesso modo sia se il futuro recettore è posto immediatamente dietro alla barriera sia se quest'ultimo è posto a centinaia di metri dalla stessa. Nel caso delle caratteristiche estrinseche, invece, l'attenzione alla situazione effettiva è preponderante, e si cerca di simulare al meglio la situazione effettivamente presente nella realtà, valutando l'efficacia del dispositivo nel migliorare la situazione stessa. Nel nostro caso, quindi, il fatto che le misure avvengano fuori del laboratorio non inficia la definizione iniziale, dato che tutte le misure avvengono con misure fisse e modalità chiaramente definite, il che le rende perfettamente ripetibili e confrontabili anche a distanza di tempo.

La norma si può considerare separata in due parti, dedicate ai due indici precedentemente presentati. La strumentazione di prova, comunque è la stessa e anche le modalità sono abbastanza simili.

Riguardo al Reflexion Index, quello che si vuole misurare è la capacità della barriera di assorbire parte del rumore proveniente dalla infrastruttura evitando che questo possa tornare verso la sorgente causando così il disturbo.

Per questo motivo, la strumentazione proposta si compone di un altoparlante, dal quale viene emesso il suono "di disturbo" con modalità MLS specificate nell'appendice della norma stessa; e da un microfono che costituiscono un sistema unico, tale da mantenere fissa la loro mutua distanza.

Il segnale di prova viene quindi generato con modalità specifiche per la sorgente che si sta analizzando (se si tratta delle infrastrutture stradali si fa riferimento allo spettro dato nella UNI-EN 1793-3) mentre il

microfono va posto fra l'altoparlante e la barriera. Il segnale che viene registrato dal microfono, quindi, registrerà un segnale diretto proveniente dall'altoparlante, un segnale riflesso e una serie di segnali parassita provenienti dall'ambiente esterno. Per evitare che il segnale registrato possa venir alterato dalla presenza di altre fonti di rumore è necessario che le condizioni atmosferiche siano ideali e che vi sia assenza di superfici riflettenti.

Verificata la correttezza del metodo di misurazione si invia il segnale sonoro dall'altoparlante ottenendo nel microfono una registrazione di un segnale diretto e di uno riflesso. Per evitare che il segnale registrato possa essere alterato da altri segnali presenti o da riflessioni multiple si limita l'osservazione di segnale diretto e riflesso ad una piccola finestra temporale denominata "finestra temporale Adrienne" di dimensione circa 7.9 ms che deve essere posizionata, nei risultati della rilevazione, in una posizione apposita definita nella norma stessa.

Il microfono deve rilevare la risposta al segnale inviato dall'altoparlante per ciascuna banda di terzo d'ottava per diverse posizioni del sistema altoparlante-microfono, i quali devono essere ruotati, rispetto ad una sezione verticale della barriera, di un certo numero di gradi finché non si ottiene una griglia come quella della figura sottostante, che consente di avere un'idea più completa della risposta data dal dispositivo nelle diverse direzioni.

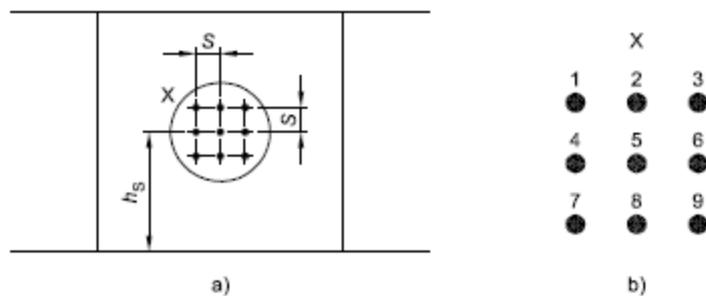


Figura 6. Posizioni assunte dal microfono per la rilevazione del Reflection Index. Fonte norma UNI 1793-5

Come vediamo, il fatto di limitare la misura questi punti limita anche l'area effettivamente analizzata della barriera, che corrisponde al cerchio visibile in figura e la cui estensione può essere calcolata dalle formule fornite dalla norma stessa.

Raccolte le risposte che il microfono registra nelle finestre temporali messe a disposizione, per i diversi angoli, si ottiene il "Reflexion Index" specifico di ciascuna banda di terzo d'ottava attraverso la formula:

$$RI_j = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} \frac{\int |F[t \cdot h_{r,k}(t) \cdot w_r(t)]|^2 df}{\int |F[t \cdot h_i(t) \cdot w_i(t)]|^2 df} \Delta f_j$$

Rappresentante il rapporto fra il "quantitativo di energia riflesso" ed il "quantitativo di energia iniziale". Dove  $h$  rappresentano la risposta del microfono al segnale inviato nel caso di campo libero ( $h_i$ ) e alla componente riflessa ( $h_{r,k}$  dove  $k$  indica il diverso angolo assunto dal sistema altoparlante-microfono), mentre  $w$  sono le finestre temporali relative;  $F$  è la trasformata di Fourier;  $j$  è l'indice dei diversi terzi di bande d'ottava e  $n$  è il numero di posizioni del sistema altoparlante-microfono utilizzate nella media. Alla fine, oltre al RI si possono ottenere degli indici di prestazione del tutto simili (anche nelle formule) a quelli descritti nella norma 1793-1, usando procedure e misure simili.

Fra i risultati della prova possiamo annoverare anche un grafico riportante RI per ciascun terzo di banda d'ottavo misurato fra 100 e 5000 Hz costruito in modo simile a quello dell'assorbimento visto nella norma UNI-EN 1793-1.

Sottolineiamo, infine, come la procedura valga, usando le dovute accortezze descritte nella norma, anche per barriere non piane.

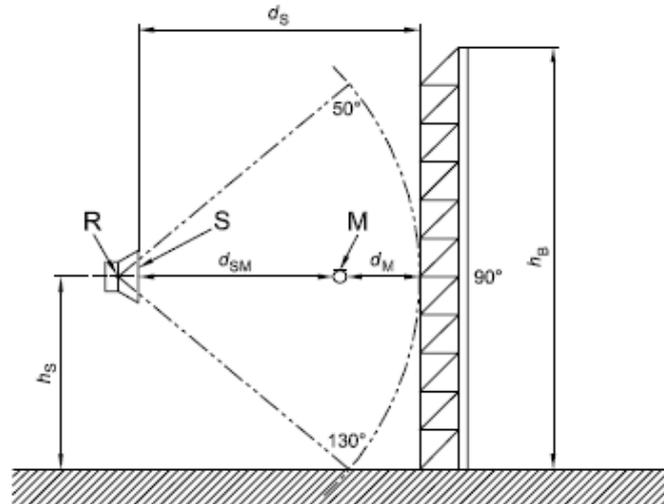


Figura 7. Dispositivo di prova per la misura del Reflection index. Sezione. Fonte norma UNI 1793-5

Come avevamo già anticipato, la seconda parte della norma viene dedicata all'“Insulation Index”.

L'indice in questione misura la capacità posseduta da una barriera di assorbire parte dell'energia trasmessa dalla sorgente.

Il sistema di prova è molto simile a quello precedentemente descritto per il “Reflexion Index”, in questo caso, però, il microfono non può più essere collegato con il rispettivo altoparlante ma la barriera si trova fra quest'ultimo ed il microfono stesso.

Così posizionato il microfono registrerà, oltre al rumore residuo, che deve rientrare nei limiti posti dalla normativa, due altri segnali provenienti sempre dall'altoparlante ma secondo due direzioni diverse: uno attraverserà direttamente il dispositivo e l'altro verrà difratto dallo stesso nella sua estremità più alta. Il sistema di misura dovrà permettere di registrare il primo (il segnale trasmesso direttamente) e di distinguerlo dal secondo.

Anzitutto la norma prescrive di scegliere condizioni ideali dal punto di vista atmosferico e prive di elementi riflettenti che possano falsare i dati registrati. Sono indicate anche le distanze dove porre altoparlante e microfono, e le dimensioni della griglia che deve creare il microfono (spostandosi di volta in volta o usando nove microfoni contemporaneamente), con misure del tutto simili a quella vista in occasione del Reflection Index. Questo permetterà di avere una più completa idea del potere isolante della barriera.

L'altoparlante viene, quindi, messo in funzione con un segnale MLS.

Fatto questo il microfono registrerà, per un certo periodo di tempo, un segnale, che sarà in realtà costituito dalle tre componenti prima elencate. Per poter chiaramente isolare la sola componente trasmessa, sarà, quindi, necessario introdurre una finestra temporale Adrienne costruita con le stesse tecniche del caso precedente e posizionata secondo quanto stabilito dalla norma. Questa finestra ci consente di evitare disturbi legati alla presenza di riflessioni aggiuntive o rumori di fondo. Il fatto di campionare i segnali in questo modo ci consente di poter isolare le diverse componenti del segnale di cui avevamo parlato in precedenza.

La risposta del microfono focalizzata in questo breve lasso di tempo nei nove punti costituenti la griglia consentirà di ottenere l'Insulation Index secondo la formula seguente:

$$SI_j = -10 \lg \left\{ \frac{\sum_{k=1}^n \int_{\Delta f_j} |F[h_{tk}(t)w_{tk}(t)]|^2 df \left(\frac{d_k}{d_i}\right)^2}{n \cdot \int_{\Delta f_j} |F[h_i(t)w_i(t)]|^2 df} \right\}$$

Dove  $h_i$  è la componente incidente del segnale (quindi il segnale completo registrato in presenza di campo libero);  $h_{tk}$  è la componente trasmessa per ciascun angolo (indice k);  $d$  è un fattore correttivo per tener conto della divergenza geometrica nel caso di trasmissione in campo libero (il pedice  $l$  indica il caso di campo libero, mentre  $k$  fa sempre riferimento ai diversi angoli per cui avviene la misura);  $w$  sono le finestre temporali di riferimento;  $F$  è la trasformata di Fourier;  $n$  sono i diversi punti di scansione e  $j$  indica i diversi terzi di bande d'ottava (da 100 a 5000 Hz) per i quali va misurato il SI.

Analogamente a prima, l'output di tale processo è un grafico indicante per ciascun terzo di banda d'ottava il rispettivo SI. Tuttavia, è possibile ottenere un indice di prestazione con formule e misure del tutto simili a quelle viste in occasione della norma UNI-EN 1793-2. Stavolta, comunque, si può ottenere tale indice di isolamento acustico sia per la barriera in se che per i montanti che la sostengono.

Come nel caso precedente la procedura vale sia per barriere piane che per barriere di altre forme. Come sempre si prescrivono le solite accortezze da mantenersi affinché la prova possa dirsi corretta, riguardanti calibrazione della strumentazione, misure ulteriori nel caso si noti la presenza di fonti esterne che disturbano la prova ecc.

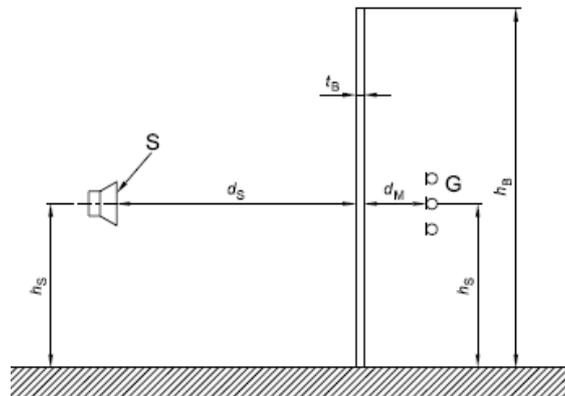


Figura 8. Dispositivo di prova per la misura dell'insulation index. Sezione. Fonte norma UNI 1793-5

#### 1.4.6 UNI-EN 14389-1

##### “Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Procedure di valutazione delle prestazioni a lungo termine – parte 1: Requisiti acustici”

Le prestazioni offerte dalle barriere non possono essere valutate solo rispetto al momento in cui queste vengono installate, ma devono essere garantite per un lasso di tempo sufficientemente lungo dal punto di vista economico.

La norma UNI-EN 14389-1 propone un metodo per classificare i dispositivi anti-rumore anche rispetto alla loro durabilità, spingendo i produttori a fornire informazioni circa il potere fono-isolante e fono-assorbente mantenuto nel tempo dai relativi prodotti. Per far ciò la norma prescrive di ripetere ogni 5 anni, fino al ventesimo anno dopo l'installazione, delle prove sul modello descritto nella UNI-EN 1793-5.

La norma prevede di dare queste informazioni attraverso un apposito prospetto, riportato al punto 4 della norma, nella quale deve essere definito, per ciascun intervallo di tempo, il cambiamento occorso negli indici di prestazione DL in riferimento sia al Reflection Index, che all'Insulation Index, indicando anche quali possono essere i possibili agenti degradanti che possono dar atto a tale peggioramento di efficacia. Queste

fonti di degrado sono quelle tipiche del trasporto stradale, tuttavia possono essere trasferite anche al trasporto ferroviario.

Per finire, la norma prescrive di porre particolare attenzione alle zone maggiormente rovinate dagli agenti degradanti, come crepe o distacchi di materiali, svolgendo indagini più accurate su questi punti (misurando nel dettaglio gli indici indicati nella norma UNI-EN 1793-5).

#### **1.4.7 UNI-EN 1794**

##### **“Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Prestazioni non acustiche”**

Le prestazioni che una barriera anti-rumore vuole assicurare non si limitano alle sole prestazioni acustiche, ma comprendono altre caratteristiche che la normativa ha pensato di classificare in due distinte parti: la prima tratta di prestazioni meccaniche e requisiti di stabilità (norma UNI-EN 1794-1), mentre la seconda tratta requisiti legati alla sicurezza degli utenti e dell’ambiente circostante (norma UNI-EN 1794-2).

Il primo documento (UNI-EN 1794-1) riporta tutte le caratteristiche meccaniche riguardanti il dispositivo, quali resistenza al peso proprio o all’azione del vento, indipendentemente dal materiale impiegato.

Analizziamole nel dettaglio:

- a) **CARICO DEL VENTO.** La forma delle barriere acustiche ed il fatto che anche in gallerie o altre locazioni esse siano comunque soggette alla pressione offerta dai veicoli di passaggio, rende il problema della “resistenza al carico del vento” un problema particolarmente importante. L’appendice A della norma in analisi si sofferma proprio su tale aspetto e su come classificare i diversi dispositivi sulla base della risposta che danno ad una differente pressione nei due lati del pannello. Oltretutto, sottolineano che oltre alla resistenza semplice, ovvero alla deformazione subita per una data forza impressa sulla superficie, si deve considerare la temperatura alla quale la prova avviene e la presenza di altri fattori quali la vicinanza dei veicoli di passaggio, la forma della barriera ed il suo grado di esposizione al vento. Il dispositivo, inoltre, non deve semplicemente limitarsi a evitare di ribaltarsi sotto l’azione di tali forze, ma anche di evitare un’eccessiva deformazione che ne metterebbe a repentaglio l’efficacia acustica. La prova prevede di conoscere anzitutto l’entità della forza agente in riferimento alla particolare zona climatica in cui il pannello viene collocato e alla velocità massima dei veicoli di passaggio, nonché alla loro vicinanza. Ne otteniamo una forza che viene applicata appoggiando un piatto d’acciaio di 2mm di spessore al di sopra dell’area acustica del pannello, il quale viene montato orizzontalmente rispettando le stesse modalità che vengono impiegate in opera. Il piatto d’acciaio viene lasciato agire per 30 min. in modo che possa deformare il punto più sensibile (in termini di deformazione) della barriera, al termine dei quali si misura l’entità della deformazione. Tale misura viene definita “deformazione sotto il peso proprio”. Successivamente al piatto viene aggiunto un appropriato numero di profilati d’acciaio fino ad ottenere 1.5 volte la forza del vento e si misura nuovamente la deformazione dopo 30 min.. questa seconda misura viene definita “deformazione sotto carico del vento simulato”. A questo punto, i profilati vengono rimossi e dopo 30 min. si legge la nuova deformazione che prende il nome di “deformazione permanente”. Per tener conto della temperatura nelle località dove questa ricopre un ruolo importante, le prove, solitamente svolte a 20°C vengono ripetute a -20° C e 40°C. Nel caso la barriera presenti forme particolari o uscite di emergenza sono forniti appositi coefficienti per tener conto di ciò.
- b) **PESO PROPRIO.** Le barriere anti-rumore devono essere in grado di resistere oltre che al peso proprio o al carico del vento, anche al carico indotto nel pannello dall’eventuale riempimento con

acqua dei pori costituenti il dispositivo stesso (ovvero devono resistere anche al proprio peso bagnato) nonché a combinazioni di casi di cui sopra.

La norma specifica, quindi, che il produttore debba misurare il peso proprio, bagnato e bagnato ridotto (ovvero misurato dopo aver bagnato il provino ed averlo fatto asciugare) e comunicarlo agli eventuali acquirenti. Inoltre devono essere condotte, con i metodi richiamati nella norma stessa, prove che misurino la resistenza del provino (quindi le deformazioni massime ottenute) quando sottoposte alle combinazioni di carico critiche.

- c) **IMPATTO CAUSATO DA PIETRE.** Le barriere possono essere spesso soggette all'impatto di piccoli oggetti quali pietre o altro che possono essere lanciati dal passaggio dei veicoli. Questi impatti minori (dai quali vengono escluse grosse collisioni o atti di vandalismo) devono poter essere assorbite dalla barriera con semplici danni superficiali tali da non pregiudicare le prestazioni acustiche.

A tal proposito la norma in esame prescrive un metodo di prova che consenta di valutare tale resistenza. La prova consiste nel colpire tramite un maglio 3 diversi punti della barriera collocati al centro, in un angolo del pannello ed in un altro punto scelto a caso, valutando poi le condizioni del provino dopo tale trattamento.

- d) **SICUREZZA NELLA COLLISIONE.** Le barriere anti-rumore non hanno lo scopo specifico di sopportare l'impatto di un veicolo, specie nell'ambito ferroviario. Tuttavia, in alcuni casi (specie nell'ambito stradale) si possono chiedere a delle prestazioni in tal senso.

La norma stessa non prevede un approfondimento su tali aspetti, ma rimanda a norme specificatamente pensate per le barriere non acustiche (EN 1317-1 e EN 1317-2).

- e) **CARICO DINAMICO CAUSATO DALLA RIMOZIONE DELLA NEVE.** Nei territori dove la rimozione della neve è un'operazione di manutenzione ordinaria svolta nel corso del periodo invernale, l'impatto legato all'espulsione della neve dalle macchine spalatrici può avere valori considerevoli e deve pertanto essere considerato a dovere.

L'entità del carico in questione dipende dal tipo di spalaneve utilizzato e dalla distanza del pannello dal punto di passaggio del mezzo. L'impatto causato da eventuali pezzi di ghiaccio vanno equiparati all'impatto delle pietre visto prima.

Nell'ambito ferroviario, la necessità che l'intera infrastruttura sia libera dalla neve è meno importante rispetto al caso stradale, ma possiamo imbatterci comunque in mezzi che possono sollecitare in modo simile la barriera compromettendone le prestazioni generando fessure, deformazioni permanenti, distacchi dai montanti o altro.

Il metodo di prova prevede che la barriera venga montata in orizzontale fissando i montanti in entrambe le estremità o in un'estremità unica a seconda di quale struttura rappresenti al meglio il sistema statico della barriera in opera. A questo punto la barriera viene caricata con sacchetti di sabbia in un'area 2m x 2m ad un'altezza di 1.5 m dalla base del dispositivo o in un'altra area ritenuta critica per il sistema. A questo punto si conduce un'analisi qualitativa delle deformazioni o delle fessure, nonché un'analisi quantitativa delle deformazioni occorse.

Nel secondo documento (UNI-EN 1794-2), invece, vengono fornite le modalità di prova per testare le caratteristiche di sicurezza del pannello, ovvero il suo comportamento una volta che questo venga coinvolto da urti, avvolto dalle fiamme o altro. In tutti questi casi esso deve garantire l'assoluta sicurezza degli utenti dell'infrastruttura e dell'ambiente circostante. Tra queste caratteristiche troviamo:

- a) **RESISTENZA ALL'INCENDIO DELLA MACCHIA.** Con questa definizione indichiamo il grado di deterioramento che il pannello subisce quando viene esposto all'incendio di vegetazione o altro (non carburante) nei pressi del pannello, indipendentemente dal lato del pannello in cui l'incendio

scoppia. Un pannello anti-rumore, infatti, deve evitare che incendi provenienti dalla strada o dall'ambiente esterno possano invadere la parte opposta della barriera. A tal riguardo la norma prescrive l'inserimento di strati ignifughi, o comunque in grado di contenere le fiamme, all'interno del dispositivo. La prova in questione non si rivolge, però, a soluzioni che comprendano tali strati. La modalità di prova prevede la predisposizione di un apposito "cestino" d'acciaio all'interno del quale viene realizzata una piccola fiamma, poi posta a contatto con il pannello. Il tutto deve avvenire all'interno di un ambiente opportunamente controllato in termini di ventilazione e di quant'altro possa alterare la normale interazione del fuoco con il dispositivo. La prova viene svolta da entrambi i lati della barriera e al termine della stessa si deve valutare lo stato di danneggiamento della stessa. In base all'estensione e alla profondità di quest'ultimo possiamo classificare il pannello in 3 classi: classe 1, danneggiamento consistente; classe 2, danneggiamento limitato; classe 3, danneggiamento praticamente assente.

- b) **PERICOLO DI CADUTA DI FRAMMENTI.** Anche se la barriera anti-rumore non costituisce un dispositivo di ritenuta, è necessario avere abbastanza chiaro il suo comportamento nel caso di impatto con un corpo qualsiasi, in particolare è necessario avere ben chiara la modalità di distacco dagli elementi di sostegno (tipicamente dei montanti) e le dimensioni dei frammenti generati dall'urto.
- Tale caratteristica è molto importante nel caso stradale, dove le principali cause di impatto sono i veicoli stessi e dove gli eventuali frammenti possono causare pericolo per gli altri utenti, mentre rappresenta un problema secondario nell'ambito ferroviario, dove, se può essere identificato sempre con il veicolo il principale responsabile degli urti, si fa fatica ad immaginare altri utenti che possano essere messi in pericolo dalla frantumazione della barriera (a parte forse utenti del convoglio stesso nell'eventualità di perforazione delle carrozze o persone presenti nei pressi della barriera ma del tutto indipendenti dalla infrastruttura ferroviaria). Ad ogni modo riteniamo comunque interessante l'analisi di tale comportamento delle barriere, in alcuni casi specifici. La prova prevede essenzialmente di colpire con un maglio di dimensioni normate la barriera in modo da valutarne l'eventuale distacco degli elementi portanti (viti e quant'altro) o la sua frammentazione. Gli elementi così staccati dovranno essere misurati ed usati nella classificazione della barriera stessa (classi da 0 a 4).
- c) **PROTEZIONE AMBIENTALE.** Con questo si vuole richiamare l'attenzione dei produttori di barriere anti-rumore sulla qualità e sulla natura dei materiali impiegati. Vengono quindi obbligati (dato che la norma costituisce a tutti gli effetti norma di legge) a conoscere i materiali impiegati nel confezionamento del loro prodotto e a denunciare i comportamenti di questi ultimi con il deterioramento dovuto al tempo o all'attacco di agenti chimici (fra cui l'acqua) o del fuoco, nonché il loro corretto smaltimento.
- d) **VIE DI FUGA IN CASO DI EMERGENZA.** Fatto salvo l'aspetto anti-rumore (isolamento o assorbimento) della barriera, devono essere sempre garantite delle vie di fuga che mettano in comunicazione l'infrastruttura con l'ambiente circostante. Queste devono essere interposte ad intervalli regolari o in punti singolari e devono consentire l'uscita degli utenti in condizioni di emergenza e l'entrata di addetti alla manutenzione o all'intervento in caso di incidenti o altro. La norma si limita a specificare le dimensioni di queste vie di fuga (2.1m x 0.9m) e la loro manutenzione in modo che non mettano a repentaglio il potere isolante/assorbente del dispositivo stesso.
- e) **RIFLESSIONE DELLA LUCE.** I pannelli piani possono spesso rivelare il problema della riflessione della luce proveniente dal sole o dai fanali dei veicoli, con conseguente pericolo per l'abbagliamento

degli utenti. Ovviamente i materiali scelti per realizzare barriere anti-rumore devono evitare tale inconveniente, specie se installati su infrastrutture stradali.

Nell'ambito ferroviario, il problema è decisamente più trascurabile dato che la marcia a vista avviene solo in rare eventualità, tuttavia, la possibilità riguardante l'insorgere di simili problemi può costringere i progettisti coinvolti a confrontarsi con tali tematiche.

La prova prevede una "prova di riflessione" sul modello indicato dalla EN ISO 2813, nella quale viene misurata la riflessività per diverse posizioni del pannello e per diversi angoli di incidenza del raggio. Alla fine il pannello verrà collocato entro una delle 4 classi (da classe 0 a classe 4) sulla base della percentuale di luce riflessa.

- f) **TRASPARENZA.** Una barriera anti-rumore non deve creare alcun tipo di riduzione alla sicurezza, in particolare non deve ridurre la visibilità posseduta dagli utenti nell'usare l'infrastruttura stessa. A tal riguardo la norma UNI-EN 1794-2 prescrive un metodo per valutare la trasparenza dei dispositivi nel caso di utilizzo normale dell'infrastruttura (ovvero trascurando il caso in cui la trasparenza venga ridotta dalla presenza di sporco o altro). In particolare la trasparenza viene valutata rispetto a 2 distinte tipologie di trasparenza, ovvero statica, quando riferita alla possibilità di vedere attraverso la barriera per un utente esterno all'infrastruttura; e dinamica, quando riferita alla possibilità di vedere attraverso la barriera per un utente dell'infrastruttura.

Il fatto che la maggior parte della circolazione ferroviaria non avvenga a vista comporta la perdita di importanza di tale caratteristica, almeno per quel che riguarda la componente dinamica. Tuttavia, annoveriamo comunque tale caratteristica per completezza, e per comprendere anche dei casi singolari nell'esercizio ferroviario.

La prova prevede l'uso di una specifica formula che restituisce i valori di "trasparenza" del dispositivo in base all'intensità della luce che è in grado di attraversare il dispositivo. La prova viene svolta per diverse angolazioni dell'osservatore (quindi della fonte di luce).

#### **1.4.8 UNI 11022**

##### **"Misurazione dell'efficacia acustica dei sistemi antirumore (insertion loss), per infrastrutture di trasporto, installati in ambiente esterno"**

La normativa fin'ora analizzata era incentrata sulla misura delle prestazioni acustiche e non acustiche dei dispositivi anti-rumore, tralasciando di proporre un metodo che consenta di valutare l'efficacia dell'installazione di tali elementi. A tale proposito interviene la norma UNI 11022 che misura il cosiddetto "Insertion loss" definito dalla norma stessa come *"Differenza, in decibel, tra i valori del livello continuo equivalente di pressione sonora misurati in una specifica posizione ricevente prima e dopo l'installazione del sistema antirumore, a condizione che la sorgente sonora, il profilo e le condizioni del terreno, gli eventuali ostacoli alla propagazione sonora, le superfici riflettenti presenti e le condizioni meteorologiche non siano cambiati"*.

Riprendendo la distinzione fra caratteristiche intrinseche ed estrinseche potremo annoverare l'Insertion loss fra queste ultime, in quanto valutano l'effetto complessivo di riduzione del rumore anziché soffermarsi solo su uno specifico aspetto dell'installazione misurata senza riferimento agli effettivi recettori.

La norma specifica come i metodi proposti valgano solo entro una distanza di 250m dalla sorgente sonora e non si propongono come metodo di confronto di soluzioni differenti, ma servono solo per confrontare le situazioni prima e dopo l'installazione ma con riferimento allo stesso sito (nel quale devono mantenersi inalterate le condizioni acustiche fra i due momenti di esecuzione della prova)

La norma prevede, quindi, due distinti metodi a seconda se si possiede o meno dati relativi allo stato antecedente all'installazione delle barriere o meno. Nel primo caso (si possiedono questi dati, c'è la

possibilità di rimuovere facilmente il dispositivo o si sta effettuando la misura prima dell'intervento) si parla di metodo A; in caso contrario si parla di metodo B.

I due metodi sono, in realtà molto simili nella loro costruzione teorica, e differiscono solo per il fatto che, mentre nel metodo A le misure ante-intervento sono svolte nel sito stesso, nel metodo B ci si deve rivolgere ad un sito equivalente che possieda le caratteristiche acustiche proprie del sito in analisi prima dell'installazione. La valutazione su quale dei due metodi usare e, nel caso del metodo B, quali sono i metodi per scegliere correttamente il sito equivalente è specificata nel punto 6 della normativa.

Questo punto specifica come tale "equivalenza" debba essere valutata rispetto a diversi aspetti:

- a) TERRENO. Le condizioni acustiche del terreno devono mantenersi inalterate fra le due misure, nel metodo A; oppure devono essere le stesse del sito in cui sono state montate le barriere, ma prima dell'intervento, nel metodo B.

Ciò significa che, nel metodo A, la successione di tipologie del terreno deve essere la stessa lateralmente alla postazione precedente (nel senso che se prima vi si trovava un terreno incolto, ora non deve essere un campo coltivato o una superficie asfaltata); il profilo del terreno dal punto di vista delle eventuali riflessioni deve mantenersi lo stesso in un territorio compreso in un raggio di 20m dalla postazione ricevente ed in un cono costruito attorno alla direzione che collega sorgente e ricevitore con un angolo al vertice di 60°.

Nel caso del metodo B il sito equivalente deve essere scelto in modo che quest'ultimo risponda ad una sollecitazione acustica allo stesso modo con cui rispondeva il sito originale prima dell'intervento. Per valutare ciò ci si rifà alla "curva di decadimento con la distanza del livello equivalente", ovvero si valuta l'attenuazione del livello di pressione sonora della sorgente a diverse distanze (1m, 2m, 4m, 8m, ...) e si cercherà un sito la cui curva sia quanto più simile possibile a quella del sito originale.

- b) VENTO. Premesso che il vento non può superare una velocità di 5 m/s si deve far sì che nei due momenti di misura (o fra il sito originale e quello equivalente) ci si mantenga nella stessa classe di vento (come indicato nella tabella presente nella norma)
- c) TEMPERATURA DELL'ARIA. Nei due momenti di misurazione o fra il sito originale e quello equivalente, la temperatura media non deve variare più di 10°C.
- d) CONDIZIONI DEL CIELO. Nei due momenti di misurazione o fra il sito originale e quello equivalente, le condizioni del cielo devono rientrare nella medesima classe così come definita della norma stessa.
- e) RUMORE DI FONDO. La norma fornisce una formula attraverso la quale correggere la misura del livello registrato qualora la differenza fra questo e il livello del rumore di fondo sia compresa fra 4 e 9 dB. Nel caso sia inferiore a 4 dB la misura non è valida, mentre, se è superiore a 9 dB non è richiesta alcuna correzione.

Riguardo alla sorgente da utilizzare anche questa non deve variare fra i due momenti di misurazione o fra il sito originale e quello equivalente (pertanto non sono accettabili misurazioni in cui la sorgente, per variazioni del traffico o altro, è diversa da quella della misurazione originale).

La misura prevede di affiancare ai dati misurati nella posizione originale, altre rilevazioni effettuate nella cosiddetta "postazione di riferimento". Questa ha lo scopo di valutare la variazione dei livelli sonori della sorgente in una posizione in cui tali segnali non siano alterati dall'installazione della barriera. Vengono solitamente installate al di sopra delle barriere stesse.

La postazione ricevente deve, invece, essere posta in corrispondenza dei punti in cui il disturbo per eventuali recettori sarà massimo, almeno ogni 250 m della barriera e comunque in tutti i punti singolari della stessa (come vediamo si posiziona il recettore in corrispondenza dei "recettori reali").

La postazione ricevente e quella di riferimento rileveranno i livelli di pressione per bande comprese fra 100 e 5000 Hz in scala di ponderazione A per un certo numero di volte stabilito dal punto 8.3 della norma in questione, a seconda della natura del rumore (rumore stazionario, fluttuante o intermittente). Il valore dell'Insertion loss corrisponde alla differenza fra i livelli equivalenti prima (B) e dopo (A) registrati nella posizione ricevente e in quella di riferimento. Nel caso del metodo B il "prima" viene sostituito dai dati rilevati nel sito equivalente.

$$IL = (L_{r,B} - L_{r,A}) - (L_{ref,B} - L_{ref,A}) \text{ dB}$$

Risultato di tale elaborazione sarà un grafico ed una tabella costruiti per ciascuna postazione ricevente nella quale viene indicato per ciascun terzo di banda d'ottava il rispettivo valore di Insertion loss seguito dal valore di sensibilità (la cui determinazione è spiegata nella norma).

#### 1.4.9 UNI-ISO 9613-2

##### **"Attenuazione sonora nella propagazione all'aperto - Metodo generale di calcolo"**

La norma che andiamo a presentare rappresenta il riferimento principale per il calcolo dell'attenuazione acustica in ambienti aperti. In tal senso essa permette di ricavare, conoscendo la potenza acustica della sorgente e le caratteristiche di propagazione dell'ambiente circostante di conoscere quale sia il livello da attendersi nella posizione ricevente selezionata. Il metodo proposto si articola per bande d'ottava, riferendosi ad esse attraverso la frequenza centrale da 63Hz a 8KHz. Esso si suppone valido in tutte le condizioni di propagazione favorevole (lungo la direzione del vento o nei casi di inversione termica) ed è adatto alla descrizione del rumore causato dal traffico veicolare e ferroviario. A contrario, mal si adatta alla misura del rumore al di sopra delle superfici d'acqua o causato da attività militari o cantieristiche.

Il campo di validità della presente norma dipende essenzialmente dal tipo di sorgente e dalle condizioni meteorologiche al contorno.

Il metodo nasce, infatti, per calcolare il livello di una sorgente puntiforme. Quest'ultima può, però essere ricavata da una schematizzazione di sorgenti più complesse, quali sorgenti areolari o lineari, che vengono ridotte a più semplici sorgenti puntiformi a patto che vengano rispettate le seguenti condizioni:

- a) Le sorgenti hanno più o meno la stessa potenza sonora e si trovano alla stessa altezza dal suolo
- b) Dalle sorgenti al ricevitore valgono le stesse condizioni di propagazione
- c) La distanza  $d$  fra sorgente e ricevitore deve essere superiore ad almeno il doppio della distanza fra le singole sorgenti.

Come possiamo vedere si tratta di condizioni soddisfatte nel caso ferroviario, a patto di porci a sufficiente distanza dalla sorgente e in condizioni di campo aperto.

Riguardo le condizioni meteorologiche, si parla di direzione favorevole di propagazione, ovvero con un vento indirizzato lungo la congiungente sorgente-ricevitore e inclinato non più di 45° su tale direzione. Le velocità tollerate vanno da 1 a 5 m/s misurata tra 3 e 11m dal suolo.

Come abbiamo visto il livello sonoro ponderato si calcola attraverso la formula

$$L_{AT} = 10 \lg \left\{ \left[ (1/T) \int_0^T p_A^2(t) dt \right] / p_0^2 \right\} \text{ dB}$$

Dove  $p_A$  è la pressione atmosferica ponderata, ovvero la pressione atmosferica effettivamente misurata opportunamente modificata dalla sensibilità che l'orecchio umano ha alle diverse frequenze;  $p_0$  è una pressione sonora di riferimento di  $20 \cdot 10^{-6}$  Pa e  $T$  è l'intervallo di tempo misurato in secondi preso sufficientemente lungo da mediare gli effetti meteorologici.

Inoltre, il valore di LA si può calcolare anche a partire dalla formula

$$L_{AT}(DW) = 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^n \left[ \sum_{j=1}^8 10^{0,1[L_{fT}(ij) + A_f(j)]} \right] \right\} \text{ dB}$$

Dove A corrisponde ai valori specifici di ciascuna frequenza della curva di attenuazione. J indica le diverse bande d'ottava, mentre i fa riferimento alle diverse sorgenti in gioco.

L<sub>fT</sub> indica il livello sonoro misurato per banda d'ottava calcolato con la formula:

$$L_{fT}(DW) = 10 \lg \left\{ \left[ (1/T) \int_0^T p_f^2(t) dt \right] / p_0^2 \right\} \text{ dB}$$

Dove le grandezze indicate hanno lo stesso significato della formula precedente con l'eccezione di pf, dove f indica semplicemente la banda d'ottava in analisi.

La norma specifica che il valore di L<sub>fT</sub> può ricavarsi anche dalla formula:

$$L_{fT}(DW) = L_w + D_c - A$$

Che rappresenta il vero fulcro della normativa.

L<sub>w</sub> rappresenta il livello di potenza sonora raggiunto dalla sorgente stessa, mentre il valore di D<sub>c</sub> corrisponde alla correzione di direttività, ovvero all'incremento subito da un livello sonoro quando la sorgente si trova entro angoli solidi di diversa ampiezza. Nel nostro caso, dato che la sorgente non galleggia nello spazio ma è ancorato al suolo, l'emissione è emisferica e D è pari a 3dB.

A corrisponde alla somma di tutti i contributi di attenuazione che diminuiscono il livello sonoro finale e pari alla somma di:

- A<sub>div</sub>. Corrisponde all'attenuazione per divergenza geometrica espressa dalla formula

$$A_{div} = [20 \lg (d/d_0) + 11] \text{ dB}$$

Dove d è la distanza fra sorgente e ricevitore in m, e d<sub>0</sub> è una distanza di riferimento di 1m.

- A<sub>atm</sub>. Corrisponde all'attenuazione per effetto dell'atmosfera ricavato dalla formula

$$A_{atm} = \alpha d / 1000$$

Dove α corrisponde alla perdita di decibel per km percorso. Il valore di α dipende dalla frequenza che ci interessa, dalla temperatura e dall'umidità dell'aria.

- A<sub>gr</sub>. Corrisponde all'attenuazione dovuta al suolo. In questo caso si distinguono tre contributi dati dal suolo nei pressi della sorgente (per 30 volte l'altezza della sorgente dal suolo), nei pressi del ricevitore e nella zona intermedia. L'attenuazione A<sub>gr</sub> viene ottenuta come somma di questi tre contributi valutati attraverso opportuni grafici che mettono in relazione l'altezza della sorgente e del ricevitore con la distanza fra gli stessi e con il valore stesso di A. l'effetto di attenuazione cambia, poi, con il tipo di suolo, ovvero poroso (quindi composto di erba o ricoperto da vegetazione), rigido (quando cementato, per esempio) o misto.

In alternativa, se si è interessati solo all'effetto di attenuazione sul livello equivalente ponderato è possibile utilizzare la formula seguente

$$A_{gr} = 4,8 - (2 h_m/d) [17 + (300/d)] \geq 0 \text{ dB}$$

Dove h<sub>m</sub> è una distanza media ottenuta attraverso il rapporto fra l'area sottesa fra la congiungente sorgente-ricevitore e il profilo del suolo, e la distanza d. Se si usa tale metodologia si deve rivedere il valore di Dw attraverso una nuova formula descritta nella norma stessa.

- Abar. Corrisponde all'attenuazione legata agli ostacoli come barriere o simili. Un oggetto per potersi definire schermante deve soddisfare queste condizioni:
  - a) Massa superficiale almeno pari a  $10 \text{ kg/m}^2$
  - b) Oggetto privo di grosse aperture o interruzioni
  - c) Oggetto la cui lunghezza in direzione perpendicolare alla congiungente sorgente-ricevitore deve essere almeno pari alla lunghezza d'onda della frequenza centrale della banda d'ottava d'interesse.

Normalmente si può considerare l'Insertion Loss come misura attendibile del livello di attenuazione assicurato dall'ostacolo in analisi. In alternativa la norma in questione permette di trovare il valore di Abar a seconda delle dimensioni e delle caratteristiche dell'ostacolo stesso. Tale attenuazione non può, comunque, spingersi oltre i 20dB (25dB nel caso di ostacoli con doppia rifrazione).

- Amisc. Corrisponde alla somma di tutti gli altri contributi schermanti dovuti all'azione di fogliame (Afol), alla presenza di complessi industriali (Asite) o residenziali (Ahous). La norma fornisce tabelle e formule per ricavare tali contributi. Spesso, comunque, si tratta di valori legati alla specifica morfologia del sito in analisi.

La norma permette anche di tenere in considerazione le possibili riflessioni provenienti da pareti o tettoie. Queste vengono considerate attraverso delle apposite sorgenti immagine che, dotate di una potenza sonora dipendente dall'effettivo potere riflettente posseduto dalla superficie in questione (per la relativa banda d'ottava analizzata), viene posta alle spalle dell'ostacolo stesso lungo la relativa direzione di propagazione che univa il segnale riflesso al relativo ricevitore. La norma specifica nel dettaglio potenza sonora e posizione di tali sorgenti immagine, nonché le caratteristiche specifiche che deve possedere una superficie per potersi definire riflettente.

Per finire, la norma prevede una "correzione meteorologica" che permette di conoscere l'effettivo livello sonoro raggiunto nel corso di un tempo più o meno lungo. Infatti, le formule finora analizzate erano tutte riferite alla direzione favorevole alla propagazione, ovvero lungo la direzione presa dal vento (DW). In un lungo periodo di tempo, tuttavia, le condizioni meteorologiche cambiano spesso, per cui è necessario tenere in debita considerazione ciò attraverso un'opportuna  $C_{met}$  (misurata in dB)

$$C_{met} = C_0 [1 - 10 (h_s + h_r) / d_p]$$

$$\text{se } d_p > 10 (h_s + h_r)$$

Dove  $C_0$  è un coefficiente dipendente dalle caratteristiche meteorologiche specifiche della zona,  $h_s$  e  $h_r$  sono le altezze da terra di sorgente e ricevitore e  $d_p$  la proiezione orizzontale della distanza fra sorgente e ricevitore.

#### 1.4.10 UNI-ISO 1996

##### "Descrizione, misurazione e valutazione del rumore ambientale"

La norma UNI 1996 si pone come scopo quella di fungere da riferimento per le singole normative nazionali per la definizione dei descrittori del rumore, basandosi sulla percezione umana dello stesso. Essa descrive la normativa internazionale a riguardo, quanto mai "caotica" in quanto connessa a specifiche condizioni geografiche, politiche, sociali ecc. che fanno variare da nazione a nazione la soglia del "fastidio". Compito dell'ISO (e quindi dell'UNI) è quello di porre rimedio a tutto ciò attraverso proprio tale documento.

La norma in sé inizia con la solita introduzione ed una serie di definizioni utili per comprendere il resto del testo. A nostro avviso ci possiamo concentrare su solo alcune di tali definizioni, dando per scontate le altre:

- Livello di pressione sonora ponderato in frequenza.

Come già sappiamo si tratta di 10 volte il logaritmo in base 10 del rapporto fra il quadrato della pressione sonora ponderata e il quadrato della pressione sonora di riferimento. La ponderazione seguita nel nostro caso (rumore ferroviario) è quella data dalla curva A, che tiene conto della diversa risposta umana alle diverse frequenze (l'orecchio umano è più sensibile alle medio-alte frequenze piuttosto che alle basse)

- Livello massimo di pressione sonora ponderato

Corrisponde al maggior livello di pressione sonora registrato in un dato intervallo di tempo

- Livello di picco della pressione sonora

Può essere associato ad una sorta di livello massimo ponderato con l'importante differenza che si tratta di un valore riferito ad un intervallo di tempo istantaneo. Viene spesso usato per caratterizzare rumori improvvisi e molto forti, come esplosioni o spari.

- Livello di esposizione sonora.

Corrisponde alla formula seguente:

$$L_E = 10 \lg\left(\frac{E}{E_0}\right) \text{dB}$$

Dove l'esposizione sonora E l'integrale rispetto al tempo del quadrato della variazione temporale della pressione sonora istantanea ponderata in frequenza in un intervallo prefissato T, mentre  $E_0$  è il quadrato della variazione sonora della pressione di riferimento ( $20 \cdot 10^{-6}$  Pa) in un secondo.

$$E = \int_T p^2(t) dt \text{ dB}$$

Come vediamo l'esposizione ha numerose analogie con il concetto che vedremo più avanti di "livello di pressione continua equivalente". Puntiamo l'attenzione, comunque, sul fatto che, se in quest'ultimo caso si estrae il livello finale dall'intervallo di tempo usato per la misura; nel caso dell'esposizione sonora la componente tempo si mantiene e deve essere attentamente indicata accanto al livello  $L_E$  misurato.

- Livello di pressione sonora continuo equivalente.

Viene espresso dalla formula seguente:

$$L_{AeqT} = 10 \lg\left[\frac{1}{T} \int_T p_A^2(t) / p_0^2 dt\right] \text{dB}$$

Equivale a dire "il livello di pressione che, se mantenuto durante l'intero periodo di misurazione, provoca lo stesso disturbo del livello variabile originale".

Successivamente la norma continua sottolineando che le diverse situazioni contingenti (tipo di sorgente, ora del giorno, tipo di suono...) influenzano il livello registrato, il quale deve, dunque, subire un "Adattamento", ovvero essere corretto con l'aggiunta di un certo numero di decibel.

Altra distinzione importante risiede nella differenza fra eventi singoli e suoni continui. Gli "eventi singoli" corrispondono a suoni per così dire isolati, come il passaggio di un veicolo pesante, un'esplosione o il sorvolo di un aereo. Essi possono essere descritti dai livelli di esposizione sonora o dai rispettivi livelli massimi o di picco. Il "suono continuo" è quello proveniente da impianti di ventilazione, torri di raffreddamento o simili e sono difficilmente isolabili entro un determinato intervallo di tempo (generalmente il singolo evento sonoro ha una durata compresa fra i momenti in cui il livello sonoro è di 10 dB inferiore al livello massimo registrato). Per suoni continui si ricorre al livello equivalente.

Il traffico ferroviario risulta un'unione di singoli eventi. I convogli, infatti, passano ad intervalli di tempo tali da renderli "isolabili". Il descrittore più adatto è il livello di esposizione sonora.

Definiti i descrittori utilizzabili per caratterizzare il rumore, resta da definire una procedura pratica per la loro misurazione. La parte 2 della norma UNI 1996 si concentra proprio su tale aspetto, rimandando, poi alla parte 1 per la definitiva correzione o adattamento.

Per effettuare una buona misura è necessario prendere in considerazione diversi aspetti.

Anzitutto ogni misurazione è affetta da un certo grado di incertezza. Questa è da imputarsi a diversi fattori, fra cui la strumentazione stessa, le condizioni operative (quindi operatore, posizione...), le condizioni meteo e del suolo, e la differenza fra il suono residuo e quello misurato (nel caso tale differenza superi i 10dB si considera come trascurabile il relativo contributo)

Data la premessa, una buona misurazione è frutto dell'attenzione riposta in molteplici aspetti.

La strumentazione, ad esempio, ricopre un ruolo fondamentale e deve essere conforme alle classi previste dalle rispettive norme della IEC, così come gli strumenti di taratura.

La sorgente, poi, deve essere conosciuta nelle sue caratteristiche più importanti. Nel caso ferroviario, ad esempio, in assenza del livello di potenza, si opta più spesso per la misura del livello equivalente e del livello massimo. Affinché tali misure si possano considerare valide dobbiamo avere le registrazioni di almeno 20 convogli rispettivamente, e, nel caso del livello equivalente, anche almeno 5 convogli per ciascun tipo che si ritenga importante per la definizione del clima acustico finale.

Anche le condizioni meteo influenzano la resa finale di una misura. In particolare, prima di svolgere qualsiasi misura ci si deve accertare che le condizioni siano "standard", ovvero, nel caso ferroviario, non vi siano binari bagnati o sporchi di neve. Si possono così definire delle "condizioni favorevoli alla propagazione", generalmente corrispondenti a velocità del vento limitate entro 5/10 m/s e con un recettore posto sottovento alla sorgente. In questo modo il segnale viene al limite rifratto verso il suolo dal quale può venir assorbito per una certa parte a seconda della "porosità" del terreno stesso. Ad ogni modo, questa parte della norma cerca di consigliare delle condizioni standard di misura del rumore, in modo da rendere confrontabili delle misure eseguite in momenti diversi, ma le cui condizioni meteo (valutate rispetto i canoni descritti in questa parte della norma) siano da considerarsi equivalenti.

Definite le condizioni al contorno si passa alla procedura di misurazione vera e propria che consiste nello scegliere posizione e periodo di tempo adeguati a caratterizzare l'emissione della sorgente. Per quanto concerne il periodo di misurazione, esso deve essere preso in modo tale da caratterizzare compiutamente la sorgente stessa. Ovvero, se di sorgente periodica si tratta si dovranno prendere almeno 3 periodi, se non è possibile prendere un intero periodo è necessario prendere intervalli separati ma in grado di dare un'idea precisa del suono emesso.

La posizione che il microfono deve occupare cambia a seconda della misura che dobbiamo compiere. In particolare si distingue una posizione in campo libero, una condizione a ridosso di una parete (dalla quale riceve un incremento di circa 6dB rispetto alla posizione in campo libero) e in una posizione fra 0.5 e 2m dalla superficie riflettente (dalla quale riceve un incremento minore di 6dB). La norma descrive anche come predisporre una misura in ambienti interni (della quale, però, poco ci interessa).

Le grandezze misurate saranno, quindi, Leq, LE, Lmax, il suono residuo, o quante altre grandezze ci servono per le nostre misure.

Una volta ottenute le misure, è alla parte 1 che dobbiamo guardare per le dovute correzioni. Per eventi singoli o sequenze di eventi singoli, si usa il livello di esposizione, mentre nel caso di suono continuo è al livello equivalente che si guarda. I singoli valori possono quindi venir "adattati", ovvero si somma ai livelli misurati un valore determinato in base al tipo di sorgente, al carattere del suono (impulsivo, tonale...) e al periodo in cui abbiamo effettuato la misura.

Gli adattamenti sono pensati per descrivere al meglio la risposta umana al rumore, così, il rumore ferroviario viene avvertito meno fastidioso del corrispondente rumore stradale, mentre un rumore notturno è più fastidioso di un rumore serale o diurno.

I valori così corretti possono essere assunti per descrivere il livello diurno, serale o notturno (rispettivamente  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  e  $L_{night}$ ), oppure il clima acustico dell'intera giornata ( $L_{den}$ ) attraverso la formula seguente:

$$L_{Rdn} = 10 \lg \left[ \frac{d}{24} \times 10^{(L_{Rd} + K_d)/10} + \frac{24-d}{24} \times 10^{(L_{Rn} + K_n)/10} \right] \text{dB}$$

Dove LR indica i valori corretti (quindi adattati) riferiti a giorno o notte (d o n). K sono le ulteriori correzioni per tener conto dell'ora di rilevazione.

$L_d$  o  $L_n$  non sono altro che  $L_{eq}$  (o  $L_E$  opportunamente trattato con una formula che permette di estrarne un livello corretto) misurati in riferimento alle ore diurne o notturne. È a discrezione delle singole nazioni sancire inizio e fine dei periodi diurno, serale e notturno. In Italia, secondo DPCM 1 Marzo 1991 il periodo diurno va dalle 6 alle 22, mentre quello notturno va dalle 22 alle 6.

Ovviamente, tutto il discorso che abbiamo fatto finora vale se abbiamo un'unica e ben precisa sorgente, mentre perde di significato quando abbiamo la combinazione di più fonti di rumore. In questo caso la norma prevede una procedura alternativa che consenta di comprendere tutti i diversi contributi.

La parte 1 della norma si conclude con la descrizione di come dovrebbe essere strutturata una norma nazionale per la salvaguardia acustica dell'ambiente. Definisce quali possono essere i descrittori da utilizzare, il modo di porre specifici limiti per ciascuna zona, come tener conto delle condizioni di propagazione, degli intervalli di tempo da considerare, delle incertezze nelle misure ecc.

La parte 2, invece, descrive metodi diversi dalla semplice misurazione attraverso i quali definire compiutamente il clima acustico da attendersi in una data zona per via di specifiche sorgenti. I metodi proposti consistono nell'integrare con il calcolo delle misurazioni già in nostro possesso, conoscendo le condizioni di partenza della sorgente e le condizioni di propagazione della zona circostante.

#### **1.4.11 Riassunto finale.**

Cerchiamo, ora, di illustrare un quadro complessivo della situazione normativa UNI riguardo i dispositivi di riduzione del rumore applicati a infrastrutture di trasporto, in particolare, riguardo le barriere anti-rumore. Come abbiamo visto, la normativa di settore si sofferma soprattutto sul caso stradale, tuttavia, la maggior parte dei metodi utilizzati e dei concetti spiegati sono facilmente trasferibili anche al caso ferroviario. La normativa, inoltre, analizza la sola soluzione delle barriere anti-rumore, tralasciando gli altri possibili provvedimenti.

Le barriere anti-rumore sono costituite da due parti: gli elementi acustici, specificatamente pensati per modificare le emissioni rumorose di una data sorgente; e gli elementi non acustici, pensati come elementi di sostegno ai primi (basti pensare ai montanti che sostengono i pannelli). Questi elementi vengono sempre visti come un tutt'uno e tutte le prove descritte nelle norme fanno riferimento al sistema completo di elementi acustici più elementi non acustici.

A loro volta le caratteristiche di tale sistema sono suddivisibili in "caratteristiche acustiche", quando legate alla modifica delle emissioni sonore di una data sorgente; e "caratteristiche non acustiche", quando legate alla semplice resistenza del sistema alle diverse sollecitazioni dell'ambiente in cui viene installato.

Infine, tali caratteristiche vengono ulteriormente suddivise in base al concetto di "caratteristiche intrinseche" e "caratteristiche estrinseche". Le prime fanno riferimento a tutte quelle prove e misure che

vengono eseguite per classificare il prodotto rispetto a prodotti simili. Si tratta, quindi, di prove svolte in laboratorio o in situ, nelle quali si predispongono una precisa procedura di misurazione che porta alla definizione di specifiche grandezze. Queste grandezze potranno essere messe successivamente a confronto con quelle proprie di altri prodotti per permettere ad eventuali acquirenti di effettuare la scelta più opportuna per il problema acustico da risolvere. A contrario, le "caratteristiche estrinseche" fanno riferimento all'efficacia che i prodotti hanno nel loro sito finale di installazione e rispetto ai recettori che tali dispositivi devono di fatto proteggere. In tal senso tali caratteristiche non classificano i prodotti, ma aiutano a valutare la bontà della soluzione scelta.

La norma UNI-EN 1793 tratta in modo completo le caratteristiche acustiche intrinseche delle barriere anti-rumore. A tal riguardo individua le due caratteristiche acustiche maggiormente rilevanti:

- a) L'assorbimento acustico. È la caratteristica più importante dei "rivestimenti" adottati nelle gallerie o in ambienti con simili comportamenti acustici. In alcuni casi, infatti, è la sorgente stessa che deve essere tutelata dalle emissioni da essa stessa prodotte. Nelle gallerie, per esempio, il fatto che il suono "rimbalzi" contro le pareti fa sì che il rumore rimanga nell'ambiente chiuso della galleria amplificando il rumore iniziale.

Per questo motivo i dispositivi anti-rumore "assorbenti" devono assorbire le emissioni che li colpiscono evitando che possano tornare indietro.

- b) L'isolamento acustico. È la caratteristica più importante quando si vuole evitare che il rumore causato da una data sorgente possa recare disturbo a recettori esterni alla sorgente stessa. Essa mira a ridurre a livelli accettabili i livelli di rumore causati dall'infrastruttura interponendosi all'interno della via di propagazione del suono.

Premesso che una riduzione totale non è possibile, l'isolamento si considera accettabile quando inferiore ai livelli di pressione del segnale difratto, che risulta comunque in grado di oltrepassare il dispositivo

In effetti la norma UNI-EN 1793-4 tratta anche della difrazione, ovvero di un metodo alternativo di diffusione del segnale, che "scavalca" la barriera in corrispondenza delle relative estremità (in genere superiori, ma lo stesso effetto si ottiene nelle eventuali estremità verticali). A tal riguardo la norma appena richiamata mette a punto un sistema per valutare l'efficacia di eventuali sistemi che, una volta posti al di sopra dei dispositivi anti-rumore, sono in grado di diminuire la componente difratta del rumore.

Infine, anche se la normativa ammette l'esistenza di altre direzioni di propagazione del rumore (attraverso rimbalzi multipli, o per l'effetto del suolo ecc.) tali componenti sono trascurate, in quanto viene visto come del tutto ininfluenza il loro contributo al disturbo finale.

La norma UNI-EN 1793 si divide, quindi, in 5 parti:

- a) UNI-EN 1793-1: riguarda le prove di laboratorio pensate per misurare l'indice di prestazione dell'assorbimento acustico. Si definiscono le modalità di prova e le grandezze da misurare. Alla fine si ottiene un grafico che indica l'assorbimento del dispositivo per ciascun terzo di banda d'ottava ed un indice di prestazione che classifica entro 5 classi disponibili il dispositivo testato.
- b) UNI-EN 1793-2: riguarda le prove di laboratorio pensate per misurare l'indice di prestazione dell'isolamento acustico. Si definiscono le modalità di prova e le grandezze da misurare. Alla fine si ottiene un grafico che indica l'isolamento del dispositivo per ciascun terzo di banda d'ottava ed un indice di prestazione che classifica entro 4 classi disponibili il dispositivo testato.
- c) UNI-EN 1793-3: rappresenta lo spettro del rumore stradale da impiegare nelle sorgenti sonore impiegate nelle prove delle norme precedenti. Nel caso ferroviario tale norma non ha una grande utilità, dato che è specificatamente pensata per l'ambito stradale. Tuttavia, affinché le prove svolte

abbiano un'utilità per classificare i prodotti ferroviari, si tratterà semplicemente di sostituire lo spettro del rumore stradale con quello del rumore ferroviario.

- d) UNI-EN 1793-4: presenta il metodo di prova e le grandezze da misurare per valutare l'efficacia dei dispositivi applicati per diminuire il fenomeno della diffrazione acustica.
- e) UNI-EN 1793-5: presenta il metodo per valutare il "Reflexion Index", che valuta il grado di assorbimento acustico in situ, ed il "Insulation Index", che valuta il grado di isolamento acustico. Questi due indici servono per valutare nel dispositivo installato, l'attendibilità degli indici misurati in laboratorio. I due indici appena menzionati sono frutto del rapporto fra l'energia sonora riflessa/trasmessa, rispetto all'energia sonora effettivamente generata dalla sorgente.

Si affianca alla norma 1793 la norma UNI 11022 che valuta le caratteristiche prima definite estrinseche. La norma in questione permette di stabilire, attraverso la grandezza definita "Insertion loss" l'efficacia del dispositivo. Infatti, si prescrive di controllare i livelli di pressione prima e dopo l'intervento (nel caso il sito sia nel frattempo cambiato o manchino delle misure riguardo il "prima" si può usare un sito equivalente) e di ottenere quello che è di fatto un nuovo indice di prestazione che ci fa capire quanto efficace sia stata la soluzione adottata. Ovviamente, si tratta di misure di fatto non replicabili, ovvero, non danno alcuna classificazione del dispositivo, in quanto fanno riferimento ad uno specifico sito di prova ed a uno specifico tipo di recettore.

Tutte tali grandezze possono, poi, essere valutate nel tempo, per osservare l'eventuale decadimento delle caratteristiche acustiche del dispositivo. A tal proposito, la norma UNI-EN 14389-1 definisce con quali modalità il produttore deve effettuare delle rilevazioni degli indici di prestazione prima elencati dopo 5, 10, 15 e 20 anni dall'installazione del prodotto. Quest'informazione aiuterà a capire come si evolverà il dispositivo, nel tempo e quale sarà la sua effettiva efficacia una volta che sarà stato attaccato da agenti degradanti generati dal traffico, da fenomeni atmosferici o altro.

Per finire, la UNI 1794 tratta delle caratteristiche non acustiche che devono caratterizzare una barriera acustica. Queste possono essere divise fra prestazioni legate alla resistenza del dispositivo quando sottoposto a carichi, che possono essere intesi come peso proprio o come urti di vario genere (analizzati nelle più diverse condizioni, ovvero quando il dispositivo è bagnato o sottoposto a combinazioni di diverse sollecitazioni); o come requisiti di sicurezza (vedi la presenza di uscite di emergenza o un sufficiente grado di trasparenza) o ambientali (quindi la risposta al fuoco, all'acqua, ad agenti chimici vari ecc.)

La parte finale di questo capitolo è stata, invece, riservata alla presentazione delle norme UNI 9613-2 e UNI 1996.

La prima rappresenta una sorta di supposto teorico per quanti debbano calcolare l'abbattimento del livello sonoro all'aperto. Abbiamo quindi visto come tale abbattimento riguardi separatamente ciascuna frequenza delle diverse bande d'ottava e comprenda diversi contributi legati alla semplice divergenza geometrica, all'effetto di assorbimento del suolo, agli effetti atmosferici e alla presenza di barriere o altri ostacoli lungo la via di propagazione. Le istruzioni contenute in questa norma ci torneranno utili nel riportare i dati rilevati nei diversi siti ad un'unica distanza di riferimento.

La norma 1996 riguarda la definizione di alcune grandezze specifiche che permettono una descrizione completa del fenomeno sonoro. In tale norma si trovano le definizioni di  $L_d$ ,  $L_n$ ,  $L_{den}$  ecc., distinguendo, inoltre, come questi possano essere calcolate in diverse condizioni della sorgente (se periodica o continua). L'intera norma è stata costruita con riferimento alla percezione umana del suono, presa come riferimento per la definizione dei relativi descrittori acustici.

# Descrizione dell'attività di tesi.

---

Veniamo ora all'attività di tesi vera e propria. La tesi che proponiamo ha lo scopo quello di analizzare da punto di vista "pratico" la misura e l'analisi del rumore causato dall'attività ferroviaria. Diciamo "pratico" perché ci poniamo come obiettivo, non tanto quello di analizzare il fenomeno della propagazione sonora, (che riteniamo essere materia di chi si occupa di acustica), quanto piuttosto quello di cimentarsi nella misura dell'inquinamento acustico direttamente sul campo, di analizzare i dati raccolti e di confrontarli con quelli restituiti da software più o meno professionali. Ne risulterà un lavoro che, sebbene nella ridotta mole di dati a disposizione, cercherà di dare una risposta riguardo il legame tra livelli sonori raggiunti e caratteristiche dei convogli che li hanno causati, riguardo gli effetti che può avere un certo tipo di barriera, e cercherà di porre a confronto i dati ricavati con i dati restituiti da un software semplificato, permettendoci un confronto con quanto rilevato sul campo.

In definitiva la tesi si propone di:

- Provare con mano l'esperienza di una misura acustica condotta sul campo. Servendoci di una coppia di fonometri proveremo a misurare nell'arco di alcune ore le emissioni in termini di LeqA di diverse linee ferroviarie.
- Analizzare i dati così raccolti e distinguerli sulla base di alcuni fattori. Data la scarsa mole di informazioni che siamo riusciti a reperire riguardo le caratteristiche dei treni coinvolti, abbiamo limitato il nostro studio a soli pochi aspetti, consci del fatto che, con ulteriori conoscenze lo studio potrà essere approfondito adeguatamente.
- Confrontare i dati ottenuti con quelli ottenuti, in termini previsionali, dal software: Citymap (parte del pacchetto DISIA sviluppate dal professor Farina). Un software open source del quale valuteremo sia le capacità di simulazione del fenomeno partendo dal database in dotazione, sia le capacità di simulazione in seguito ad una modifica del database stesso con i dati rilevati.

La presentazione del lavoro di tesi seguirà esattamente questi tre fili conduttori, portandoci, alla fine a fare le doverose conclusioni.

## Capitolo 2

# Progettazione ed esecuzione dei rilievi fonometrici.

---

La prima parte del nostro lavoro di tesi ha riguardato la raccolta di dati fonometrici sul rumore prodotto dai convogli ferroviari.

Per quanto riguarda l'organizzazione di un simile lavoro ci siamo rifatti all'esperienza maturata in RFI. La compagnia che gestisce dal 2000 l'infrastruttura ferroviaria sul territorio nazionale e sulla base di quanto fatto nel corso della creazione del database delle emissioni ferroviarie del pacchetto DISIA, da parte del professor Farina.

Riguardo a quanto fatto nell'ambito RFI riportiamo qui sotto l'esperienza svolta dall'azienda italiana, che prevedeva come primo passo quello di individuare le emissioni delle diverse categorie di treno nei pressi dell'infrastruttura e che risulta simile a quanto è stato svolto da noi in occasione del lavoro di tesi. Successivamente presenteremo brevemente quanto è stato fatto dal professor Farina, rimandando per una discussione più completa alla parte 3 del lavoro di tesi, dove viene presentato più dettagliatamente il programma DISIA.

### **2.1 L'esperienza RFI.**

Quando abbiamo descritto l'impianto normativo vigente in Italia, riguardo all'inquinamento acustico, abbiamo presentato la suddivisione delle responsabilità fra pubblico e privato.

Se al settore pubblico (Stato, Regioni e comuni) compete l'onere di definire i limiti di legge e le metodologie di misura, al privato che causi emissioni fuori norma, compete la predisposizione di ogni soluzione ammissibile per risolvere il problema, ovviamente a proprie spese.

RFI, che in Italia rappresenta il principale gestore dell'infrastruttura ferroviaria, si è mossa in tal senso per adempiere agli obblighi di legge, attraverso una serie di provvedimenti che nel giro di 15 anni dovrebbero contenere entro limiti accettabili l'intera rete nazionale.

Come prescritto dal DM 29 Novembre 2000, ciascun responsabile di attività definite "disturbanti" dal punto di vista acustico deve predisporre un apposito piano di risanamento articolato in 3 fasi successive:

- Mappatura acustica delle fasce di pertinenza. Il rumore ferroviario può, ovviamente, interessare dei recettori esterni da tali fasce. In tal caso è necessario discernere i contributi di disturbo tra le varie fonti, e solo a questo punto ogni sorgente è chiamata ad intervenire secondo la propria responsabilità.

- Stesura di un piano di contenimento e di abbattimento del rumore. Quest'ultimo deve venir presentato entro 18 mesi dalla consegna della mappatura acustica agli organi competenti.
- Attuazione del piano descritto nei 15 anni successivi. Lo stato delle operazioni deve venire continuamente aggiornato con cadenza annuale direttamente al Ministero dell'ambiente, alle Regioni ed ai comuni interessati.

RFI ha preso seriamente questi impegni ed ha provveduto alla prima fase (mappatura acustica) per l'intera estensione della propria rete. Il presente lavoro di tesi si innesta proprio all'interno di tale esperienza, fungendo da ulteriore campagna di misura al fianco di quelle già svolte dall'azienda.

RFI, vista l'enorme estensione della rete sotto il suo controllo (oltre 16.000km) ha svolto un lavoro di simulazione che ha permesso di avere una chiara idea del disturbo causato dal servizio con relativamente pochi dati (ovviamente, una registrazione puntuale sarebbe stata irrealizzabile).

Secondo il programma di calcolo utilizzato si è suddiviso la rete in una serie di segmenti identici in estensione e ciascuno di questi è stato ridotto ad un'unica sorgente puntiforme. Ogni sorgente ha, quindi, avuto modo di agire sul territorio circostante e dalla somma dei contributi delle singole sorgenti si è potuti arrivare alla valutazione dei livelli sonori nelle zone circostanti con un'accuratezza contenuta entro i  $\pm 3$ dB. Ovviamente, per dare credibilità al modello così realizzato è stato necessario allestire una serie di rilevazioni dello stato effettivo della rete. Così sono state condotte delle rilevazioni acustiche sui diversi tipi di convogli, sui diversi armamenti, nei punti sensibili quali gallerie o scali merci ecc. Infine, il modello è stato calibrato attraverso misurazioni in 309 siti diversi lungo la rete.

Normalmente, dove il sito permetteva, si è proceduto con delle rilevazioni svolte ponendo lo strumento di misura (un fonometro) a 7.5 m dall'asse del binario e a 1.2m dal piano del ferro.

Il lavoro di tesi che presentiamo prevede un'esperienza simile a quella svolta da RFI, cercando di caratterizzare i diversi convogli ferroviari, normalmente adottati nelle linee ferroviarie venete, dal punto di vista acustico. I nostri rilevamenti permetteranno di ampliare (in via ipotetica s'intende) la banca dati RFI raffinando ulteriormente i modelli utilizzati. Si tratta quindi di un'esperienza volta a replicare quanto già fatto dall'azienda, cercando di toccare con mano pregi e difetti di una simile esperienza.



Figura 1. Un esempio di mappa acustica presentata da RFI come esempio del lavoro svolto dall'azienda

Riguardo RFI la seconda fase del piano di risanamento acustico prevede la redazione stessa del piano. Se la prima parte di mappatura serviva solo ad evidenziare il problema e le zone su cui era necessario intervenire, in questo caso si tratta di definire le strategie che si adotteranno in risposta al problema stesso. Come abbiamo già scritto in precedenza, il piano che stiamo descrivendo si protrae nel corso di 15 anni, per cui l'approccio del piano non può limitarsi a risolvere i problemi attuali, ma deve essere efficace anche in risposta ad eventuali variazioni qualitative e quantitative del traffico ferroviario nel futuro più o meno prossimo. In tal senso l'approccio software si è rivelato l'unico vincente, in quanto permette di realizzare mappature prevedendo diversi tipi di traffico, che attualmente non possiamo certo registrare.

Il Piano di risanamento acustico si compone di una serie di elaborati:

- Relazione tecnica
- Mappe e schede tecniche degli interventi da realizzarsi a livello comunale
- Pianificazione Regionale con indicazione degli indici di priorità

In tali elaborati (di cui presentiamo un esempio qui di seguito) vengono specificate tutte le caratteristiche tecniche delle opere che verranno realizzate. Pertanto si indicano i recettori coinvolti dai valori fuori limite, e si specifica il modo in cui si è deciso di agire per riportare il rumore a livelli accettabili. Tali opere possono comprendere degli interventi direttamente sui recettori ma più spesso comprendono barriere o comunque dispositivi disposti lungo la via di propagazione.

Nel caso di RFI lo scopo del piano è stato quello di contenere entro i limiti di legge tutti i recettori presenti in fascia A, inoltre si ha avuto particolare attenzione nella preservazione dei recettori più sensibili con interventi ad essi diretti.

Il piano è stato presentato alla conferenza unificata dei presidenti delle Regioni e delle Province autonome. Il 1 Luglio 2004 la conferenza ha approvato il primo scorcio del piano consistente nell'esecuzione di una serie di opere nel quadriennio successivo al 2004 e comprendente la realizzazione di circa 706km di barriere in 416 interventi differenti, più ulteriori 12 interventi diretti sui recettori, per un costo complessivo di 1,8 miliardi di euro. Nel corso delle fasi successive, RFI ha intenzione di completare i quasi 3000 km di barriere compresi nelle fasi successive alla prima, oltre che gli interventi rimanenti sui recettori, per un costo totale del piano che si aggira sui 6,8 miliardi di euro.

RFI		Comune di <b>BOLZANO</b>		SK-3 1/11		
<b>SCHEDA INTERVENTO BARRIERA ANTIRUMORE</b>						
<b>CODICE INTERVENTO (CI)</b>		021008002				
<b>Linea ferroviaria</b>	<b>Progressiva ferroviaria (km)</b>		<b>Località origine progressiva</b>	<b>Tavoletta</b>		
BRENNERO - VERONA	inizio	fine	VERONA P.N.	040024		
	145+947	146+173				
<b>Lato dell'infrastruttura sede dell'intervento (spalle all'origine delle progressive)</b>					<b>SINISTRO</b>	
<b>Indice di priorità</b>	1.756	<b>Costo intervento (migliaia di €)</b>		904		
Numero ricettori esposti complessivi	3	Altezza media dei ricettori esposti (m)		8,00		
Num. ricettori part. sensibili (scuole, osp., ecc.)	0	Distanza media dei ricettori esposti dal binario esterno (m)		40		
<b>Valori limite (assoluti) di immissione</b>		<b>Leq diurno (6:00 - 22:00)</b>		<b>Leq notturno (22:00 - 06:00)</b>		
Recettori partic. sensibili (scuole, ospedali, ecc.)		50	dB(A)	40	dB(A)	
Altri ricettori nella fascia A (0-100 m)		70	dB(A)	60	dB(A)	
<b>Livelli continui equivalenti medi ante-operam</b>		<b>66,3</b>	dB(A)	<b>67,4</b>	dB(A)	
<b>Livelli continui equivalenti medi post-operam</b>		<b>56,5</b>	dB(A)	<b>57,9</b>	dB(A)	
<b>Caratt. intervento</b>		<b>Numero moduli</b>	<b>Note</b>			
<b>Lungh. (m)</b>	<b>Sup. (mq)</b>		<b>int. adiacenti</b>	<b>int. fronteggianti</b>		
226	3.458	1		021008011		
<b>Ulteriore nota</b>						
<b>Modulo</b>	<b>Progressiva ferroviaria (km)</b>		<b>Caratteristiche intervento</b>			<b>Modalità di realizzazione</b>
	inizio	fine	Lungh. (m)	Altezza a.p.f. (m)	Sup. (mq)	
1	145+947	146+173	226	7,50	3.458	BA75ACT

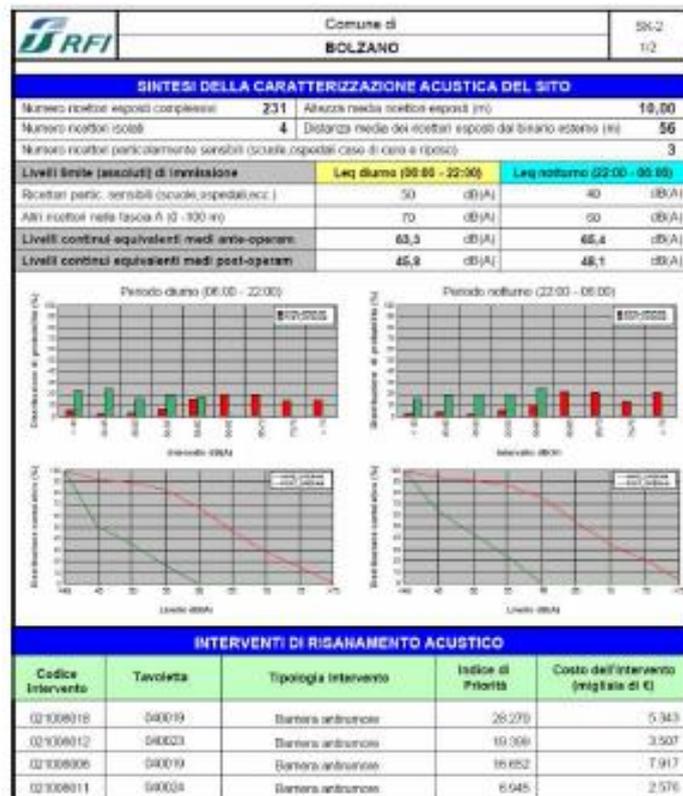


Figura 2. Estratto dalle schede tecniche di alcuni degli interventi svolti da RFI nei pressi di Bolzano. Possiamo notarvi l'indice di priorità ed il costo preventivato per l'esecuzione dell'intervento.

La suddivisione del piano per piani successivi ha consentito ad RFI di correggere in corsa gli interventi previsti. La fase 1 svolta fino al 2008 ha consentito all'azienda di valutare l'efficacia degli interventi fino ad allora realizzati e di imparare per realizzazioni successive.

Secondo l'ottica della realizzazione per fasi, RFI ha visto nelle barriere la soluzione ideale per la bonifica acustica. Esse sono infatti modulabili, caratteristica questa che consente loro di essere di volta in volta alzate, spostate o modificate secondo le esigenze del caso in esame.

Rispettando questa linea d'azione RFI ha redatto una serie di documenti con lo scopo di descrivere il modo migliore per progettare una barriera in base ai livelli sonori da raggiungere, il modo di sceglierne forma e materiali ecc. Tra tutti menzioniamo:

- Disciplinare tecnico barriere antirumore per impieghi ferroviari (1998 e successivi aggiornamenti)
- Specifica tecnica DI IN/IC ST A 000 A – Progettazione interventi di mitigazione acustica (2003)
- Tipologico RFI "Barriere antirumore standard per impieghi ferroviari tipo HS ed LS (2005)

All'interno di tali documenti RFI specifica quali caratteristiche debba possedere una barriera antirumore, che comprendono sia l'efficacia acustica che la durabilità ed il valore estetico del dispositivo una volta inserito nel territorio. A tal proposito i materiali più utilizzati sono l'acciaio inossidabile, il calcestruzzo, o materiali trasparenti, ai quali si può affiancare anche il legno. Identica cura nella scelta del materiale e delle tecniche costruttive va riservata alla realizzazione dei montanti e dei collegamenti pannello-struttura di supporto.

La barriera così installata deve prevedere:

- Perdita per inserzione (insertion loss) di almeno 22dB a 3m, 18dB a 10 m e 16dB a 25 m
- Distanza minima dalla rotaia più vicino di almeno 2,65 m in modo da lasciare un percorso pedonale.
- Resistenza a carichi aerodinamici indotti dal passaggio dei convogli (1.5 KN/mq) e deformazione elastica contenuta entro 1/150 dell'altezza libera di inflessione

- Protezione elettrica
- Resistenza al fuoco
- Un entrata di sicurezza ogni 250m

Quindi, tali disciplinari si pongono come scopo quello di dare dei limiti alle diverse grandezze fisiche riguardanti le barriere che le norme UNI/EN definiscono nelle UNI EN 1793 e 1794.

La progettazione deve quindi avvenire in 5 diversi passi:

- Censimento dei recettori. In questa fase si realizza una planimetria in cui vengono individuati tutti i recettori sensibili. RFI ha, a tal proposito, censito tutti i recettori presenti in fascia A e ha espressamente posto come obiettivo quello di proteggere almeno l'80/90% dei recettori coinvolti, scegliendo l'altezza di barriera opportuna.
- Caratterizzazione del clima acustico esistente. Ciò ha portato ad una serie di rilevazioni sul campo con lo scopo di tarare il modello di simulazione che ha consentito di estendere la misura all'intera rete.
- Localizzazione, individuazione tipologica, dimensionamento acustico e studio architettonico delle barriere da impiegare
- Dimensionamento strutturale e definizione della procedura di realizzazione, ponendo attenzione alle fasi della costruzione, di trasporto del materiale ecc.
- Elenco dei prezzi unitari e computo metrico estimativo.

Al termine di tale processo RFI ha designato una tipologia ideale di barriera costituita da una base in calcestruzzo realizzata per resistere alle sollecitazioni presenti alla base, montanti in acciaio e pannelli anch'essi in acciaio, inclinata di 12° verso il passaggio dei convogli (in modo da riflettere parte dell'onda verso il ballast).

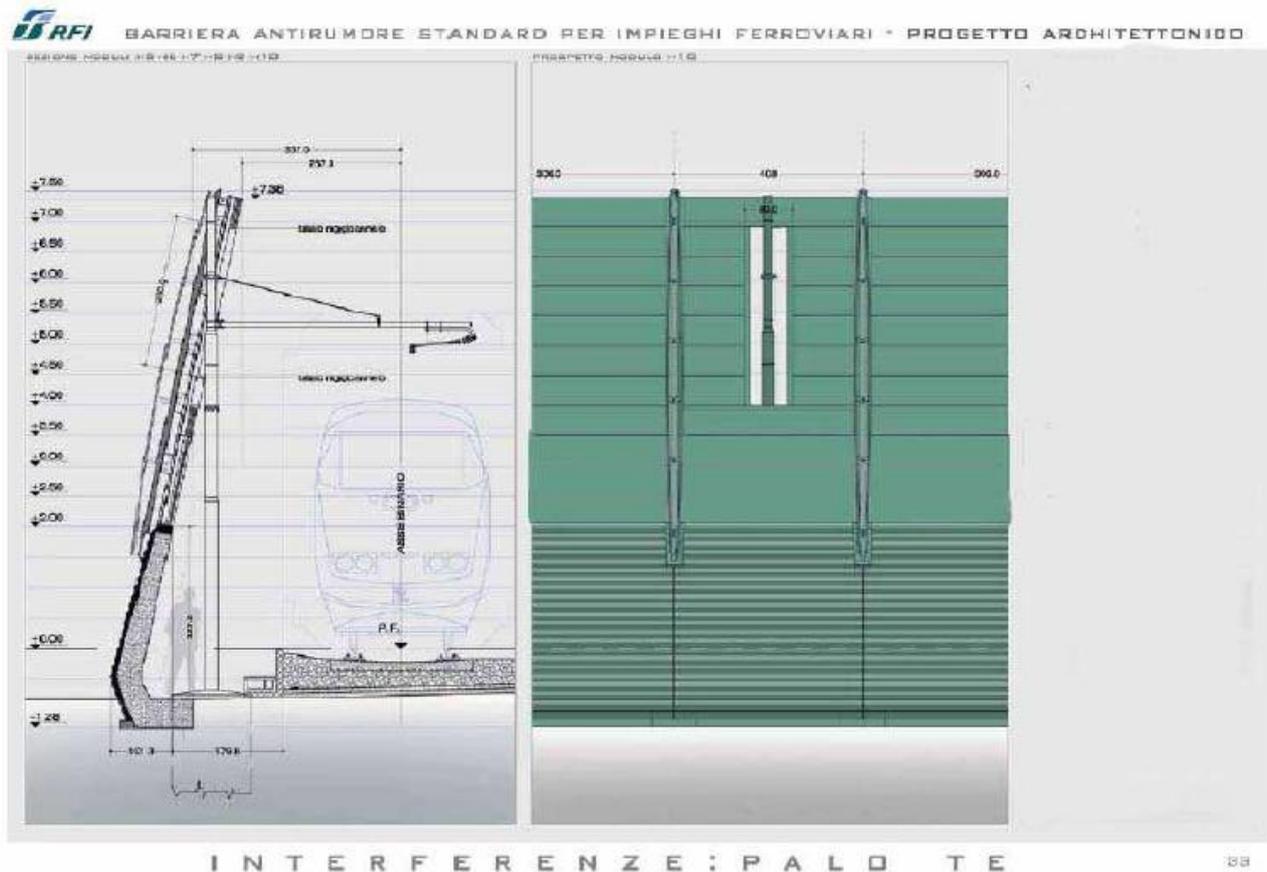


Figura 3. Tipologia ideale di barriera acustica secondo RFI.

In conclusione, RFI è in prima fila per il risanamento acustico delle aree interessate da livelli fuori norma a causa dell'esercizio ferroviario. In tal senso, l'azienda ha censito l'intera rete evidenziando i livelli sonori emessi dal parco circolante e prevedendo i livelli futuri attraverso appositi software. Il riconoscere il superamento dei livelli di legge ha spinto verso l'adozione di un apposito Piano di risanamento acustico. Il piano appena menzionato ha lo scopo di realizzare una serie di opere sull'intero territorio nazionale al fine di riportare le emissioni della rete ferroviaria entro limiti accettabili.

Nell'ottica di rivalutare le azioni scelte passo dopo passo, migliorandole o correggendole se serve, RFI ha optato per una soluzione per fasi successive. Sempre secondo la stessa ottica ha ritenuto che l'uso delle barriere antirumore fosse il più adatto allo scopo; pertanto ha indicato, attraverso appositi documenti, le linee guida per un'adeguata progettazione.

## **2.2 L'esperienza del professor Farina nell'ambito della creazione di un database per il pacchetto DISIA.**

Il pacchetto DISIA, della cui creazione si è occupato il professor Farina dell'Università di Perugia, rientra nell'ambito del progetto "Individuazione degli obiettivi di risanamento acustico" indetto dal Ministero dell'Ambiente, e che aveva lo scopo di fornire un programma previsionale del clima acustico nei centri urbani, con finalità teoriche più che pratiche. Il pacchetto, infatti, è stato pensato per essere utilizzato soprattutto nelle Università e non cerca minimamente di mettersi in competizione con i programmi professionali disponibili per scopi analoghi.

Il pacchetto comprende diversi programmi, fra cui CITYMAP che ricopre un ruolo importante nel presente lavoro di tesi.

CITYMAP è un software in grado di leggere cartografie direttamente dall'ambiente di Autocad, individuare le sorgenti del rumore e ricavare il probabile clima acustico delle zone circostanti entro distanze relativamente ampie (si può operare anche su parti intere di centri abitati). L'algoritmo con cui il programma è stato costruito gli consente di ricavare questo clima acustico direttamente dai dati di traffico delle principali sorgenti all'aperto, ovvero strade e ferrovie, risparmiando, così, agli operatori l'oneroso compito di registrare dati fonometrici (più difficili da reperire), o comunque consente di integrare alcune di queste rilevazioni con campagne di rilievo ulteriori.

Recuperare la potenza sonora di una sorgente lineare, quale una ferrovia, partendo solo dai rispettivi dati di traffico, ha richiesto la raccolta di tutta una serie di valori acustici nel corso di diversi giorni in sezioni poste a Napoli, Trieste e Mestre. Qui gli operatori hanno predisposto un opportuna apparecchiatura che ha consentito loro di ricavare ad ogni passaggio di convoglio (o di veicolo nel caso stradale) l'intera "immagine acustica" nella sezione ortogonale alla direzione di marcia.

Nel loro caso è stato possibile ottenere dati sulla velocità e, nel caso ferroviario, sulla lunghezza attraverso l'ausilio di fotocellule disposte lungo la linea in studio. Nel nostro caso, pur ammettendo che informazioni riguardanti la lunghezza e la velocità ci avrebbero consentito un'immagine (e una successiva simulazione) più accurata del fenomeno, ci siamo limitati a ricavare misurare il solo livello sonoro raggiunto dal convoglio di passaggio, non avendo a disposizione un'attrezzatura altrettanto valida.

Riguardo all'apparecchiatura utilizzata dal professor Farina, si tratta di una sorta di colonna di microfoni in grado di registrare il livello sonoro dei veicoli in transito, disposti, non solo ad altezze diverse, ma anche in una diversa posizione in modo da circondare metà del veicolo in transito. Nel caso ferroviario non è stato possibile collocare il microfono più alto sull'asse della linea, ma si è cercato comunque una posizione consona.

Il primo microfono, quello posto più in basso, è stato posto ad una distanza di 7.5m dall'asse del tracciato ed a 1.5m dalla sommità dello stesso (si parla del piano del piano del ferro). Come vediamo si tratta di

disposizioni molto comuni quando si parla di rilevazioni acustiche in ambito stradale o ferroviario, tanto che anche RFI ha usato posizionamenti simili nella campagna di misure di cui abbiamo parlato in precedenza.

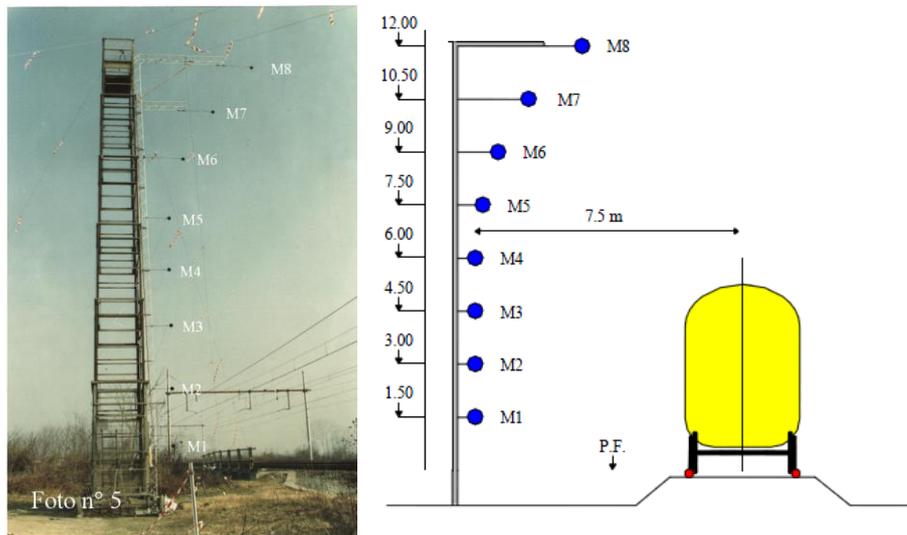


Figura 4. Dispositivo per la ricezione dei segnali sonori nell'ambito ferroviario. Fonte: pubblicazioni del prof. Farina

Nell'interesse di coloro che hanno svolto l'indagine sono quindi stati raccolti dati riguardanti:

- a) il livello sonoro equivalente
- b) il livello per ciascuna banda d'ottava
- c) il livello sonoro del singolo evento (o SEL)

Nel nostro caso, avendo a disposizione una strumentazione meno sofisticata dovremo raccogliere meno dati e dimenticarci di una immagine così completa del fenomeno.

### 2.3 Rilevamenti secondo la norma italiana DM 16 Marzo 1998.

Come abbiamo visto nella bibliografia riguardo la normativa italiana in ambito acustico, il Decreto ministeriale 16 Marzo 1998 "Tecniche di rilevamento e misurazione dell'inquinamento acustico", prevede un metodo italiano di misurazione del livello sonoro raggiunto dal passaggio dei treni. Questi valori devono essere confrontati con i limiti imposti dalla Legge per misurare la "conformità acustica" delle aree limitrofe alle "attività rumorose". A dire il vero quanto proposto nel decreto del Marzo '98 costituisce solo una sorta di metodologia standard per le misurazioni, più che il valore di paragone fra i limiti della norma ed il rumore effettivamente emesso. Infatti, lo vedremo più tardi, si parla di un microfono posto a 4m dal suolo, mentre il DPR 18 Novembre 1998, riferita ai valori limite posti nelle fasce di pertinenza delle linee ferroviarie, specifica che detti limiti devono essere rispettati in tutti i punti che si trovano distanti almeno 1m da superfici riflettenti e ad altezza recettore.

Ad ogni modo la normativa italiana consiglia di seguire il seguente metodo per la misurazione del "rumore acustico". Anzitutto è necessario appurare che le condizioni atmosferiche siano favorevoli alle registrazioni, ovvero:

- a) Il traffico deve essere "standard", ovvero deve prevedere un numero di passaggi quale quello che si riscontra per la maggior parte dei giorni all'anno senza prevedere eventi straordinari o altro.
- b) Non vi devono essere condizioni di forte vento (superiore a 5m/s), precipitazioni, nebbia, neve o altro
- c) Il rumore di fondo deve essere sufficientemente basso da permettere allo strumento di distinguere il rumore ferroviario (ovvero il rumore ferroviario deve superare almeno di 10dB il rumore residuo).

In tali condizioni la misura procede ponendo lo strumento a 4m d'altezza ed in un punto distante almeno 1m da eventuali superfici riflettenti (muri di edifici, barriere, ecc.). In questo modo si può prevenire l'effetto del suolo, dato che i 4m vengono conteggiati dal suolo e non da un valore fisso quale può essere il piano del ferro o altro. Il microfono deve quindi essere coperto da una cuffia anti-vento e deve essere rivolto nella direzione del traffico. A questo punto la misurazione deve durare almeno per 24 ore.

Nel corso delle rilevazioni si devono registrare:

- a) Gli orari di passaggio dei treni
- b) Il livello di esposizione sonora del veicolo (SEL o LAE, ovvero una sorta di livello sonoro equivalente riferito al solo evento preso in esame).
- c) Il livello equivalente si ottiene come:

$$L_{Aeq,TR} = 10 \log \sum_{i=1}^n (T_0) 10^{0.1(LAE)_i} - k$$

Dove TR è il periodo di riferimento (notturno o diurno); n è il numero di transiti avvenuto nel periodo TR e k pari a k = 47.6 dB(A) nel periodo diurno e k = 44.6 dB(A) nel periodo notturno. To è il tempo di osservazione, sottoinsieme di TR.

Prima di accettare tale valore è opportuno effettuare una valutazione riguardo il numero di eventi "accettabili" o no, ovvero verificare che almeno il 90% degli eventi registrati non è stato inficiato dal rumore residuo o da altre condizioni sfavorevoli. In questo secondo caso, quando gli eventi sfavorevoli superano il 10% del totale si deve predisporre un nuovo punto di rilevazione PR nei pressi dell'infrastruttura (con le modalità simili a prima) che rileva per almeno 24h il rumore ferroviario. A questo punto si cerca di correlare i dati di PR con i dati della rilevazione "ufficiale" per almeno 10 convogli per binario. Si calcola, quindi, per ciascun binario la media fra le differenze di LAE fra PR e il primo punto di ricezione e tali medie devono essere sottratte ai valori di livello equivalente LAeq calcolati con la formula precedente ma con i valori di LAE rilevati da PR, ottenendo un nuovo valore (LAeq,TR),k riferito a ciascun binario (indicato da k) e si inseriscono tali valori all'interno della formula

$$L_{Aeq,TR} = 10 \log \left[ \frac{1}{TR} \sum_{k=1}^n 10^{0.1(L_{Aeq,TR})_k} \right] dB(A)$$

Dove n è il numero dei binari.

Come abbiamo visto, quindi, i dati da rilevare sono praticamente gli stessi sia per il professor Farina che per la procedura dettata dalla norma e nello specifico sono:

- a) Valori di livello ponderato equivalente
- b) Valori di SEL (livello di esposizione)

Differiscono, invece per procedura. Il che è comprensibile dato che il professor Farina (e di rimbalzo anche RFI nella presentazione che abbiamo svolto poc'anzi) erano interessati alle emissioni effettive della linea ferroviaria e quindi vi si ponevano praticamente a fianco (a 7.5m), mentre la norma del '98 mirava a presentare una procedura di misurazione del "disturbo", più che del rumore, ed esportabile a diverse distanze dal binario (e quindi lo strumento veniva innalzato a 4m).

## 2.4 Scelta delle postazioni.

Ora che abbiamo visto quali debbano essere le accortezze da prendere per svolgere una buona indagine fonometrica ed abbiamo presente quali siano i dati da raccogliere possiamo alle azioni effettivamente svolte per procedere alle nostre misure.

Anzitutto abbiamo dovuto scegliere un sito di misura. Nel nostro caso abbiamo optato per scegliere più di un sito in modo da evitare che situazioni contingenti potessero influenzare troppo i risultati operativi. In secondo luogo abbiamo cercato siti che potessero alternare delle situazioni fra loro differenti. Ecco che nei differenti siti abbiamo cercato di trovare situazioni quanto più diverse per verificare in che modo queste potessero influenzare l'output finale.

I luoghi selezionati sono stati 3, nei quali abbiamo individuato 4 siti di misura. Essi sono presentati ora nel dettaglio:

#### 2.4.1 SITO 1. VIGONZA

Il sito si trova a sud della linea che collega Padova a Mestre e in prossimità del cippo che segnala il km 236 della linea. Il sito si trova distante alcuni chilometri dalla stazione di Vigonza-Pianiga ma non così vicino perché i treni abbiano una velocità inferiore a causa del rientro in stazione.



Nella figura possiamo individuare la collocazione geografica del sito numero 1.

Ad ovest possiamo vedere il comune di Vigonza che si trova immediatamente all'uscita da Padova città. Come si può già capire, il sito si trova all'esterno di centri abitati nei pressi di un campo agricolo. Il sito è stato raggiunto a piedi dopo aver lasciato l'auto in una vicina strada. Quest'ultima, di fatto, serve una sola casa ed è, pertanto, ben poco trafficata. Nei pressi della zona di misura non sembrano, poi, esserci strade o altre sorgenti sonore che possano in qualche modo alterare i livelli sonori registrati.

Nella figura seguente proponiamo un ulteriore dettaglio del SITO 1.

Come possiamo vedere di troviamo al di sopra di un piccolo argine ai piedi di un fossato largo pochi metri. Lo strumento verrà posizionato vicino ad una chiusa che regola il flusso del fossato stesso, incanalandolo nel canaletto ad est. Il fossato passa sotto la linea stessa attraverso un ponte costituito presumibilmente da cemento armato per la struttura portante che contiene la massicciata e l'intera sovrastruttura. Il ponte, essendo realizzato in calcestruzzo, e avendo una estensione limitata, riteniamo possa influire molto poco

sull'effettivo livello sonoro della linea. Ponti metallici, invece, specie se particolarmente estesi possono dar luogo, in seguito alle vibrazioni dovute al passaggio dei treni, ad emissioni particolarmente rumorose. Riteniamo non essere questo il caso.



La sorgente è caratterizzata da 4 linee ferroviarie suddivise in due coppie in modo da utilizzarne 2 per il



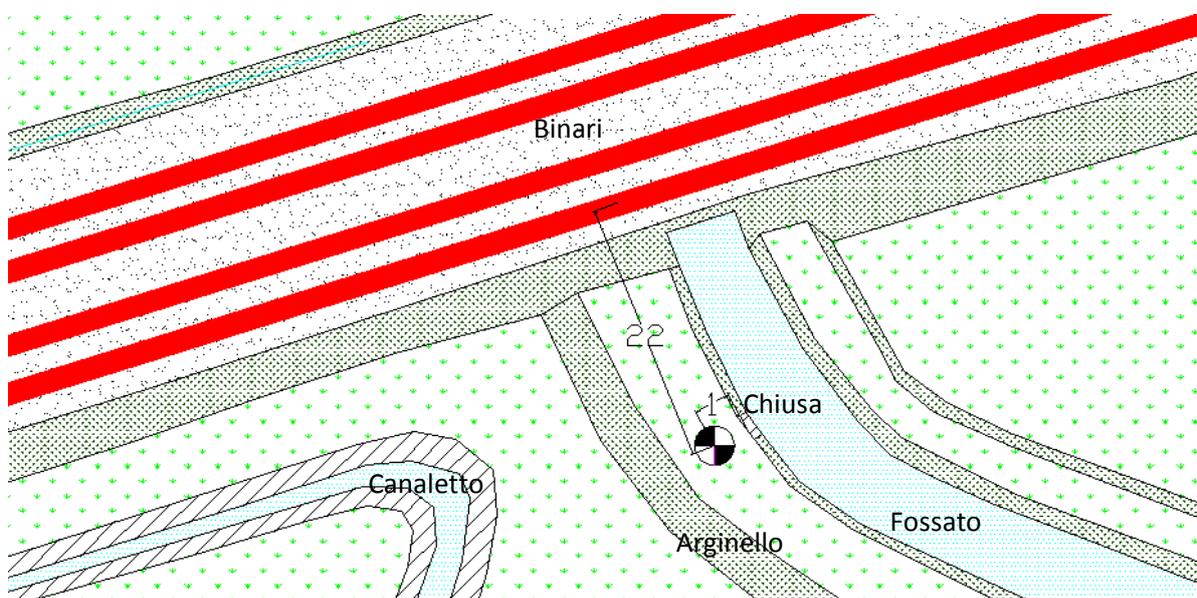
traffico ordinario e 2 per la futura alta velocità/alta capacità. Fra loro le due coppie sono leggermente sopraelevate, ma riteniamo tale aspetto trascurabile. Ad un'indagine visiva la sovrastruttura ferroviaria sembra costituita da una massicciata con pietrisco di varia pezzatura nell'ordine dei 3-5 cm. Nel tratto interessato troviamo solo una lunga rotaia saldata, senza giunti. L'attacco delle rotaie alla massicciata sottostante è ottenuto tramite organi di attacco indiretto di tipo Pandrol. Il ballast si presume avere almeno lo spessore di 50cm consigliato dallo stato dell'arte.

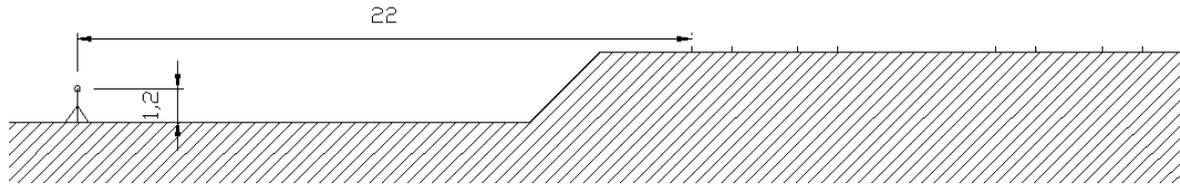
La postazione di misura è stata posizionata a 22m circa dal bordo della suola del binario più vicino (misura effettuata tramite l'ausilio di una cordella metrica e di un misuratore al laser). La misura si può considerare avere un errore discretamente grande, in quanto, essendo strumento e sorgente disposti su piani differenti, è frutto di successivi calcoli matematici. La sorgente, le linee ferroviarie, quindi, sono poste all'apice di una

scarpata che si solleva all'incirca di 2.5m rispetto al piano in cui abbiamo collocato il fonometro (la misura subisce le stesse problematiche della precedente e comprende la misura svolta fra la quota del piano su cui poggia lo strumento e la quota della parte più bassa della suola del binario più vicino). Tali misure, pur avendo un errore abbastanza spinto (possiamo assumerlo nell'ordine di qualche decina di cm), si possono considerare valide, in quanto, nell'ambito acustico possiamo accettare un errore simile (nel nostro caso si tratta di errori che possono indurre pochi decibel di differenza, assumendo con 3-4 dB un errore accettabile, mutuando questo errore dalle esperienze del prof. Farina e di RFI).

Dato che la prova verrà svolta in due giorni differenti (in questo caso si è pensato di suddividerla in 2 giorni feriali per ottenere un maggior numero di dati statistici) diviene necessario possedere un riferimento univoco che ci permetta di riposizionare, a distanza di alcuni giorni, lo strumento nello stesso punto (mettendo in preventivo che possiamo permetterci un certo errore alla luce delle considerazioni precedentemente esposte). Per far ciò ci siamo avvalsi della vicina chiusa, sulla quale abbiamo realizzato una traccia con il gesso. Successivamente abbiamo misurato 1m dalla traccia stessa individuando, così, il punto in cui porre lo strumento.

Come possiamo subito intuire non ci troviamo esattamente a 7.5m dall'asse della sorgente e tanto meno a 1m al di sopra di essa, ma tale posizionamento ci è sembrato quello più opportuno per poter godere direttamente del segnale sonoro emesso dai convogli. La sorgente può essere individuata all'altezza circa di 1m al di sopra del piano del ferro. Questa scelta che è stata effettuata anche dalla luce di altre prove riscontrate in letteratura e permette di comprendere sia la componente di rumore dovuta all'interazione fra rotaia e ruota, sia anche la parte della componente aerodinamica e della componente legata all'azione dei motori. Alla luce di ciò, se ci fossimo posti all'altezza di 7.5m dalla linea saremmo stati schermati dalla scarpata stessa che avrebbe attenuato non poco il rumore impedendo allo strumento di catturare il segnale diretto. La cosa si sarebbe potuta ovviare avendo a disposizione una strumentazione in grado di alzare lo strumento fin sopra il piano del ferro. Purtroppo, avendo a disposizione solo un treppiede alto 1.2m abbiamo ritenuto migliore questa seconda opzione, avendo presente che una volta in possesso del segnale diretto avremmo comunque potuto riportarlo ai 7.5m attraverso una semplice operazione matematica. Lo schema seguente illustra il posizionamento della strumentazione rispetto alla linea. A fianco possiamo vedere anche una sezione che immaginiamo tracciata fra il fonometro e la linea ferroviaria.





#### 2.4.2 SITO 2. VIGONZA

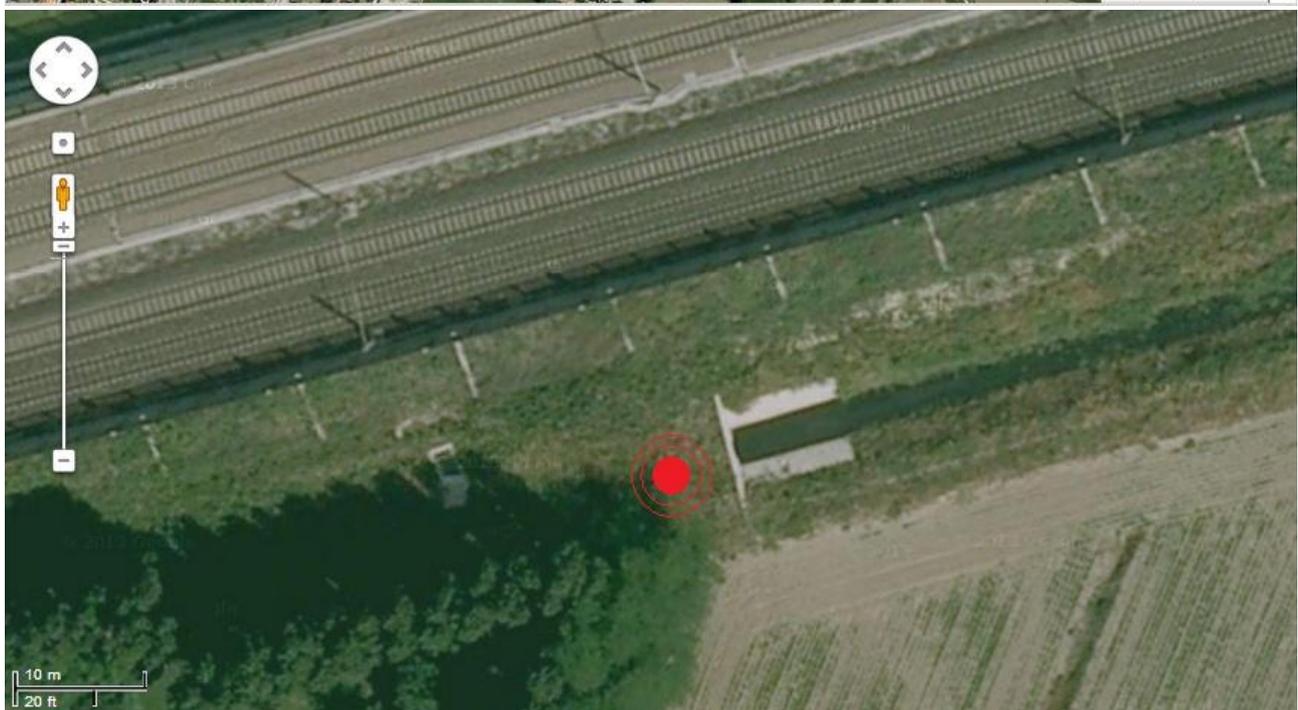
Il SITO 2 è individuato in prossimità del SITO 1 nell'ottica di avere a disposizione sia i dati sul livello sonoro in campo libero, sia sul livello sonoro quando la sorgente è schermata da una barriera acustica.

Risulta ripetitivo dare nuovamente tutte le informazioni riguardanti il sito di Vigonza, riguardo la tratta interessata e le caratteristiche della sorgente, dato che sono le stesse del SITO 1, ci soffermiamo, invece, sulle caratteristiche del sito in cui è stato installato lo strumento di misura.

Il sito in questione è leggermente diverso da quello che abbiamo appena descritto. Come abbiamo detto ci serviva un sito col quale poter studiare gli effetti di riduzione del rumore ad opera di una barriera acustica. Nel sito di Vigonza abbiamo, infatti, una momentanea interruzione delle barriere (che proseguono circondando quasi tutta la linea fra Padova e Venezia) per lasciar posto al ponticello cui accennavamo precedentemente ed ad un tratto ricoperto da vegetazione. Pertanto abbiamo ritenuto interessante fare un confronto fra la condizione di propagazione libera e impedita, data la loro vicinanza.

È stato selezionato un sito disposto dalla parte opposta del canaletto di cui avevamo parlato in precedenza e che si trova al di sotto delle barriere che circondano la linea.

Normalmente si considerano cessati gli effetti di barriere, o altri dispositivi simili quando ci si trova almeno a 100m dal loro bordo. In definitiva, se ci troviamo ad almeno 100m dal bordo della barriera possiamo assumere che a livello acustico è come se la barriera proseguisse indefinita e pertanto ciò che registriamo non viene influenzato da effetti di bordo. Nel caso del SITO 1 la condizione era soddisfatta ed esso si trovava ad almeno 100 m dal bordo di ciascuna barriera. Nel caso del SITO 2 non abbiamo questa distanza, in particolare ci troviamo a circa 60m dal bordo più vicino. Ciò può comportare degli effetti di bordo nella nostra rilevazione, tuttavia, non abbiamo trovato un sito nelle vicinanze del SITO 1 che fosse adeguatamente schermato e fosse facilmente raggiungibile, per cui nella successiva analisi dei dati dovremo tener conto di ciò. Altra condizione che potrebbe influenzare i dati ottenuti abbassandoli (anche di quantità notevoli) è la vicinanza con un gruppo di alberi che, fornendo una vegetazione abbastanza fitta potrebbero abbassare ulteriormente (oltre alla barriera, intendiamo) il livello sonoro registrato. Nel caso, comunque, si potrebbe individuare tale riduzione per differenza fra il rumore residuo misurato nei siti 1 e 2, il quale, in assenza di alberi, non dovrebbe differire notevolmente. Riguardo il rumore rilevato al passaggio dei convogli, riteniamo che la vicinanza alla linea sia sufficiente a garantire che l'effetto schermante degli alberi sia limitato e ciò che registriamo sia solamente il rumore dei convogli eventualmente diminuito dall'interposizione della barriera.

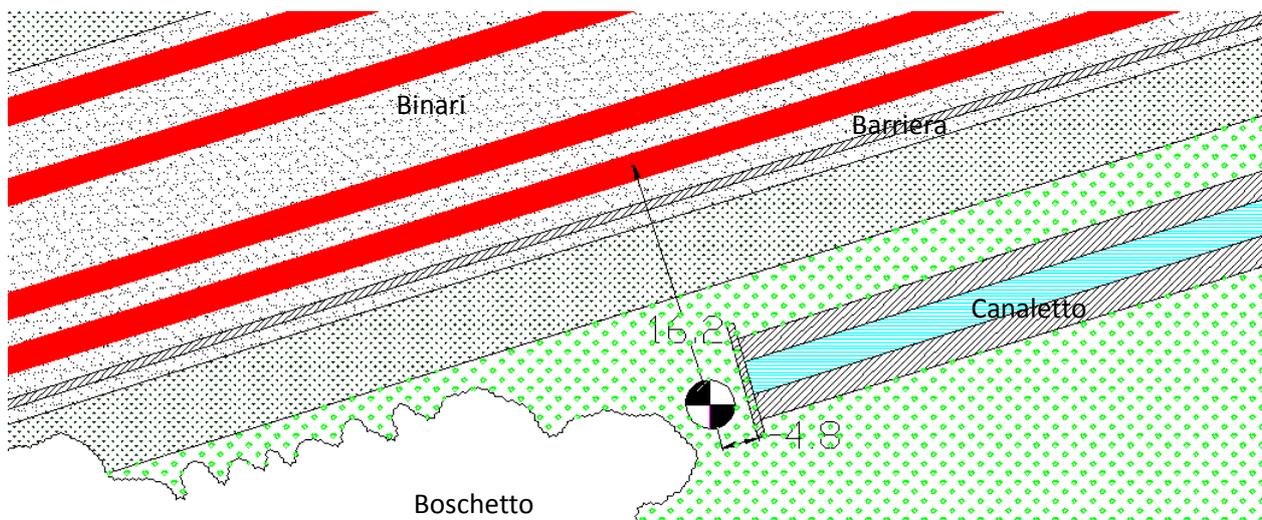


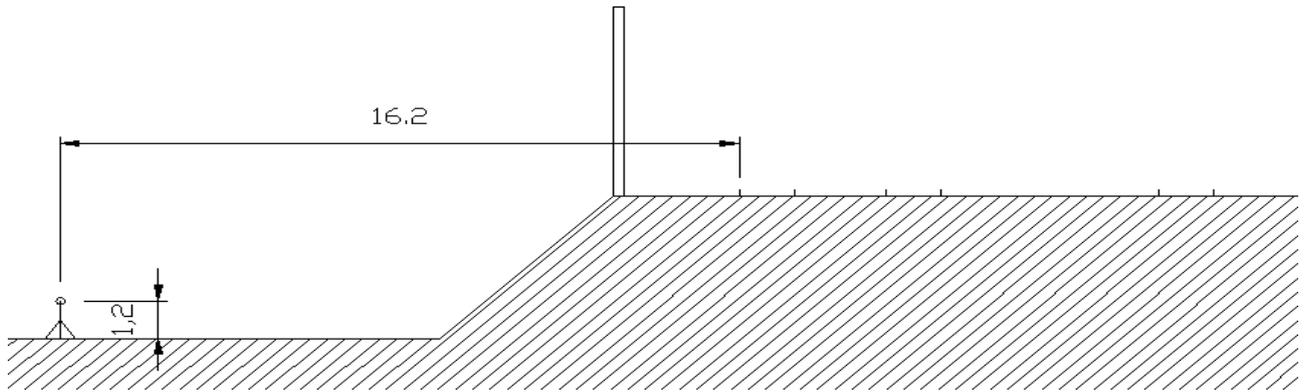
Veniamo, quindi, all'inquadramento effettivo della postazione scelta. Anche in questo caso, dovendo ripetere la misura in due giorni differenti abbiamo preso un riferimento, consistente in una traccia che abbiamo realizzato in un muretto nelle vicinanze. A questo punto lo strumento è stato posto a 4.8m dal muretto in direzione perpendicolare allo stesso. Tale scelta ha da un lato avvicinato lo strumento alla macchia d'alberi, ma ha avuto il pregio di allontanarci ulteriormente dal bordo della barriera. Lo strumento si è trovato, così a 16.2m dal bordo esterno della suola del binario più vicino. In questo caso abbiamo ricavato la misura aggiungendo ai circa 15.8m misurati che distanziavano il fonometro dalla parte esterna della barriera, 2.5m che presumiamo essere la distanza fra la parte interna della barriera ed il

binario (2.5m è la distanza che la legge prescrive in questi casi). Le misure sono sempre state condotte attraverso cordella metrica e misuratore al laser e possono essere affette da un certo errore. La strumentazione si trova, infatti, ai piedi di una scarpata come nel caso del SITO 1, ma a differenza di quest'ultimo non si trova all'apice di un argine, per cui è ancora maggiore la differenza di quota fra binario e strumento, circa 4.5m.

Riguardo alla barriera con cui abbiamo a che fare si tratta di una barriera in calcestruzzo armato modulare. Si tratta del modello più classico installato lungo le linee italiane, con una base in calcestruzzo sulla quale vengono avvitate dei montanti in acciaio spessi 20cm che sostengono il pannello vero e proprio. Quest'ultimo è composto da due parti: la più bassa è stata realizzata in calcestruzzo leggero (tipico delle barriere antirumore, è una sorta di sandwich in cui la parte esterna in calcestruzzo non poroso funge da sostegno, mentre quello più interno rivolto verso la linea è in un calcestruzzo poroso dalle spiccate caratteristiche fono isolanti) dell'altezza di 4m, mentre la parte superiore è in materiale trasparente (presumibilmente plexiglass) per 2m. L'intero pacchetto è largo circa 3m.

Anche qui riportiamo il posizionamento della strumentazione rispetto alla linea. A fianco possiamo vedere anche una sezione che immaginiamo tracciata fra il fonometro e la linea ferroviaria.





### 2.4.3 SITO 3. MANDRIA

Il SITO 3 si trova lungo la linea che collega Padova a Bologna a nord della stazione di Abano terme circa al chilometro 116 della linea (secondo le indicazioni del relativo fascicolo di linea). La sezione di misura è posta ad est della linea stessa in uno spiazzo erboso posto a fianco della massciata e raggiungibile tramite una strada locale che corre parallela alla linea ferroviaria e denominata via Madonnina.

Nella figura sottostante è possibile vedere, in un estratto da Google Maps il punto di misura. Come possiamo vedere ci troviamo poco a sud della città di Padova e vicini alla località di Mandria (visibile in basso a destra).





La sorgente è costituita da una doppia linea percorsa da tutte le categorie di treno, le quali, essendo in rettilineo e non nei pressi di stazioni, hanno la possibilità di raggiungere la velocità preferita. La pendenza è quasi nulla, e le due linee vengono utilizzate indifferentemente sia per quanto riguarda il senso di marcia che per quanto riguarda le categorie ammesse. Le linee non presentano ad una prima analisi alcuna differenza di sorta.

Come possiamo vedere dalla figura si tratta di un binario dal profilo classico (UIC-60 sezione Vignole



presumibilmente) con attacchi elastici di tipo indiretto Pandrol che fissano le rotaie alle sottostanti traverse in calcestruzzo, le quali affondano all'interno di un ballast costituito da pietrisco dalla diversa granulometria e dallo spessore di qualche centimetro qualsiasi sia la direzione di misura.

La massicciata così formata appoggia su di un rilevato sottostante (che funge da sottoballast) realizzato da un pietrisco di pezzatura sensibilmente più fine. La massicciata è assicurata a questo rilevato da lastre in calcestruzzo che delimitano la

stessa impedendole di franare lungo la scarpata sottostante.

La rotaia è del classico tipo a lunga rotaia saldata priva di giunti per una distanza considerevole rispetto alla distanza binario-fonometro.

La postazione di misura è posta al di sotto del rilevato posto più in basso in uno spiazzo erboso inutilizzato. Data la non ripetizione in più giorni delle misure in questo sito non sono stati presi riferimenti fissi

(posizionamento di segnali, tracce guida in elementi fissi presenti nel luogo), ma ci si è limitati a definire le distanze dalla linea ed una serie di grandezze che, volendo, potrebbero riportare facilmente e ripetere l'esperimento con errori di posizionamento relativamente limitati. Abbiamo, quindi, misurato una distanza a partire da uno dei sostegni della funicolare e che può essere facilmente individuato, essendo questo il primo sostegno posto dopo il cippo che segnala il chilometro 116 nella direzione verso Bologna. Da questo sono stati misurati 17.5m lungo le piastrelle in calcestruzzo che delimitano la massicciata, individuando come punto di riferimento il bordo fra due di tali piastrelle. La misura di 17.5m è stata ricavata come distanza fra tale bordo e la faccia più distante (quindi quella rivolta verso sud) del sostegno di cui parlavamo in precedenza.

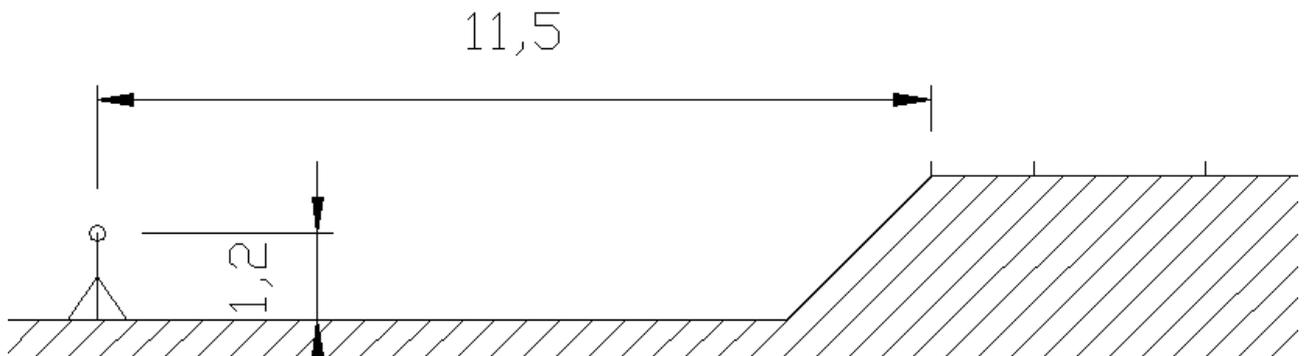
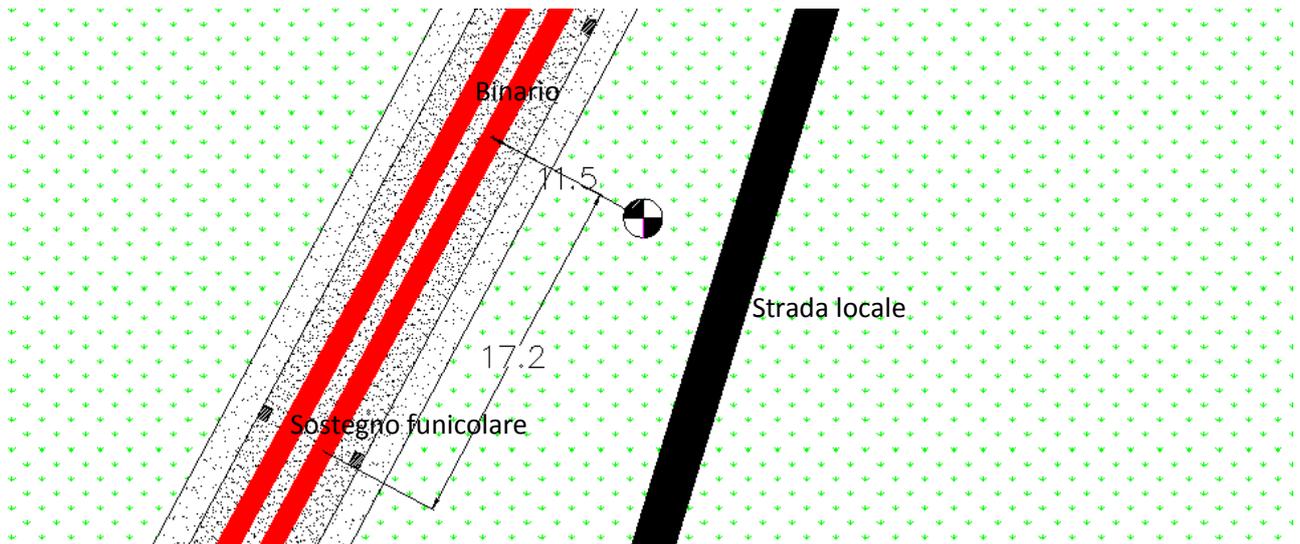
A partire da tale misura abbiamo misurato perpendicolarmente 11.5m fra la parte più esterna della suola del binario più vicino, e il punto in cui porre lo strumento. Precisiamo che tale misura si riferisce alla distanza in pianta ed è frutto di semplici calcoli matematici che si sono resi necessari dal fatto che fonometro e binario sono su due piani differenti. A tal proposito abbiamo misurato anche la differenza di altezza fra il piano in cui abbiamo appoggiato lo strumento e il piano del ferro e, dopo calcoli simili a quelli precedenti, abbiamo stimato in 2m circa. Tali misure sono state condotte attraverso l'uso di una cordella metrica e possiamo dire che l'eventuale errore può consistere al massimo in qualche cm, comprendendo in questi sia le difficoltà ottenute nell'usare lo strumento con i dislivelli di cui parlavamo, sia la possibile ortogonalità delle dimensioni (ovvero abbiamo ritenuto ortogonale ciò che non lo era perfettamente) e sia i successivi calcoli che si sono resi necessari.

Riguardo le caratteristiche del sito dobbiamo nuovamente ammettere come non ci troviamo nei classici 7.5m di distanza dall'asse della sorgente, ma nuovamente possiamo addurre come possibile giustificazione il fatto che ci troviamo a aver a che fare con un nuovo dislivello che, almeno nelle sue immediate vicinanze non può che alterare i dati raccolti. Abbiamo, pertanto, deciso di allontanarci dalla sorgente in modo da poter registrare il segnale diretto e riportarci al valore a 7.5m con successivi calcoli. Il problema sarebbe potuto essere ovviato avendo un treppiede telescopico che ci consentisse di elevarci al di sopra del piano del ferro in modo da evitare comunque gli effetti schermanti del rilevato.

Altro problema che abbiamo riscontrato consiste nella presenza di vegetazione a destra e a sinistra della sezione di misura. Se dalla parte sud (sinistra della sezione) il problema sembra di poco conto, in quanto le piante sono poche e basse, dalla parte nord la barriera vegetale è più consistente e potrebbe dar luogo a possibili modifiche (in termini di abbassamento) ai livelli rilevati. Tuttavia, la sezione scelta sembra essere sufficientemente larga da permettere una lettura del livello abbastanza buona.

Infine, la sezione si trova nei pressi di una strada locale. Il traffico non è particolarmente sostenuto, ma dovrà essere correttamente individuato nella lettura dei dati e distinto dal traffico ferroviario. Alla luce dei livelli rilevati già durante l'esecuzione delle misure, sembrerebbe che i livelli raggiunti dal traffico non siano confondibili con quelli ferroviari (più alti di circa 10dB). Infine, nell'ordine della riproducibilità dell'esperienza, segnaliamo la futura apertura di un cavalca-ferrovia nei pressi del sito di misura. Si tratta di uno snodo abbastanza importante in grado di attirare una buona quantità di traffico e, supponiamo in futuro, di modificare i livelli registrati.

Di seguito proponiamo una mappa in grado di definire al meglio le caratteristiche e le misure del sito in analisi. A fianco proponiamo una sezione che immaginiamo perpendicolare alla direzione di marcia dei treni e passante per il fonometro.



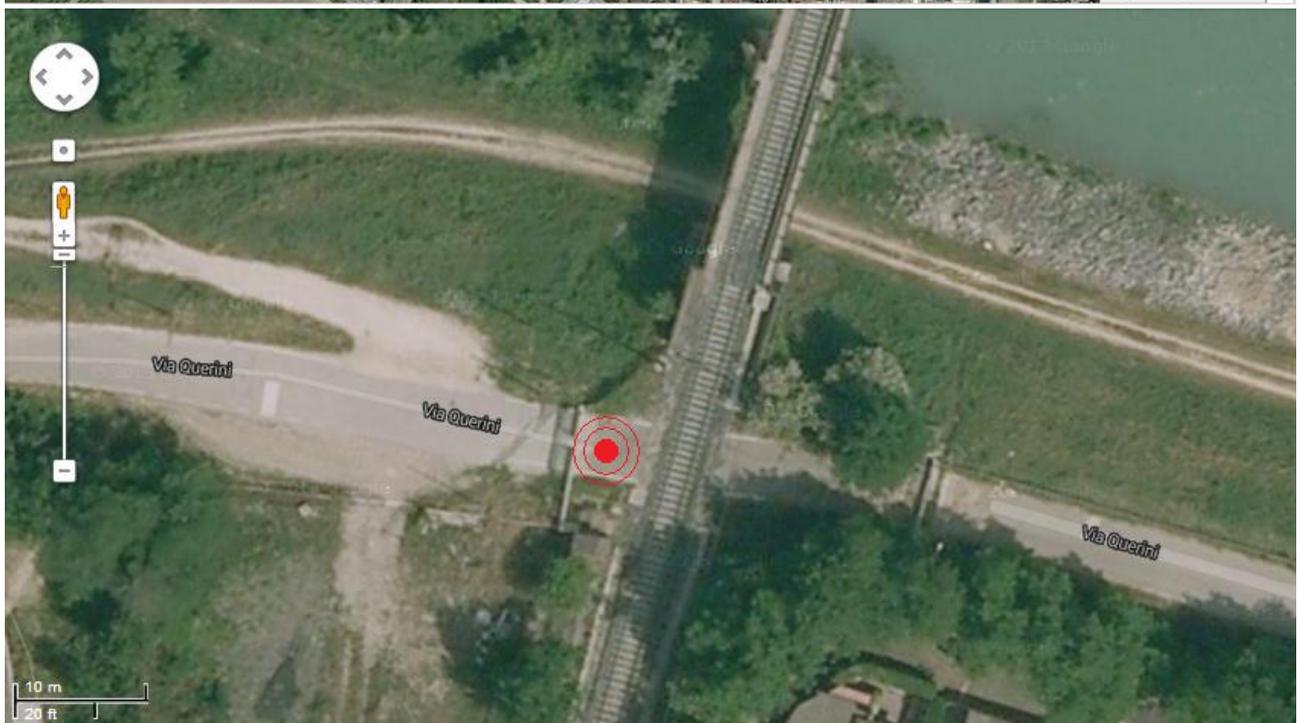
#### 2.4.4 SITO 4. VIGODARZERE

Il SITO 4 si trova lungo la linea ferroviaria che collega Padova a Calalzo, nei pressi del kilometro 45 della stessa ed immediatamente prima del ponte che passa al di sopra del fiume Brenta.

La scelta di un sito simile deriva dal fatto di valutare i livelli sonori nei pressi di un'infrastruttura di un ponte dallo sviluppo importante. Quest'ultimo è costituito da 4 piloni in calcestruzzo armato che sostengono una serie di cassoni anch'essi in calcestruzzo all'interno dei quali viene adagiata la massicciata.

Il sito in questione si trova a sud della stazione di Vigodarzere e poco dopo l'uscita dalla città di Padova. Per raggiungere la quota necessaria per attraversare il ponte la linea si solleva con una pendenza notevole (supponiamo anche superiore al 5%) dopo l'uscita dal centro urbano di Padova, ma possiamo considerare il tracciato pressoché pianeggiante nei pressi del sito di misura.

Nella figura seguente possiamo vedere un inquadramento generale del sito di misura.



Riguardo la sorgente, si tratta di una linea con binario unico e poco trafficata. Vi transitano solo treni per pendolari a due carrozze o poco più, rimorchiatori isolati che transitano fra le stazioni Padova e Vigodarzere o treni merci. Data la vicinanza al ponte i convogli tendono ad avere velocità contenute, ma non si assiste a rallentamenti nei pressi del ponte.

Per quanto riguarda altre sorgenti non si segnalano strade trafficate nelle vicinanze con effetto evidente nei dati rilevati.



Riguardo il binario si tratta di un binario singolo del tipo classico con attacchi di tipo Vossloh che collegano le rotaie alle traverse in calcestruzzo. L'armamento affonda in una massicciata in pietrisco di varia pezzatura (spessore di qualche cm in ogni direzione di misura).

In questo caso il ballast non forma un rilevato ma si ritrova incassato all'interno di una superficie bituminosa legata al fatto che precedentemente era posto sulla linea un passaggio a livello. Si presume, quindi, che una

volta chiuso il passaggio a livello la superficie stradale sia stata in parte rimossa creando così una sorta di cassero riempito poi dalla massicciata. Sul ponte il modello appena presentato prosegue per una certa estensione per via della funzione di "contenitore" offerto dalla struttura del ponte stesso, mentre verso sud la massicciata forma un rilevato, non particolarmente alto, del tipo più classico.

La rotaia presenta un giunto ad una distanza di circa 21m dal punto in cui ci siamo posti. Questo giunto è tipico dei punti isolati come i binari presenti su ponti o su scambi, in cui l'estensione, legata alla differenza di temperatura, deve essere regolata nel sito stesso e non distribuita lungo una lunga rotaia saldata. In questo punto il giunto è risolto dall'accoppiamento di ganasce fissate con l'ausilio di bulloni e viti come di consueto.

Riguardo all'individuazione del punto in cui porre lo strumento abbiamo preso come riferimento il giunto di cui abbiamo appena parlato. Supponendo che la parte finale della linea sia un rettilineo (abbastanza plausibile o comunque con errore contenuto) possiamo porre lo strumento a 21m da tale giunto.

Individuato così il punto lungo la linea abbiamo cercato di porci ai canonici 7.5m di distanza dall'asse della linea, dalla parte ovest della stessa, ma, data la presenza di un muretto abbiamo optato per spostare lo strumento a 1m dal muretto verso i binari, ponendolo così a 5.8m dal bordo esterno della suola del binario più vicino (più 70 cm circa di metà scartamento otteniamo 6.5m).

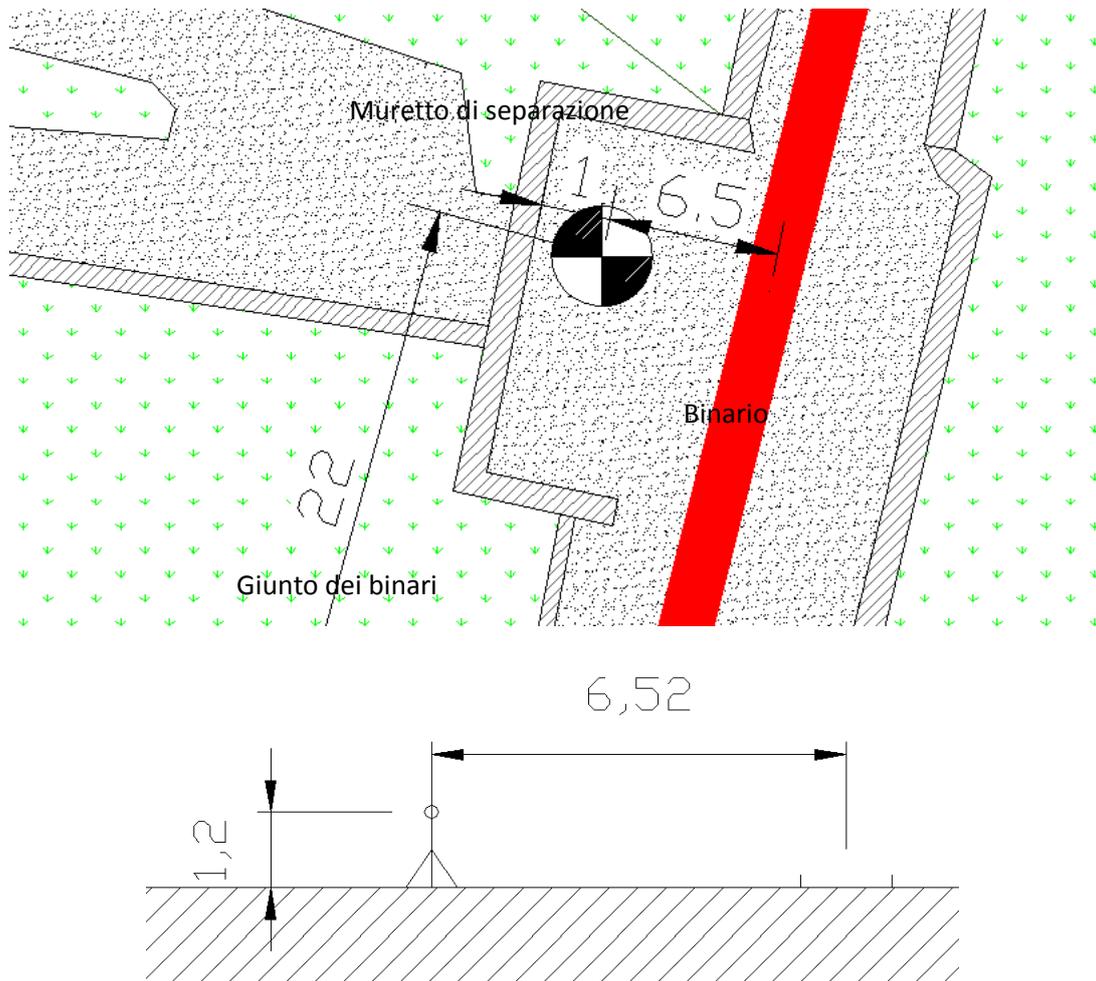
Il punto è individuabile anche a 6m dalla superficie più interna di un muretto posto ortogonalmente alla linea e che prosegue il primo muretto di cui parlavamo in precedenza.

Dalla parte opposta della linea (dal lato est) avremmo avuto problemi analoghi ed in più la presenza di piante che vanno a formare una sorta di "tetto" al di sopra dello strumento.

Nel corso delle misurazioni non abbiamo riscontrato alcuna sorgente rilevante oltre alla linea ferroviaria stessa, inoltre riguardo alla direzione di propagazione non abbiamo alcun ostacolo offerto da piante o altro.

Nel resto della linea verso sud, invece, i binari sono circondati da alberi, il che potrebbe dar luogo a dei fenomeni di riflessione che riteniamo di poter definire trascurabili.

Di seguito proponiamo uno schema che illustra nel dettaglio il sito di misura. Segue una sezione immaginata perpendicolare alla linea e passante per lo strumento di misura.



## 2.5 Preparazione alle rilevazioni.

Prima di poter procedere alle rilevazioni abbiamo ritenuto opportuno studiare la futura sorgente. In breve abbiamo studiato quale potesse essere il traffico in termini quantitativi e qualitativi che ci saremo trovati davanti una volta nelle sezioni di misura.

Ciò ha richiesto di recuperare le tabelle del traffico in uscita dalla stazione di Padova e individuare tutti i treni che avrebbero transitato nei siti di nostro interesse. Fortunatamente in internet un'associazione di appassionati riporta quotidianamente tutti i treni in circolazione lungo la rete italiana in uscita dalle principali stazioni indicandone:

- Stazione di partenza (ovvero la prima stazione in cui il treno parte)
- Stazione di arrivo (ovvero l'ultima stazione in cui il treno transita che è anche quella in cui il treno si ferma definitivamente)
- Tutte le stazioni in cui il treno effettivamente ferma
- Il numero del treno (quello che si riscontra anche nelle tabelle orarie affisse in stazione)
- Il tipo di locomotore
- Il peso trainato
- Il peso frenato
- La velocità massima ed il rispettivo rango
- I giorni in cui il treno effettua il servizio.

Mancano purtroppo informazioni sulla sua composizione e, essendo un servizio rivolto ai pendolari, non sono compresi i treni merci che dovremo annotare a parte.

Di seguito mostriamo un estratto dal sito di cui parlavamo, in cui sono contenute le informazioni che abbiamo appena presentato.

Collegamenti Diretti e Aiuti alla Ricerca						
Vuoi visualizzare tutti gli altri collegamenti diretti tra le stazioni di Venezia Santa Lucia e Milano Centrale ? Clicca <a href="#">QUI</a> per visualizzare l'elenco completo.						
Composizioni						
da	a	Locomotore	Peso Trainato	% Peso Frenato	V. Max	Rango
VENEZIA S. LUCIA	MILANO CENTRALE	E464 np	300 tonn	115 %	160 km/h	B
Giorni di effettuazione						
da	a	Periodicità				
VENEZIA SANTA LUCIA	MILANO CENTRALE	Si effettua dal 09/12/2012 al 14/12/2013 nei festivi				
Annunci Sono						
Annuncio Partenza						
Fermate Programmate per servizio viaggiatori						
Stazione d'arrivo	Bin.	Ora d'arrivo	Ora di partenza	Annuncio		
VENEZIA SANTA LUCIA	--	-----	11.03.00			
VENEZIA MESTRE	10	11.14.00	11.16.00			
PADOVA	3	11.37.00	11.39.00			

Fatto ciò non resta che ordinare tutti questi dati entro una tabella in modo da rendere facile la consultazione ed poter individuare i dati sensibili che ci servono, più in fretta.

Per far ciò ci siamo rivolti al programma Access del pacchetto Microsoft Office che permette non solo di svolgere un veloce inserimento dei dati, ma anche di rendere le tabelle dinamiche e "interrogabili" permettendoci di ottenere velocemente le informazioni di cui necessitiamo.

Per prima cosa abbiamo definito i campi del nostro database nella quale abbiamo compreso:

- Tipo di treno. A tal proposito abbiamo riempito questo campo attraverso un riferimento con un'altra tabella nella quale abbiamo inserito tutti i tipi di treni possibili: Frecciabianca, Frecciargento, Italo AV, Eurocity, Intercity, Regionale e Regionale Veloce, riservandoci di poter integrare questi con i treni merci che rileveremo nel corso dell'esperienza.
- Numero del treno. Ovvero il suo codice identificativo
- Direzione. In questo campo abbiamo inserito il verso di percorrenza del treno, ovvero se diretto in uscita o in entrata dalla stazione centrale di Padova
- Orario a Padova / Orario a Mestre. Che diviene orario a Bologna o a Calzo. In questi due campi abbiamo inserito gli orari in cui presumibilmente troveremo il treno nelle stazioni contrassegnate. Questi campi rappresentano un utile riferimento per stilare successivamente un foglio nel quale individueremo l'orario di probabile passaggio dei treni nei siti di misura. Gli orari sono stati desunti dal sito di cui parlavamo in precedenza e sono riferiti ai capolinea delle tratte considerate. Tali orari corrispondono agli orari di partenza o di arrivo dei treni a seconda della direzione da essi percorsa (ad esempio, se un treno parte da Padova verso Mestre saranno riportati gli orari di partenza da Padova e di arrivo a Mestre)
- Tipo di locomotore
- Peso trainato
- Percentuale di peso frenato. Questo campo, assieme al precedente è stato inserito più per motivi di completezza che per una loro reale utilità. Infatti, il peso sembra non influire eccessivamente sulle emissioni dei convogli.
- Velocità massima

- i) Velocità media. Questi due campi dovrebbero aiutarci a definire la velocità raggiunta dai diversi convogli rilevati. La prima viene riportata anche nel sito di cui parlavamo in precedenza, mentre la seconda viene ricavata attraverso la lunghezza della tratta ed il tempo impiegato a coprire la tratta. Sappiamo, ovviamente, che tale valore sottovaluta enormemente la velocità raggiunta, in quanto media i periodi di stop del treno nelle stazioni e di percorrenza della tratta alla massima velocità, ma ci dà un valore di minimo, per cui la velocità effettiva nella sezione coperta dal sito risiede fra  $V_{max}$  e questa  $V_{media}$
- j) Presenza nei giorni di rilievo. In questo campo inseriamo solo 1 nel caso i cui il treno copra la linea nei giorni di misura, mentre inseriamo 0 se ad esempio percorre la tratta solo in giorni festivi, o non nei giorni da noi prefissati. In questo modo sapremo, attraverso una semplice query, quali treni dovremo effettivamente aspettarci e quali no.
- k) Classe d'orario. Questo campo si è reso necessario solo per facilitare l'inserimento dei dati. Nel sito di cui abbiamo parlato in precedenza i treni sono suddivisi, in base all'orario in cui transitano sulla linea, in 5 categorie: 0-6, 6-12, 12-15, 15-20 -20-24. Ciò risulterà molto utile quando andremo a calcolare il numero di veicoli diurni e notturni.

Completato l'inserimento la tabella assumerà il seguente aspetto:

Tipo treno	Numi	Treno diretto verso	Orario a Pad	Orario a Me	Locomotore	Peso trainat	Peso frenati	V max	V media	Presente ne	Classe d'ora
EuroNight	234	Mestre	00:41	01:02	E402 (002-045)	350 t	125 %	200 km/h	80 km/h	1	00-06
EuroNight	481	Mestre	00:12	00:30	E402 (002-045)	700 t	130 %	200 km/h	95 km/h	1	00-06
InterCity Notte	770	Padova	00:41	00:21	E402 (002-045)	600 t	125%	160 km/h	84 km/h	1	00-06
Regionale	31050	SUD			Ale 506/426 (2M	0 t	120%	140 km/h		0	00-06
EuroNight	1237	Padova	04:15		E656	600 t	125%	160 km/h		1	00-06
InterCity Notte	774	Mestre	04:50	05:08	E402 (002-045)	600 t	125%	160 km/h	95 km/h	1	00-06
Regionale Vel	2223	SUD			E464 np	420 t	125%	160 km/h		0	00-06
Regionale	20883	Mestre	05:31	06:05	Ale 506/426 (2M	0 t	120%	140 km/h	50 km/h	0	00-06

Arrivati a questo punto, tutti i dati che ci servono sono contenuti all'interno di un file Access facile da consultare e dal quale estrarre dati.

Passiamo, quindi, a costruire una tabella in Excel, programma del pacchetto Microsoft Office, nella quale riportiamo tutti quei treni che sono di nostro interesse. Per prima cosa, quindi, creiamo una query in Access con la quale isolare tutti quei treni che ci aspetteremo di veder passare nel periodo in analisi, perciò tutti quelli presenti sulla tratta Padova-Mestre, segnalati dal numero 1 nel campo "presente nei giorni di rilievo" e compresi fra le 9 del mattino e le 16.30. Tali orari vengono riferiti al campo "Orario a Padova" e i due orari sono scelti in modo da lasciare spazio ad eventuali treni che sono partiti fra le 9 e le 9.30 o fra le 16 e le 16.30. in questo modo, prevedendo di prendere proprio l'orario 9.30-16.00 come riferimento per la misura (quello che possiamo chiamare  $T_o$  o tempo di osservazione), saremo sicuri di prendere in esame tutti i treni in transito.

A questo punto possiamo calcolare l'orario di presunto passaggio del treno. Ci basta sapere il verso di percorrenza del treno e l'intervallo di tempo che il treno impiega per arrivare nella sezione. Si tratta più di una considerazione ad intuito, ma ci consentirà di avere una prima immagine della sequenza di treni che ci troveremo di fronte e ci aiuterà ad individuarli chiaramente. In pratica, con questo metodo saremo in grado

di associare ciascun passaggio rilevato ad uno dei passaggi previsti e individuarne così tutti gli aspetti legati al locomotore, al tipo di treno ecc.

Di seguito presentiamo un estratto della tabella utilizzata per i rilevamenti fatti a Vigonza così costruita:

Orario a Mesti	Orario a Pado	Numero tren	Tipo treno	Locomotore	Orario presunt	Orario di rilevamen	Binari
09:18	←	08:50	221	EuroNight	E656	08:55	
09:37	←	09:00	5491	Regionale	E464 np	09:06	
09:20	←	09:06	9703	Frecciabianca	E414 + E414	09:11	
09:02	→	09:15	9712	Frecciabianca	E414 + E414	9:12	
08:55	→	09:28	5606	Regionale	Ale 506/426 (2M +	9:18	
09:20	→	09:39	584	InterCity	E402 (002-045)	9:30	
09:48	←	09:34	9982	Italo AV	ETR AGV575 AV	09:39	
09:37	→	09:51	9415	Frecciargento	ETR600	9:47	
09:58	←	09:44	9707	Frecciabianca	E414 + E414	09:49	
10:05	←	09:50	2224	Regionale Veloce	E464 np	09:55	
10:37	←	10:00	5493	Regionale	E464 np	10:06	
10:43	←	10:06	35521	EuroNight	E656	10:11	
09:48	→	10:25	2736	Regionale	E464 np	10:11	

Per costruirla è stato necessario prima costruire una tabella per tutti i treni diretti a Padova calcolandone l'orario presunto di arrivo nella sezione, e poi costruirne una analoga per il treni rivolti nel senso opposto, calcolandone sempre l'orario presunto. Le due tabelle sono state così unite e ordinate in base all'orario presunto, ottenendo i treni in "ordine di apparizione" nella sezione.

Come vediamo, inoltre, è stato aggiunta una colonna per indicare il binario in cui il convoglio è passato. Ovviamente tali tabelle devono essere costruite per ciascun sito (per il SITO 1 e il SITO 2 saranno identiche) e deve tenersi in considerazione l'eventuale presenza di veicoli non previsti, di eventi rumorosi straordinari o di treni merci.

## 2.6 Strumentazione utilizzata.

Lo strumento impiegato per le misure è il fonometro Delta Ohm HD9020, che abbiamo utilizzato assieme al relativo calibratore (una sorta di scatoletta che ci serve prima di iniziare la misura per tarare lo strumento), al microfono direttamente avvitato nella parte superiore ed alla relativa cuffia antivento. Come possiamo leggere nella norma UNI 1996, ogni misura perde di significato se non viene svolta con strumenti certificati dalle norme IEC 651 e IEC 804, condizione che il nostro strumento soddisfa in pieno così come comunicatoci dalla ditta produttrice.

Il fonometro HD9020 permette di misurare il livello sonoro ed una serie di altre grandezze definite nella già citata norma UNI 1996 con lo scopo di valutare il clima acustico in una certa area, rendendolo uno strumento molto apprezzato nell'ambito delle bonifiche acustiche, nonché nelle insonorizzazioni.

Nello specifico le sue caratteristiche prevedono:

- Ponderazioni di frequenza secondo la curva A, B, C
- Misura secondo diverse costanti di tempo (Fast, Slow o Impulsive)
- Misura del livello di picco in un intervallo inferiore ai 50 microsecondi
- Misura del livello sonoro equivalente in intervalli di tempo che vanno dai 0.125s alle 12 ore
- Possibilità di memorizzare dati fino a 512 kB.
- Analisi statistica dei dati raccolti



- Misurazione per bande d'ottava dell'evento sonoro
- Possibilità di calibrare lo strumento e di scaricarne facilmente i dati previa l'installazione di un apposito software.

Come vediamo, quindi, si tratta di uno strumento professionale adatto allo scopo che ci siamo prefissati.

Per poter procedere alla misura è necessario prima di tutto calibrare lo strumento. Ciò significa che lo strumento deve misurare un rumore di intensità nota e darci il livello corretto. A tale scopo utilizziamo il calibratore in dotazione.

Una volta avvitato il microfono lo poniamo all'interno del calibratore che viene acceso, seguito poi dall'accensione del fonometro. Il calibratore può essere regolato su vari livelli sonori e noi scegliamo i 94dB consigliati dall'esperienza di altri professionisti. A questo punto lo strumento comincerà a registrare il rumore emesso dal calibratore (che non sentiamo a meno di rimuovere il microfono dallo strumento) e a presentare sul monitor il livello che esso è in grado di leggere. A questo punto si tratta di impostare tutte le variabili di misura che adatteremo successivamente anche durante le rilevazioni vere e proprie, vale a dire la curva di ponderazione (curva A), la costante di tempo (fast, che è quella adottata per eventi brevi come il passaggio di un veicolo), il livello minimo registrabile (20dB). A questo punto dobbiamo regolare il livello letto fin tanto che il livello letto non è proprio 94dB. Quando otteniamo ciò possiamo ritenerci soddisfatti e procedere con le misure vere e proprie.

Una volta arrivati sul sito di misura e avere avvitato lo strumento al treppiede dobbiamo assicurarci di due cose, ovvero, che il microfono (una volta avvitato e coperto con la cuffia antivento) raggiunga 1.2m dal terreno e che sia rivolto verso la sorgente sonora. Per ottenere ciò possiamo anche inclinare il fonometro. A questo punto dobbiamo accendere lo strumento ed impostare tutti i parametri visti prima, ovvero, costante di tempo, livello minimo registrabile, curve di ponderazione e dobbiamo specificare che ciò che dobbiamo registrare è il livello equivalente mediato su un intervallo di 5s. Altra cosa importante da regolare è l'orologio interno, in modo che coincida con quello che utilizzeremo per l'annotazione dei passaggi. Una volta fatto questo e controllato la durata delle batterie, possiamo procedere con le misure.

## 2.7 Attuazione dei rilevamenti.

A questo punto passiamo all'aspetto pratico della situazione, ovvero ai rilevamenti veri e propri. Abbiamo esposto nel dettaglio le caratteristiche delle sorgenti nei 4 diversi siti e i punti dove porre la strumentazione. Per quanto riguarda i giorni e gli orari di rilevamento abbiamo scelto:

	Giorno	Orario d'inizio rilievo	Orario di fine rilievo
<b>SITO 1</b>	15 – 5 – 2013	11:40	16:30
	21 – 5 – 2013	11:40	16:30
<b>SITO 2</b>	15 – 5 – 2013	12:00	16:30
	21 – 5 – 2013	12:00	16:30
<b>SITO 3</b>	22 – 5 – 2013	9:30	13:30
<b>SITO 4</b>	23 – 5 – 2013	9:30	13:30

L'interruzione fra il primo giorno di misure ed il secondo (sempre a Vigonza) è stato dettato da condizioni atmosferiche avverse e dall'inframmezzarsi del fine settimana.

Originariamente si era cercato di uniformare gli orari di inizio e fine dei rilievi alle 9:30 e alle 16:00 rispettivamente, tuttavia nei giorni scelti per i rilievi sono subentrati degli imprevisti che hanno fatto slittare in avanti l'ora d'inizio. L'ora di termine delle attività è stata, quindi, posticipata per permetterci di raccogliere qualche dato in più.

Dopo le prime esperienze svolte a Vigonza abbiamo deciso di ridurre il tempo totale di rilievo, dato che, da un lato risultavano semplicemente sovrabbondanti delle ulteriori misure (ci bastano poche decine di dati per caratterizzare ciascuna categoria di treno), e dall'altro la strumentazione a disposizione sembra mal sopportare lunghi periodi di funzionamento (abbiamo avuto un problema con le batterie ed alcuni dei dati, specie verso la fine del rilievo, sono risultati alterati).

Una volta raggiunto il posto, premesso che la procedura di calibrazione sia già stata fatta secondo la procedura che abbiamo descritto nel capitolo precedente relativo all'attrezzatura, non ci resta che montare il treppiede sul quale viene avvitato lo strumento. Il treppiede nella sua disposizione standard (ovvero semplicemente aprendone le tre gambe) permette allo strumento leggermente inclinato di raggiungere la quota di 1.2m circa. Questa quota risulta inferiore certo ai 4m descritti dalla norma, ma non è la prima volta che tale altezza viene utilizzata, ed in letteratura si possono trovare diversi esempi. Oltretutto, mantenere lo strumento più basso lo espone meno a possibili incidenti dovuti a spostamenti d'aria o altro.

Lo strumento deve, quindi, essere avvitato sul treppiede e inclinato di circa 30° sull'orizzontale. Il microfono, già preventivamente montato sullo strumento, deve essere ricoperto attentamente da una cuffia anti-vento e indirizzato verso la sorgente. Con questo vogliamo dire che lo strumento, visto dal display deve essere indirizzato ortogonalmente ai binari. Posizionandoci sui punti che abbiamo indicato in occasione della descrizione dei siti avremo un segnale abbastanza diretto.

Ora dobbiamo sincronizzare gli orologi dei fonometri con quello del rilevatore. In questo modo quando scaricheremo i dati dai fonometri potremo associare ciascun picco del livello sonoro al rispettivo passaggio registrato sulla scheda di cui abbiamo parlato poc'anzi.

Infine, prima di procedere alle misure attraverso il programma di accensione e di determinazione delle costanti del fonometro, è necessario appurare che le condizioni del sito siano ottimali per consentire una registrazione ottimale. Rimandiamo a quanto già definito dalla norma del Marzo '98 per chiarimenti riguardo tali condizioni.

Di seguito elenchiamo le condizioni atmosferiche riscontrate nei giorni di misura, più eventuali fenomeni rumorosi occorsi durante il rilievo. Inoltre aggiungiamo alcune foto che possono dar l'idea del sito e del posizionamento dello strumento.

#### 2.7.1 SITO 1-2. GIORNO 1.

Il sito presenta la quasi assenza di vento per quasi tutta la durata del rilievo. Si segnalano poche raffiche verso le 13:00 ma dalla forza limitata e apparentemente sotto ai 5m/s. la temperatura è gradevole, sui 20°C circa registrati dal termometro dell'automobile verso le 11:40 ma che si presume siano aumentati nelle prime ore del pomeriggio.

Si registrano rumori legati al suono delle campane allo scoccare del mezzogiorno. Da un primo sguardo sul display del fonometro sembra che questi non siano comparabili con i livelli registrati al passaggio dei treni e potranno venir facilmente isolati in sede di analisi.

Offre un disturbo assai più notevole un trattore che, dovendo arare un campo limitrofo al SITO 1, influenza notevolmente i dati così rilevati. Il livello varia all'allontanarsi e avvicinarsi del mezzo e stavolta risulta comparabile con i dati raccolti durante il passaggio dei treni. In sede di analisi dei dati è necessario eliminare i dati corrispondenti. Nel SITO 2 il disturbo del trattore è risultato attenuato e quasi ininfluenza rispetto ai livelli raggiunti per il passaggio dei convogli.

Unico altro disturbo è legato al passaggio di un aereo alle 15.50 ma non si è riusciti a vedere se questo abbia influenzato o meno il livello registrato.

Sono stati registrati 6 treni merci di passaggio.

Il rumore di fondo è stato sui 45dB per il SITO 1 e circa 40dB per il SITO 2 per via della presenza di alberi che hanno schermato parzialmente lo strumento da rumori esterni.





### 2.7.2 SITO 1-2. GIORNO 2.

Il sito presenta una totale assenza di vento fino alle 16:00 a partire dalle quali si è alzato un leggero venticello che presumiamo del tutto ininfluenza sulla bontà dei dati raccolti. La giornata si presenta soleggiata di temperatura gradevole sui 20°C circa. Si registra la presenza di qualche banco nuvoloso isolato.

I siti sono rimasti liberi da rumori esterni praticamente per tutta la giornata. Si registrano solo un allarme acustico dalle 14:52 alle 14:58 ed un fischio collegato al passaggio di un treno merci alle 14:32.

Sono stati registrati 2 soli treni merci di passaggio.

Il rumore di fondo è stato stimato sui 45dB nel SITO 1 e sui 40dB circa sul SITO 2 per i motivi sopra citati.

### 2.7.3 SITO 3.

Nel sito si constata la totale assenza di vento durante l'intera registrazione. La giornata si è presentata soleggiata con la totale assenza di nuvole. La temperatura si è attestata circa sui 20°C.

La principale fonte di disturbo riscontrata durante tutto il rilievo è rappresentata dalla strada che corre a lato dello spiazzo in cui ci troviamo con lo strumento. Si tratta di una strada locale larga circa 6m a doppio senso di marcia. Si possono riscontrare numerosi passaggi di auto e moto, ma senza dare luogo ad un traffico sostenuto. Si tratta, piuttosto, di una serie di eventi isolati ed hanno un riscontro visibile sullo strumento. Il passaggio di un'auto supera i 60dB circa, quindi si attesta al di sotto dei livelli raggiunti dai convogli, ma è comunque il caso di effettuare dei controlli in fase di analisi dati. La strada, inoltre, ha andamento tortuoso nei pressi del sito, per cui eventuali rallentamenti/accelerazioni dei veicoli possono dar luogo a livelli sonori tutti da analizzare.

Nel corso del rilievo sono stati registrati 4 treni merci.

Il rumore di fondo si è attestato sui 40dB quando non abbiamo né il passaggio del treno né quello dei veicoli.



#### 2.7.4 SITO 4.

Il rilievo è avvenuto in quasi assenza di vento ed in una giornata soleggiata con totale assenza di nuvole. La temperatura di attestava all'incirca sui 20°C.

Durante le registrazioni sono occorsi dei disturbi legati esclusivamente ad alcuni rumori di fondo, quali un tagliaerba in lontananza o il suono delle campane a mezzogiorno. Entrambi questi fenomeni si ritengono marginali e non in grado di influenzare sensibilmente i risultati finali.

Si registrano anche 3 avvisi acustici da parte dei primi 3 treni di passaggio. La loro influenza sarà da valutare in fase di analisi dei livelli.

Come abbiamo descritto nella presentazione del sito, si tratta di un tratto compreso fra un ponte ed una leggera salita. A tal proposito si riscontra un rallentamento dei treni prima dell'ingresso del ponte, pur senza ravvisare alcuna frenatura evidente.

Si sono registrati, nel corso del rilievo, 3 treni merci.

Il rumore di fondo si è attestato sui 45dB circa.





Alla fine di tutte le registrazioni i dati rimangono registrati all'interno degli strumenti e devono essere scaricati attraverso un apposito programma. Infine questi possono essere letti da Excel e trattati come vedremo nella successiva sezione.

# Discussione sui dati raccolti.

---

La seconda parte del lavoro di tesi è incentrata sulla discussione riguardo i dati raccolti dai fonometri. Come ricorderemo, infatti, lo scopo del nostro lavoro di tesi era incentrato sulla caratterizzazione dei convogli da un punto di vista acustico. Pertanto è necessario valutare come il livello sonoro cambia al cambiare della tipologia di treno coinvolta, al cambiare del locomotore, del tipo di vagone o della posizione del treno in relazione allo strumento (ovvero se si trova sul binario più vicino o più lontano).

Il lavoro sarà quindi organizzato badando, in primo luogo, all'estrazione dei risultati dallo strumento di misura, alla loro risistemazione per ottenere un'immagine focalizzata sui diversi aspetti dei convogli che vogliamo studiare, alla loro eventuale riconversione per omogeneizzare dati provenienti da siti fra loro diversi (nel far ciò ci avvaleremo delle istruzioni della norma UNI 9613), ed infine ad una discussione riassuntiva circa gli aspetti messi in luce dal nostro lavoro.

### **3.1 Estrazione dei dati dallo strumento.**

Come avevamo già detto in precedenza, i dati registrati dallo strumento non sono direttamente leggibili, ma devono preventivamente essere scaricati mediante l'ausilio di un apposito programma. Il programma in questione effettua, quindi, il download dei dati in un file di estensione .CAP che riporta, in colonna, tutti i dati contenuti nel fonometro. Nel nostro caso abbiamo deciso di impostare lo strumento, già in fase di rilievo, in modo da registrare i livelli sonori equivalenti ponderati A mediati sui 5s, registrati con costante di tempo fast. Ciò significa che il fonometro registra il livello sonoro equivalente ogni 5s in riferimento al rumore sentito ad ogni intervallo. In poche parole lo strumento, ogni 5s registra una varietà di livelli sonori (la cosa è visibile direttamente dal display), ma registra un solo dato corrispondente al livello sonoro equivalente in quei pochi secondi.

Ad ogni modo lo strumento tiene in memoria tutti questi dati e, ad ogni nuova accensione, ai dati già contenuti ne aggiunge di nuovi.

Il file di estensione .CAP è leggibile anche dal programma Excel del pacchetto Microsoft Office, e, come possiamo vedere, permette di ottenere tutta una serie di informazioni riguardanti la data del rilievo, l'ora di inizio ecc.

	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3	MEMORY DUMP					
4						
5	*****	*****	*****	*****	*****	*****
6	Section: 1					
7	Program: 1		Le	q	HISTORY AND STATISTICS	
8						
9	15 MAY 13 @	12:00:50				
10	MICROPHONE	GAIN= 50mV/P	AMP. GAIN=4	0dB		
11	MEMORY UNIT	=512KB				
12						
13	Time Step =	5s	Nois	e Event Thr=	20dB	
14						
15	15 MAY 13 @					
16		45.2				
17		44.9				
18		43.6				

Come possiamo vedere ogni rilievo viene definito Section (sessione) ed al di sotto si definiscono le impostazioni definite dall'utente al momento di inizio del rilievo:

- a) Program fa riferimento al tipo di funzione attivata nello strumento. Program 1 indica la registrazione dei livelli sonori. Nel caso della calibrazione che ha preceduto ogni sessione di lavoro il valore di Program cambia (diventa 5). Come possiamo vedere, inoltre, la calibrazione non viene registrata dallo strumento, quindi non compare nel file .CAP.
- b) Leq indica la grandezza che lo strumento misurerà e conserverà in memoria. Nell'immagine appare Le e q separati solo per un errore nella formattazione delle celle. Nel nostro caso lo strumento misura i livelli equivalenti ponderati secondo la curva A, come da noi impostato in occasione dell'accensione dello strumento.
- c) Data e ora di inizio della rilevazione. Lo strumento è in possesso di un proprio orologio che sarà bene risistemare all'inizio di ogni rilievo per far sì che gli orari dello strumento e quello che usiamo per annotare il passaggio dei treni siano sincronizzati
- d) MICROPHONE è seguito da informazioni riguardanti il funzionamento e la sensibilità del microfono usato.
- e) MEMORY UNIT indica la memoria totale a disposizione dello strumento (nel nostro caso 512 KB). Esso non indica, invece, la memoria ancora disponibile e di fatto non varia con l'avanzare delle sessioni.
- f) Time step indica la scansione con cui vengono registrati i valori rilevati (e di conseguenza il modo con cui i dati vengono mediati). Nel nostro caso corrisponde a 5s
- g) Noise event indica il minimo livello che lo strumento sarà in grado di rilevare. 20dB è quasi una scelta di default nel nostro caso, dove il rumore di fondo si attesta sui 40dB

Segue, infine, la colonna nella quale sono contenuti i dati rilevati. Nel file originale, di estensione .CAP essi non sono disposti in colonna, ma occupano una serie di righe, come possiamo vedere dall'immagine seguente.

```

FONOMETRO 2 - Blocco note
File Modifica Formato Visualizza ?

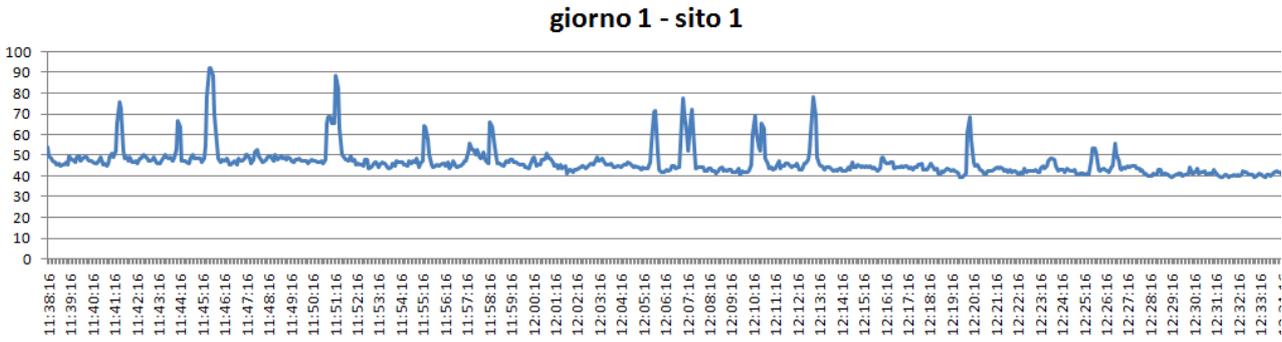
MEMORY DUMP
*****Section: 1Program: 1
15 MAY 13 @ 12:00:50MICROPHONE GAIN= 50mV/P AMP. GAIN=40dBMEMORY UNIT=512KB Leq HISTORY AND STATISTICS
Time Step = 5s Noise Event Thr= 20dB
15 MAY 13 @ 12:01:00 45.2 44.9 43.6 44.2 45.3 46.9 46.1 46.2 46.2 45.6 47.0 47.4 47.1 47.0 46.8 46.0 45.5
43.3 42.6 41.5 42.1 42.0 42.3 44.2 42.7 42.4 42.3 43.3 43.6 42.3 41.6 41.6 42.6 46.0 46.5 47.3 53.2
44.1 44.1 44.6 44.6 45.3 45.2 44.4 43.9 45.4 45.3 44.1 44.0 43.1 43.4 42.3 42.8 42.7 43.1 42.8 43.1
43.1 42.0 42.3 42.1 42.2 42.7 41.3 41.7 40.1 40.5 41.1 40.5 41.0 40.4 39.5 40.7 41.5 41.4 41.4 40.8
41.2 41.5 42.2 43.2 44.2 44.6 46.2 59.6 62.3 56.2 47.6 45.4 43.3 41.3 41.1 41.6 42.0 42.3 43.2 42.8
41.6 40.6 40.7 41.5 42.0 41.8 41.6 41.5 41.2 41.2 40.5 40.6 41.0 42.4 43.6 44.1 43.9 43.8 43.9 44.5
41.8 41.8 42.1 41.7 41.6 41.5 42.1 42.5 42.9 43.4 43.0 43.1 43.1 42.9 42.7 44.5 43.2 42.8 43.1 43.4
45.3 44.1 45.1 44.3 42.9 44.2 43.5 44.0 45.8 46.0 45.7 45.2 46.0 43.9 43.3 42.9 41.8 42.2 41.4 40.8
47.1 45.9 45.4 45.7 45.2 44.4 42.9 42.5 42.2 42.3 42.8 42.8 43.1 42.9 42.7 42.9 43.0 44.0 42.8 43.1
41.7 42.8 41.8 42.0 41.0 40.4 40.7 40.4 41.7 41.5 40.6 41.3 41.0 40.7 39.8 39.9 39.5 39.5 40.0 39.3
45.2 48.7 46.7 45.9 46.5 45.6 47.5 44.3 46.0 44.7 44.6 44.1 42.7 44.4 43.0 42.6 42.8 44.1 44.2 44.1
40.8 40.7 42.3 42.7 42.6 41.7 42.2 40.9 42.0 42.8 52.3 59.2 50.2 43.9 41.2 41.0 42.1 42.2 41.9 42.4

```

Per avere un preciso legame fra i dati rilevati dallo strumento e quanto annotato nella tabella di cui abbiamo parlato in precedenza, in cui annotavamo l'orario dei passaggi, è necessario associare ad ogni rilievo l'orario in cui esso è stato effettivamente registrato. Per far ciò, nella colonna a fianco dei rilievi, nel file Excel, poniamo l'orario di inizio rilevazioni (riportato come informazione accessoria dallo strumento stesso) e lo incrementiamo di 5s di volta in volta.

Ottenuta l'associazione fra orario e livello sonoro, possiamo rendere più leggibile il tutto costruendo un apposito grafico, nel quale sarà facile rilevare i picchi e quindi effettuare la successiva associazione fra livello sonoro e treno che l'ha provocato.

Pertanto costruiamo un grafico che riporta in ascissa l'orario, ed in ordinata il livello sonoro. Ciò che otteniamo è un grafico il cui andamento varia in continuazione, ma che risulta, in generale, composto da un livello costante in cui si distinguono picchi improvvisi corrispondenti al passaggio dei treni o di tutti gli altri eventi rumorosi (e che provocano livelli sonori più alti).



A questo punto si può passare all'individuazione effettiva dei convogli, distinguendoli da ogni altro evento sonoro rumoroso. Risulta, quindi, fondamentale la tabella che abbiamo costruito per annotarvi l'orario di passaggio dei convogli. A questo punto si tratterà di segnalare su ciascun picco se esso appartiene effettivamente ad un treno e a che tipo di treno (in modo da facilitare la successiva classificazione dei dati raccolti). Nel nostro caso ci siamo avvalsi di cerchi colorati specifici di ogni categoria.

La distinzione che abbiamo fatto viene riportata qui di seguito:

- Frecciabianca
- Eurocity
- Regionale Veloce
- Frecciar argento
- Intercity
- Regionale
- Italo AV
- Mercati

La distinzione per tipo di treno deriva da diverse considerazioni: anzitutto rappresenta una distinzione che possiamo definire “certa”. Nel corso delle rilevazioni, infatti, era possibile associare ciascun passaggio alla relativa categoria con relativa facilità, attraverso un semplice riconoscimento visivo. Più difficile, invece, risultava un confronto fra il convoglio e il tipo di locomotore o sul tipo di vagoni (nel caso dei Regionali o dei Regionali Veloci).

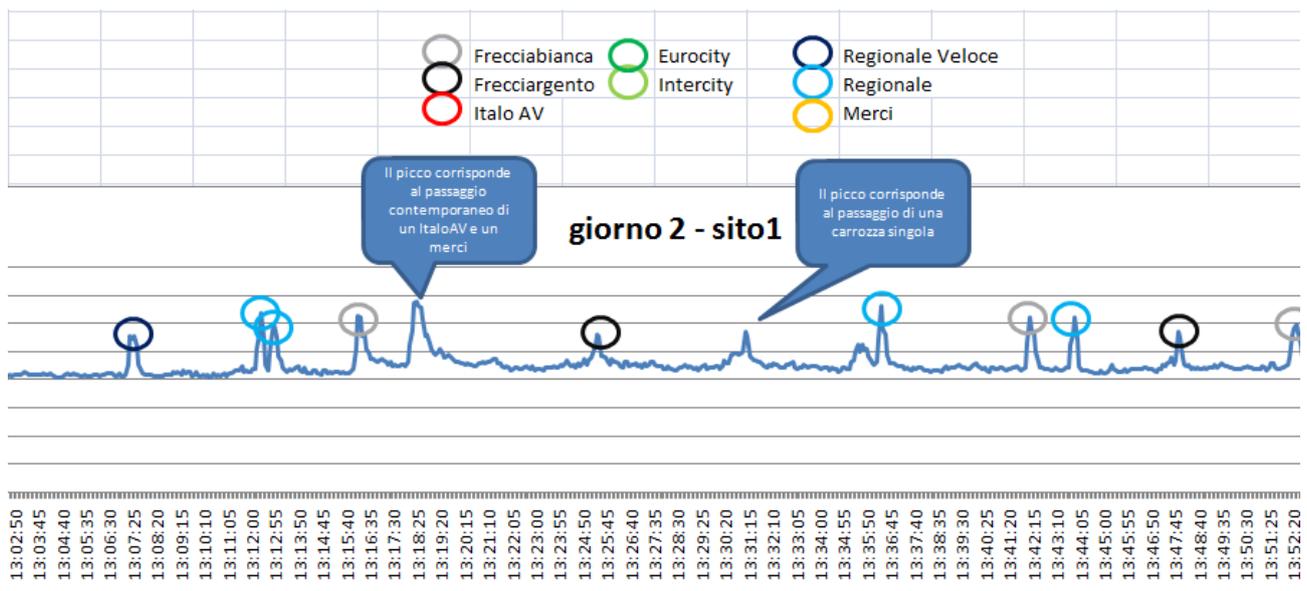
Interessante sarebbe stata un’associazione fra convoglio e velocità o lunghezza dello stesso, ma, come già più volte lamentato, la nostra strumentazione non era sufficiente per simili rilievi. A questo proposito il rilievo per tipo di treno assume nuovo significato, in quanto, almeno per i treni a composizione fissa, quali i Frecciabianca, i Frecciargento o gli Italo AV, ci è possibile risalire facilmente alla loro possibile lunghezza, informandoci riguardo quelle che possono essere le composizioni più frequenti.

Altra ragione per preferire, come prima analisi, un’analisi in cui distinguiamo i treni in base al loro tipo, sta nell’esperienza RFI, da cui il lavoro di tesi ha preso il via. In quell’occasione (come del resto nel caso di lavori come quello svolto dal professor Farina), i singoli treni venivano distinti in base alla loro categoria, sulla quale, solo successivamente, veniva associato un intervallo di velocità.

Detto questo, abbiamo giustificato ampiamente la nostra scelta, e, come nel caso RFI, sarà solo dopo aver risistemato i dati in base ai tipi di treno che approfondiremo ulteriormente il nostro studio riguardo i tipi di locomotori o le categorie di carrozze.

Tornando al grafico, oltre a distinguere i diversi picchi, possiamo aggiungervi anche commenti riguardanti comportamenti anomali del livello sonoro, provocati da eventi accaduti durante il rilievo e, presumibilmente raccolti nella tabella con il rispettivo orario.

Alla fine il nostro grafico assumerà l’aspetto seguente:



A questo punto dobbiamo rivolgerci nuovamente alla tabella principale, in cui i livelli sono elencati lungo la stessa colonna e segnalare, per ogni singolo evento, la categoria di treno che l’ha provocato.

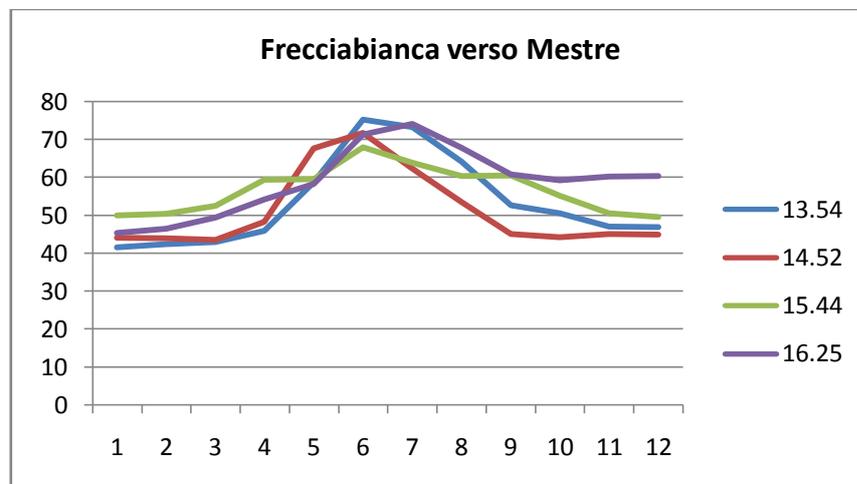
Se ricordiamo la definizione di “singolo evento” era stata data nella norma UNI 1996 e corrispondeva ad un rumore che possiamo dire isolato rispetto un livello sonoro normalmente costante. In questa categoria rientra il traffico ferroviario, visto come insieme di singoli eventi, o il traffico stradale di scarsa intensità (quando i singoli veicoli sono distinguibili fra loro). Per isolare l’evento dal clima acustico generale si consigliava di “ritagliare” l’andamento del livello sonoro in un intervallo individuato dall’istante in cui L è



A questo punto siamo pronti per inserire i dati preordinati nella fase precedente e contenuti nel file estratto direttamente dal fonometro e porli all'interno dello schema appena descritto. I dati di cui parliamo sono i livelli sonori registrati nell'arco dei minuti in cui abbiamo individuato il passaggio di un convoglio. Procediamo, quindi, con la costruzione dei relativi grafici. Per ciascuna sessione di rilievo riteniamo essere d'interesse un grafico contenente l'andamento dei livelli equivalenti per ciascun passaggio di treno diretto in uno dei due sensi di marcia, per l'intervallo di tempo di un minuto.

Dovremo, quindi, costruire un grafico per ciascuna direzione di marcia, per ogni sessione di rilievo e per ciascuna categoria di treno. Il grafico riporterà in ascissa 12 valori corrispondenti agli intervalli di 5 secondi in cui il minuto è suddiviso (ovviamente non possiamo usare un orario preciso, in quanto ciascun passaggio ne ha uno proprio, ma ciascun passaggio ha in comune con gli altri la rilevazione di 12 valori di LeqA), mentre in ascissa vi sarà il valore dei livelli equivalenti ponderati secondo la curva A registrati per ciascun passaggio.

L'aspetto finale sarà quello che vediamo di seguito, in cui le diverse curve hanno un andamento simile e si sovrappongono rimanendo distinte solo dai colori che corrispondono a ciascun passaggio.



Di tali grafici dovremo averne 2 per ciascuna sessione e relativi ai treni orientati verso le due direzioni di marcia. In questo modo effettuiamo una nuova analisi dei livelli interna a quella che distingue i diversi tipi di treno, ovvero, cerchiamo di apprezzare eventuali differenze fra una direzione di marcia e l'altra.

La costruzione dei grafici, oltre a darci un'immagine iniziale riguardo all'andamento dei livelli sonori ha anche lo scopo di far risaltare eventuali anomalie nei dati rilevati. Nella nostra seppur breve esperienza non sono stati rari i casi in cui i dati relativi ad un passaggio fossero in realtà inquinati da eventi imprevisti, come il passaggio di un aereo, o semplicemente perché due passaggi si sono sovrapposti. Sebbene alcuni di questi eventi sono stati eliminati già nelle fase precedente di sistemazione dei dati direttamente nel file di output del fonometro, nella quale andavamo alla ricerca dei picchi, anomalie presenti nel singolo passaggio sono sempre possibili. Per eliminarle ci basta anche un semplice sguardo ai grafici appena costruiti. Dati completamente diversi da quelli definiti dagli altri passaggi (ad esempio un valore iniziale di 60dB) rendono il valore errato e da eliminare. L'azione può essere condotta direttamente nel file di sistemazione dei dati, che stiamo costruendo.

L'azione che abbiamo descritto presuppone, ovviamente, che la maggioranza dei veicoli formi la tendenza "corretta". Ovvero, per considerare un valore attendibile esso deve conformarsi a quello rilevato nella maggioranza degli altri passaggi, e potrebbe sembrare che questo ragionamento possa rivelarsi errato alla

luce dei pochi dati a disposizione (di fatto, per ogni sessione di rilievo, per ogni direzione di marcia, il numero totale dei passaggi è sulla decina che possono sembrare insufficienti a delineare effettivamente una tendenza). Tuttavia, riteniamo che questo metodo possa dare comunque i suoi frutti anche per una quantità così esigua di dati. Inoltre, i dati eliminati sono stati quelli visivamente già fuori scala, ecco perché tale “cernita” dei dati è stata svolta solo dopo la costruzione dei grafici.

Una volta eliminati i dati ritenuti frutto di anomalie possiamo passare al calcolo della media dei livelli rilevati, in modo da avere per ciascun tipo di treno, per ciascuna sessione, per ciascuna direzione di marcia un andamento dei livelli unico rappresentativo.

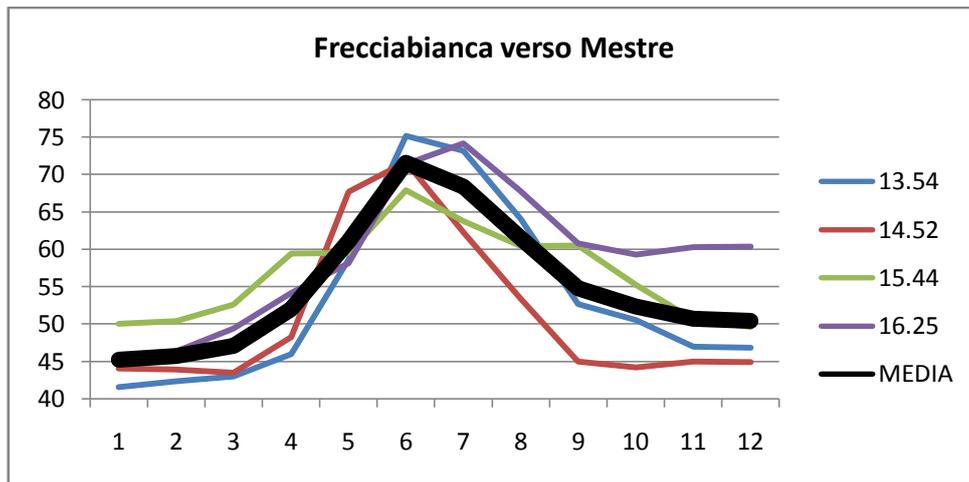
Abbiamo ritenuto utile svolgere due medie separate, una per ciascuna direzione di marcia. I 12 valori calcolati saranno tutti calcolati come media dei rispettivi livelli registrati per ciascun passaggio, ovvero il valore 1 dell’andamento medio corrisponde alla media di tutti i valori in posizione 1 degli altri passaggi. Ovviamente, dovremo escludere tutti quei valori ritenuti fuori scala ed eliminati in base alle logiche esposte al punto precedente.

Otteniamo così una media dei valori di ciascuna direzione di marcia per ciascuna sessione di misura, e possiamo, infine, procedere al calcolo di una media finale frutto della media di tutti i valori della sessione definita MEDIA TOTALE.

Qui di seguito riportiamo l’aspetto che avrà il nostro file una volta svolti i calcoli di queste medie:

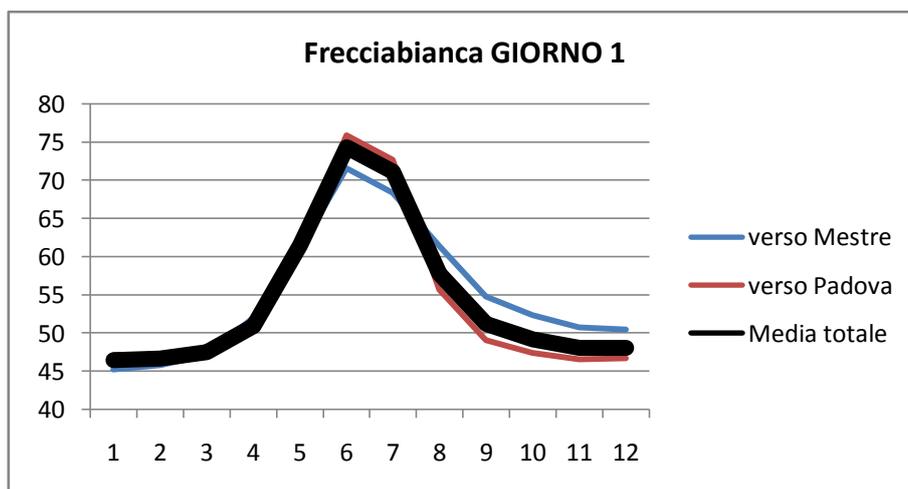
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
312																		
313																		
314																		
315	SITO 2	Giorno 2																
316		PADOVA	→	MESTRE							MESTRE	→	PADOVA					
317			00:00:05									00:00:05						
318						MEDIA									MEDIA		MEDIA TOTALE	
319						41.475					41.8	11:40:37			41.1625		41.2667	
320						41.825					40.8	11:40:42			40.7286		41.1273	
321						42.575					41.2	11:40:47			41.2429		41.7273	
322						43.975					44.2	11:40:52			43.2125		43.4667	
323						55.225					53.9	11:40:57			47.9625		50.3833	
324						68.375					70.5	11:41:02			67.4125		67.7333	
325						67.875					66.2	11:41:07			69.675		69.075	
326						54.05					52.9	11:41:12			57.15		56.1167	
327						46.85					46.1	11:41:17			47.05		46.9833	
328						45.7					45.8	11:41:22			44.4625		44.875	
329						44.525					41.6	11:41:27			43.05		43.5417	
330						43.675					40.4	11:41:32			42.0125		42.5667	
331																		
332		41.6	11:57:17															
333		41.7	11:57:22															
334		42.1	11:57:27															
335		42	11:57:32															
336		48.7	11:57:37															
337		66.8	11:57:42															
338		69.4	11:57:47															
339		55	11:57:52															
340		45.3	11:57:57															

Avendo aggiunto le medie possiamo aggiornare i grafici costruiti in precedenza includendo anche un ulteriore linea che definisce l’andamento medio del livello sonoro per ciascuna delle direzioni di marcia. Alla fine l’aspetto sarà il seguente:



Inoltre, avendo le medie che definiscono l'andamento dei livelli nelle due direzioni, oltre che la MEDIA TOTALE, possiamo costruire un nuovo grafico, nel quale riportiamo solo 3 funzioni, corrispondenti agli andamenti medi lungo le due direzioni e l'andamento medio complessivo. Se i grafici fino ad adesso descritti avevano più che altro la funzione di aiutare l'utente ad individuare anomalie, questi saranno i primi grafici che potranno darci un'idea effettiva delle grandezze che stiamo cercando. Infatti potremo leggere direttamente i livelli sonori raggiunti, oltre, ovviamente, al rumore di fondo che si rileva ai margini del grafico.

L'aspetto finale di tali grafici sarà il seguente:



Inoltre, avendo a disposizione le medie totali, siamo in grado anche di avere una prima idea sull'effettivo potere fono isolante delle barriere. Infatti, possiamo mettere a confronto le curve relative alle sessioni nel SITO 1 con quelle del SITO 2 potendo così vedere immediatamente quali differenze vi sono nei livelli e quale sia di fatto l'insertion loss della barriera.

Tuttavia, facciamo molta attenzione alla lettura di questo grafico ed alla sua interpretazione: esso non corrisponde affatto al grafico dal quale desumere l'insertion loss, in quanto i valori del SITO 1 e del SITO 2 sono attualmente non comparabili. Essi, infatti, sono frutto di rilievi svolti a distanze diverse dalla sorgente (quasi 6m di differenza), quindi, il grafico così costruito serve solo come immagine iniziale dell'effetto della barriera senza per questo avere un'effettiva valenza matematica.

Quanto abbiamo appena detto, riguardo ai grafici ed alle tabelle, deve, ovviamente, essere ripetuto per ciascuna sessione di prova e per ciascun tipo di treno.

### 3.3 Conversione dei dati.

Come abbiamo notato nella fase conclusiva della sezione precedente, i dati così come sono adesso non sono fra loro confrontabili, in quanto sono stati rilevati in condizioni fra loro differenti specialmente riguardo alla distanza dalla sorgente. Non sarà possibile, quindi, fare alcuna considerazione di qualche valore fin tanto che tale mancanza di omogeneità non verrà risolta attraverso un'apposita conversione, che è quello di cui ci occuperemo a questo punto della tesi.

Per effettuare una conversione, come è quella necessaria nel nostro caso, è necessario volgere lo sguardo alla norma UNI 9613, che definisce le modalità di riconversione dei livelli sonori avendo presenti le condizioni topografiche del luogo ed informazioni riguardo temperatura e umidità del luogo in questione. Secondo la norma richiamata il livello sonoro registrato in un dato punto è dato dalla formula seguente:

$$L_{\text{FT}}(\text{DW}) = L_{\text{W}} + D_{\text{C}} - A$$

Il che significa che, conoscendo la potenza sonora posseduta dalla fonte, il livello sonoro registrato in un punto qualsiasi è dato dalla potenza sonora della sorgente diminuita dell'attenuazione che il segnale subisce nel percorso da esso coperto e maggiorata del valore  $D_c$  che definisce la direttività del segnale. Quindi, se la sorgente è la stessa, come presumiamo essere nei siti, allora il livello sonoro registrato è differente per via delle attenuazioni lungo la via di propagazione. Ciò significa che si potrà risalire, conoscendo la topografia del terreno, ai livelli risentiti in qualunque punto dell'area vicina alla sorgente, ed inoltre, significa che è possibile convertire ciascun rilievo svolto ad una certa distanza, nel rispettivo livello che avremmo rilevato se ci fossimo posti in un punto diverso.

La formula fa riferimento a ciascuna banda d'ottava, ma il discorso vale anche per il livello equivalente ponderato. Infatti,  $L_{\text{eqA}}$  deriva dalla formula:

$$L_{\text{AT}}(\text{DW}) = 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^n \left[ \sum_{j=1}^8 10^{0,1[L_{\text{FT}}(j) + A_{\text{f}}(j)]} \right] \right\} \text{ dB}$$

Ora, se sostituiamo  $L_{\text{FT}}$  con la formula che abbiamo visto prima otteniamo:

$$L_{\text{AT}}(\text{DW}) = 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^n \left[ \sum_{j=1}^8 10^{0,1[L_{\text{W}} + D_{\text{C}} - A + A_{\text{f}}(j)]} \right] \right\} \text{ dB}$$

Dove il primo  $A$  è relativo all'attenuazione, mentre il secondo è la correzione secondo la curva di ponderazione  $A$ .

Supponendo che il numero delle sorgenti sia solo 1 ( $n=1$ ) e che la sorgente abbia la stessa potenza in tutti e quattro i siti scelti per i rilievi (il che è plausibile immaginando che la sorgente sia ciascuna categoria di treno che ovviamente emette con la medesima potenza se raggiungono la stessa velocità, allora sarà uguale anche  $L_{\text{W}} + D_{\text{C}} + A_{\text{f}}$ ). Possiamo, quindi, isolare questa parte della sommatoria e separarla dal resto ottenendo:

$$L_{\text{AT}}(\text{DW}) = 10 \lg \left\{ \left[ \sum_{j=1}^8 10^{-0,1A} \right] \times \left[ 10^{0,1[L_{\text{W}} + D_{\text{C}} + A_{\text{f}}(j)]} \right] \right\} \text{ dB}$$

Dell'espressione che vediamo sopra, fra i siti 1,2 e 3 (il SITO 4 lo escludiamo momentaneamente dato che la sorgente non si può considerare uguale, essendo la velocità dei convogli ridotta), cambia solo la prima parte, per questo abbiamo potuto ritenere il fattore che vediamo sulla destra come una costante ed estrarlo dalla sommatoria principale.

Ora, tutti i nostri rilievi possono essere considerati come una parte fissa che viene moltiplicata ad una parte variabile in base alle condizioni di attenuazione che riscontriamo lungo la via di propagazione. La formula semplificata assume l'aspetto seguente:

$$L_{AT}(DW) = 10 \lg \left\{ \left[ \sum_{j=1}^8 10^{-0,1A} \right] \times \mathbf{Y} \right\} \text{ dB}$$

Si può allora pensare che fra i rilievi svolti a 22m dalla sorgente (come nel SITO 1) e i rilievi svolti a 16m (come nel SITO 2) l'unica differenza sta nel valore di A. Se ciò è vero (e non abbiamo ragioni per credere il contrario) allora, noto LeqA a 22m possiamo trovare quale valore avremmo rilevato a 16m rendendo di fatto confrontabili i dati rilevati nel SITO 1, 2 e 3 e potendo fare le dovute osservazioni sull'efficacia della barriera nel SITO 2 (si ricorderà quanto osservato in precedenza riguardo alla non comparabilità dei dati non convertiti registrati nei siti 1 e 2).

La formula proposta precedentemente può essere ulteriormente semplificata eliminando la sommatoria, nel caso in cui A non dipenda dall'ottava. Nel nostro caso ciò non accade e la sommatoria può essere rimossa. Si ottiene, dopo semplici operazioni matematiche:

$$10^{0,1L_{AT}} = 10^{-0,1A} \times \mathbf{Y}$$

E tale formula risulta valida sia per LeqA rilevati a 22m che a 16m. Detto questo, sapendo che Y è identico fra le due formule possiamo porre l'uguaglianza seguente:

$$10^{0,1A} \cdot 10^{0,1L_{AT}} = 10^{0,1A'} \cdot 10^{0,1L_{AT}'}$$

Dove, il primo membro dell'equazione corrisponde ai rilievi e all'attenuazione svolti a 22m, mentre il secondo membro corrisponde ai rilievi e all'equazione svolti a 16m.

Conoscendo il valore dei rilievi a 22m, e i valori dell'attenuazione a 16 e 22m, siamo in grado di calcolarci i rilievi che avremmo registrato a 16m. La formula è:

$$\begin{aligned} A + L_{AT} &= A' + L_{AT}' \\ A - A' + L_{AT} &= L_{AT}' \end{aligned}$$

Attraverso questa formula saremo in grado di convertire tutti i dati che ci servono.

A questo punto diventa chiaro come sia necessario calcolare i valori di A nelle condizioni in cui abbiamo effettuato il rilievo e nelle condizioni ipotetiche in cui ci riportiamo in posizioni diverse da quelle effettive.

La formula per il calcolo di A è definita sempre dalla norma UNI 9613 ed è composta da 4 attenuazioni:

- Attenuazione legata all'attenuazione per divergenza geometrica espressa dalla formula:

$$A_{div} = [20 \lg (d/d_0) + 11] \text{ dB}$$

d in questa formula corrisponde alla distanza che separa sorgente e ricevitore. Come già detto in occasione della Parte 1 del lavoro di tesi, immaginiamo di porre la sorgente a 1m dal piano del ferro, in modo da comprendere eventuali rumori legati allo strisciamento del pantografo o ad altri dispositivi del treno, mentre il ricevitore è posto a 1.2m dal suolo per via del treppiede usato. Nelle sezioni che abbiamo proposto sempre nella Parte 1 per illustrare lo schema di

posizionamento dello strumento, possiamo facilmente ricavare tale valore di  $d$ , il quale, com'è naturale, varia al variare della conformazione del suolo.

- Attenuazione per effetto atmosferico, espressa dalla formula:

$$A_{\text{atm}} = \alpha d / 1000$$

Nel nostro caso il valore di  $\alpha$  di riferimento è il valore corrispondente alla frequenza di 500Hz (in quanto non possediamo lo spettro dei valori per banda d'ottava, ma solo il livello equivalente), che per temperatura sui 20°C e umidità del 70% vale 2.8. Come si può vedere, anche per una distanza di 50m (ben oltre quelle che ci riguardano) tale attenuazione non va oltre il decimo di decibel, per cui trascureremo questo contributo.

- Attenuazione per effetto del terreno, la cui formula, nel caso in cui ci riferissimo al solo livello equivalente ponderato è:

$$A_{\text{gr}} = 4,8 - (2 h_m/d) [17 + (300/d)] \geq 0 \text{ dB}$$

In cui  $d$  è già stato commentato e dove  $h_m$  corrisponde al rapporto fra l'area sottesa fra l'immaginaria linea che collega sorgente e ricevitore e l'andamento del suolo, e la distanza  $d$ .

- Attenuazione per interposizione di ostacoli, che può essere benissimo definita dall'insertion loss. Nel nostro caso questo valore è proprio quello che vorremmo appurare. La norma fornisce un metodo per calcolare la perdita per inserzione attraverso la formula

$$A_{\text{bar}} = D_z - A_{\text{gr}} > 0$$

Dove  $A_{\text{gr}}$  corrisponde all'attenuazione per effetto suolo che si avrebbe nel caso in cui la barriera non fosse mai esistita, mentre  $D_z$  è un valore ricavabile dalla formula:

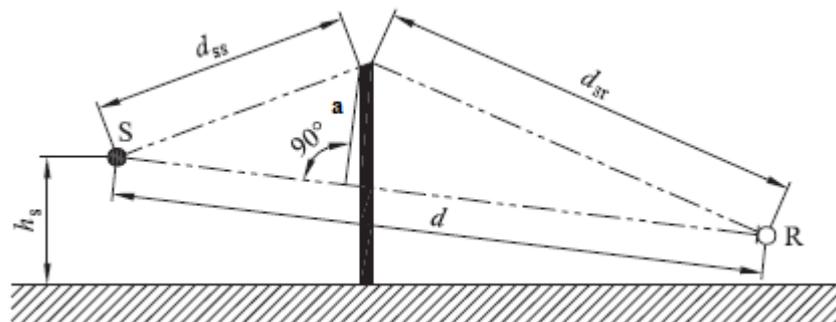
$$D_z = 10 \lg [3 + (C_2/\lambda) C_3 z K_{\text{met}}] \text{ dB}$$

Dove, rispettivamente:

- $C_2$  è pari a 20
- $\lambda$  è la lunghezza d'onda dell'ottava che stiamo cercando (nel nostro caso, avendo solo i livelli equivalenti ci rifacciamo alla frequenza di 500Hz la cui lunghezza d'onda è 0.68m)
- $C_3$  è 1 (nel caso di diffrazione singola come quella che stiamo trattando)
- $z$  è la differenza di percorso compiuto dall'onda per via dell'interposizione dell'ostacolo, secondo la formula:

$$z = [(d_{\text{SS}} + d_{\text{SR}})^2 + a^2]^{1/2} - d$$

Dove le grandezze riportate sono definite dalla figura seguente



- $K_{\text{met}}$  tiene conto delle condizioni meteo del luogo ma richiede comunque grandezze a noi già note nella formula:

$$K_{\text{met}} = \exp[-(1/2000) \sqrt{d_{\text{ss}} d_{\text{sr}} d / (2z)}] \text{ per } z > 0$$

$$K_{\text{met}} = 1 \text{ per } z \leq 0$$

Nella maggioranza dei casi avremo a che fare solo con il primo ed il terzo tipo di attenuazione, che sono fra l'altro calcolabili abbastanza agevolmente a partire da sezioni riportanti con sufficiente accuratezza l'andamento del suolo.

Nel nostro caso lo scopo della conversione è quello di rendere comparabili i dati rilevati nei diversi siti con quelli rilevati nel SITO 2. Quello che dobbiamo fare, quindi, consiste nel calcolare i valori delle attenuazioni che si registrano nel sito dove effettivamente si è svolta la misura e quelle che si registrano ad una distanza pari a quella che separa la sorgente dal fonometro nel SITO 2.

I dati che ci servono sono i seguenti:

	<b>d (reale)</b>	<b>d (sito 2)</b>	<b>A sottesa (reale)</b>	<b>A sottesa (sito 2)</b>
	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>mq</b>	<b>mq</b>
<b>SITO 1</b>	30.15	25.87	39.11	29.00
<b>SITO 2</b>	26.12	/	27.94	/
<b>SITO 3</b>	14.23	25.83	22.41	46.88
<b>SITO 4</b>	6.52	25.77	7.17	28.34

Nel caso del SITO 2 l'A sottesa è calcolata come l'area effettivamente presente al di sotto della linea che unisce sorgente e ricevitore. Quest'ultima, infatti, attraversa il terrapieno e pertanto A sottesa è frutto della somma dell'area sottesa tracciata dal ricevitore al punto in cui la linea tocca la scarpata, e dell'area sottesa tracciata dalla sorgente al punto in cui la linea tocca il suolo. L'area così calcolata, comunque, assume significato se immaginiamo che la barriera sia composta dalla barriera effettiva più la parte di rilevato che sta sopra la linea che unisce sorgente e ricevitore. In questo modo A sottesa riassume il significato normale, a parte per il fatto che per una parte essa è tangente al rilevato.

Fatto ciò possiamo effettivamente calcolare il valore di attenuazione di cui risentono i livelli registrati nelle condizioni reali. Basta sommare fra loro i 2 contributi di attenuazione relativi alla divergenza geometrica e all'effetto del suolo.

Successivamente possiamo calcolare le attenuazioni relative al caso in cui lo strumento viene posto ad una distanza dalla sorgente pari a quella che si registra nel caso del SITO 2. Riguardo al concetto di distanza abbiamo scelto di definirla come la distanza che intercorre fra lo strumento e la sorgente immaginata posta sul baricentro dei diversi binari (in questo modo nel caso del SITO 1 si trova nella mezzeria dello spazio che separa i due binari centrali, lo stesso vale per il SITO 3, mentre nel SITO 4 si trova nella mezzeria dell'unico binario), valutata orizzontalmente. Quindi il nostro concetto di distanza differisce dal valore di d che abbiamo prima descritto, ma come vediamo dalla tabella, le singole differenze di d sono nell'ordine di una decina di cm, quindi la scelta di una definizione di d o di un'altra è indifferente.

I risultati dei calcoli dell'attenuazione sono riportati di seguito:

	<b>Adiv (reale)</b>	<b>Adiv (sito 2)</b>	<b>Agr (reale)</b>	<b>Agr (sito 2)</b>
<b>SITO 1</b>	40.59	39.26	2.48	2.32
<b>SITO 3</b>	34.06	39.24	0	0.77
<b>SITO 4</b>	27.28	39.22	0	2.35

Osserviamo come Agr per i siti 3 e 4 siano nulli in quanto il calcolo aveva portato ad un'attenuazione negativa, ovviamente inaccettabile.

A questo punto, il livello registrato nel punto ipotetico denominato sito 2 costruito in ciascuno degli altri siti si misura, si ricava sommando al livello registrato effettivamente dallo strumento la differenza fra l'attenuazione effettivamente risentita (quella che avevamo indicato con A) e l'attenuazione calcolata nel sito 2 ipotetico (indicata da A'). Le attenuazioni così calcolate sono le seguenti:

	<b>A – A'</b>
<b>SITO 1</b>	+1.49
<b>SITO 3</b>	-5.96
<b>SITO 4</b>	-14.29

Il livello "convertito" si otterrà sommando al livello registrato i valori di A-A' rispettivi. Come ci aspettavamo, nel SITO 1, in cui la posizione originale è più distante dei 26m da cui il fonometro dista dalla sorgente nel SITO 2, il livello convertito ( $LeqA'$ ) è maggiore rispetto a quello registrato, mentre, negli altri due casi il livello viene ovviamente diminuito.

In tutte queste considerazioni il SITO 4 è stato considerato alla stregua degli altri anche se di fatto presenta una differenza sostanziale. Alla base del nostro ragionamento c'è l'ipotesi che la sorgente del rumore, ovvero ciascuna categoria di treno, emettesse alla medesima potenza in tutti i siti. Come ormai sappiamo tale emissione dipende dalla categoria del treno ma anche dalla velocità e dalla lunghezza. Se dal SITO 1 al SITO 3 tali differenze sono minimali (i treni delle diverse categorie sono simili in lunghezza e i due tratti sono percorribili a velocità simili come descritto dai rispettivi fascicoli di linea), nel SITO 4 non solo la velocità è contenuta, ma la lunghezza dei treni è molto diversa: nel SITO 4 transitano per lo più coppie di carrozze, contro i lunghi convogli che abbiamo riscontrato a Mandria e Vigonza.

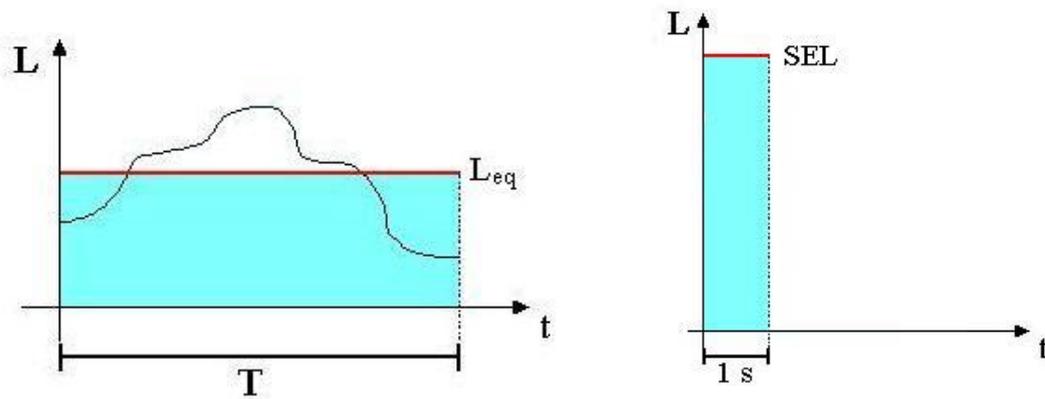
In conclusione, le ipotesi di base per il metodo che stiamo illustrando non sono valide per una conversione nel SITO 4, ma comprendiamo ugualmente i valori relativi a quest'ultimo per un discorso di completezza. Rimane da domandarsi se la conversione abbia effettivamente senso al di là del rigore matematico con cui l'abbiamo illustrata sopra. Infatti, non ci sarebbe alcun problema se le sezioni tracciate nel SITO 1, 2 e 3 fossero fra loro uguali con l'unica differenza che nel SITO 2 troviamo anche una barriera. Tuttavia, così non è e i diversi siti si distinguono anche per la topografia del terreno. In pratica si rischia di non calcolare il valore dell'insertion loss della barriera ma dell'intero complesso barriera + rilevato + diversa conformazione del terreno. Per capire cosa vogliamo dire basta dare uno sguardo alle ovvie differenze fra la sezione del SITO 1 e del SITO 2. Non cambia solo la distanza fra strumento e sorgente, ma anche la quota e la conformazione del terreno. Ci si può domandare, quindi, una volta convertiti i valori dei siti 1 e 3, il successivo confronto, cosa metterà in luce? La risposta è che metterà in luce non solo l'effetto della barriera, ma anche l'effetto di tutto il resto.

Ad ogni modo riteniamo che le differenze effettive dei livelli sonori siano da imputare prevalentemente alla barriera e solo marginalmente alle differenze nella topografia (basti vedere la preponderanza di Adiv rispetto ad Agr). Pertanto, anche se si tratta di una approssimazione, riteniamo di poter dire che il confronto finale fra i valori convertiti e quelli rilevati nel SITO 2, permette di calcolare effettivamente l'insertion loss della barriera.

### **3.4 Calcolo di SEL.**

Come abbiamo già detto, il traffico ferroviario è visto come insieme di singoli eventi sonori. Come tale esso viene connotato dalla rispettiva potenza sonora misurata dal SEL, ovvero il livello sonoro del singolo evento. La definizione di SEL è il livello di potenza sonora che, se emesso in un secondo offre lo stesso grado di disturbo offerto dall'evento reale. Così, se il livello equivalente riguarda una sorta di "livello di

energia medio" spalmato nell'intero intervallo di tempo in cui l'evento si manifesta, il SEL concentra tutta l'energia nell'arco di un solo secondo.



Nel nostro caso il valore di SEL ha significato nell'ottica di offrire in un solo dato una chiara connotazione del livello energetico posseduto dall'evento sonoro. Nel caso di treni veloci il loro passaggio può dare origine ad alti livelli massimi ma ad un rapido esaurimento del fenomeno, il che porta ad un livello energetico totale abbastanza basso; a contrario, nei treni lenti ma lunghi, il fenomeno dà picchi più bassi ma l'evento perdura nel tempo e porta ad un valore di SEL più alto (perché il contenuto energetico riguarda un periodo più lungo di emissione).

Risulta chiaro come il tempo sia una variabile essenziale per permetterci di definire l'evento sonoro e, seguendo quanto descritto nella norma UNI 1996, l'intervallo riguarda il periodo di tempo che occorre affinché il livello superi la soglia di  $L_{eqmax} - 10\text{dB}$  e, dopo il picco centrale torni al di sotto di tale livello. Nel nostro caso non abbiamo a disposizione i livelli sonori secondo per secondo, ma spezzettati in pacchetti di 5s l'uno. L'intervallo di tempo ideale per individuare l'evento sonoro è stato perciò individuato nei 20s centrali di ogni passaggio per un totale di 4 valori per ciascun tipo di treno. Tale periodo è sufficiente affinché si verifichi la condizione prima descritta, ma siamo consci della mancanza di dettaglio di una simile scelta. Il risultato sarebbe stato sicuramente più accurato se avessimo i livelli sonori registrati ogni secondo, il che ci permetterebbe di poter meglio apprezzare l'effettiva durata del fenomeno. In mancanza di tali dati ci accontentiamo di quanto è già in nostro possesso.

Appurato che il periodo di ogni singolo evento sonoro di passaggio del treno corrisponde a 20s vediamo di convertire i livelli equivalenti ponderati già in nostro possesso in valori di SEL.

Anzitutto sappiamo che il livello equivalente in un certo intervallo misurato a partire dai livelli equivalenti misurati nei sottointervalli del periodo stesso deriva dalla formula:

$$L_{AT}(DW) = 10 \lg \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{A,i}} \right\} \text{ dB}$$

Dove  $n$  corrisponde al numero di LA in nostro possesso, ovvero al numero di sotto-intervalli che abbiamo considerato. La formula vale solo qualora i sotto-intervalli considerati sono tutti della stessa durata, per cui l'intervallo complessivo dura  $n \cdot (\text{durata del singolo sotto-intervallo})$ . Noto questo siamo in grado di ottenere il livello equivalente dell'intero periodo.

Ora, il livello equivalente è protratto in un intervallo di tempo  $t$ , mentre il SEL corrisponde ad un contenuto energetico concentrato in un solo secondo. Le due formule differiscono solo per una piccola parte della formula:

$$L_{TT}(DW) = 10 \lg \left\{ \left[ (1/T) \int_0^T p_f^2(t) dt \right] / p_0^2 \right\} \text{dB}$$

$$SEL = L_{AE} = 10 \lg \left[ \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \text{dB(A)}$$

Per poter ricavare SEL a partire da LeqA basta sostituire il rapporto fra il quadrato delle pressioni all'interno della formula di SEL. Fatto ciò si avrà un'equazione che lega le due grandezze e, attraverso semplici passaggi matematici si ottiene:

$$SEL = L_{eq} + 10 \lg T$$

Il T che compare nella formula è il periodo nel quale Leq è stato calcolato.

Nel nostro caso specifico Leq è frutto dei livelli di pressione registrati in 4 sotto-intervalli di 5s ciascuno ed è possibile sostituire Leq con la formula che abbiamo visto prima, ottenendo:

$$SEL = 10 \lg \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{Ai}} \right\} + 10 \lg 5n$$

Dove abbiamo modificato anche T in 5n dato che nel nostro caso il periodo di misura è multiplo di 5s.

Attraverso le proprietà dei logaritmi si ottiene la formula finale per la conversione in SEL dei livelli acustici equivalenti:

$$SEL = 10 \lg \left\{ 5 \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{Ai}} \right\}$$

In questa formula possiamo inserire i 4 valori di LeqA che ci interessano e ricavare i valori di SEL per ciascun tipo di treno.

### **3.5 Presentazione e discussione dei dati raccolti suddivisi in base alle tipologie di treno.**

Presentiamo di seguito i risultati dei rilievi e dei successivi calcoli svolti per ciascuna categoria di treno fra quelle indicate in precedenza, nell'ordine:

- Frecciabianca
- Frecciargento
- Italo AV
- Eurocity
- Intercity
- Regionale
- Regionale Veloce
- Merci

I dati raccolti dai fonometri sono stati sistemati sulla base delle logiche esposte in precedenza e si sono ottenute, alla fine, dei valori medi di LeqA all'interno di un minuto per ciascun sito di misura. Tali medie sono state ottenute copiando semplicemente i valori di MEDIA TOTALE cui avevamo già accennato, oppure, nel caso del SITO 1 e del SITO 2 sono stati mediati nel corso dei due giorni di misura. Al fianco di tali medie è stata calcolata l'affidabilità delle misure sulla base dello scarto quadratico medio.

Di ciascuna tipologia di treno mostriamo l'andamento del livello equivalente ponderato nel minuto, per tutti e 4 i siti.

Infine si sono convertiti i livelli calcolati nel SITO 1, 3 e 4 in modo da riportarli ai livelli che si sarebbero registrati se lo strumento fosse stato posto alla stessa distanza dalla sorgente che si ha nel caso del SITO 2. Ora che i dati sono omogenei si è potuto calcolare una nuova media pesata fra i rilievi nel SITO 1 e 3 (quindi si associa un peso maggiore ai valori del sito in base al numero di passaggi registrati) e confrontare questo valore finale con i dati rilevati nel SITO 2. Inoltre, questo nuovo valor medio che rappresenta al meglio l'emissione media per ciascun tipo di treno in campo libero può essere confrontato con i valori convertiti del SITO 4 in modo da metter in luce eventuali differenze che insorgono per la presenza del ponte, per via dei rallentamenti o per la differente lunghezza dei veicoli.

Il tutto viene illustrato in grafici che hanno il pregio di mettere subito in luce eventuali tendenze o anomalie. Puntualizziamo che le conversioni hanno senso solo con riferimento ai livelli riferiti al passaggio del treno, per cui la conversione viene effettuata solo per i dati centrali di ciascun minuto, mentre nulla viene toccato nei valori iniziali e finali dell'evento, dove è preponderante il solo rumore di fondo.

### 3.5.1 Freccia Bianca.



I treni Freccia Bianca costituiscono una categoria che si pone fra i treni Intercity e i treni d'alta velocità in termini di velocità e di servizio.

La loro composizione tipo è costituita da una coppia di locomotori tipo E414 posti alle due estremità del convoglio (in alcuni casi può trattarsi di locomotori E402), che comprendono al loro interno 10 carrozze di tipo UIC-Z1. In questo senso la lunghezza complessiva di un convoglio tipo è nell'ordine dei 300 m (i locomotori E414 occupa 20.25m, mentre ciascuna carrozza UIC è lunga 26.4m).

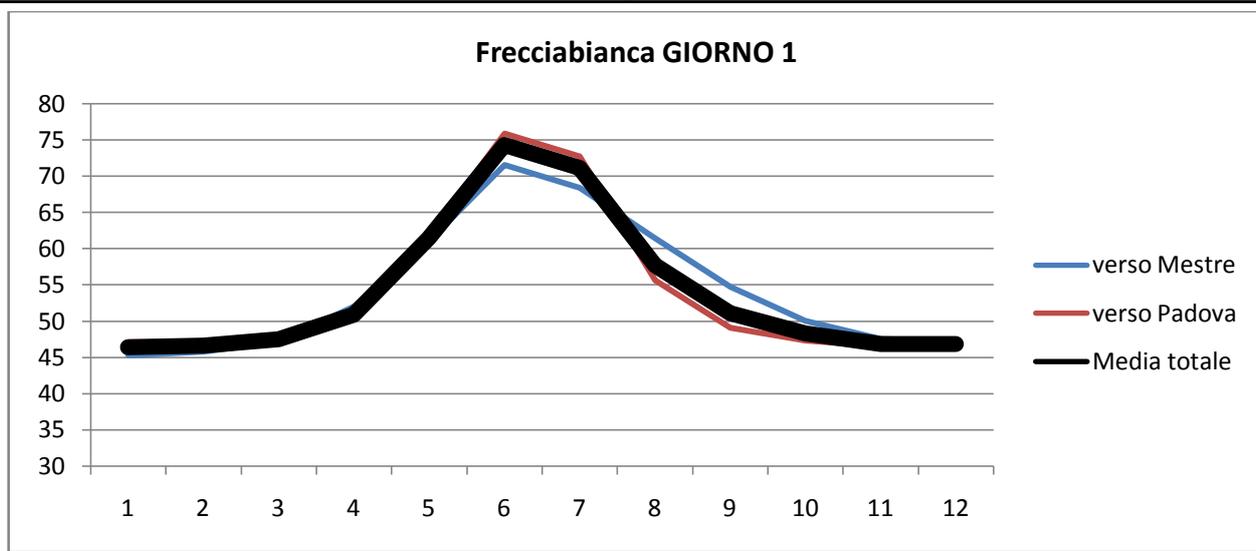
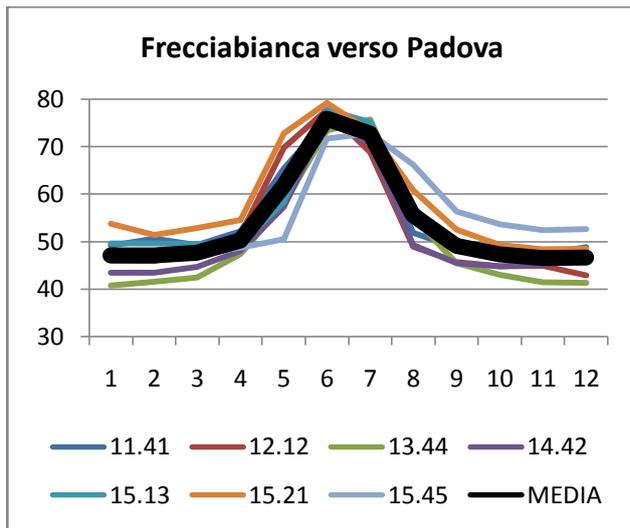
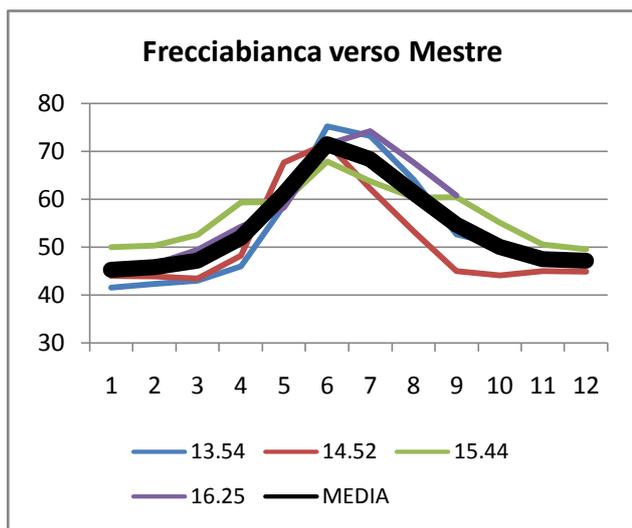
Le velocità massima è nell'ordine dei 200km/h, ma, ovviamente, deve adattarsi al tracciato che si sta percorrendo.

Secondo i fascicoli di linea tali velocità sono nell'ordine dei 140km/h massimi nel SITO 1 e dei 180km/h massimi nel SITO 3.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l'andamento dei livelli sonori equivalenti all'interno del singolo evento sonoro nei tre siti interessati (nel sito 4 non si registrano passaggi di questa categoria di treno). Il numero dei passaggi registrati è stato:

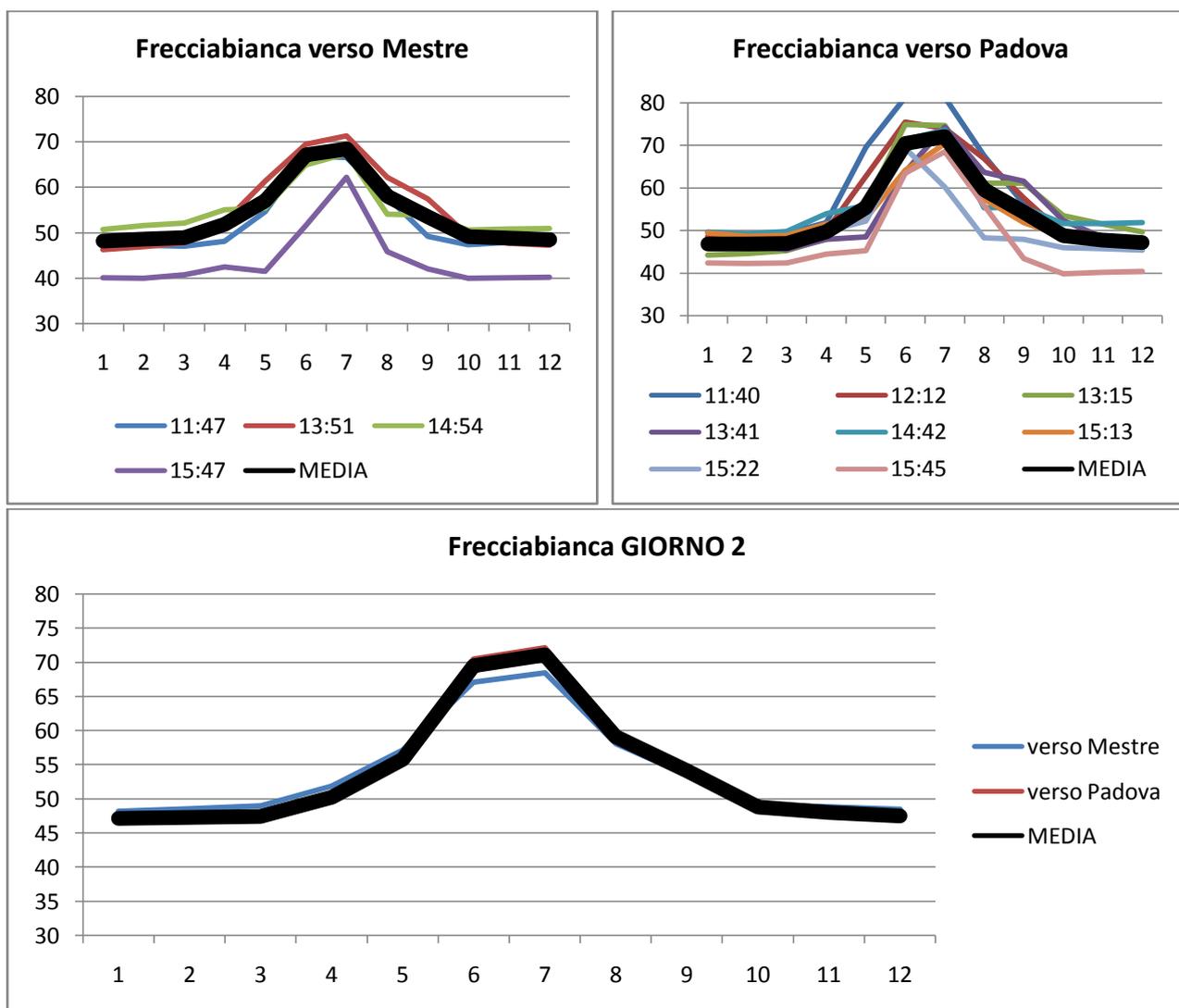
<b>FRECCIABIANCA</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	11	12
<b>SITO 2</b>	11	12
<b>SITO 3</b>		2
<b>SITO 4</b>		0

**SITO 1 – GIORNO 1**



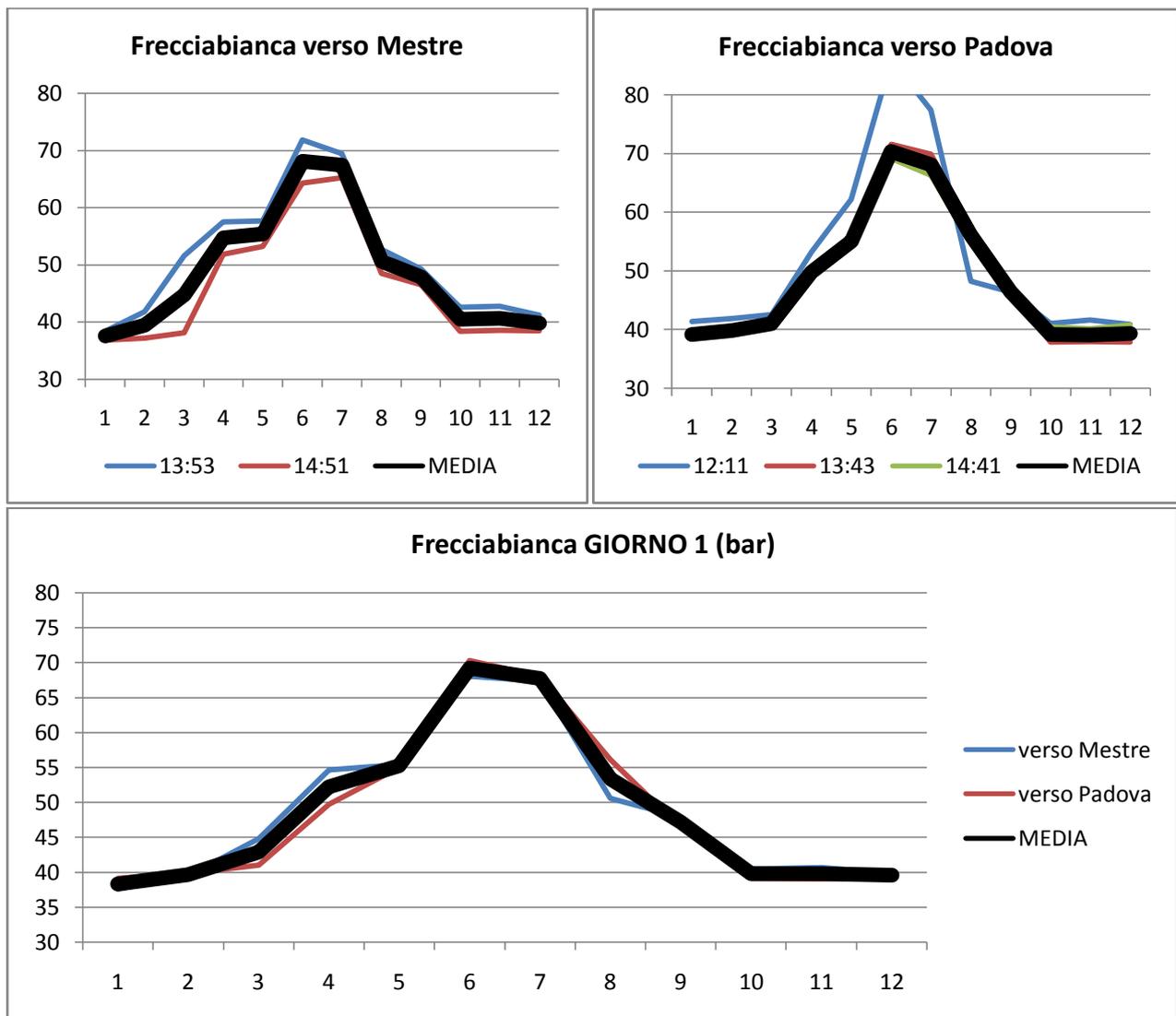
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
45.250	3.522	47.086	4.286	46.418	3.950
45.775	3.497	47.129	3.722	46.636	3.528
47.125	4.666	47.700	3.405	47.491	3.684
51.975	6.036	50.243	2.593	50.873	3.966
61.025	4.482	61.771	7.873	61.500	6.585
71.550	2.983	75.900	2.648	74.318	3.420
68.375	6.193	72.714	2.446	71.136	4.459
61.425	6.144	55.643	6.308	57.745	6.611
54.750	7.504	49.071	4.133	51.136	5.946
50.000	5.524	47.343	3.620	48.309	4.143
47.533	2.838	46.529	3.391	46.894	3.113
47.133	2.359	46.686	3.782	46.848	3.289

**SITO 1 – GIORNO 2**



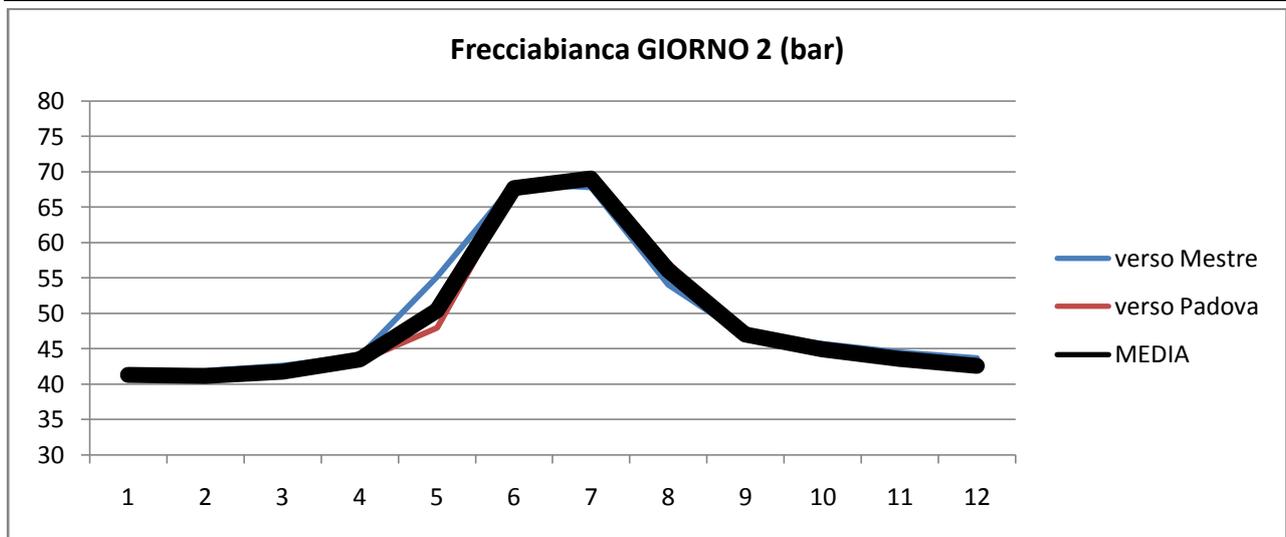
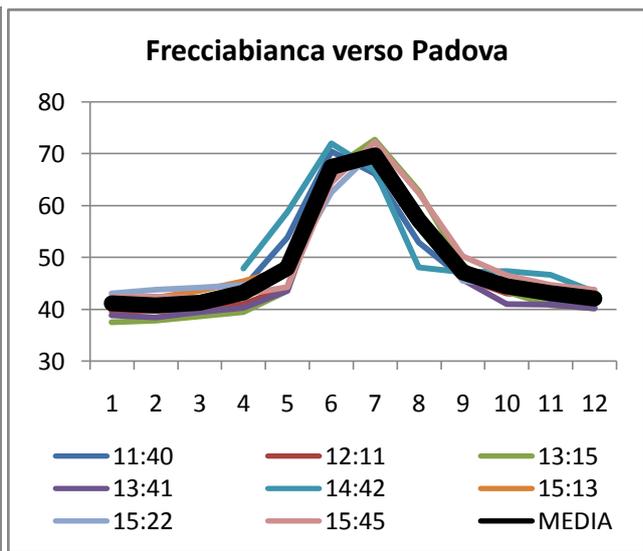
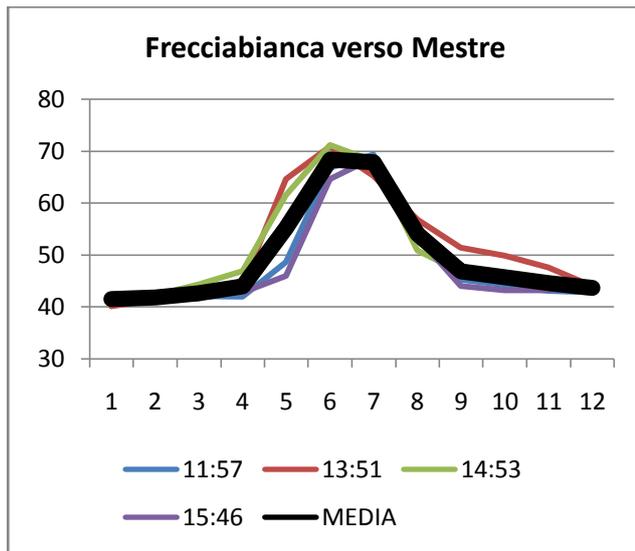
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
48.190	4.446	46.791	2.517	47.172	3.085
48.580	4.778	46.817	2.377	47.298	3.139
48.968	4.675	46.909	2.492	47.470	3.148
51.857	5.513	49.651	2.904	50.253	3.696
57.140	8.345	55.385	7.753	55.864	7.639
67.140	8.003	70.470	6.507	69.562	7.552
68.480	3.740	72.120	6.057	71.127	5.804
58.093	6.958	59.524	6.545	59.134	6.734
53.543	6.695	54.395	6.357	54.163	6.428
49.138	4.762	48.759	4.334	48.863	4.361
48.813	4.579	47.775	3.650	48.058	3.809
48.508	4.485	47.184	3.343	47.545	3.569

**SITO 2 – GIORNO 1**



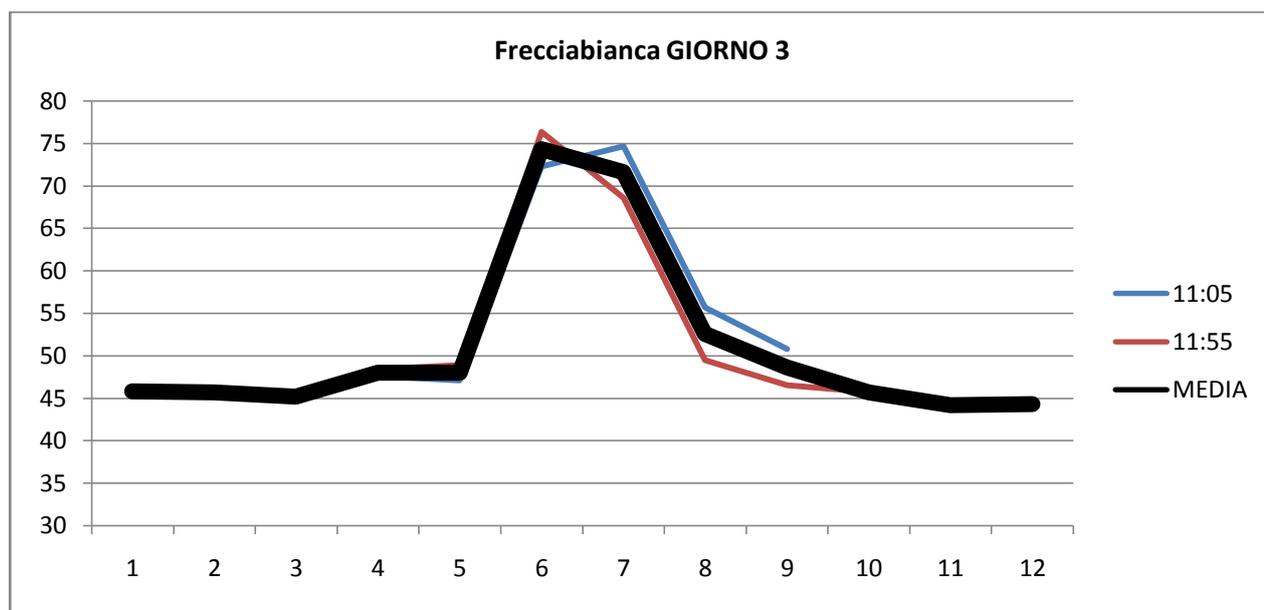
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
37.575	1.082	39.105	1.448	38.340	1.709
39.465	3.246	39.825	1.177	39.645	1.910
44.820	9.546	40.995	0.919	42.908	5.145
54.700	3.960	49.750	2.128	52.225	3.243
55.450	3.182	55.000	4.200	55.225	3.534
68.100	5.346	70.320	9.086	69.210	8.059
67.380	2.970	68.040	5.696	67.710	4.766
50.600	2.970	56.100	4.771	53.350	4.006
47.900	1.980	46.450	0.058	47.175	1.276
40.455	2.991	39.150	1.667	39.803	1.940
40.635	2.991	39.060	1.812	39.848	2.010
39.825	1.973	39.330	1.689	39.578	1.549

**SITO 2 – GIORNO 2**



verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
media	deviazione standard	media	deviazione standard	media	deviazione standard
41.475	0.978	41.163	2.247	41.267	1.870
41.825	0.427	40.729	2.185	41.127	1.796
42.575	1.187	41.243	2.100	41.727	1.876
43.975	2.152	43.213	2.879	43.467	2.584
55.225	9.241	47.963	5.590	50.383	7.481
68.375	3.219	67.413	3.031	67.733	2.983
67.875	1.797	69.675	2.377	69.075	2.294
54.050	2.496	57.150	4.857	56.117	4.364
46.850	3.227	47.050	1.599	46.983	2.116
45.700	2.941	44.463	2.070	44.875	2.336
44.525	2.109	43.050	2.016	43.542	2.080
43.675	0.597	42.013	1.517	42.567	1.494

### SITO 3



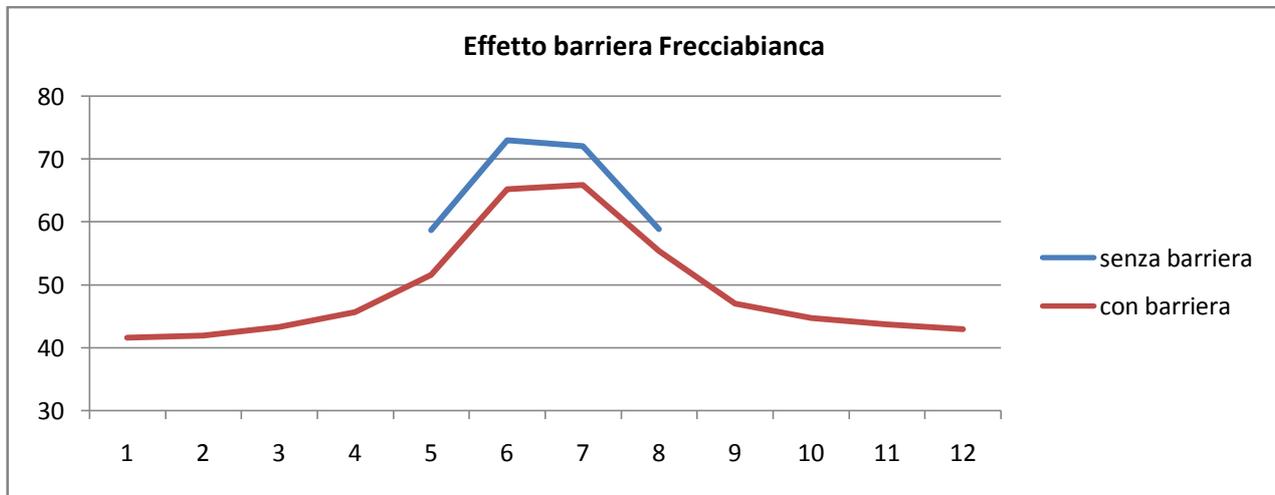
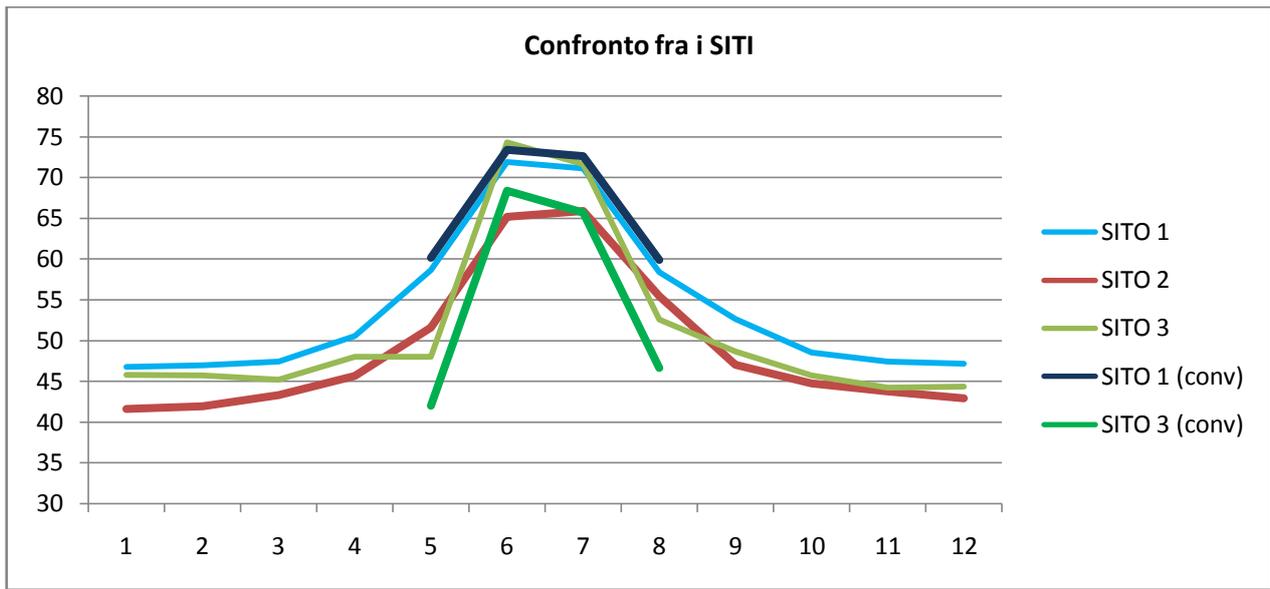
verso Bologna		verso Padova		TOTALE	
media	deviazione standard	media	deviazione standard	media	deviazione standard
**	**	45.800	*	45.800	*
**	**	45.700	*	45.700	*
**	**	45.200	*	45.200	*
**	**	48.000	0.566	48.000	0.566
**	**	48.000	1.273	48.000	1.273
**	**	74.350	2.899	74.350	2.899
**	**	71.650	4.313	71.650	4.313
**	**	52.600	4.384	52.600	4.384
**	**	48.650	3.041	48.650	3.041
**	**	45.700	*	45.700	*
**	**	44.200	*	44.200	*
**	**	44.300	*	44.300	*

\*: avendo avuto la necessità di eliminare alcuni dei dati rilevati, perché ritenuti frutto di anomalie, ci siamo ritrovati con un solo dato valido. Per questo motivo, non essendo possibile definire alcuno scarto e quindi alcuna deviazione standard, non abbiamo potuto riempire tutte le caselle.

\*\* : non avendo passaggi di Frecciabianca diretti verso Bologna, non abbiamo dati da inserire.

\*\*\*: i dati convertiti non avrebbero alcun significato. Si ricorderà in proposito che una delle ipotesi di base per il processo di conversione che avevamo presentato consisteva nel supporre che la sorgente fosse sempre la stessa. Fra i dati "centrali" della colonna e gli altri cambia invece tale sorgente, in quanto essa corrisponde al treno per i dati centrali, mentre è il rumore di fondo per i dati restanti.

**DATI RIASSUNTIVI**



SITO 1			SITO 3			S 1 -3		SITO 2		INSERTION LOSS
dev	conv al	sito 2	dev	Conv al	sito 2	media	media	standard		
46.795	3.443	***	45.800	*	***	***	41.600	2.078	***	
46.967	3.254	***	45.700	*	***	***	41.907	1.836	***	
47.481	3.349	***	45.200	*	***	***	43.313	3.113	***	
50.563	3.795	***	48.000	0.566	***	***	45.656	4.990	***	
58.682	7.813	<b>60.171</b>	48.000	1.273	<b>42.043</b>	<b>58.660</b>	51.594	7.084	<b>7.066</b>	
71.940	6.636	<b>73.429</b>	74.350	2.899	<b>68.393</b>	<b>73.009</b>	65.219	5.242	<b>7.791</b>	
71.132	5.102	<b>72.621</b>	71.650	4.313	<b>65.693</b>	<b>72.044</b>	65.913	3.061	<b>6.131</b>	
58.440	6.524	<b>59.929</b>	52.600	4.384	<b>46.643</b>	<b>58.821</b>	55.425	4.504	<b>3.396</b>	
52.650	6.147	***	48.650	3.041	***	***	47.031	1.867	***	
48.586	4.686	***	45.700	*	***	***	44.713	3.135	***	
47.476	4.339	***	44.200	*	***	***	43.725	2.541	***	
47.197	4.329	***	44.300	*	***	***	42.919	1.945	***	

	SITO 1	SITO 1 (conv)	SITO 2	SITO 3	SITO 3 (conv)	SITO 1-3 (conv)
SEL	81.767	83.256	75.866	83.232	77.275	82.730

### **DISCUSSIONE SUI DATI RACCOLTI**

La presente discussione riguarda solo un giudizio riguardo alla qualità dei dati raccolti ed un confronto sui diversi siti di misura. Rimandiamo a più avanti una discussione riguardo il confronto fra le diverse categorie di treno.

Per quanto riguarda la dispersione dei dati possiamo notare come questa possa essere assai diversa a seconda dell'istante a cui ci riferiamo. I dati "centrali" sono ovviamente affetti da un errore maggiore, in quanto i singoli passaggi mantengono una loro identità. I dati registrati all'inizio e alla fine dell'evento hanno una deviazione minore, dovuta al fatto che si riferiscono al rumore di fondo che mantiene una certa omogeneità nel tempo.

Il numero di rilievi svolti può considerarsi sufficiente per il SITO 1 in entrambi i giorni, mentre, specie nel secondo giorno nel SITO 2, avendo avuto problemi con lo strumento abbiamo dovuto eliminare diversi rilievi. Di quelli conservati la dispersione è grande e abbiamo dovuto escludere alcuni passaggi per via dell'estrema differenza con l'andamento che possiamo considerare medio. Per il SITO 3 abbiamo rilevato solo 2 treni, il che rende dubbia la loro valenza statistica. Ad ogni modo abbiamo ritenuto ugualmente interessante utilizzarli assieme ai dati rilevati nel SITO 1 per ottenere un valore ben definito di emissione dei Frecciabianca.

Analizzando i DATI RIASSUNTIVI ci accorgiamo di come il rumore di fondo si attesti su valori simili nei siti 1 e 3, mentre sia inferiore di circa 5dB nel SITO 2. Ciò è da imputare alla macchia di vegetazione che circondava il sito del rilievo e che ha contribuito a schermare il rumore di fondo contribuendo a registrare un clima acustico più silenzioso.

Convertendo i diversi dati nel SITO 1 e nel SITO 3 ci siamo accorti di come i valori convertiti differiscano di molto (circa 5dB). Il fenomeno è a nostro avviso da imputare allo scarso numero di rilievi svolti nel SITO 3. I dati originali, inoltre, sono simili a quelli raccolti nel SITO 1, ma la cosa è strana per via del fatto che ci troviamo quasi 10m più vicini alla sorgente e che i siti prevedono velocità simili (se non più veloci nel caso del SITO 3). I dati del SITO 3, comunque, sono troppo pochi per influenzare pesantemente i dati denominati SITO 1-3 che raccoglie i livelli convertiti registrati nei due siti (come se si trattasse di un'unica misura), avendo usato la media pesata per ottenere i dati nella colonna SITO 1-3 media. La differenza nelle emissioni fra i due siti si può valutare anche nella lettura dei SEL, che dimostra come i dati raccolti nel SITO 3 posseggano un contenuto energetico più basso. Una possibile spiegazione potrebbe consistere nell'ammettere che lungo la linea Padova-Bologna i Frecciabianca siano chiamati ad una velocità più contenuta.

Riguardo i dati di insertion loss registrati sono nell'ordine dei 7dB, il che sembra decisamente riduttivo, specie considerando che il SITO 2 aveva un'ulteriore attenuazione data dalla vegetazione. Riteniamo che la colpa possa imputarsi alla grande varietà dei dati, sia nel SITO 1 che nel SITO 2. Nonostante si sia proceduto con i valori medi, basta uno sguardo ai grafici per capire quanto in realtà i singoli eventi differiscano fra loro e dal valore medio stesso. Probabilmente si dovrebbe associare un maggior peso ai livelli maggiori della media e considerare gli altri degli errori di misurazione.

Infine, riguardo il tempo in cui il fenomeno si manifesta, può notare come l'evento sonoro duri all'incirca 20s, con andamento simile fra SITO 1 e 2 (si veda nel grafico di confronto il parallelismo dei grafici). Nel SITO 3 l'evento è più breve (10s) dovuto probabilmente alla presenza di vegetazione ai lati della sezione di misura, che attenua il rumore all'arrivo e alla ripartenza del treno.

### 3.5.2 Frecciargento.



Il servizio Frecciargento offerto da Trenitalia nasce con lo scopo di affiancare ai Frecciarossa, esplicitamente pensati per i servizi di alta velocità, una tipologia di treno più “versatile” in grado di essere instradata sia su percorsi AV che su tracciati più tortuosi. I Frecciargento hanno quindi il pregio di offrire relativamente brevi tempi di percorrenza abbinati ad un confort elevato nelle carrozze messe a disposizione.

A causa della progettazione di un treno rapido, è in servizio solo su alcune tratte, quelle che collegano i centri più importanti del nostro Paese.

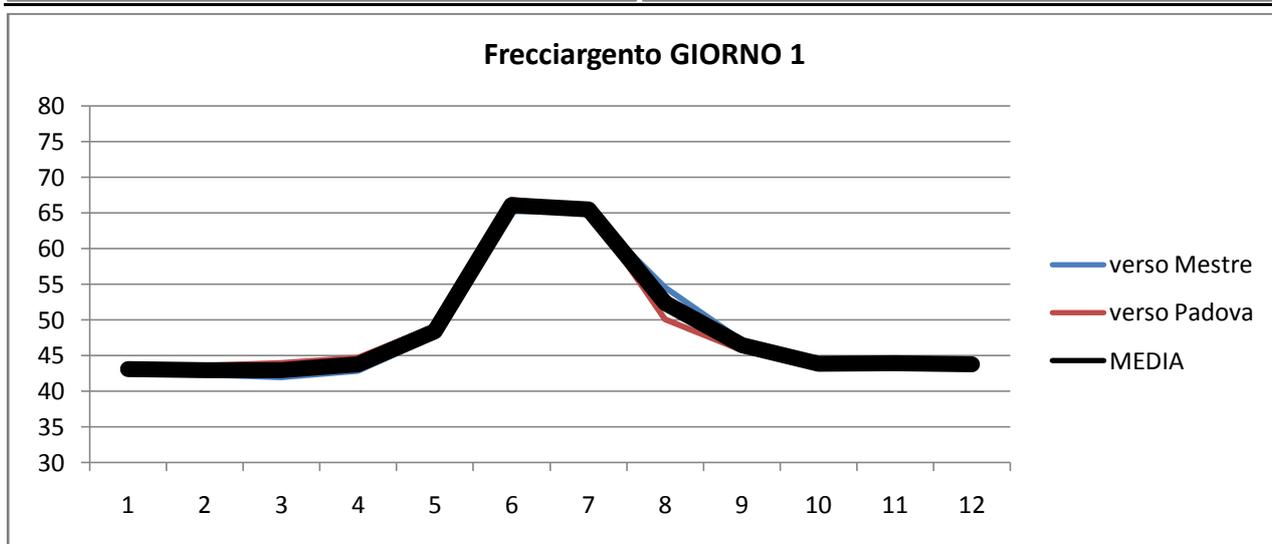
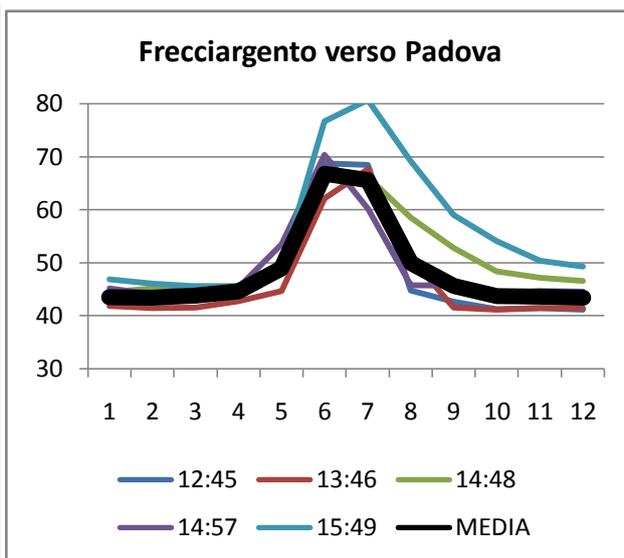
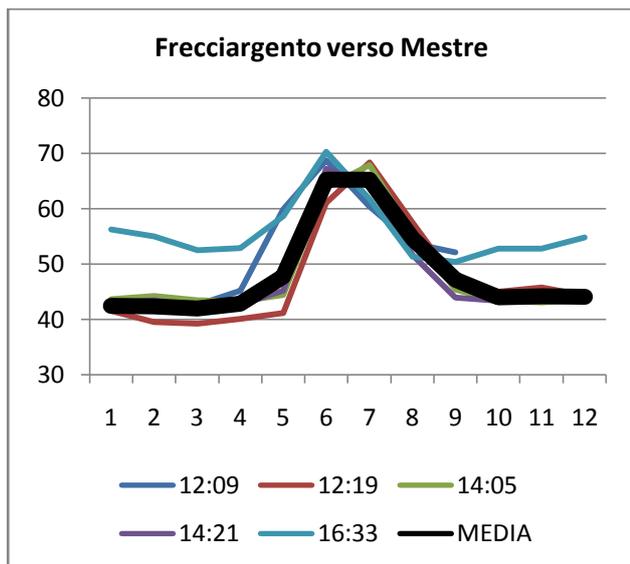
I treni che effettuano il servizio sono a composizione fissa, secondo la composizione ETR 485 o secondo la E 600. Nel primo caso si tratta di veicoli composti da 8 vetture più una carrozza ristorante. Considerando le carrozze come UIC-Z da 26m l’una si parla di una lunghezza complessiva di 250m circa. La composizione ETR 600 (la più diffusa nei nostri rilevamenti) si tratta di treni composti da 7 carrozze per una lunghezza complessiva di circa 200m.

Nonostante si tratti di veicoli esplicitamente pensati per l’alta velocità, la velocità massima raggiungibile è nell’ordine dei 250km/h. Nelle tratte da noi rilevate, però, la velocità massima è limitata dalla velocità prescritta dai fascicoli di linea, che la limitano ai 140 km/h nel SITO 1 e ai 180km/h nel SITO 3.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l’andamento dei livelli sonori equivalenti all’interno del singolo evento sonoro nei tre siti interessati (nel sito 4 non si registrano passaggi di questa categoria di treno). Il numero dei passaggi registrati è stato:

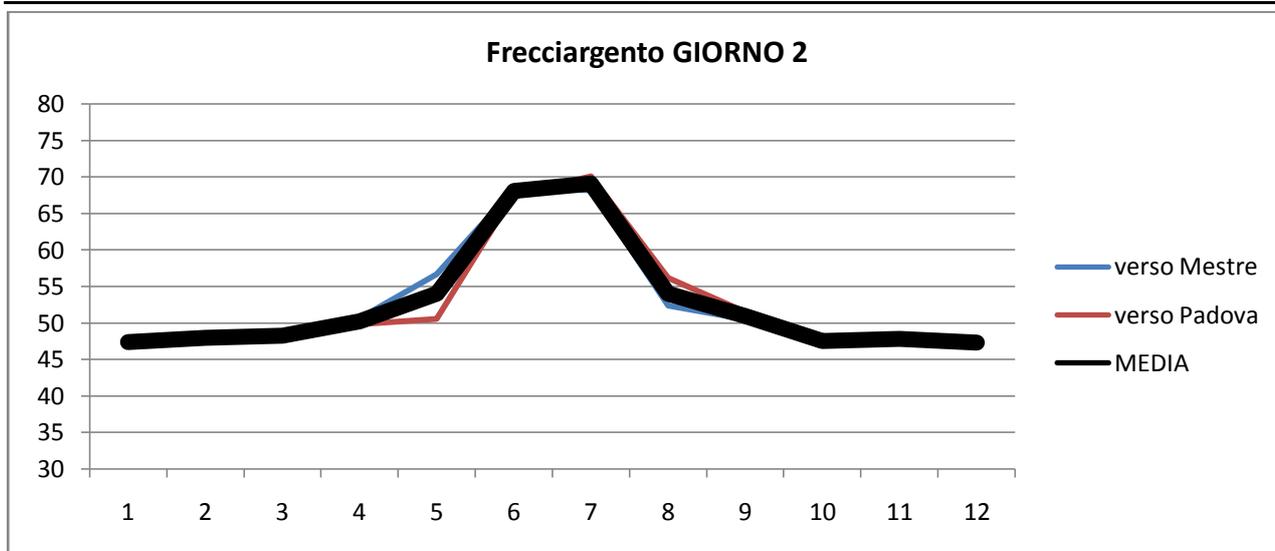
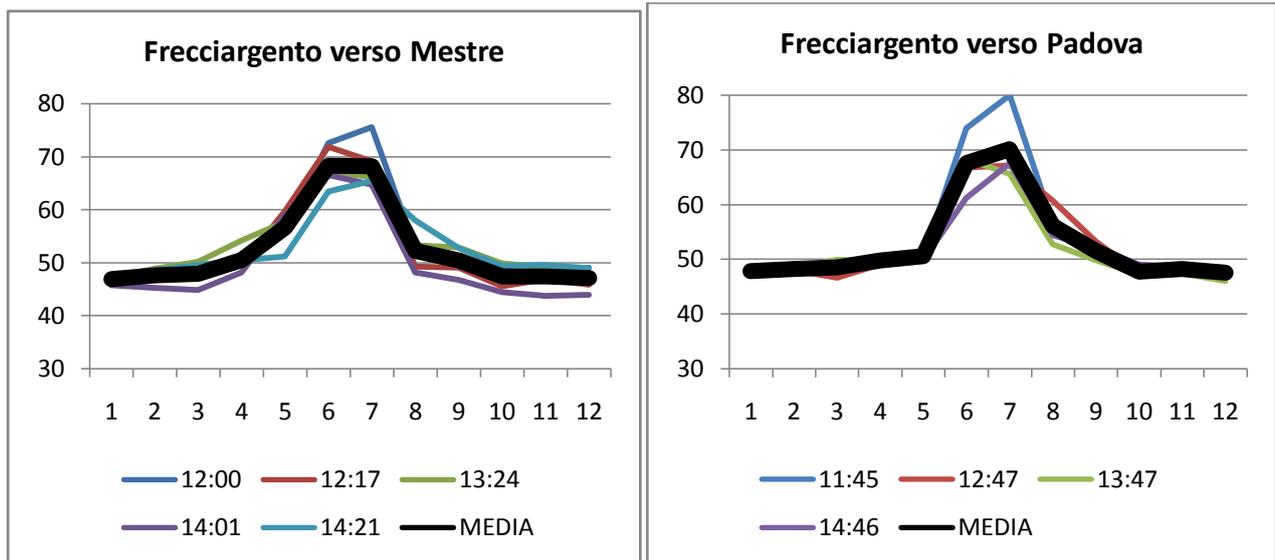
<b>FRECCIARGENTO</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
SITO 1	11	9
SITO 2	11	9
SITO 3		7
SITO 4		0

**SITO 1 – GIORNO 1**



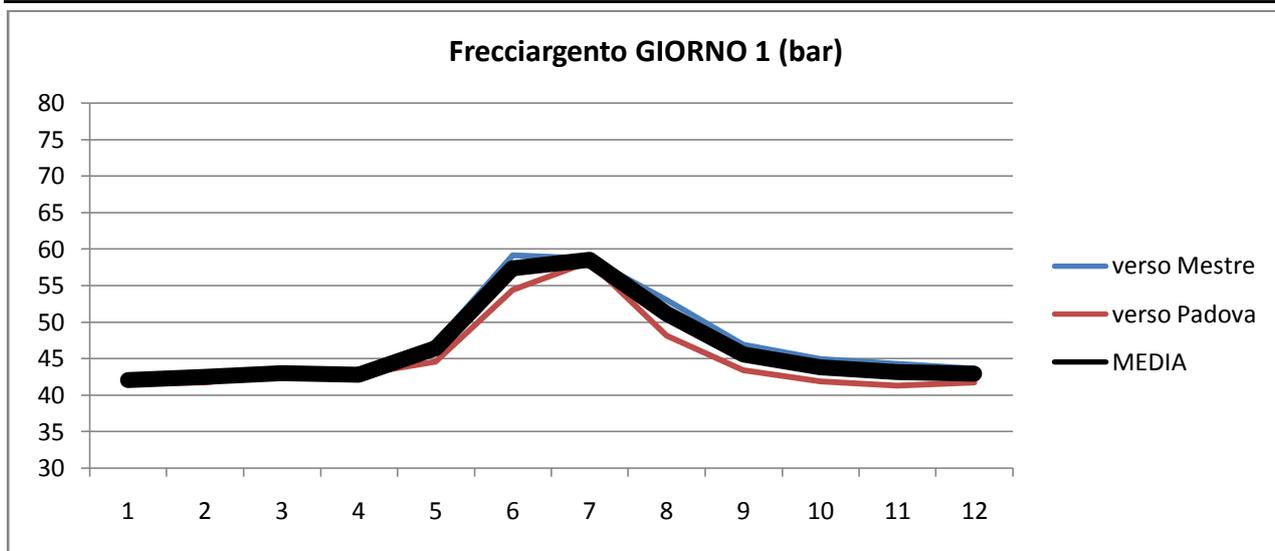
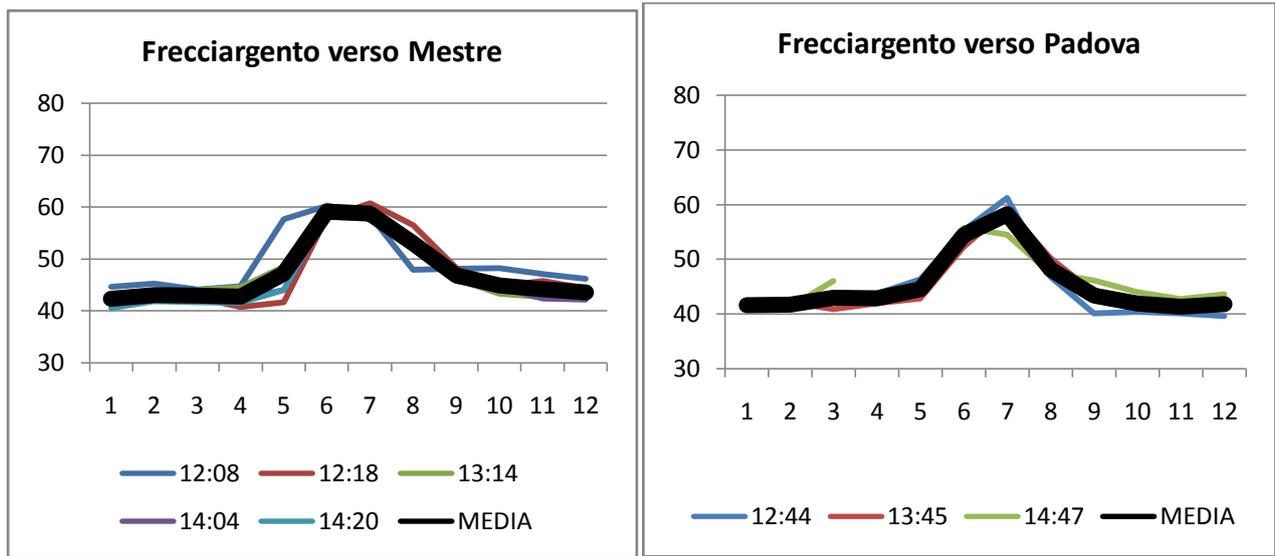
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
42.475	6.244	43.625	1.958	43.050	4.392
42.375	5.922	43.525	1.774	42.950	4.146
41.975	4.970	43.900	1.874	42.938	3.542
42.875	4.839	44.700	1.188	43.788	3.322
47.700	8.768	49.000	3.211	48.350	6.241
65.250	3.737	66.875	5.381	66.063	4.574
65.225	3.563	65.675	7.447	65.450	5.924
54.575	2.586	50.025	10.168	52.300	6.995
47.125	3.454	45.700	7.378	46.413	5.440
43.967	4.489	43.775	5.468	43.857	4.747
44.233	4.433	43.725	3.827	43.943	3.895
44.067	5.377	43.475	3.437	43.729	4.241

**SITO 1 – GIORNO 2**



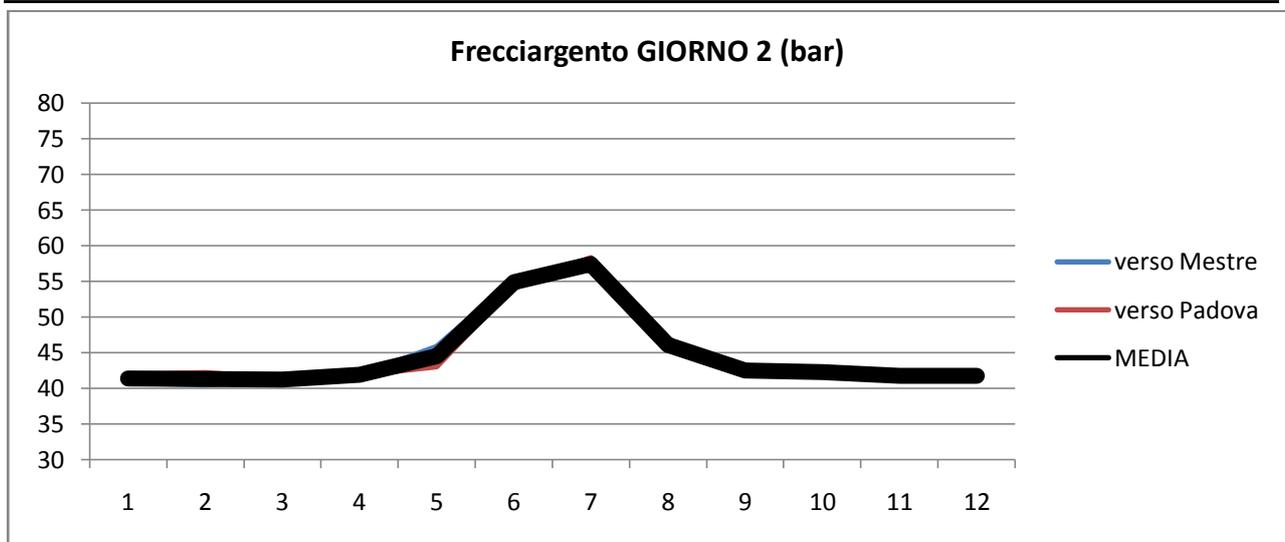
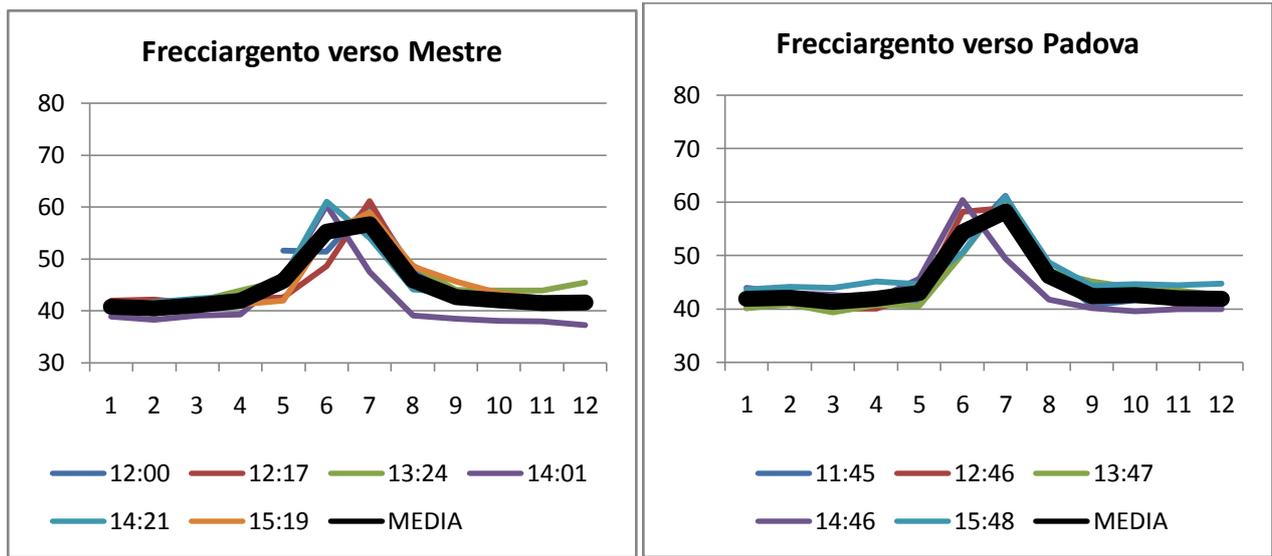
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
46.961	0.806	47.880	0.309	47.421	0.954
47.670	1.669	48.300	0.636	47.985	1.180
48.011	2.424	48.536	1.451	48.274	1.880
50.628	2.583	49.858	0.668	50.243	2.323
56.716	3.417	50.600	0.589	53.998	4.756
68.376	3.820	67.620	5.280	68.040	4.040
68.256	4.421	70.110	6.672	69.080	3.262
52.338	3.900	56.155	3.428	54.034	3.955
50.490	2.640	51.563	1.435	50.967	2.646
47.439	2.358	47.749	0.929	47.577	1.969
47.481	2.333	48.274	0.571	47.833	1.761
47.124	2.160	47.591	1.044	47.332	1.768

**SITO 2 – GIORNO 1**



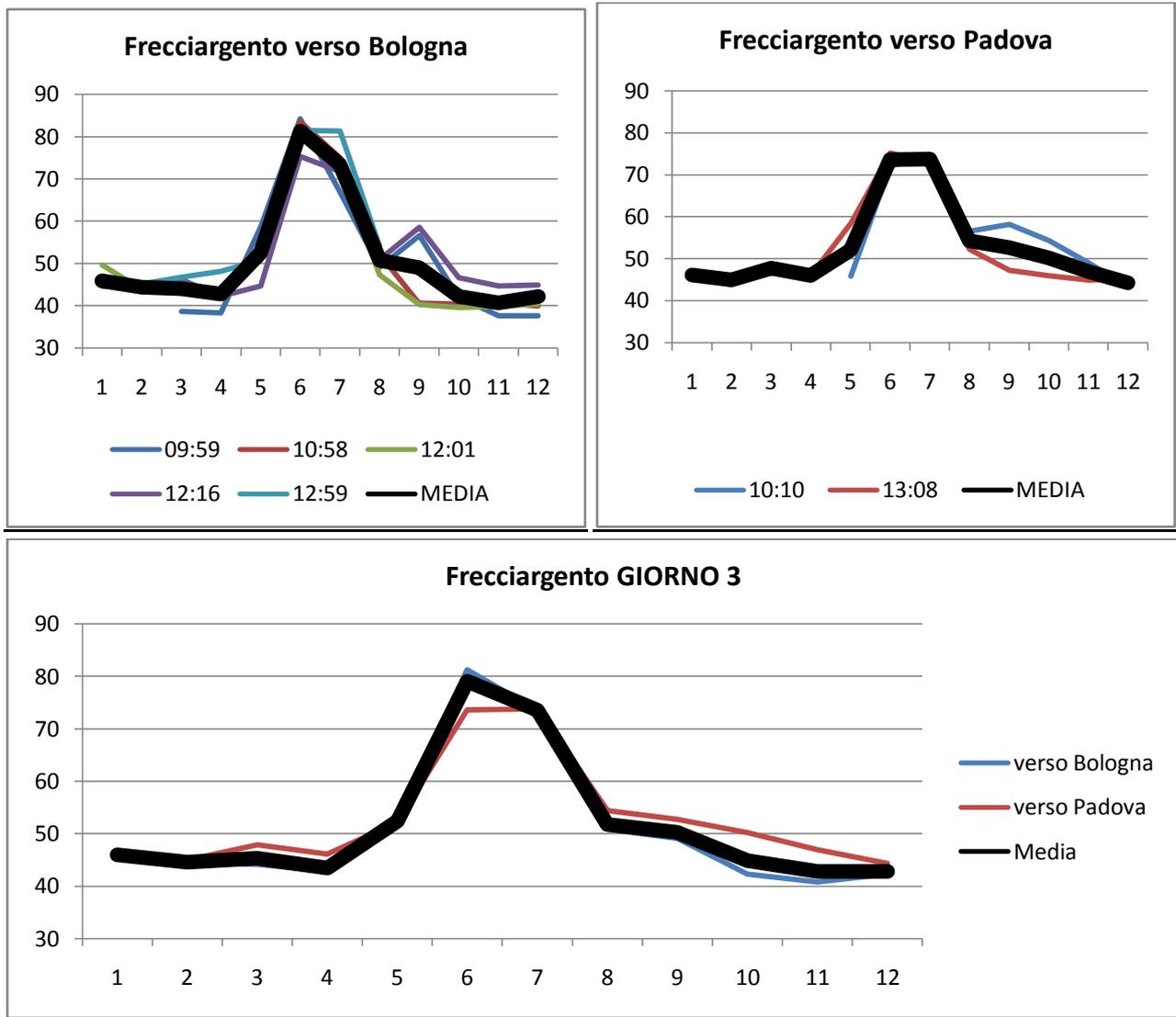
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
42.375	1.756	41.600	0.100	42.043	1.310
43.100	1.519	41.733	0.451	42.514	1.325
42.960	1.069	42.967	2.759	42.963	1.682
42.740	1.791	42.850	1.202	42.771	1.543
47.140	6.358	44.550	2.475	46.400	5.437
59.140	1.128	54.467	1.893	57.388	2.757
58.720	1.130	58.300	3.439	58.563	2.039
53.020	3.133	48.133	1.815	51.188	3.598
46.900	1.153	43.400	3.081	45.588	2.599
44.940	1.909	41.867	1.890	43.788	2.373
44.240	2.059	41.300	1.375	43.138	2.297
43.600	1.612	41.767	2.021	42.913	1.885

**SITO 2 – GIORNO 2**



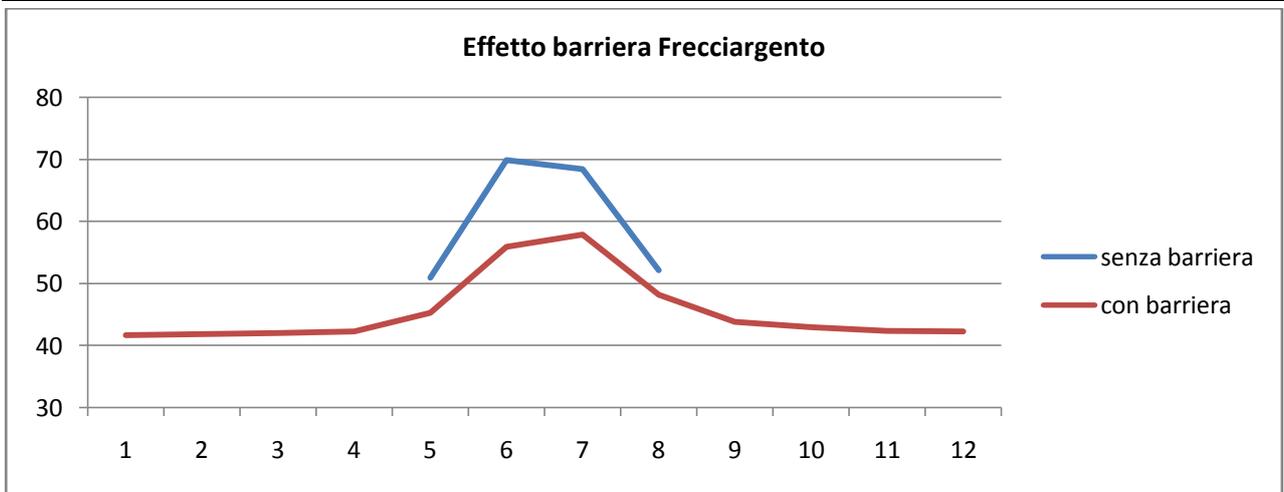
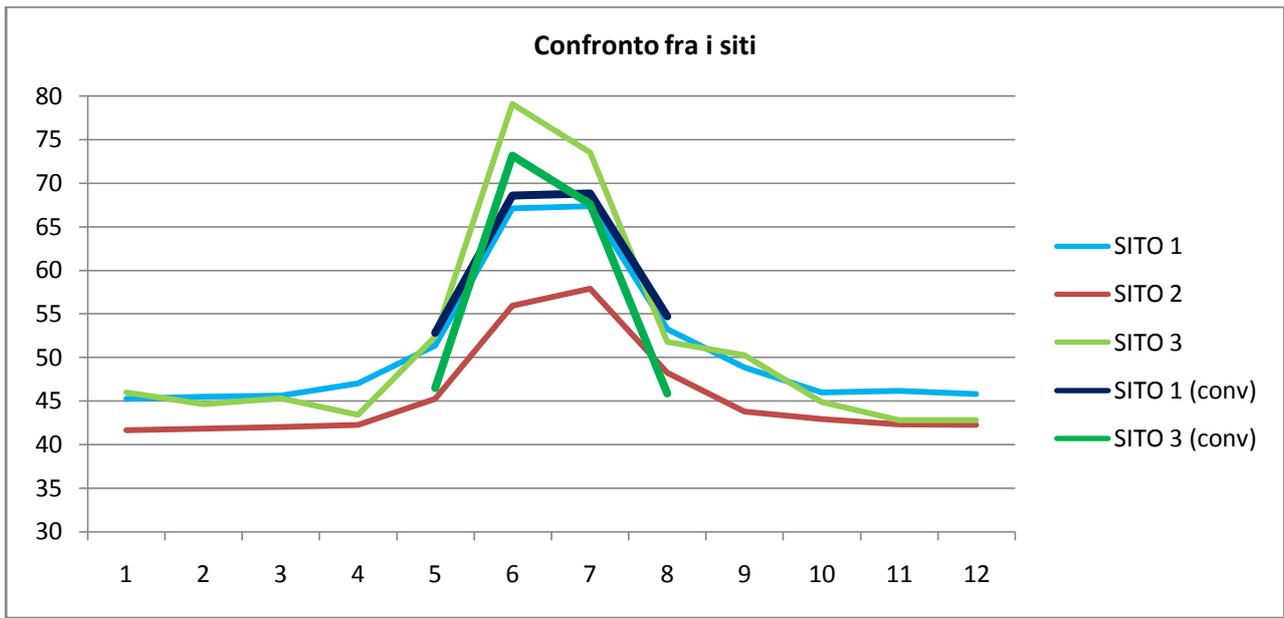
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
media	standard	media	standard	media	standard
40.860	1.222	41.900	1.849	41.380	1.576
40.540	1.630	42.140	1.410	41.340	1.666
41.200	1.263	41.320	1.943	41.260	1.546
41.920	1.738	41.880	1.974	41.900	1.754
45.817	3.437	43.020	2.130	44.545	3.139
55.267	4.851	54.420	4.608	54.882	4.523
56.683	5.150	58.300	5.006	57.418	4.899
45.933	3.763	46.240	2.651	46.073	3.149
42.650	2.439	42.380	2.268	42.527	2.248
42.033	2.105	42.580	2.017	42.282	1.981
41.550	1.986	42.040	1.890	41.773	1.862
41.667	2.625	41.920	1.904	41.782	2.217

**SITO 3**



verso Bologna		verso Padova		TOTALE	
media	standard	media	standard	media	standard
45.925	2.450	46.200	0.849	46.017	1.941
44.400	0.700	44.950	1.485	44.620	0.942
44.075	3.702	47.850	1.061	45.333	3.500
42.775	4.047	46.100	*	43.440	3.807
52.500	5.240	52.150	8.839	52.400	5.599
81.300	3.544	73.600	2.263	79.100	4.831
73.500	5.289	73.750	1.344	73.571	4.355
50.800	2.631	54.350	3.041	51.814	3.026
49.075	9.933	52.700	7.778	50.283	8.649
42.225	3.157	50.200	5.940	44.883	5.477
40.750	2.933	46.950	2.899	42.817	4.134
42.240	4.212	44.300	1.414	42.829	3.629

**DATI RIASSUNTIVI**



SITO 1			SITO 3			S 1-3	SITO 2		
dev	conv al		dev	conv al			dev	INSERTION	
media	standard	sito 2	media	standard	sito 2	media	media	standard	LOSS
45.235	3.506	***	46.017	1.941	***	***	<b>41.653</b>	1.468	***
45.468	3.597	***	44.620	0.942	***	***	<b>41.824</b>	1.604	***
45.606	3.537	***	45.333	3.500	***	***	<b>42.017</b>	1.786	***
47.015	3.832	***	43.440	3.807	***	***	<b>42.259</b>	1.679	***
51.340	5.667	<b>52.829</b>	52.400	5.599	<b>46.443</b>	<b>50.966</b>	<b>45.267</b>	4.135	<b>5.700</b>
67.109	4.299	<b>68.598</b>	79.100	4.831	<b>73.143</b>	<b>69.924</b>	<b>55.937</b>	3.992	<b>13.987</b>
67.372	5.600	<b>68.861</b>	73.571	4.355	<b>67.614</b>	<b>68.497</b>	<b>57.900</b>	3.910	<b>10.597</b>
53.218	5.622	<b>54.707</b>	51.814	3.026	<b>45.857</b>	<b>52.126</b>	<b>48.226</b>	4.156	<b>3.900</b>
48.824	4.363	***	50.283	8.649	***	***	<b>43.816</b>	2.800	***
45.949	3.570	***	44.883	5.477	***	***	<b>42.916</b>	2.226	***
46.131	3.135	***	42.817	4.134	***	***	<b>42.347</b>	2.111	***
45.755	3.255	***	42.829	3.629	***	***	<b>42.258</b>	2.107	***

	SITO 1	SITO 1 (conv)	SITO 2	SITO 3	SITO 3 (conv)	SITO 1-3 (conv)
SEL	77.382	78.871	67.439	87.175	81.218	79.342

### **DISCUSSIONE SUI DATI RACCOLTI**

I dati raccolti riguardo i Frecciargento risultano piuttosto omogenei. Lo scarto quadratico medio nei diversi siti di misura risulta relativamente basso, con alcune eccezioni, specie il primo giorno di misura nel SITO 1, dove si raggiunge anche il valore di 10. A tal riguardo è doveroso osservare come alcune rilevazioni sembrano molto diverse rispetto alla media, il che può risultare strano considerando che il treno che stiamo trattando è a composizione fissa. Non sappiamo a cosa possa essere dovuta una simile differenza, ad ogni modo, nel calcolo dei valori medi abbiamo scartato quei casi troppo distanti dall'andamento medio.

Riguardo ai primi due giorni di misura, possiamo notare come esistano delle sostanziali differenze fra i valori massimi rilevati sia nel SITO 1 che nel SITO 2. Le differenze sono nell'ordine di 3-4 dB, e, essendo presenti in entrambi i siti di misura, siamo portati a dire che si tratta di variazioni legate a situazioni concernenti le condizioni di propagazione diverse da giorno a giorno, forse imputabili alle condizioni di marcia dei treni (differente velocità, possiamo presumere), più che a condizioni legate alla temperatura o all'umidità esterne (che ci risultavano simili).

Nel SITO 3, il numero relativamente basso di dati a disposizione ci ha portati a notare delle differenze fra le due direzioni di marcia, anche nell'ordine di una decina di decibel. Tuttavia, stavolta, siamo più portati a imputare tale aspetto alla scarsa quantità di dati (che fa perdere il senso statistico dell'analisi) piuttosto che a situazioni concernenti la marcia dei veicoli.

Riguardo i dati finali, possiamo notare come la conversione dei dati alla distanza del SITO 2 ci fa notare una certa somiglianza fra i livelli del SITO 1 e del SITO 3, che è una condizione essenziale per dare senso all'unione dei dati fino ad ottenere quei livelli che abbiamo chiamato SITO 1-3. La somiglianza si può ravvisare anche nel calcolo di SEL, in cui i dati nei due siti raggiungono livelli simili. Una volta notato ciò assume ulteriore significato il confronto fra i valori del SITO 1-3 e del SITO 2. In questo caso possiamo ravvisare un valore di insertion loss ben più alto rispetto a quello registrato nel caso dei Frecciabianca e più vicino ai valori che potevamo aspettarci. Tale perdita si aggira sui 13 dB, ed è del tutto confrontabile con i valori che ci vengono descritti in letteratura (nell'ordine di 15 dB circa).

Riguardo alla durata dell'evento, esso si esaurisce nel giro di 20s circa, con andamenti simili sia nei siti 1 e 3, che nel SITO 2, indice del fatto che la disposizione delle barriere non è tale da provocare fenomeni di riverbero che allungherebbero i tempi dell'evento sonoro.

### **3.5.3 Italo AV**



Il treno AGV 575 rappresenta l'unica tipologia di treno in circolazione in Italia per conto della società NTV (Nuovo Trasporto Viaggiatori) che, dal 2012, opera in Italia sulle tratte a maggior velocità in concorrenza con Trenitalia. Scopo del treno rinominato anche Italo AV è quello di offrire un servizio rapido e confortevole in contrapposizione con i Frecciargento e i Frecciarossa.

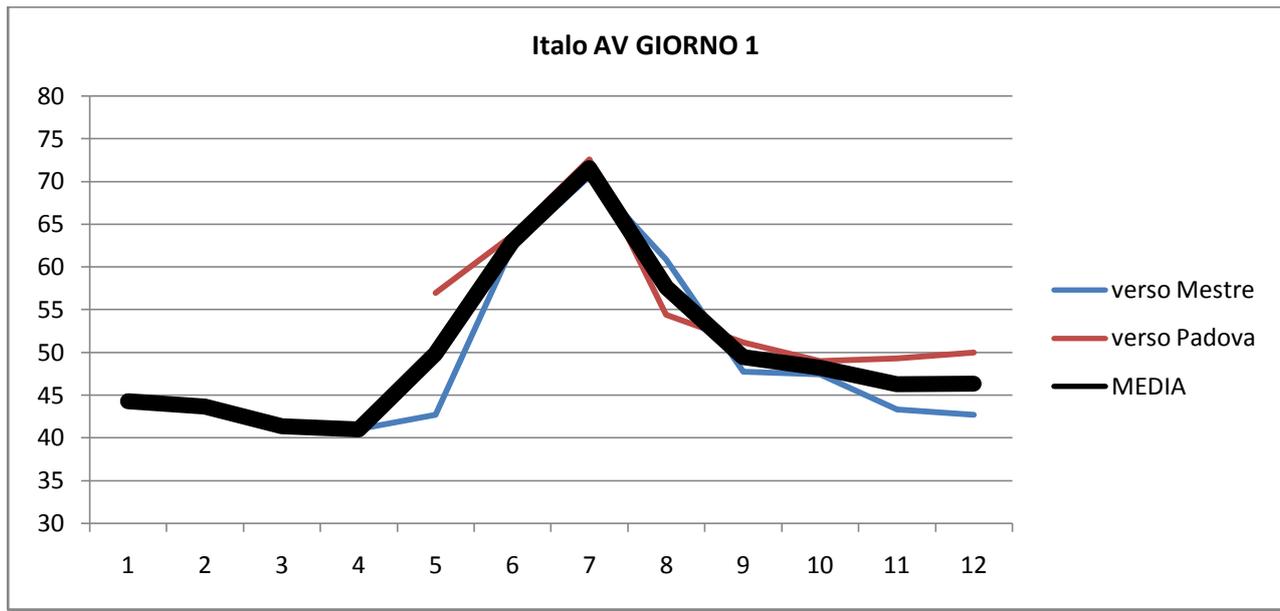
Il convoglio tipo, riconoscibile dalla livrea rossa con striscia gialla ai fianchi, è un treno a composizione fissa con locomozione distribuita sui carrelli anziché solo sulle locomotive ed implementa una serie di accorgimenti, propri ad esempio dei Pendolino, riguardo il collegamento fra le carrozze. Queste ultime sono pensate per poter variare il proprio numero da 7 a 14, passando da una lunghezza di circa 200m ad una quasi doppia, a seconda delle esigenze del servizio.

Essendo progettati per l'alta velocità si tratta di treni in grado di raggiungere velocità ragguardevoli nell'ordine dei 300/360 km/h. Ovviamente nella rete italiana il limite raggiungibile è 300 km/h, che scende ulteriormente a 180 km/h nel SITO 3 e a 140 km/h nel SITO 4.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l'andamento dei livelli sonori equivalenti all'interno del singolo evento sonoro nei tre siti interessati (nel sito 4 non si registrano passaggi di questa categoria di treno). Il numero dei passaggi registrati è stato:

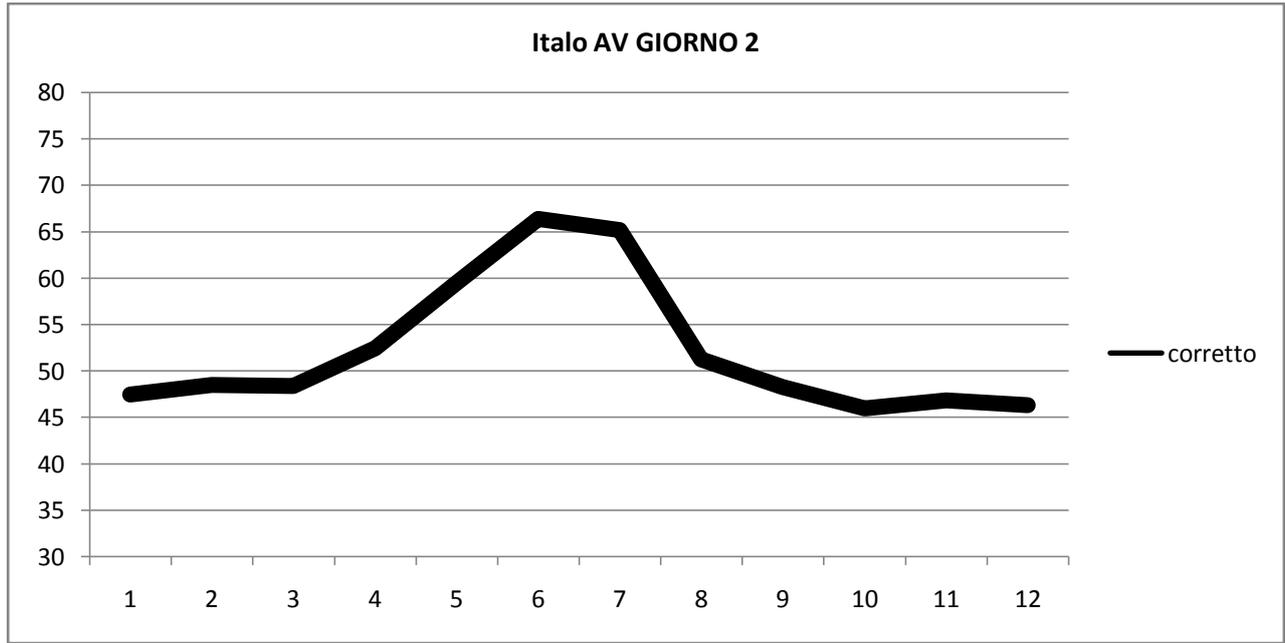
<b>ITALO AV</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	2	2
<b>SITO 2</b>	2	2
<b>SITO 3</b>		3
<b>SITO 4</b>		0

**SITO 1 – GIORNO 1**



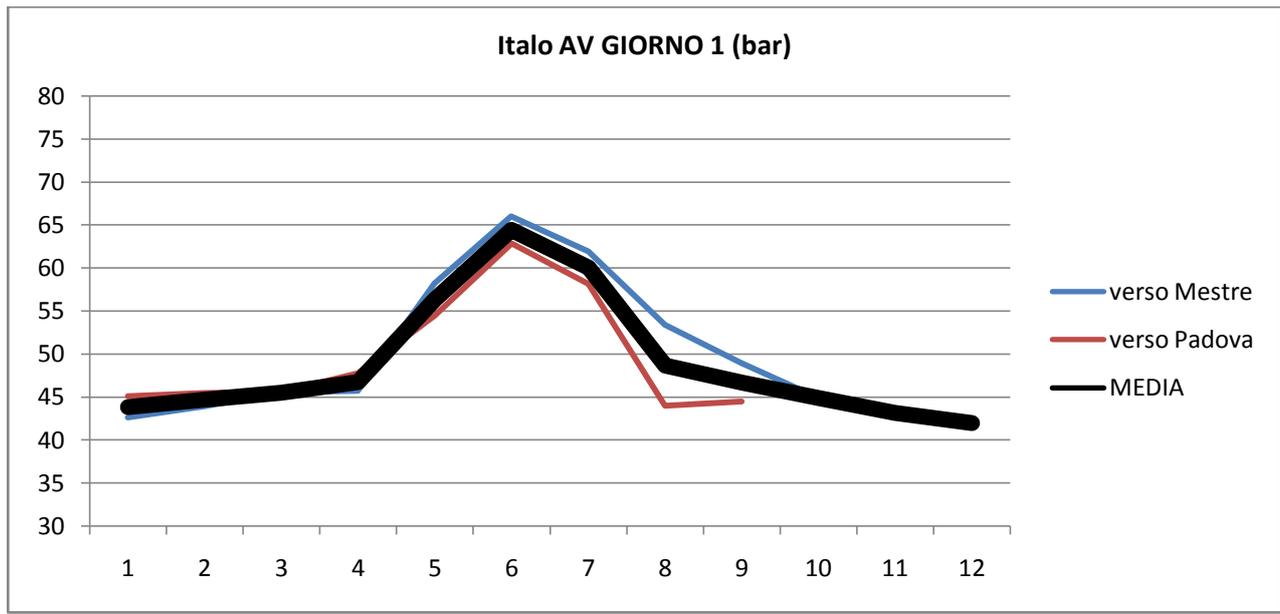
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
44.300	*	*	*	44.300	*
43.700	*	*	*	43.700	*
41.400	*	*	*	41.400	*
41.000	*	*	*	41.000	*
42.700	*	57.000	*	49.850	10.112
62.300	*	63.700	*	63.000	0.990
70.600	*	72.600	*	71.600	1.414
60.900	*	54.400	*	57.650	4.596
47.700	*	51.200	*	49.450	2.475
47.400	*	49.000	*	48.200	1.131
43.300	*	49.300	*	46.300	4.243
42.700	*	50.000	*	46.350	5.162

**SITO 1 – GIORNO 2**



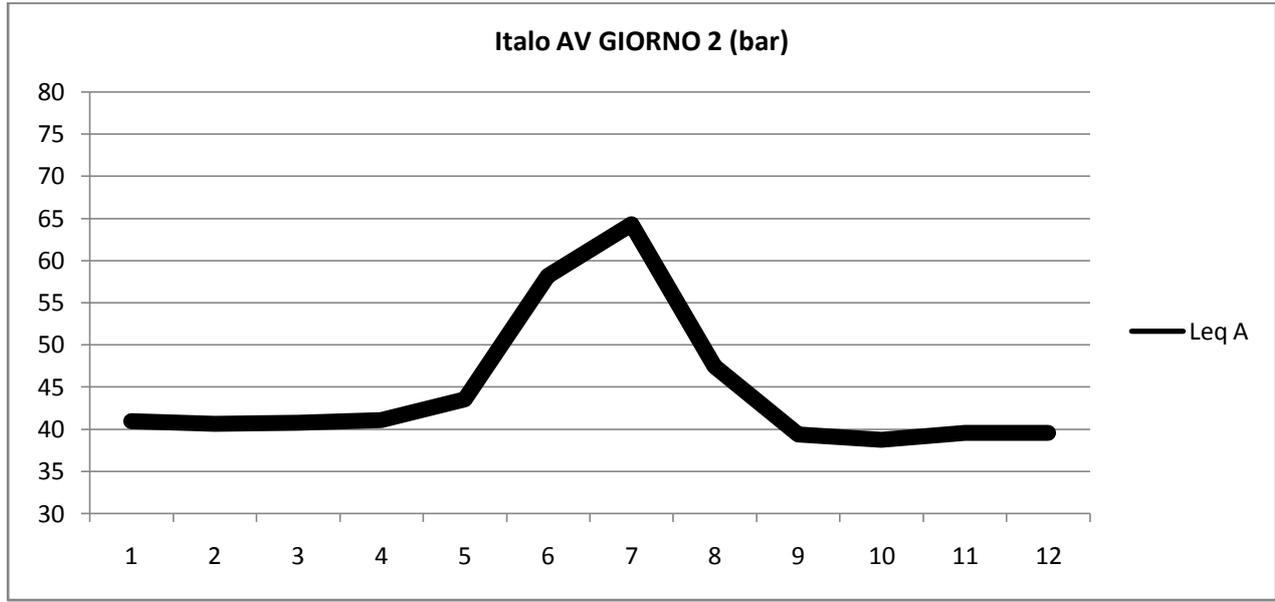
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
<b>45.200</b>	*	**	**	<b>45.200</b>	*
<b>46.200</b>	*	**	**	<b>46.200</b>	*
<b>46.100</b>	*	**	**	<b>46.100</b>	*
<b>47.700</b>	*	**	**	<b>47.700</b>	*
<b>54.100</b>	*	**	**	<b>54.100</b>	*
<b>55.300</b>	*	**	**	<b>55.300</b>	*
<b>54.300</b>	*	**	**	<b>54.300</b>	*
<b>46.600</b>	*	**	**	<b>46.600</b>	*
<b>43.900</b>	*	**	**	<b>43.900</b>	*
<b>43.800</b>	*	**	**	<b>43.800</b>	*
<b>44.600</b>	*	**	**	<b>44.600</b>	*
<b>44.100</b>	*	**	**	<b>44.100</b>	*

**SITO 2 – GIORNO 1**



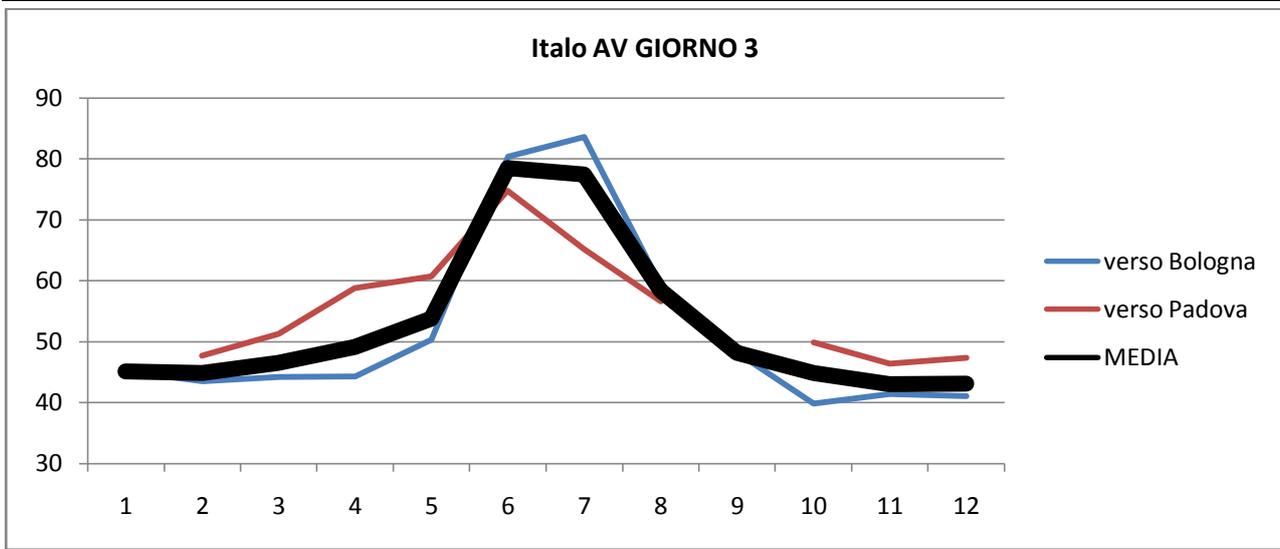
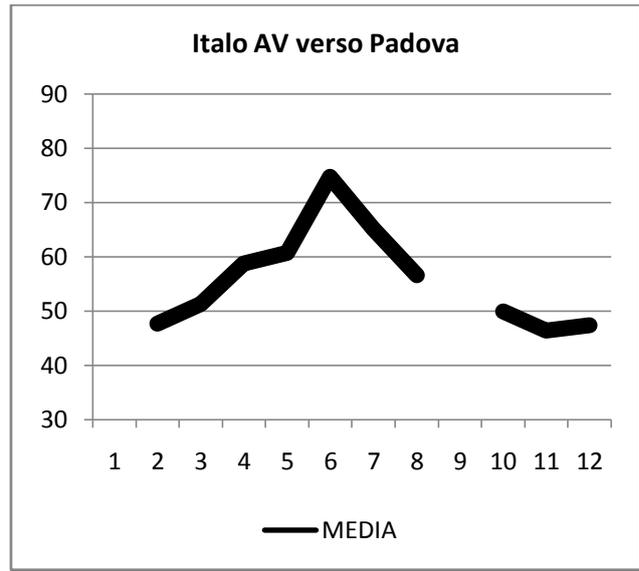
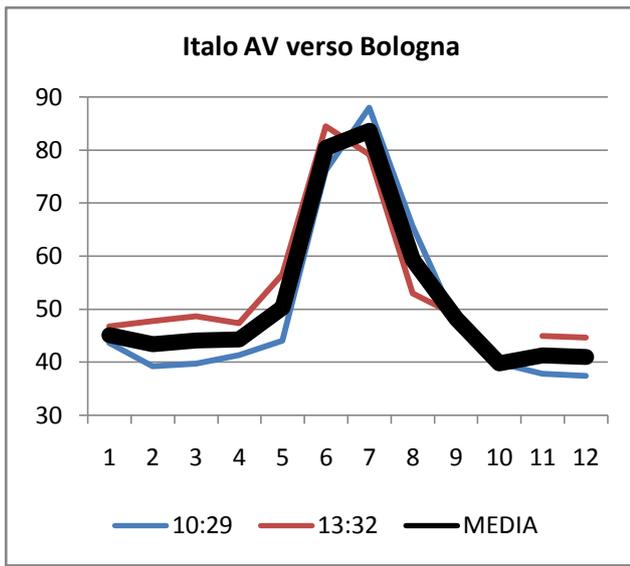
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
42.600	*	45.100	*	43.850	1.768
43.900	*	45.500	*	44.700	1.131
45.500	*	45.600	*	45.550	0.071
45.700	*	47.800	*	46.750	1.485
58.200	*	54.500	*	56.350	2.616
66.000	*	62.900	*	64.450	2.192
61.900	*	58.200	*	60.050	2.616
53.400	*	44.000	*	48.700	6.647
48.900	*	44.500	*	46.700	3.111
44.900	*	0.000	*	44.900	*
43.200	*	0.000	*	43.200	*
42.000	*	0.000	*	42.000	*

**SITO 2 – GIORNO 2**



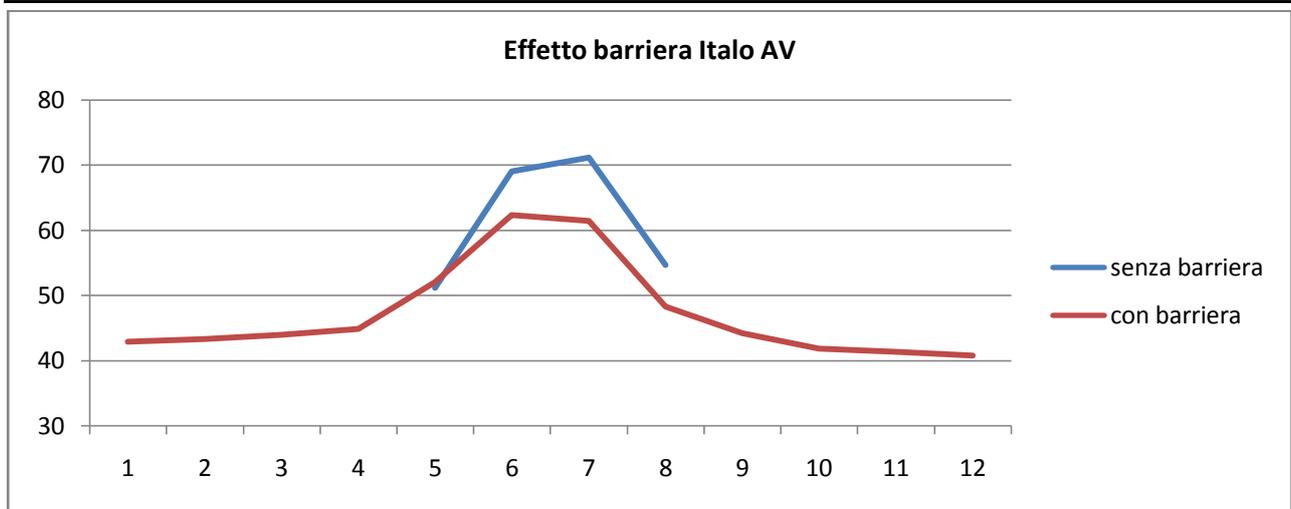
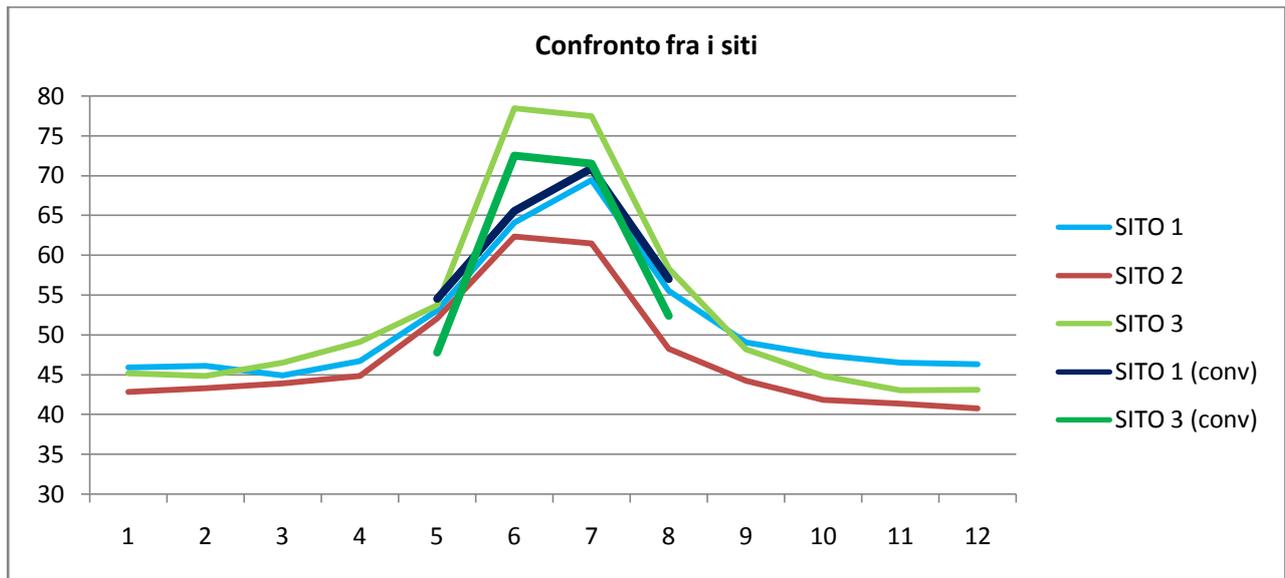
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
<b>41.000</b>	*	**	**	<b>41.000</b>	*
<b>40.700</b>	*	**	**	<b>40.700</b>	*
<b>40.800</b>	*	**	**	<b>40.800</b>	*
<b>41.100</b>	*	**	**	<b>41.100</b>	*
<b>43.600</b>	*	**	**	<b>43.600</b>	*
<b>58.200</b>	*	**	**	<b>58.200</b>	*
<b>64.300</b>	*	**	**	<b>64.300</b>	*
<b>47.500</b>	*	**	**	<b>47.500</b>	*
<b>39.400</b>	*	**	**	<b>39.400</b>	*
<b>38.800</b>	*	**	**	<b>38.800</b>	*
<b>39.600</b>	*	**	**	<b>39.600</b>	*
<b>39.600</b>	*	**	**	<b>39.600</b>	*

**SITO 3**



verso Bologna		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
45.150	2.192	0.000	*	45.150	2.192
43.450	6.010	47.700	*	44.867	4.907
44.150	6.293	51.300	*	46.533	6.070
44.300	4.243	58.800	*	49.133	8.893
50.300	8.910	60.700	*	53.767	8.703
80.350	5.869	74.800	*	78.500	5.243
83.600	6.223	65.200	*	77.467	11.498
59.250	8.980	56.600	*	58.367	6.532
48.200	0.849	0.000	*	48.200	0.849
39.800	*	49.900	*	44.850	7.142
41.350	5.020	46.400	*	43.033	4.594
41.000	5.091	47.400	*	43.133	5.159

## DATI RIASSUNTIVI



SITO 1		SITO 3		S 1-3	SITO 2		INSERTION		
dev	conv al	dev	conv al	media	dev	standard	LOSS		
media	sito 2	media	sito 2	media	media	standard	LOSS		
45.880	0.636	45.150	2.192	***	42.900	2.066	***		
46.105	1.768	44.867	4.907	***	43.367	2.444	***		
44.903	3.323	46.533	6.070	***	43.967	2.743	***		
46.735	4.738	49.133	8.893	***	44.867	3.427	***		
53.070	7.559	<b>54.559</b>	53.767	8.703	<b>47.809</b>	51.184	52.100	7.590	<b>-0.916</b>
64.120	4.500	<b>65.609</b>	78.500	5.243	<b>72.543</b>	69.076	62.367	3.927	<b>6.709</b>
69.453	10.038	<b>70.942</b>	77.467	11.498	<b>71.509</b>	71.226	61.467	3.073	<b>9.759</b>
55.520	7.160	<b>57.009</b>	58.367	6.532	<b>52.409</b>	54.709	48.300	4.751	<b>6.409</b>
49.063	3.651	48.200	0.849	***	44.267	4.754	4.754	***	***
47.463	2.663	44.850	7.142	***	41.850	4.313	4.313	***	***
46.477	3.156	43.033	4.594	***	41.400	2.546	2.546	***	***
46.335	3.874	43.133	5.159	***	40.800	1.697	1.697	***	***

	SITO 1	SITO 1 (conv)	SITO 2	SITO 3	SITO 3 (conv)	SITO 1-3 (conv)
SEL	77.767	79.256	72.248	88.046	82.088	80.369

### **DISCUSSIONE SUI DATI RACCOLTI**

La caratteristica peculiare dei dati raccolti riguardo i treni di tipo Italo AV è il numero esiguo degli stessi, che fanno perdere un po' del senso statistico dell'analisi che stiamo compiendo. In molti dei siti che abbiamo studiato e specie per alcuni sensi di marcia abbiamo registrato pochissimi passaggi e abbiamo dovuto accontentarci di questi per caratterizzare questo tipo di treno. La cosa è da imputarsi non solo allo scarso numero di treni di tipo Italo AV che passano sulle tratte analizzate, ma anche ai passaggi che abbiamo dovuto eliminare perché il passaggio del treno veniva mascherato dal rumore di fondo, o perché lo strumento non aveva registrato il passaggio correttamente. Ad ogni modo, nonostante i pochi passaggi registrati è comunque possibile fare alcuni commenti, sottolineando che, in futuro, per una migliore caratterizzazione di questa categoria di treno sarà necessario uno studio svolto in molti più giorni o in molti più siti.

Per il discorso che abbiamo appena fatto risulta errata ogni discussione fatta sugli errori registrati sui diversi siti di misura. Infatti, i diversi scarti quadratici, quando non assenti perché impossibili da calcolare, sono rilevati su pochi dati, per cui possono essere estremamente alti se quei pochi dati rilevati sono diversi, mentre sono bassi se quei dati sono simili. Tuttavia, il fatto di avere pochi dati da confrontare, rende privo di significato il calcolo dell'errore all'interno di ciascun sito (eccezion fatta per il SITO 3 in cui abbiamo un numero di rilevazioni sufficiente) e non ci dice nulla sulla bontà della rilevazione, ma solo sulla differenza fra quei pochi passaggi registrati.

Detto ciò dobbiamo rilevare che tale tipologia di treno raggiunge livelli simili rispetto a quelli dei due tipi di treni analizzati precedentemente, con livelli simili di SEL. Pertanto, nonostante, l'esiguità dei dati in nostro possesso, possiamo comunque sbilanciarci riguardo alla somiglianza nelle emissioni dei treni a composizione fissa una volta che sia stata fissata una velocità di tratta raggiungibile da tutti i treni considerati.

I dati rilevati nei siti 1 e 3 sono, una volta convertiti, abbastanza simili, pertanto il confronto fra il SITO 1-3 e i SITO 2 ha ragione di essere considerato significativo. A tal riguardo possiamo notare come i livelli di SEL rilevati nei due siti convertiti siano abbastanza simili.

Riguardo all'insertion loss calcolato possiamo dire che si mantiene su valori abbastanza bassi rispetto a quelli che la letteratura in materia ci faceva prevedere, ma, anche qui il numero scarso di rilevazioni ci porta a diffidare di alcuni dei dati che abbiamo calcolato, come per esempio un valore di insertion loss negativo.

### 3.5.4 Eurocity

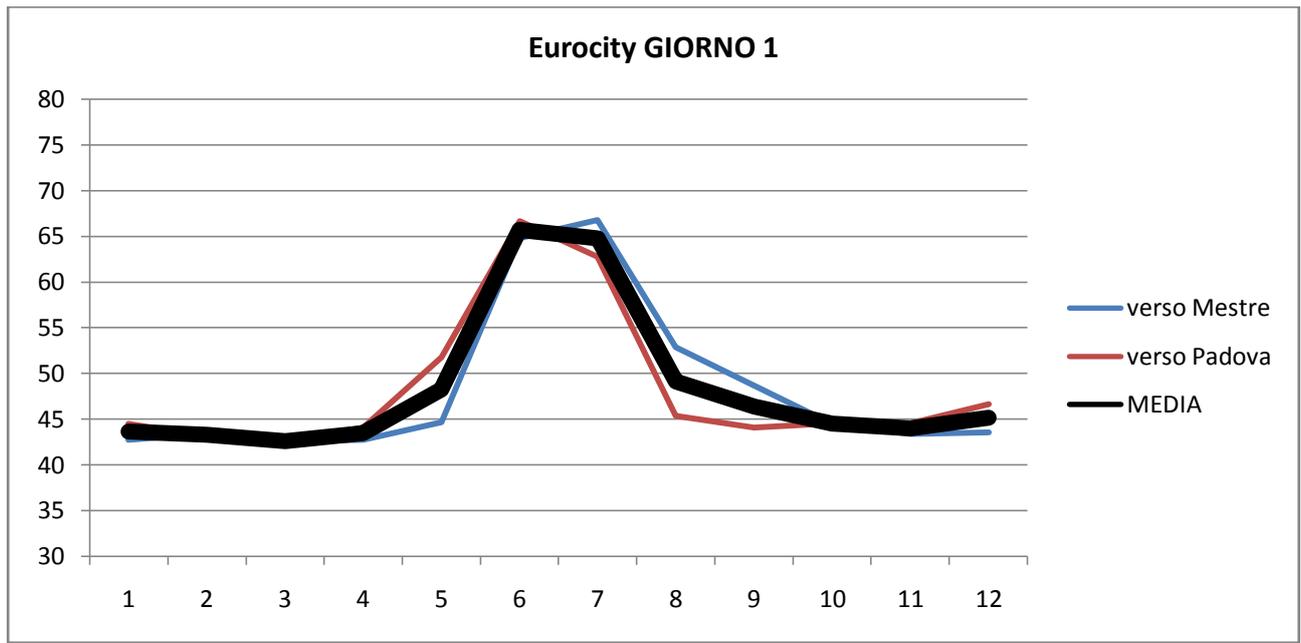


I convogli denominati Eurocity nascono con lo scopo di consentire i collegamenti fra reti appartenenti a Paesi europei differenti. Rispetto ai vecchi Trans Europ Express si tratta di fatto di treni simili a tutti gli altri con tratte che prevedono il passaggio del confine. I convogli possono essere composti in modi differenti, a seconda delle esigenze, variando così sia la locomotiva che il tipo ed il numero di carrozze collegate. In Italia gli Eurocity vengono denominati in base al valico di provenienza. Nel nostro caso saranno interessanti soprattutto quelli provenienti dal Brennero o da Chiasso diretti verso Venezia. Dato che la composizione non è fissata, non possiamo dare un valore preciso della lunghezza di questi treni, possiamo, però, avere un'idea sulle locomotive impiegate (almeno nel tratto da noi analizzato). Si tratta di locomotive E190, dalla velocità massima di 160 km//h.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l'andamento dei livelli sonori equivalenti all'interno del singolo evento sonoro nei due siti interessati (nel sito 4 e 3 non si registrano passaggi di questa categoria di treno). Il numero dei passaggi registrati è stato:

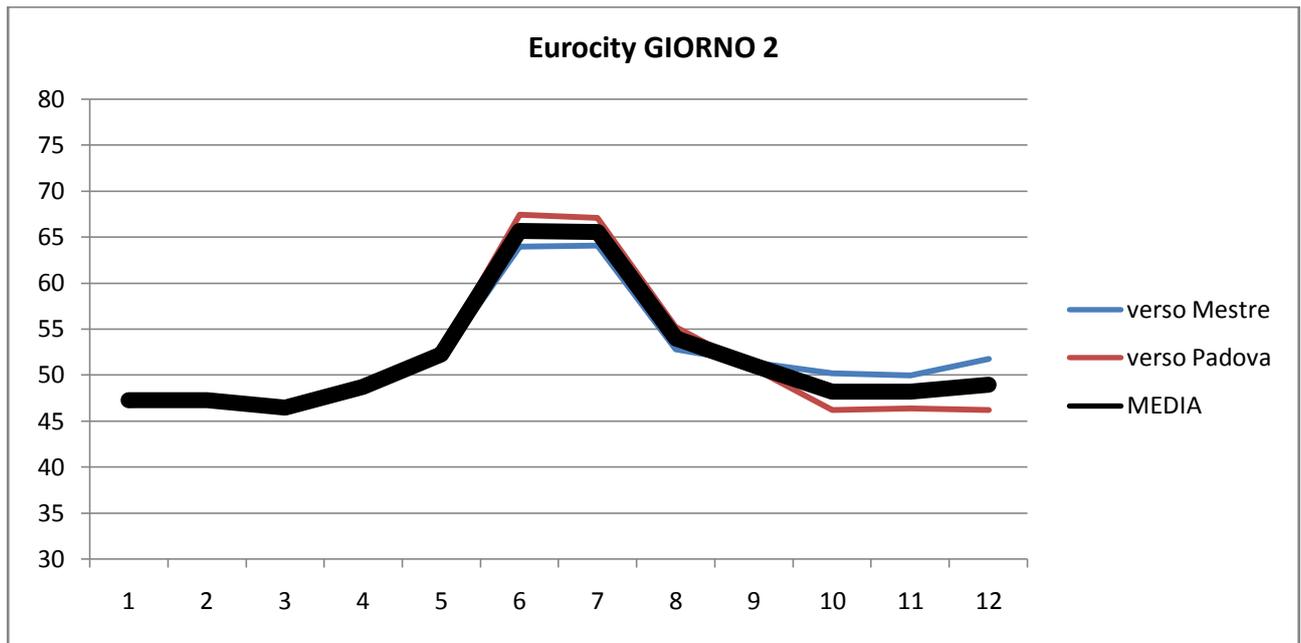
<b><i>EUROCITY</i></b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	2	2
<b>SITO 2</b>	2	2
<b>SITO 3</b>		0
<b>SITO 4</b>		0

**SITO 1 – GIORNO 1**



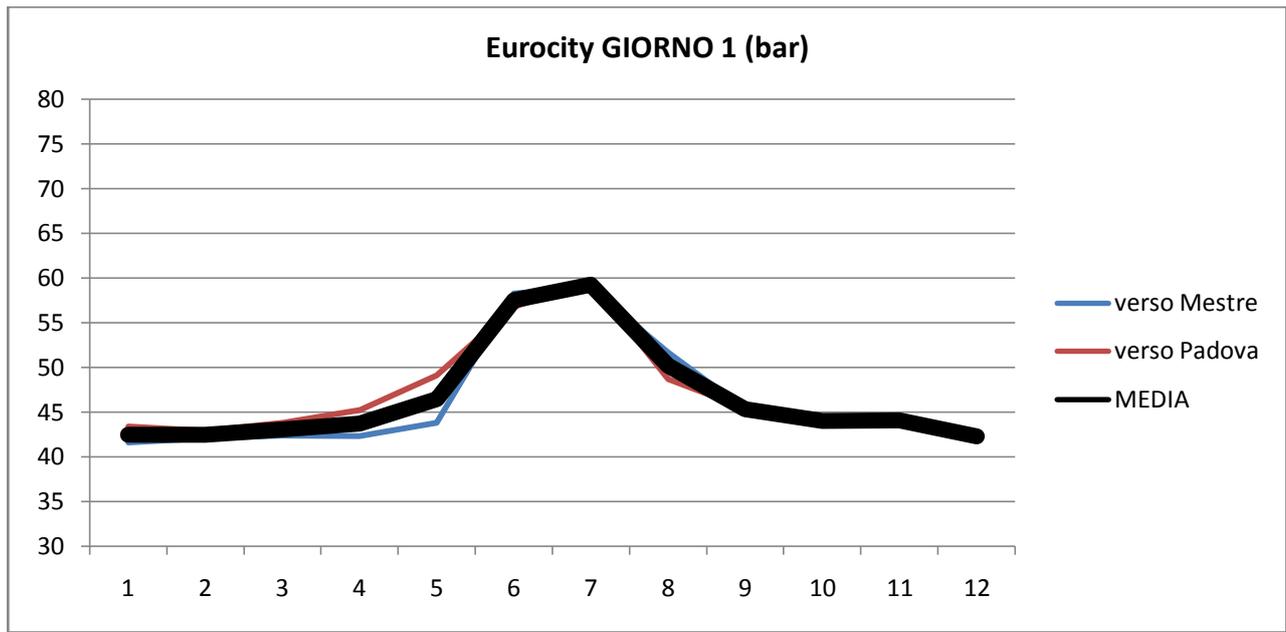
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
42.800	*	44.500	*	43.650	1.202
43.400	*	43.200	*	43.300	0.141
42.600	*	42.600	*	42.600	0.000
42.800	*	44.100	*	43.450	0.919
44.700	*	51.800	*	48.250	5.020
64.800	*	66.700	*	65.750	1.344
66.800	*	62.800	*	64.800	2.828
52.900	*	45.400	*	49.150	5.303
48.700	*	44.100	*	46.400	3.253
44.500	*	44.600	*	44.550	0.071
43.400	*	44.600	*	44.000	0.849
43.600	*	46.700	*	45.150	2.192

**SITO 1 – GIORNO 2**



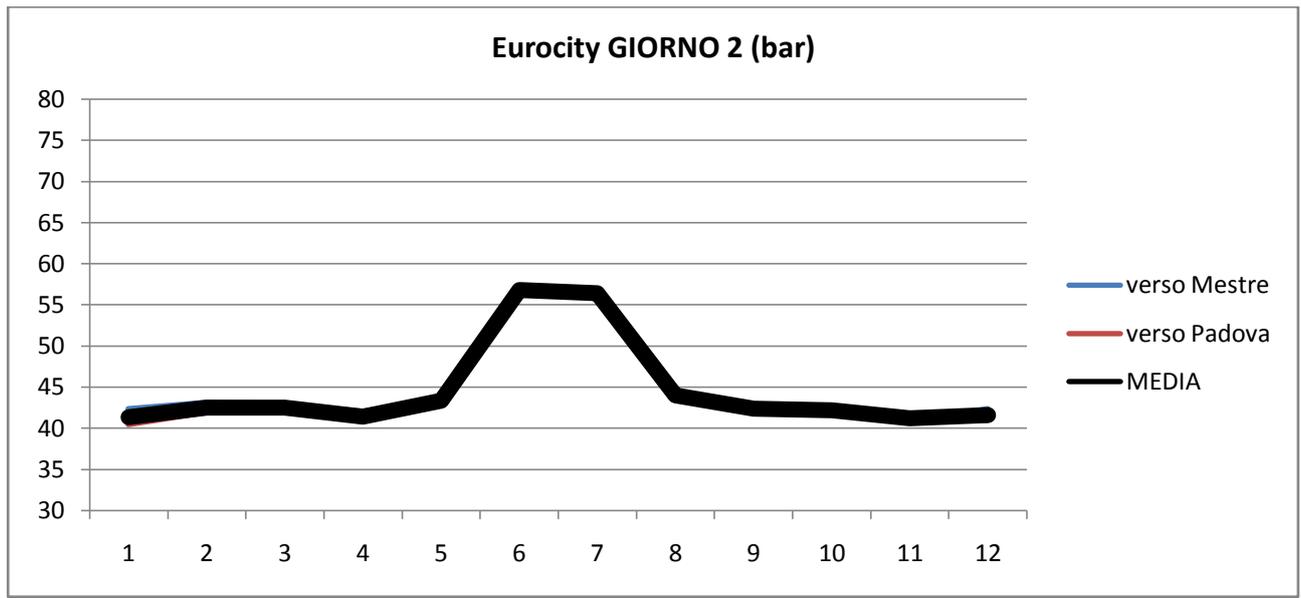
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
46.725	*	47.775	*	47.250	0.742
47.355	*	47.145	*	47.250	0.148
46.935	*	45.990	*	46.463	0.668
49.060	*	48.400	*	48.730	0.467
51.810	*	52.690	*	52.250	0.622
63.960	*	67.440	*	65.700	2.461
64.080	*	67.080	*	65.580	2.121
52.800	*	55.220	*	54.010	1.711
51.370	*	50.710	*	51.040	0.467
50.190	*	46.200	*	48.195	2.821
49.980	*	46.410	*	48.195	2.524
51.765	*	46.200	*	48.983	3.935

**SITO 2 – GIORNO 1**



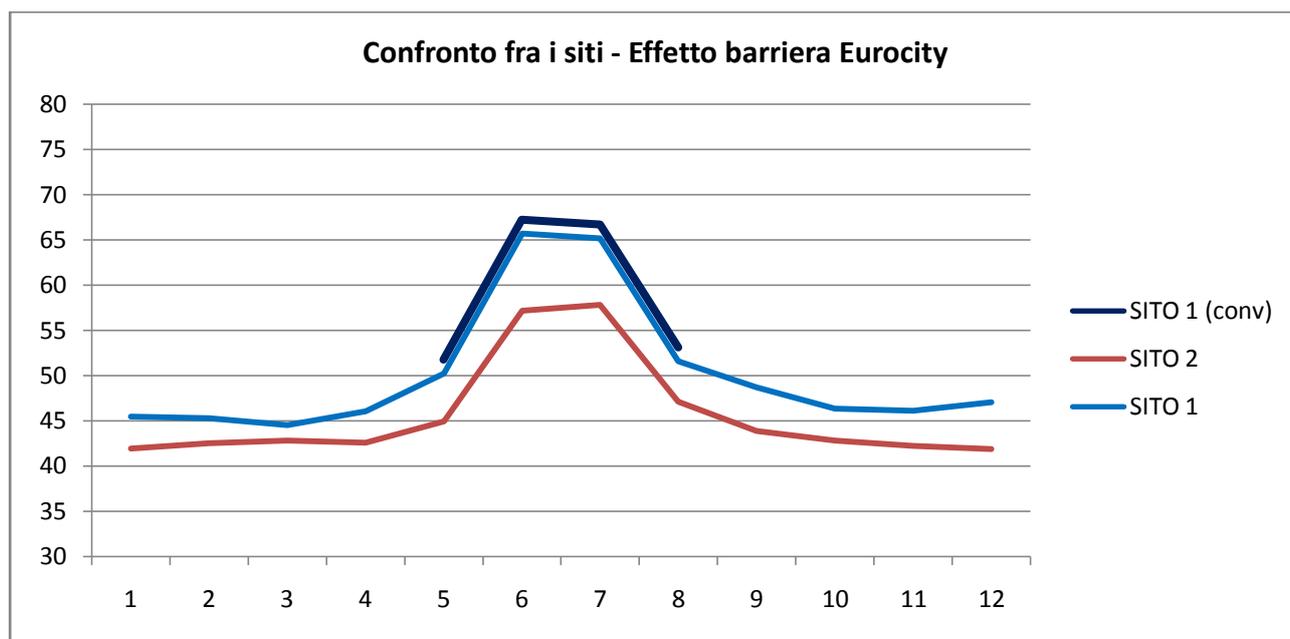
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
media	standard	media	standard	media	standard
41.600	*	43.400	*	42.500	1.273
42.100	*	42.900	*	42.500	0.566
42.400	*	43.800	*	43.100	0.990
42.300	*	45.200	*	43.750	2.051
43.800	*	49.100	*	46.450	3.748
58.300	*	56.800	*	57.550	1.061
58.900	*	59.600	*	59.250	0.495
51.700	*	48.700	*	50.200	2.121
45.300	*	45.400	*	45.350	0.071
44.000	*	*	*	44.000	*
44.100	*	*	*	44.100	*
42.300	*	*	*	42.300	*

**SITO 2 – GIORNO 2**



verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
42.300	*	40.500	*	41.400	1.273
43.100	*	42.000	*	42.550	0.778
42.900	*	42.200	*	42.550	0.495
42.000	*	40.900	*	41.450	0.778
43.500	*	43.300	*	43.400	0.141
56.500	*	57.100	*	56.800	0.424
56.800	*	56.000	*	56.400	0.566
44.000	*	44.000	*	44.000	0.000
41.900	*	42.900	*	42.400	0.707
41.800	*	42.600	*	42.200	0.566
40.900	*	41.600	*	41.250	0.495
42.300	*	41.000	*	41.650	0.919

## DATI RIASSUNTIVI



SITO 1			SITO 2		
dev	conv al		dev	INSERTION	
media	standard	sito 2	media	standard	LOSS
45.450	2.233	***	41.950	1.218	***
45.275	2.284	***	42.525	0.556	***
44.531	2.263	***	42.825	0.714	***
46.090	3.106	***	42.600	1.835	***
50.250	3.723	<b>51.739</b>	44.925	2.791	<b>6.814</b>
65.725	1.619	<b>67.214</b>	57.175	0.789	<b>10.039</b>
65.190	2.090	<b>66.679</b>	57.825	1.702	<b>8.854</b>
51.580	4.269	<b>53.069</b>	47.100	3.783	<b>5.969</b>
48.720	3.283	***	43.875	1.752	***
46.373	2.662	***	42.800	1.114	***
46.098	2.869	***	42.200	1.682	***
47.066	3.415	***	41.867	0.751	***

	SITO 1	SITO 1 (conv)	SITO 2
SEL	<b>75.617</b>	<b>77.106</b>	<b>67.818</b>

### **DISCUSSIONE SUI DATI RACCOLTI**

La scarsa mole di dati raccolti non ci permette di sbilanciarci troppo sulla discussione. Ogni considerazione che facciamo, infatti, sarebbe troppo influenzata dalle singole rilevazioni, che, in più di un caso, rappresentano anche la media finale. In questo caso, inoltre, non abbiamo neanche rilevazioni svolte nel SITO 3 che avrebbero potuto integrare quelle svolte nel SITO 1.

In simili condizioni ogni discussione svolta sugli errori calcolati è fine a se stessa, in quanto, anche quando abbiamo la possibilità di calcolare deviazioni standard, perché la media è stata calcolata con più di un dato, questa non assume alcun significato statistico perché svolta su troppi pochi dati.

Nei casi che abbiamo analizzato abbiamo rilevato solo un convoglio per direzione di marcia nei siti 1 e 2 e i livelli registrati sono diventati anche i valori medi. Ad ogni modo possiamo notare che i livelli e gli andamenti registrati sono piuttosto simili fra di loro ad indicare che nonostante differenti direzioni di marcia, i livelli sonori si mantengono identici fra loro.

Riguardo i livelli raggiunti possiamo osservare come si tratti di valori inferiori rispetto a quelli rilevati per i treni a composizione bloccata. Anche il SEL è indice di tale effetto. C'è da dire, che si tratta di treni normalmente più lenti rispetto a quelli finora analizzati, quindi le minori emissioni potrebbero imputarsi a questo fatto.

Riguardo all'insertion loss registrato per tale tipologia di treno, si tratta di valori abbastanza nella norma, con punte di 10 dB che possiamo considerare abbastanza realistiche nonostante siano state ottenute con dati scarsi.

Come abbiamo già osservato in occasione del tipo Italo AV, si considera l'analisi fatta insufficiente per avere ben chiaro il comportamento dei treni Eurocity, e si consiglia, in futuro, per analisi simili, di predisporre più giorni di misura, o più siti di rilevazione per sopperire alla scarsità di treni di passaggio in un solo giorno.

### 3.5.5 Intercity



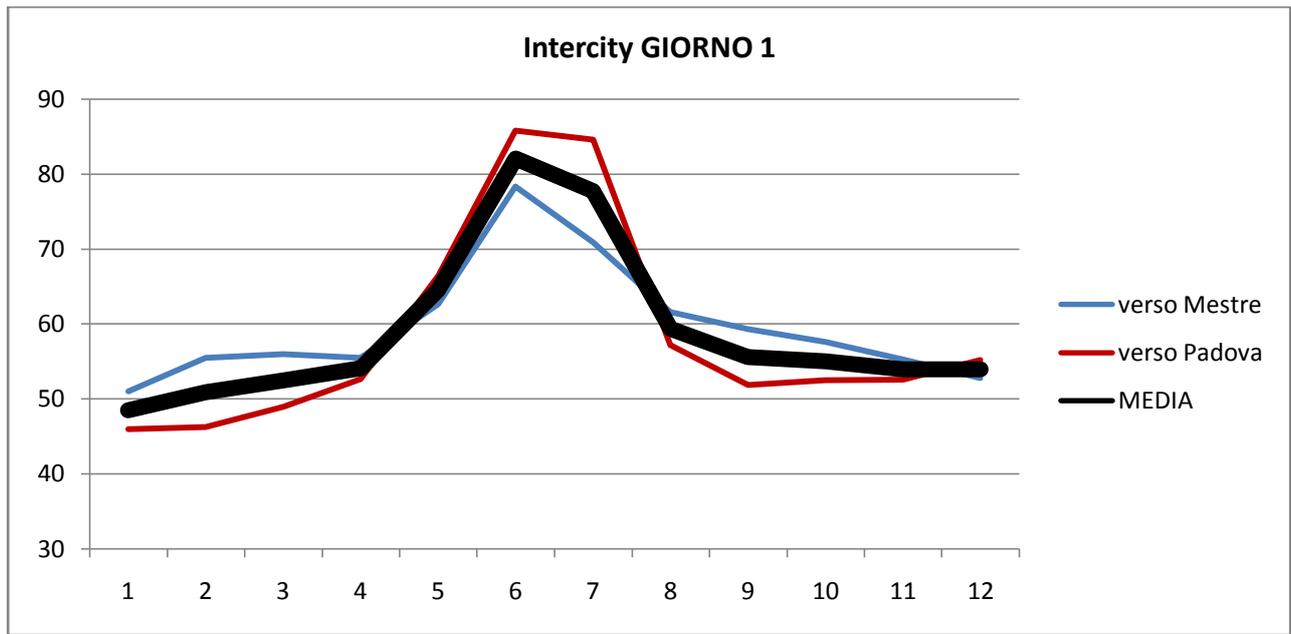
Il servizio Intercity può essere visto come un sottoinsieme della categoria Eurocity, specificatamente progettato per collegare fra loro le stazioni di grandi centri urbani, saltando, di conseguenza, le stazioni minori presenti lungo il percorso.

Come nel caso degli Eurocity si tratta di treni dalla composizione differente da corsa a corsa, in base alle esigenze dell'utenza, pertanto non siamo in grado di definire una lunghezza di riferimento. Per quel che riguarda la velocità, dipende dalla locomotiva adottata, ma possiamo affermare che, trattandosi di treni relativamente rapidi, si tratta di velocità superiori a quelle dei treni Regionali e inferiori a quelle dei Frecciabianca.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l'andamento dei livelli sonori equivalenti all'interno del singolo evento sonoro nei due siti interessati (nel sito 4 e 3 non si registrano passaggi di questa categoria di treno). Il numero dei passaggi registrati è stato:

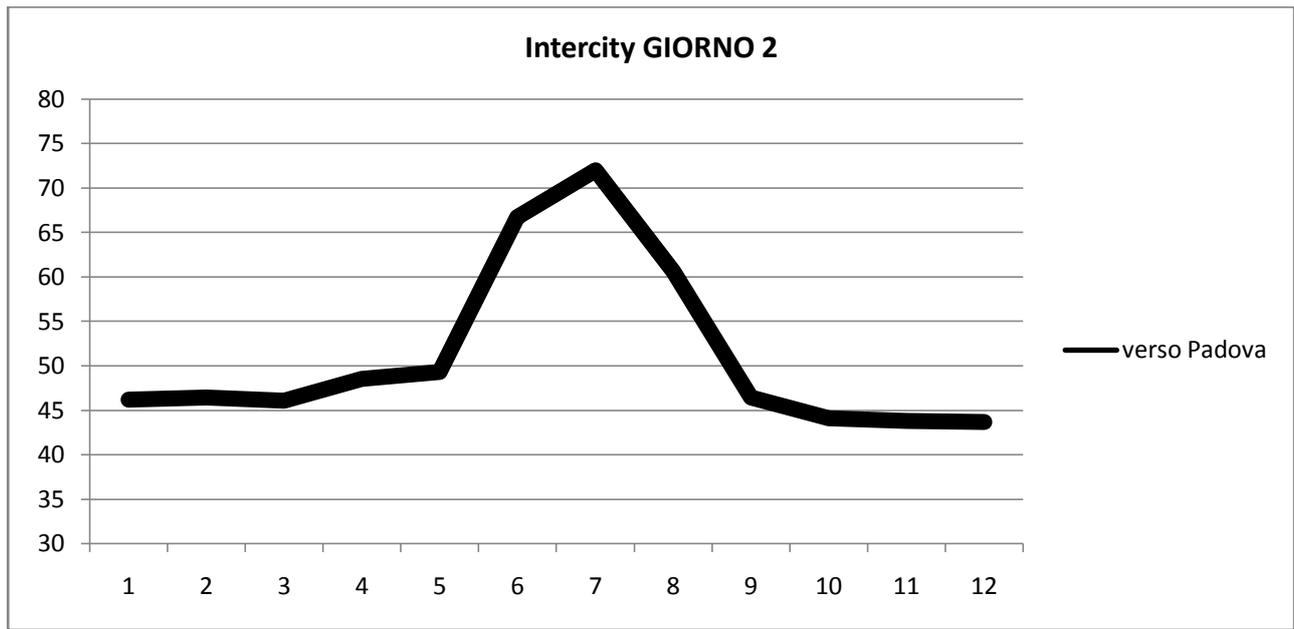
<b>INTERCITY</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	2	1
<b>SITO 2</b>	2	1
<b>SITO 3</b>		0
<b>SITO 4</b>		0

**SITO 1 – GIORNO 1**



verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
media	standard	media	standard	media	standard
51.000	*	46.000	*	48.500	3.536
55.500	*	46.300	*	50.900	6.505
56.000	*	49.000	*	52.500	4.950
55.500	*	52.700	*	54.100	1.980
62.700	*	66.400	*	64.550	2.616
78.400	*	85.800	*	82.100	5.233
70.900	*	84.600	*	77.750	9.687
61.600	*	57.200	*	59.400	3.111
59.300	*	51.900	*	55.600	5.233
57.600	*	52.500	*	55.050	3.606
55.300	*	52.600	*	53.950	1.909
52.800	*	55.200	*	54.000	1.697

**SITO 1 – GIORNO 2**

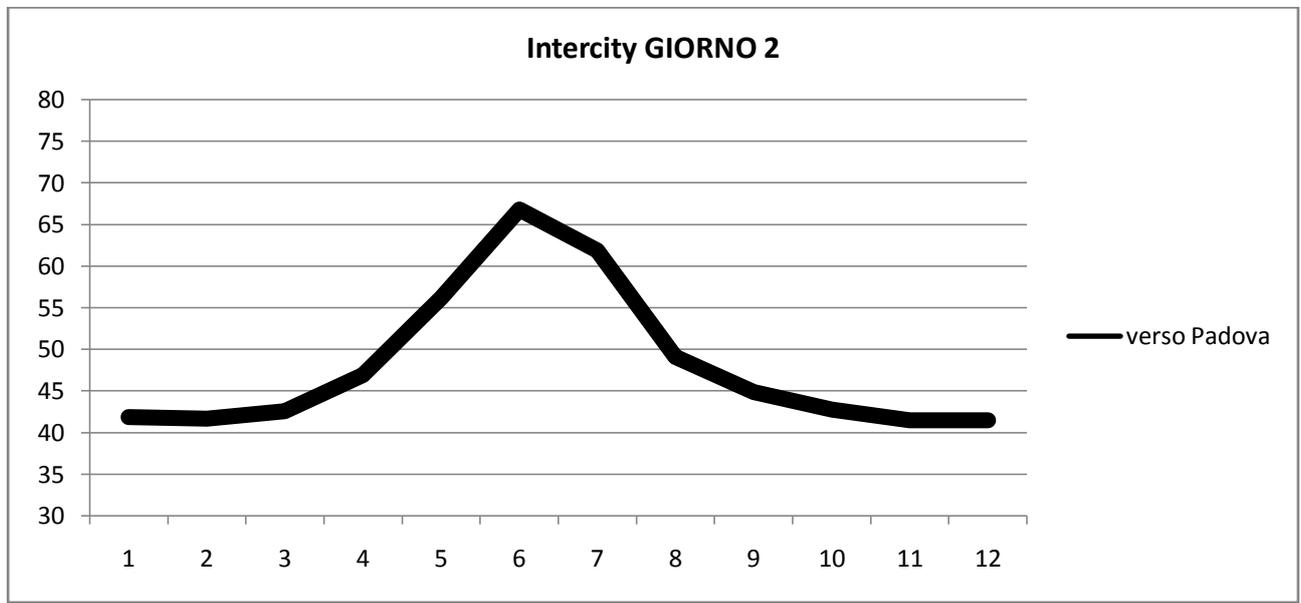


verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
**	**	46.200	*	46.200	*
**	**	46.410	*	46.410	*
**	**	46.095	*	46.095	*
**	**	48.510	*	48.510	*
**	**	49.280	*	49.280	*
**	**	66.720	*	66.720	*
**	**	72.000	*	72.000	*
**	**	60.610	*	60.610	*
**	**	46.420	*	46.420	*
**	**	44.100	*	44.100	*
**	**	43.785	*	43.785	*
**	**	43.680	*	43.680	*

## SITO 2 – GIORNO 1

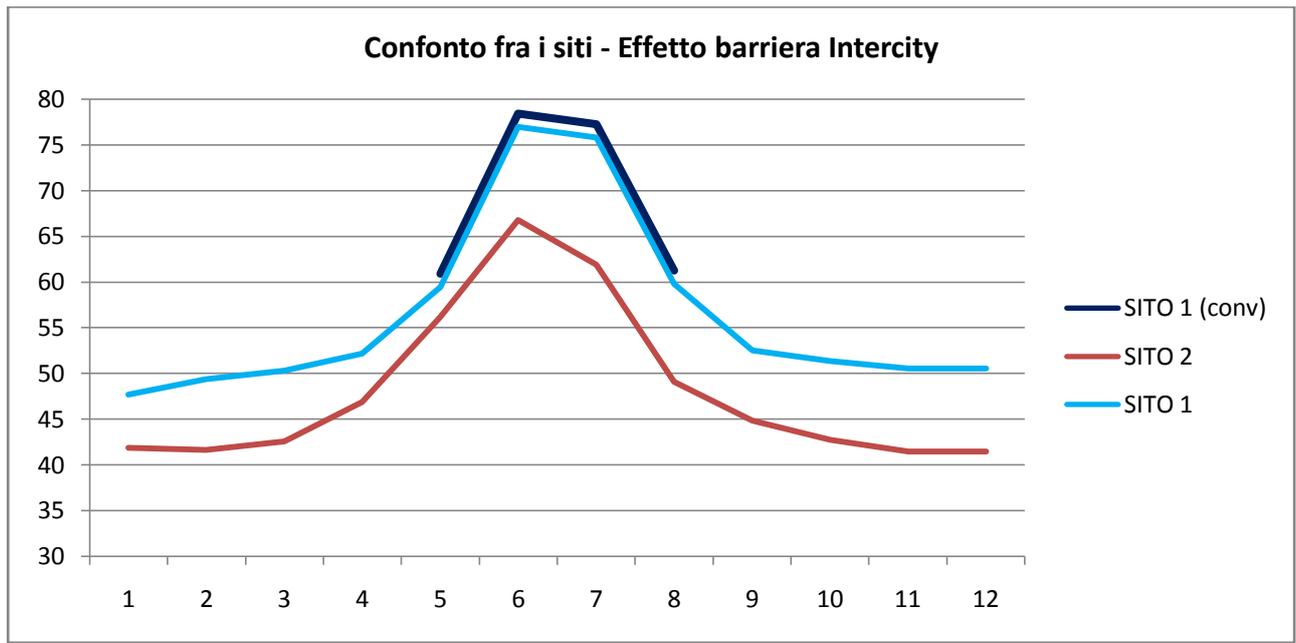
A causa di interferenze esterne dovute a passaggi contemporanei e al malfunzionamento dello strumento per via delle batterie scariche, i pochi passaggi di Intercity rilevati hanno consegnato dei dati inutilizzabili. Per questo motivo non possiamo esporre alcun dato valido in merito al GIORNO 1.

## SITO 2 – GIORNO 2



verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
**	**	41.900	*	41.900	*
**	**	41.700	*	41.700	*
**	**	42.600	*	42.600	*
**	**	46.900	*	46.900	*
**	**	56.200	*	56.200	*
**	**	66.800	*	66.800	*
**	**	61.900	*	61.900	*
**	**	49.100	*	49.100	*
**	**	44.900	*	44.900	*
**	**	42.800	*	42.800	*
**	**	41.500	*	41.500	*
**	**	41.500	*	41.500	*

**DATI RIASSUNTIVI**



SITO 1			SITO 2		
	dev	conv al		dev	INSERTION
media	standard	sito 2	media	standard	LOSS
47.733	2.831	***	41.900	*	***
49.403	5.280	***	41.700	*	***
50.365	5.092	***	42.600	*	***
52.237	3.518	***	46.900	*	***
59.460	9.008	<b>59.460</b>	56.200	*	<b>3.260</b>
76.973	9.620	<b>76.973</b>	66.800	*	<b>10.173</b>
75.833	7.612	<b>75.833</b>	61.900	*	<b>13.933</b>
59.803	2.308	<b>59.803</b>	49.100	*	<b>10.703</b>
52.540	6.464	***	44.900	*	***
51.400	6.817	***	42.800	*	***
50.562	6.022	***	41.500	*	***
50.560	6.078	***	41.500	*	***

	SITO 1	SITO 1 (conv)	SITO 2
SEL	<b>86.530</b>	<b>88.019</b>	<b>75.336</b>

## **DISCUSSIONE SUI DATI RACCOLTI**

I dati riguardanti l'Intercity, sono affetti dagli stessi difetti di quelli di Eurocity e Italo AV, ovvero la scarsità di rilevazioni. Nel corso del primo giorno, per esempio, ci siamo dovuti accontentare di soli due rilevazioni: una verso Padova e una verso Mestre, con ulteriori problemi rilevati nel SITO 2, ove, complici dei disturbi nel rumore di fondo e dei malfunzionamenti nello strumento, non siamo riusciti a isolare alcun dato valido. La scarsità di dati a nostra disposizione ha reso difficile trarre delle conclusioni dai singoli siti e ci ha costretto a rivolgerci ai dati finali per fare le dovute osservazioni.

Anzitutto precisiamo che gli errori riportati sotto la dicitura di deviazione standard devono essere letti con attenzione: si tratta, infatti, di errori calcolati su una media costruita a partire da dati raccolti in giorni diversi, quindi con condizioni che possono essere variate di giorno in giorno e che già ci hanno dato dei problemi nell'analisi di altri tipi di treno. Inoltre, i dati rilevati sono molto pochi e gli errori non sono che un confronto fra tre dati in tutto, che peraltro si sono rivelati diversi fra loro. Se aggiungiamo il fatto che addirittura il rumore di fondo presenta degli errori considerevoli, possiamo comprendere come gli errori che leggiamo siano influenzati pesantemente dalla variazione di condizioni esterne e ci dicano semplicemente che ci sarebbe bisogno di una campagna di misure più corposa.

La curva dei livelli assume, comunque, una forma e una dimensione simile a quella appartenente ad altri tipi di treno e suggerisce un evento che si esaurisce nel giro di circa 20s. Nel caso del SITO 2 la curva assume una forma più insolita, legata alla forma dell'unico passaggio rilevato, quindi non mediata con altri valori. I livelli massimi raggiunti sono paragonabili a quelli dei treni a composizione bloccata, il che suggerisce una certa somiglianza fra le velocità e i mezzi impiegati.

L'insertion loss è stato stimato nell'ordine dei 10-13dB, il che ci suggerisce come l'effetto barriera sia ottimale per questa categoria di treni e contribuisca a mantenere un clima acustico sopportabile anche a poche decine di metri dalla linea. Ripetiamo, comunque, che tali considerazioni sono state fatte trattando i dati rilevati come se fossero derivati da medie statistiche, mentre a nostra disposizione abbiamo avuto solo pochi passaggi su cui lavorare. Ogni conclusione e dato, quindi, deve essere preso con la dovuta cautela e si consiglia di raccogliere dati ulteriori per confermare o smentire le osservazioni appena descritte.

### 3.5.6 Regionale Veloce



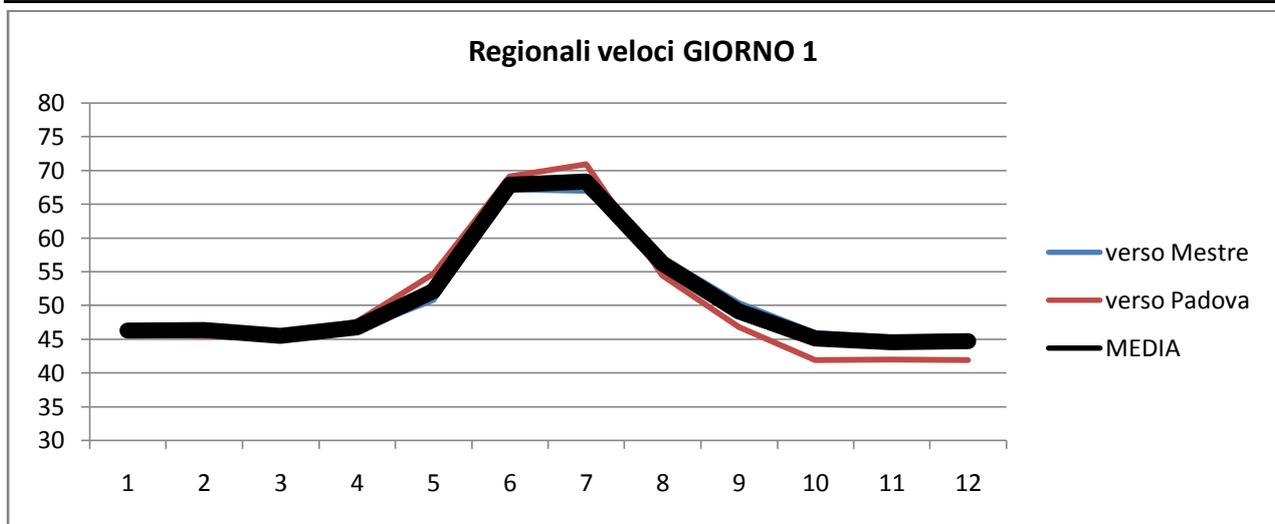
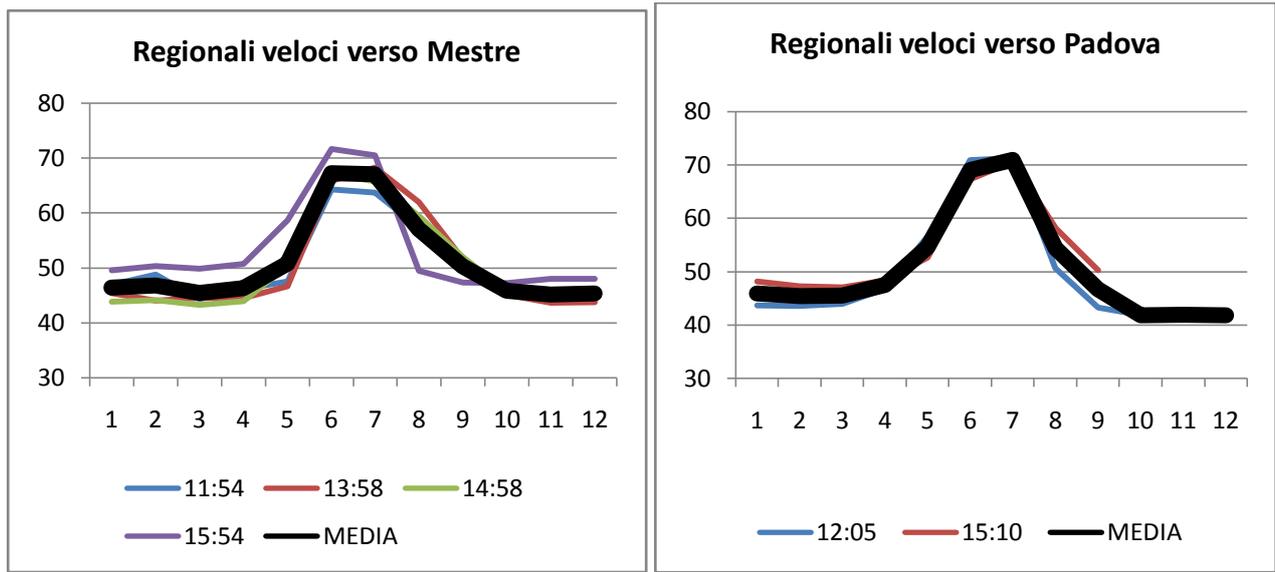
I treni Regionali Veloci sono una categoria di servizio che dal 2011 si è sostituita ai precedenti treni Interregionali, che, oltre a svolgere il servizio di collegamento fra Regioni differenti, sono attualmente pensati per svolgere un servizio regionale con un ristretto numero di fermate.

Si tratta, come dice il nome stesso, di treni Regionali con un numero inferiore di fermate e quindi con una velocità di servizio maggiore. La composizione varia con il servizio che è necessario esplicitare, con un numero di volta in volta diverso di carrozze (in genere MDVC, MDVE, UIC-X o Vivalto), con lunghezze tutte nell'ordine dei 26m circa. I locomotori più usati sono l'E632, l'E633, l'E464 e l'E656, che consentono velocità massime simili a quelle assicurate nei treni Regionali nell'ordine dei 160 km/h massimi. Nelle tratte che ci interessano, però, le massime velocità raggiungibili sono nell'ordine dei 160 km/h nel SITO 3 e dei 130 km/h nel SITO 1.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l'andamento dei livelli sonori equivalenti all'interno del singolo evento sonoro nei due siti interessati (nel sito 4 e 3 non si registrano passaggi di questa categoria di treno). Il numero dei passaggi registrati è stato:

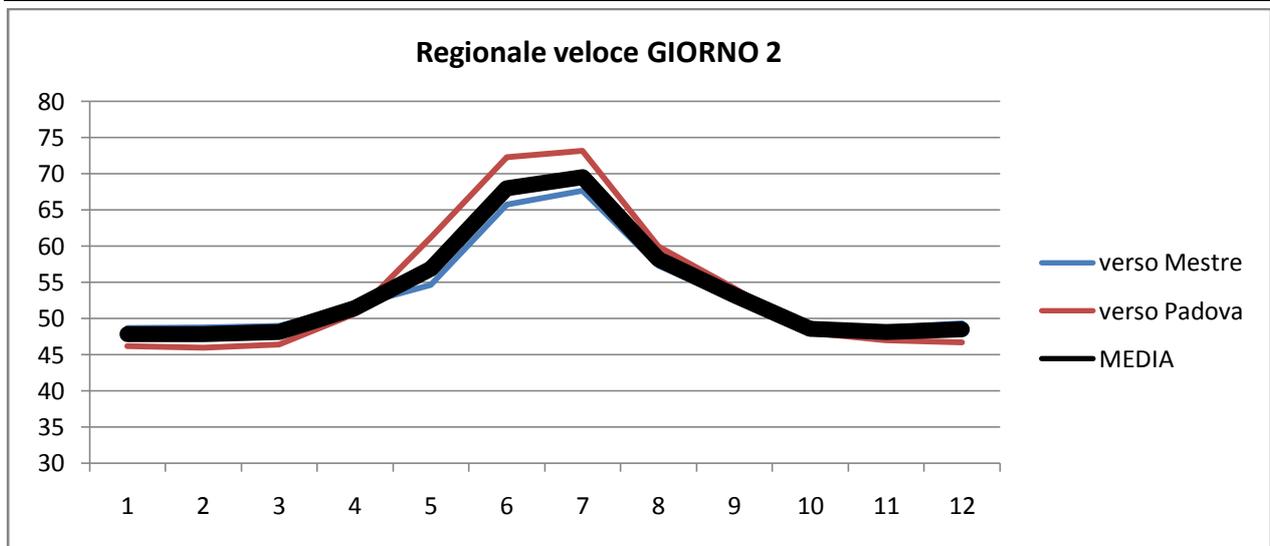
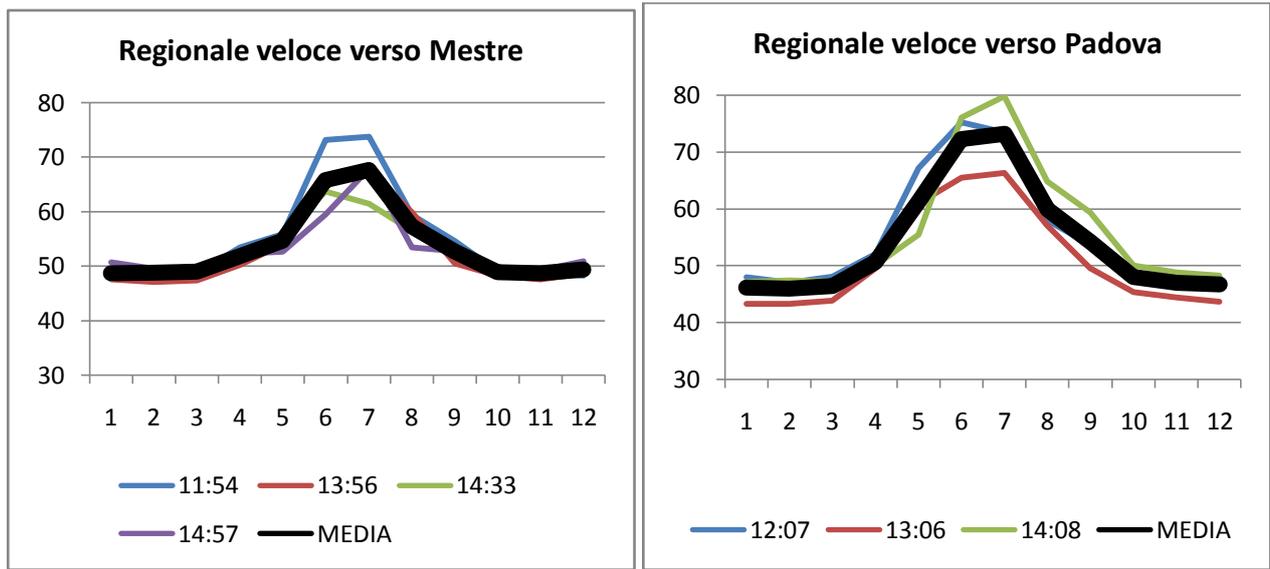
<b>REGIONALE VELOCE</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	7	7
<b>SITO 2</b>	7	7
<b>SITO 3</b>		0
<b>SITO 4</b>		0

**SITO 1 – GIORNO 1**



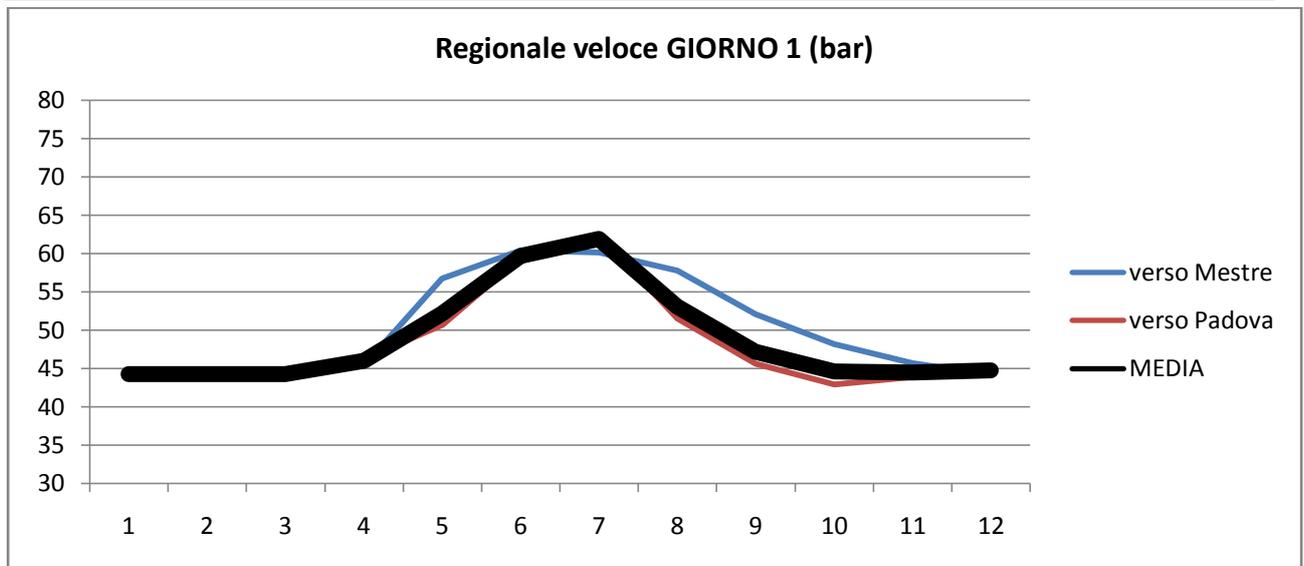
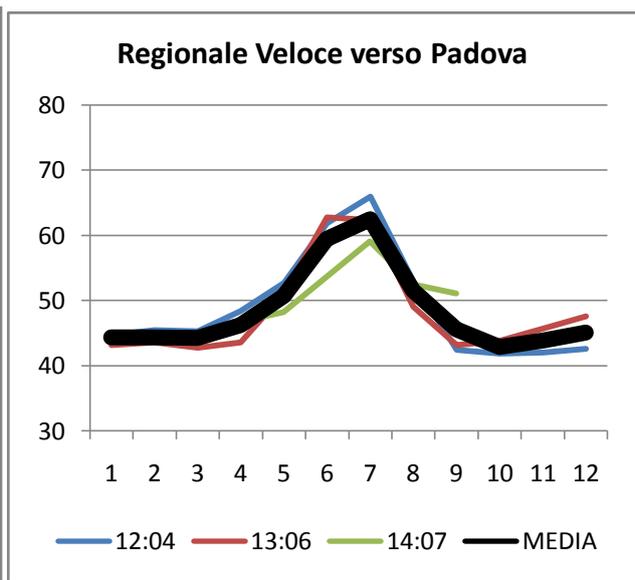
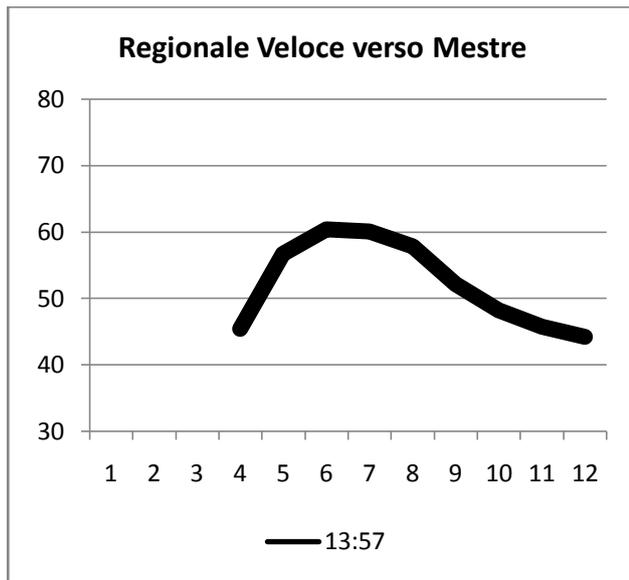
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
media	standard	media	standard	media	standard
46.425	2.388	45.950	3.182	46.267	2.347
46.850	3.178	45.450	2.616	46.383	2.820
45.500	2.920	45.550	2.192	45.517	2.465
46.350	3.032	47.600	1.131	46.767	2.487
50.850	5.483	54.650	2.758	52.117	4.838
67.250	3.181	69.100	2.546	67.867	2.877
67.050	2.973	70.950	0.495	68.350	3.067
57.050	5.449	54.450	5.303	56.183	5.025
50.300	2.128	46.800	4.950	49.133	3.299
45.900	0.891	41.900	*	45.100	1.948
45.200	1.920	42.000	*	44.560	2.194
45.400	1.826	41.900	*	44.700	2.225

**SITO 1 – GIORNO 2**



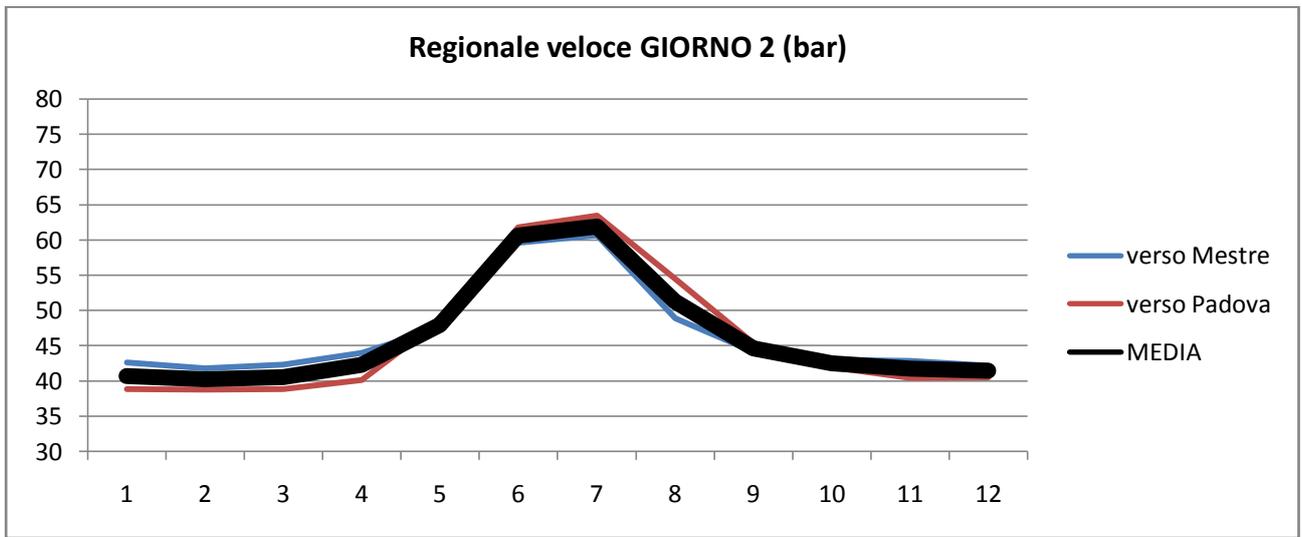
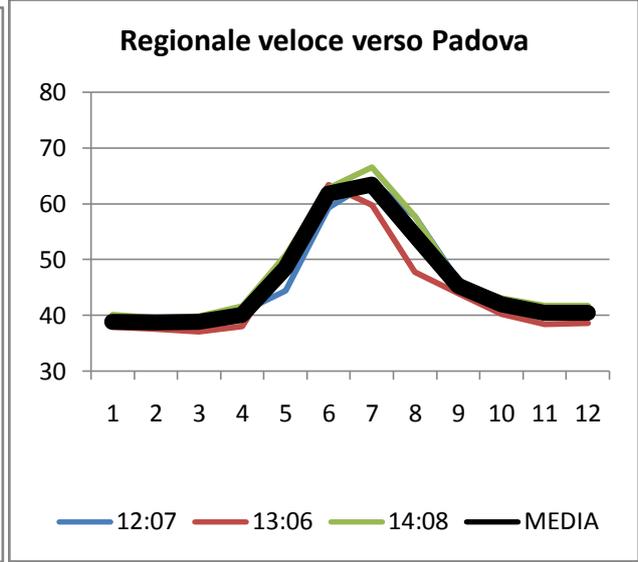
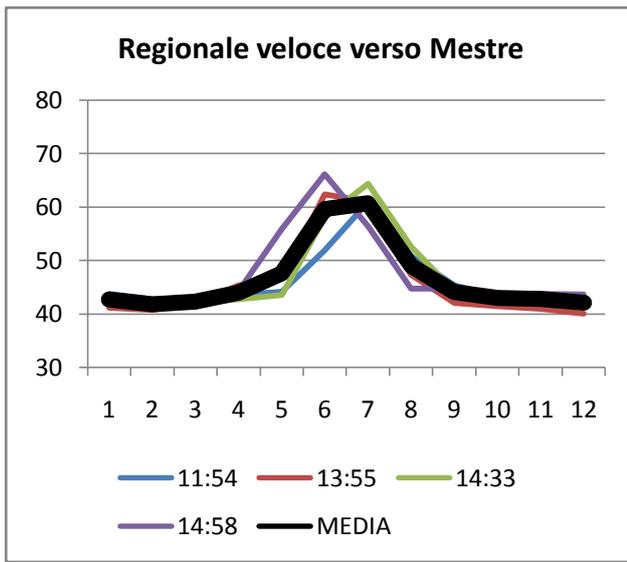
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
media	deviazione standard	media	deviazione standard	media	deviazione standard
48.694	1.436	46.165	2.461	47.851	2.208
48.799	1.126	45.955	2.253	47.851	2.153
48.983	1.152	46.410	2.222	48.125	2.050
51.810	1.365	50.637	1.331	51.419	1.384
54.670	1.574	61.233	5.887	56.858	5.010
65.760	5.749	72.280	5.869	67.933	6.337
67.650	5.050	73.200	6.723	69.500	6.051
57.310	2.996	59.950	4.215	58.190	3.522
52.690	1.663	54.230	4.918	53.203	3.182
48.878	0.489	48.020	2.349	48.592	1.472
48.694	0.719	47.005	2.228	48.131	1.652
49.376	1.158	46.725	2.548	48.493	2.201

**SITO 2 – GIORNO 1**



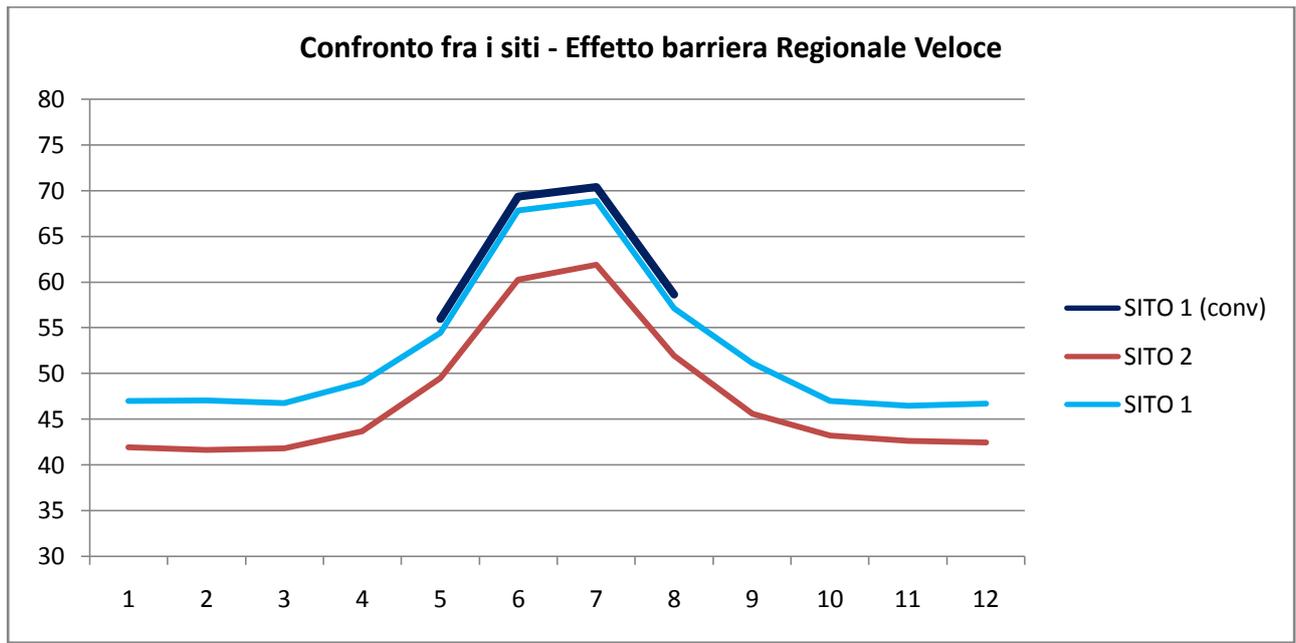
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
**	*	44.333	0.987	44.333	0.987
**	*	44.333	1.021	44.333	1.021
**	*	44.300	1.323	44.300	1.323
45.400	*	46.267	2.444	46.050	2.042
56.700	*	50.700	2.326	52.200	3.551
60.400	*	59.467	5.014	59.700	4.121
60.100	*	62.500	3.451	61.900	3.063
57.800	*	51.533	2.122	53.100	3.581
52.100	*	45.600	4.776	47.225	5.076
48.200	*	42.900	1.414	44.667	3.219
45.700	*	43.900	2.546	44.500	2.078
44.200	*	45.100	3.536	44.800	2.553

**SITO 2 – GIORNO 2**



verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
media	standard	media	standard	media	standard
42.700	1.345	38.833	1.193	40.767	2.404
41.833	1.002	38.767	1.041	40.300	1.912
42.333	0.493	38.833	1.514	40.583	2.166
44.025	1.103	40.133	1.845	42.357	2.464
47.600	5.694	48.533	3.592	48.000	4.556
59.650	6.135	61.867	2.237	60.600	4.679
60.725	3.288	63.500	3.439	61.914	3.398
48.950	3.535	54.467	5.774	51.314	5.104
44.150	1.439	45.367	1.193	44.671	1.390
43.050	1.047	41.967	1.550	42.586	1.298
42.875	1.320	40.467	1.815	41.843	1.904
42.175	1.504	40.533	1.701	41.471	1.693

**DATI RIASSUNTIVI**



SITO 1			SITO 2		
dev	conv	al	dev	INSERTION	
media	standard	sito 2	media	standard	LOSS
47.059	2.284	***	41.956	2.652	***
47.117	2.453	***	41.644	2.572	***
46.821	2.477	***	41.822	2.612	***
49.093	3.014	***	43.700	2.892	***
54.487	5.482	<b>55.976</b>	49.527	4.553	<b>6.449</b>
67.900	4.864	<b>69.389</b>	60.273	4.294	<b>9.116</b>
68.925	4.795	<b>70.414</b>	61.909	3.121	<b>8.505</b>
57.187	4.254	<b>58.676</b>	51.964	4.505	<b>6.712</b>
51.168	3.793	***	45.600	3.248	***
47.005	2.376	***	43.210	2.106	***
46.508	2.514	***	42.640	2.242	***
46.769	2.786	***	42.470	2.438	***

	SITO 1	SITO 1 (conv)	SITO 2
SEL	<b>78.686</b>	<b>80.174</b>	<b>71.559</b>

## **DISCUSSIONE SUI DATI RACCOLTI**

Nel caso della tipologia Regionale Veloce le osservazioni da fare non sono in merito alla scarsità o abbondanza di dati, ma sulla loro estrema varietà. Basta osservare grafici relativi soprattutto al SITO 1, per rendersi conto di come i singoli dati si discostino, chi più chi meno, dal valore medio. La media calcolata, quindi, specie per i valori centrali, non sembra rappresentare nessun passaggio in particolare, ma è utile per avere un dato unico da confrontare con le altre tipologie di convoglio. Il fatto è, probabilmente, da imputarsi alla grande varietà di mezzi classificati sotto il nome di Regionale Veloce, sia in termini di velocità e soprattutto in termini di lunghezza e composizione, caratteristica questa che riscontreremo, probabilmente, anche nel caso dei Regionali. Questa conclusione ci deriva dal fatto che tale varietà di livelli non si riscontra nei livelli che definiscono il rumore di fondo, mentre, invece risulta evidente nella parte centrale di ciascun evento.

La varietà nel comportamento dei singoli passaggi porta ad un errore relativamente sostanzioso, che si aggira entro i valori di 5-6dB massimo, mentre si mantiene al di sotto dei 3dB nel caso della rilevazione rumore di fondo. Comprendendo tutti i dati a nostra disposizione, la varietà delle curve cresce ulteriormente e con essa anche gli errori che si aggirano sui 2dB per i valori “periferici” dell’evento, e raggiungono i 5dB nei valori centrali.

Riguardo i livelli raggiunti si tratta di 70dB massimi, il che li rende confrontabili con treni dalla composizione bloccata che viaggiano a velocità superiori. Si può quindi presumere che i livelli sonori siano da imputarsi non solo alla velocità, ma soprattutto alla lunghezza e alla presenza di materiale rotabile “più rumoroso”. Infatti, possiamo presumere che carrozze più datate, quali quelle che abbiamo notato durante le rilevazioni nei convogli regionali veloci, possano essere prive degli ultimi accorgimenti in termini di limitazione delle emissioni rumorose. Possiamo allo stesso tempo presumere che alcuni convogli, invece, prevedano proprio tali accorgimenti. In conclusione, ciò spiegherebbe il perché vi sia una grande varietà di curve fra loro diverse e perché la media dei valori sia confrontabile con quella dei Frecciargento, nonostante il gap di velocità.

Riguardo alla durata dell’evento non notiamo sostanziali differenze con gli altri convogli (durata sui 20s circa), nonostante il fatto che la presunta maggior lunghezza dei convogli potrebbe indurci a pensare che l’evento possa durare di più. Ciò è dovuto al fatto che riteniamo sia necessario un campionamento più minuzioso per apprezzare effettivamente il passaggio del treno, mentre, con il campionamento ogni 5s che abbiamo scelto, si rischia di smarrire tali differenze.

Infine, riguardo all’insertion loss, notiamo come si attesti su valori medio bassi rispetto a quelli che ci aspetteremmo (sui 12-13 dB), ma è comunque superiore a quello che abbiamo rilevato nel caso dei Frecciabianca, e possiamo considerarlo tutto sommato realistico.

### 3.5.7 Regionale



La categoria Regionale nasce nel 1993 in sostituzione dei “treni locali” ed è andata via via incorporando anche i treni interregionali e differenziandosi successivamente nella categoria Regionale Veloce.

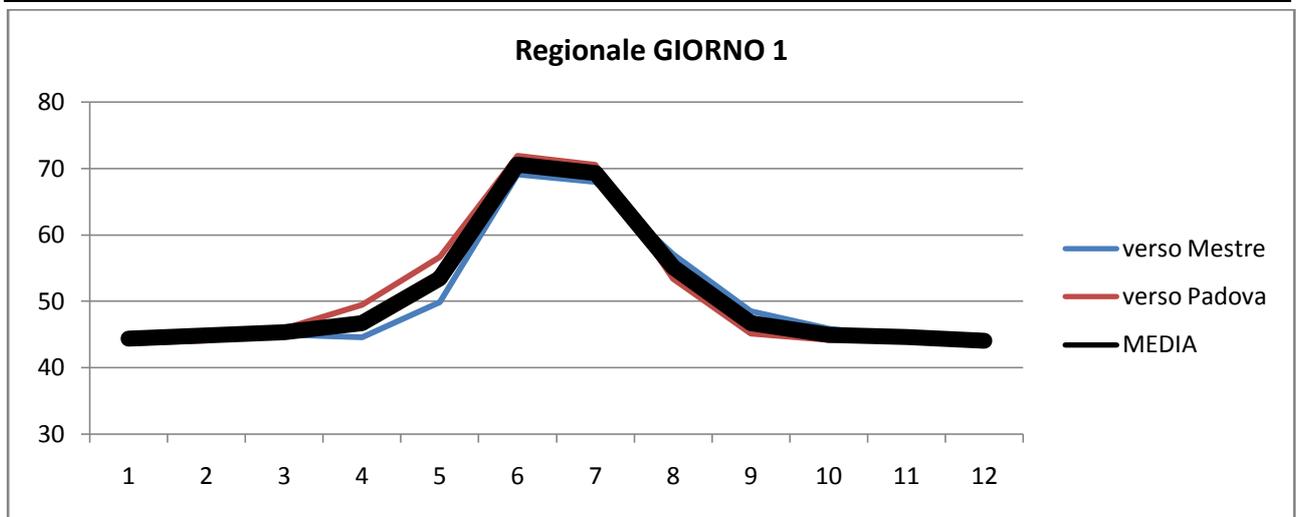
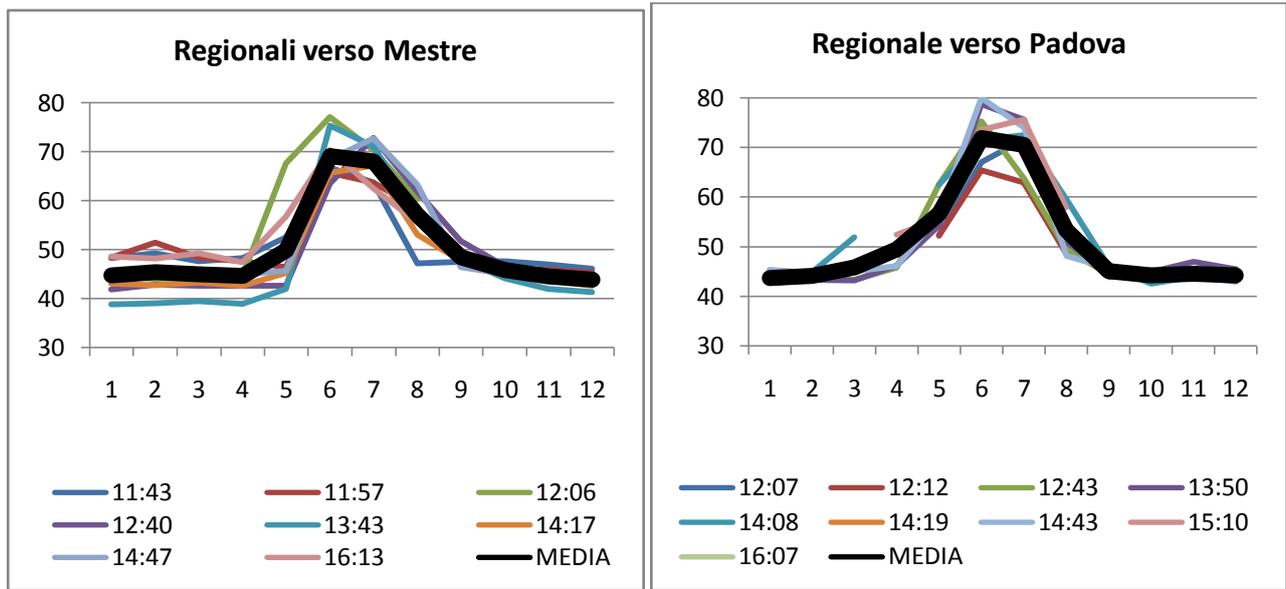
Si tratta della categoria più lenta fra quelle analizzate, sia per il materiale rotabile impiegato, sia per il servizio esplicito, che prevede che i treni si fermino ad ogni fermata. La loro composizione varia molto passando da 8 carrozze a uno o più piani, fino a coppie di carrozze che eseguono servizi molto localizzati (ne abbiamo rilevati un paio nel SITO 4).

Il materiale rotabile impiegato prevede MDVC, MDVE, UIC o Vivalto, mentre la trazione è affidata a motrici E464 o, meno spesso a E656, Aln 668, ALn 501-502, ALn 506-426. Per via di tutte queste variabili ci è impossibile definire una lunghezza di riferimento, mentre la velocità oscilla fra i 90 e i 140 km/h, compatibili con i limiti posti nei siti da noi presi in esame.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l’andamento dei livelli sonori equivalenti all’interno del singolo evento sonoro nei siti interessati. Il numero dei passaggi registrati è stato:

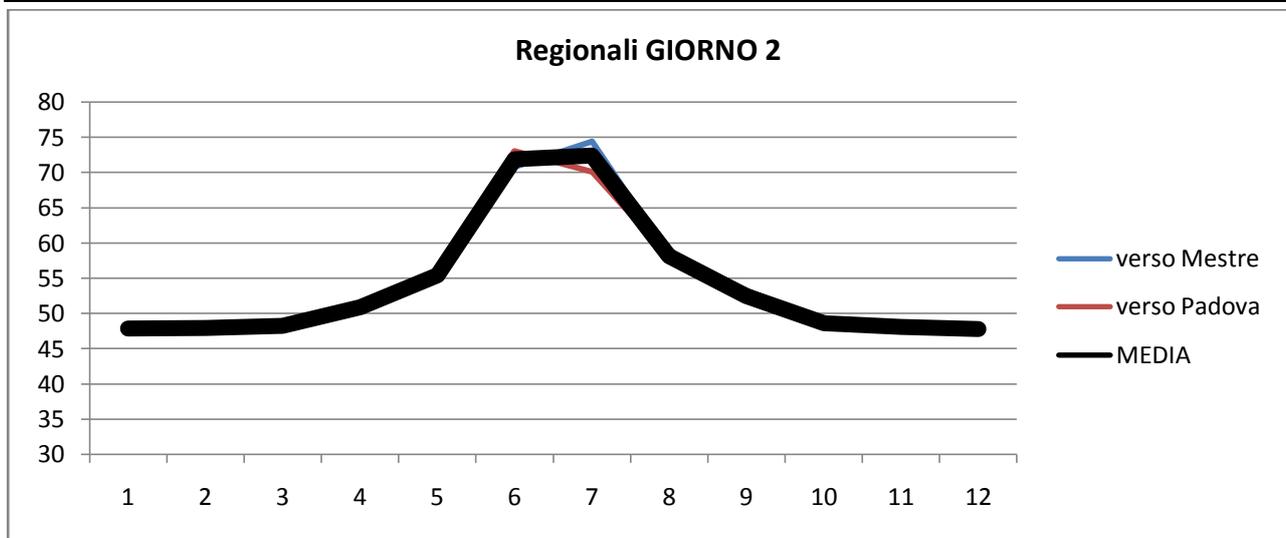
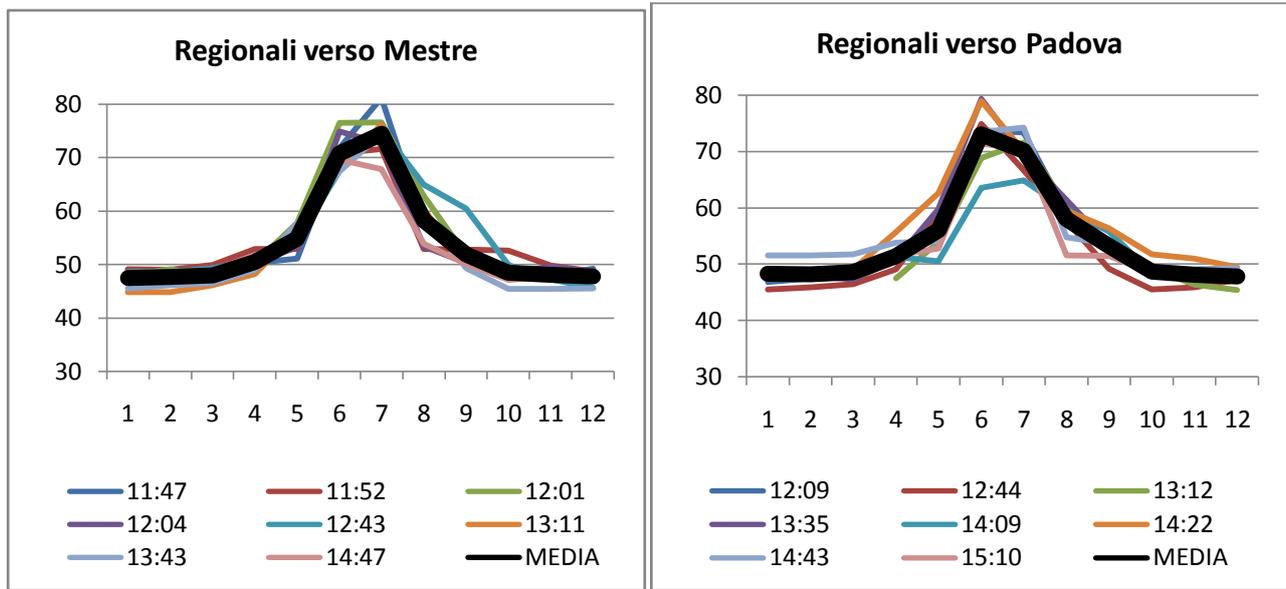
<b>REGIONALE</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	17	16
<b>SITO 2</b>	17	16
<b>SITO 3</b>		11
<b>SITO 4</b>		10

**SITO 1 – GIORNO 1**



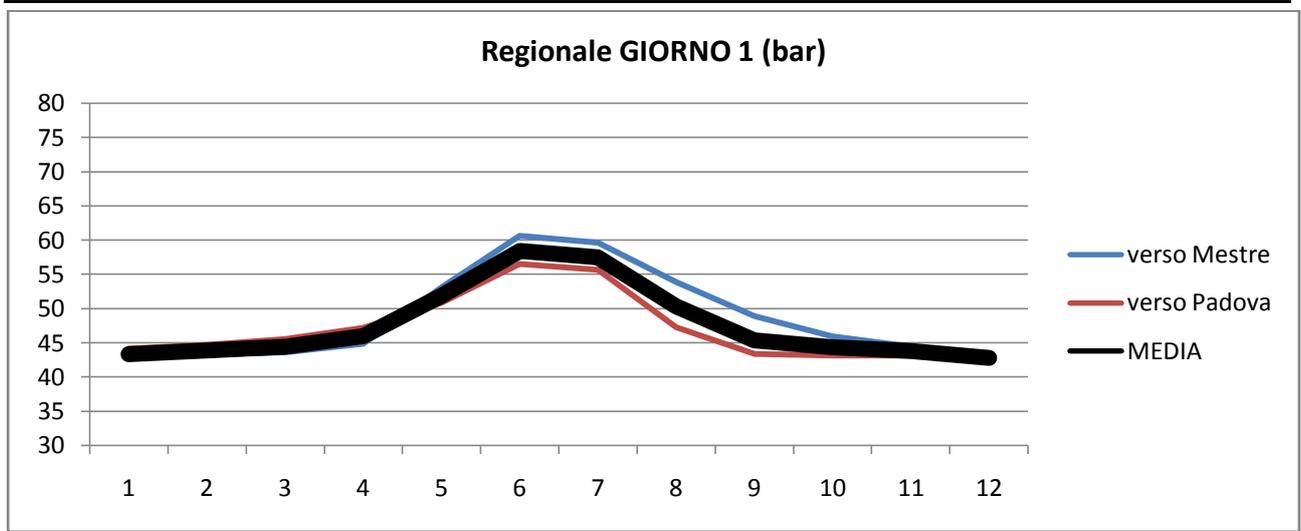
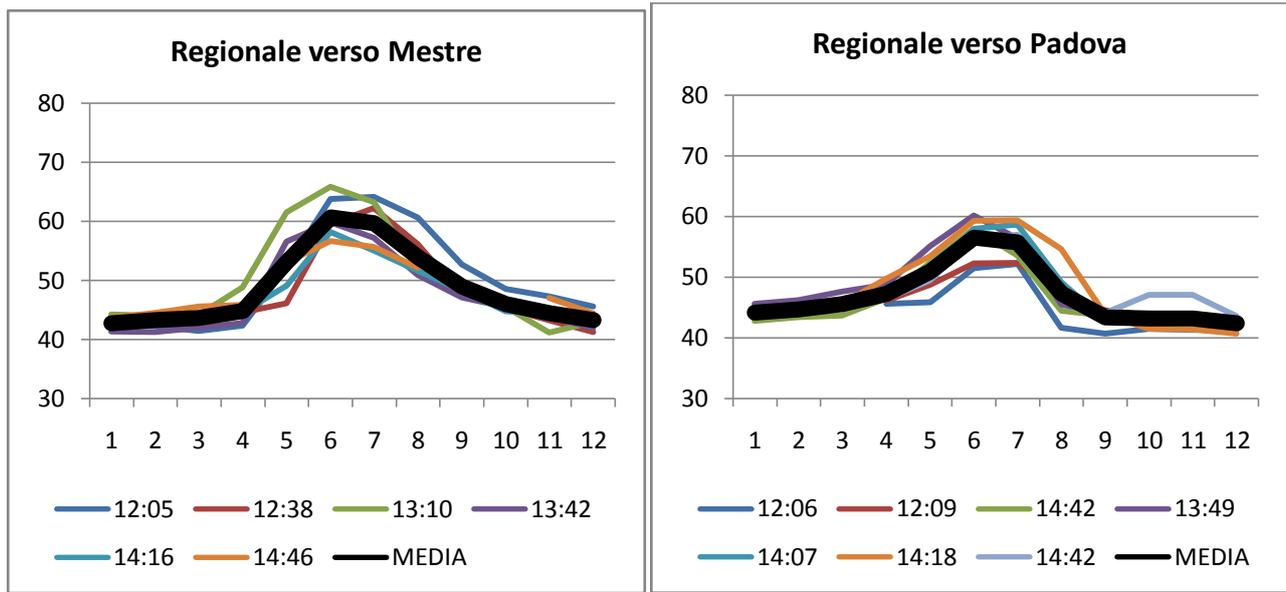
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
44.750	3.536	43.725	1.167	44.356	2.930
45.338	4.062	44.100	0.812	44.862	3.325
44.963	3.298	45.875	4.110	45.313	3.425
44.613	3.177	49.520	3.172	46.716	3.377
49.838	8.753	56.688	4.343	53.464	7.637
69.100	4.848	71.900	5.506	70.582	5.384
68.013	4.256	70.513	5.367	69.336	4.854
57.075	5.180	53.413	4.532	55.136	5.282
48.483	1.907	45.167	0.836	46.697	2.230
45.850	1.245	44.233	1.017	44.979	1.374
44.533	1.792	44.633	1.198	44.587	1.454
43.867	1.781	44.233	1.048	44.064	1.406

**SITO 1 – GIORNO 2**



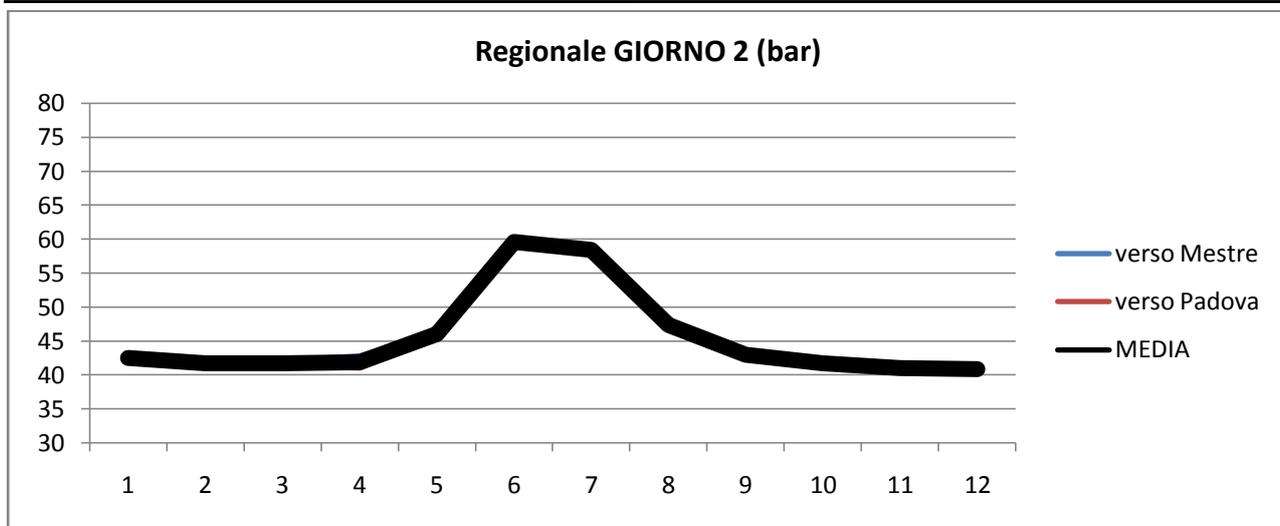
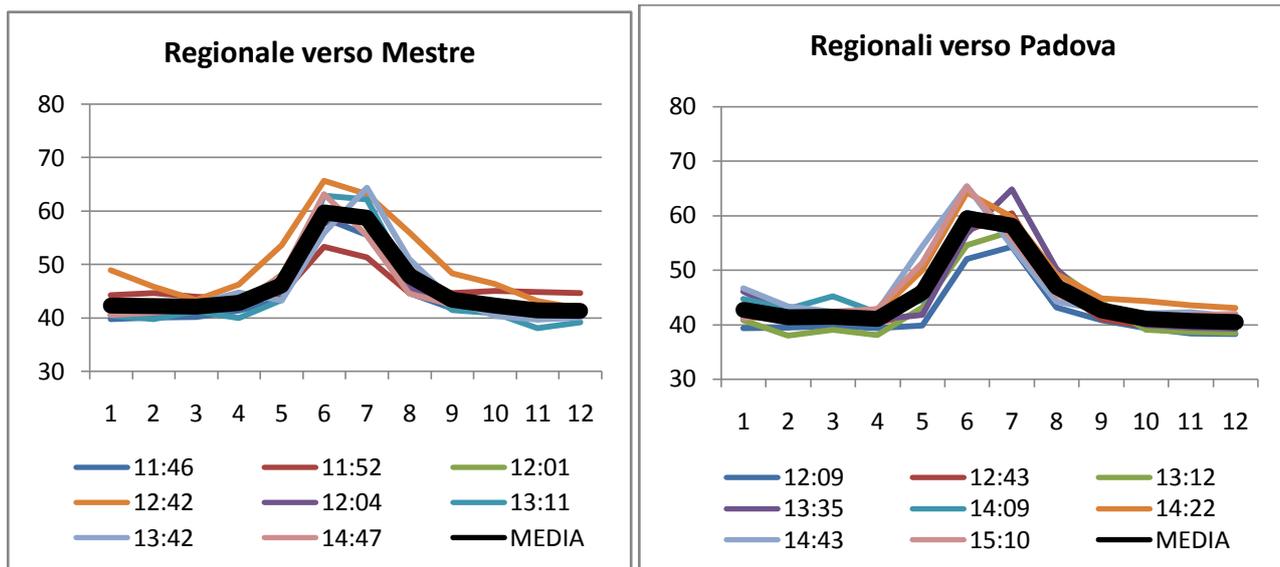
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
media	standard	media	standard	media	standard
47.460	1.545	48.360	1.925	47.880	1.732
47.696	1.564	48.240	1.691	47.950	1.590
47.946	1.353	48.600	1.697	48.251	1.504
50.435	1.462	51.480	2.560	50.923	2.085
54.821	2.369	56.086	4.085	55.412	3.291
70.800	3.402	73.050	5.180	71.850	4.390
74.445	3.931	70.095	3.159	72.415	4.113
58.176	4.563	58.039	3.293	58.112	3.845
51.810	3.649	53.268	2.287	52.490	3.037
48.465	2.280	48.759	1.715	48.602	1.929
48.045	1.537	48.182	1.581	48.109	1.506
47.730	1.539	47.867	1.344	47.794	1.387

**SITO 2 – GIORNO 1**



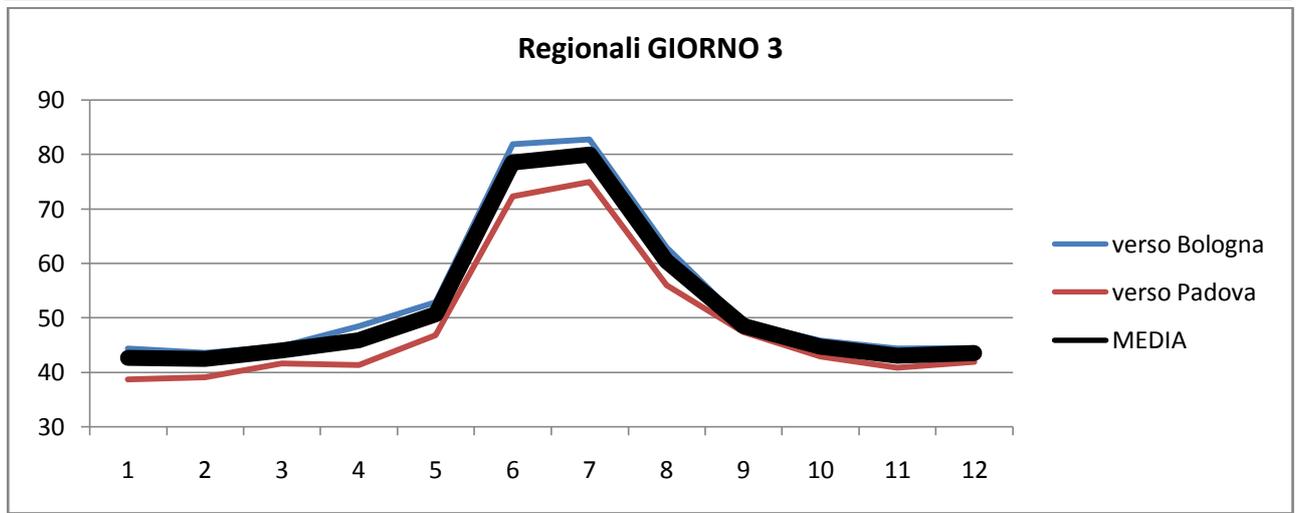
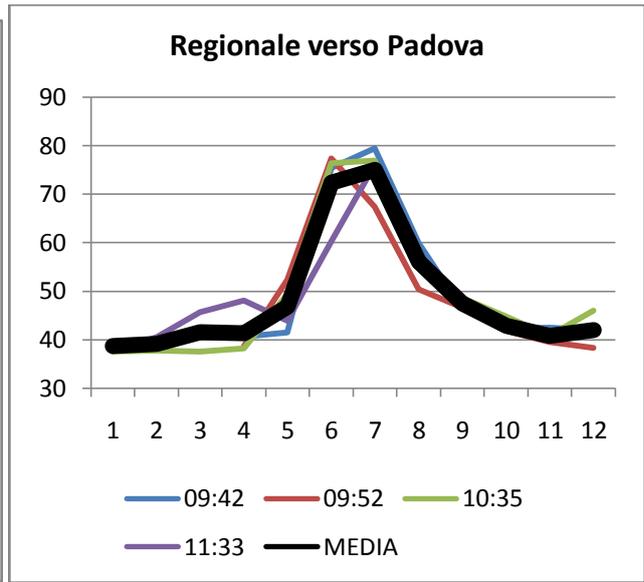
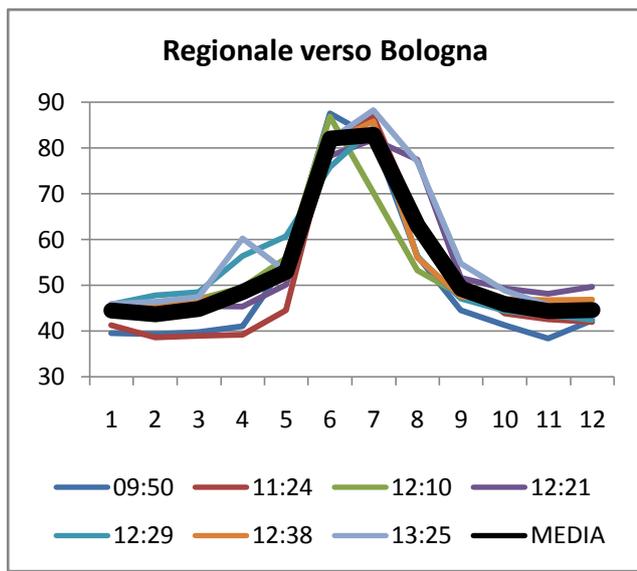
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
42.767	1.061	44.200	1.278	43.340	1.311
43.317	1.306	44.700	1.149	43.870	1.378
43.650	1.569	45.550	1.601	44.410	1.785
44.867	2.359	47.183	1.656	46.025	2.289
53.133	5.457	50.886	3.097	51.923	4.309
60.667	3.490	56.500	3.385	58.423	3.934
59.633	4.083	55.671	2.956	57.500	3.942
53.917	3.813	47.286	4.107	50.346	5.131
48.950	2.613	43.386	1.294	45.409	3.307
45.960	1.504	43.186	1.932	44.342	2.213
44.517	2.345	43.200	1.927	43.808	2.148
43.267	1.567	42.414	1.029	42.808	1.322

**SITO 2 – GIORNO 2**



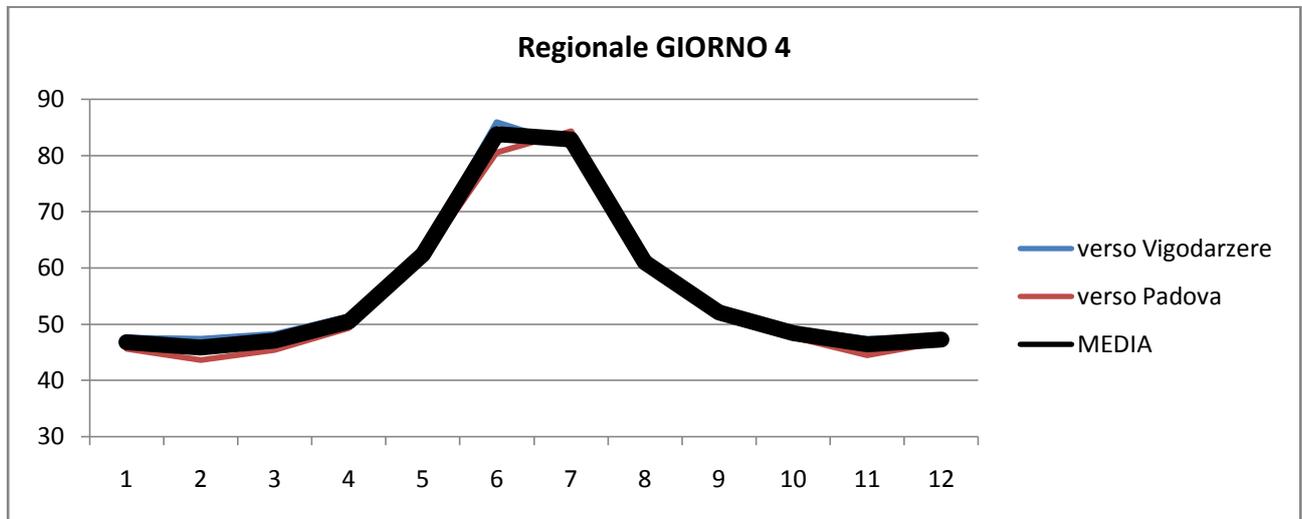
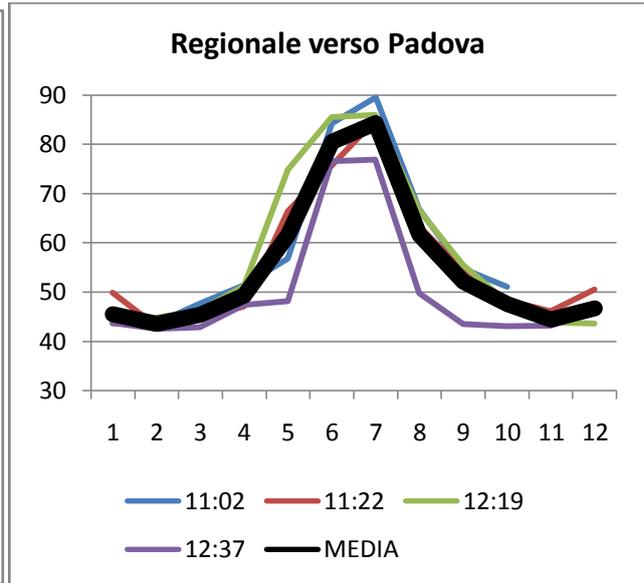
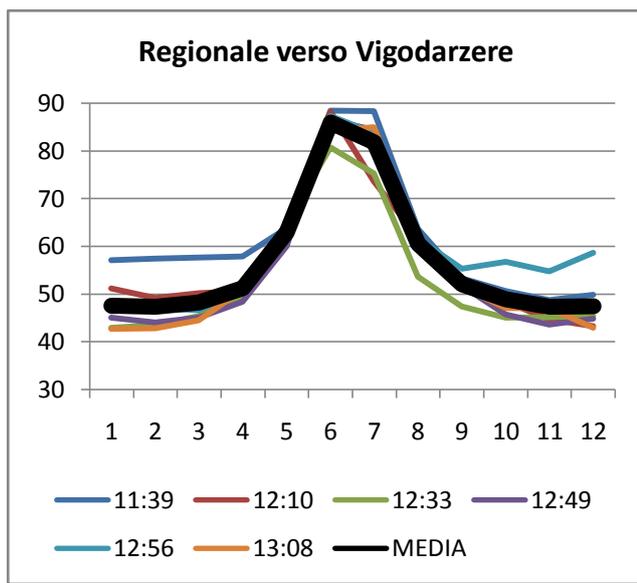
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
media	standard	media	standard	media	standard
39.700	3.036	42.700	2.702	42.475	2.786
40.000	2.159	41.325	1.781	41.750	1.962
40.100	1.195	41.425	1.912	41.750	1.576
41.300	2.010	41.050	1.689	41.906	1.999
43.300	3.615	45.888	5.285	46.006	4.376
58.700	4.121	59.488	5.127	59.606	4.495
55.500	4.504	58.125	3.543	58.438	3.928
44.600	4.067	46.900	2.673	47.406	3.366
41.700	2.206	42.538	1.379	42.981	1.836
42.000	2.140	41.050	1.811	41.694	2.027
41.500	2.045	40.588	1.933	40.981	1.965
41.200	1.596	40.425	1.848	40.863	1.728

**SITO 3**



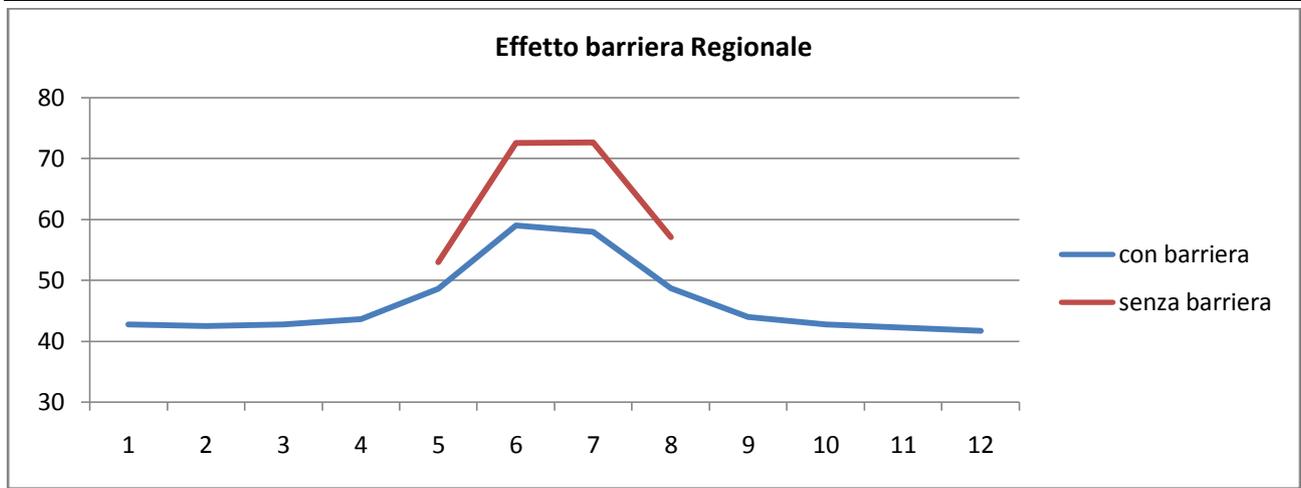
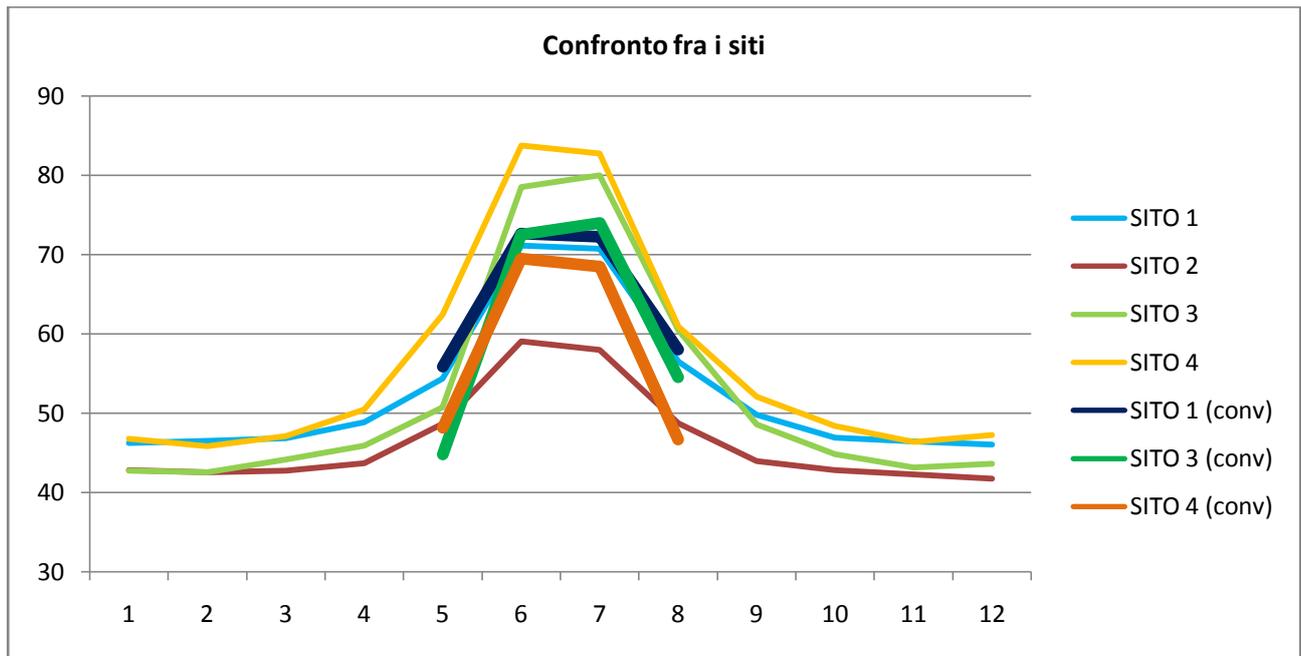
verso Bologna		verso Padova		TOTALE	
media	standard	media	standard	media	standard
44.457	3.021	38.767	1.935	42.750	3.804
43.667	3.829	39.200	1.980	42.550	3.913
44.857	3.840	41.650	5.728	44.144	4.142
48.514	7.692	41.400	4.582	45.927	7.395
52.971	5.069	46.825	4.968	50.736	5.695
81.971	4.251	72.400	8.108	78.491	7.341
82.829	6.000	75.000	5.267	79.982	6.747
63.029	10.333	56.050	4.050	60.491	9.021
49.257	3.477	47.475	1.103	48.609	2.903
45.900	2.887	42.925	1.330	44.818	2.790
44.414	3.252	40.900	1.233	43.136	3.154
44.557	2.808	42.025	3.148	43.636	3.055

**SITO 4**



verso Vigodarzere		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
<b>47.583</b>	5.630	<b>45.575</b>	2.949	<b>46.780</b>	4.646
<b>47.383</b>	5.511	<b>43.575</b>	0.954	<b>45.860</b>	4.587
<b>48.267</b>	5.047	<b>45.425</b>	2.106	<b>47.130</b>	4.217
<b>51.333</b>	3.345	<b>49.300</b>	2.373	<b>50.520</b>	3.033
<b>62.983</b>	1.883	<b>61.625</b>	11.584	<b>62.440</b>	6.869
<b>85.933</b>	2.951	<b>80.575</b>	5.090	<b>83.790</b>	4.597
<b>81.767</b>	5.909	<b>84.375</b>	5.361	<b>82.810</b>	5.549
<b>60.483</b>	3.479	<b>61.700</b>	8.081	<b>60.970</b>	5.375
<b>52.100</b>	2.639	<b>52.075</b>	5.668	<b>52.090</b>	3.818
<b>48.950</b>	4.340	<b>47.625</b>	3.328	<b>48.420</b>	3.824
<b>47.383</b>	4.071	<b>44.400</b>	1.493	<b>46.389</b>	3.625
<b>47.500</b>	6.028	<b>46.767</b>	3.547	<b>47.256</b>	5.098

**DATI RIASSUNTIVI**



SITO 1			SITO 3			S 1-3	SITO 2		
dev	conv	al	dev	conv	al	media	media	dev	INSERTION
media	standard	sito 2	media	standard	sito 2	media	media	standard	LOSS
46.244	9.204	***	42.750	3.804	***	***	42.808	2.337	***
46.516	9.255	***	42.550	3.913	***	***	42.565	2.024	***
46.887	9.316	***	44.144	4.142	***	***	42.773	2.093	***
48.892	9.770	***	45.927	7.395	***	***	43.671	2.960	***
54.377	11.185	<b>55.866</b>	50.736	5.695	<b>44.779</b>	<b>53.030</b>	48.659	5.309	<b>4.371</b>
71.177	13.499	<b>72.666</b>	78.491	7.341	<b>72.534</b>	<b>72.632</b>	59.076	4.089	<b>13.556</b>
70.779	13.336	<b>72.268</b>	79.982	6.747	<b>74.025</b>	<b>72.718</b>	58.017	3.808	<b>14.700</b>
56.531	11.058	<b>58.020</b>	60.491	9.021	<b>54.534</b>	<b>57.128</b>	48.724	4.498	<b>8.404</b>
49.801	10.070	***	48.609	2.903	***	***	43.970	2.814	***
46.920	9.212	***	44.818	2.790	***	***	42.829	2.503	***
46.474	9.083	***	43.136	3.154	***	***	42.248	2.505	***
46.062	9.016	***	43.636	3.055	***	***	41.734	1.847	***

<b>SITO 4</b>		
	<b>dev</b>	<b>conv al</b>
<b>media</b>	<b>standard</b>	<b>sito 2</b>
46.78	4.646	***
45.86	4.587	***
47.13	4.217	***
50.52	3.033	***
62.44	6.869	<b>48.15</b>
83.79	4.597	<b>69.50</b>
82.81	5.549	<b>68.52</b>
60.97	5.375	<b>46.68</b>
52.09	3.818	***
48.42	3.824	***
46.39	3.625	***
47.26	5.098	***

<b>SEL</b>	
<b>SITO 1</b>	81.106
<b>SITO 1 (conv)</b>	82.595
<b>SITO 2</b>	69.003
<b>SITO 3</b>	89.332
<b>SITO 3 (conv)</b>	83.374
<b>SITO 1-3 (conv)</b>	82.758
<b>SITO 4</b>	93.358
<b>SITO 4 (conv)</b>	79.065

### **DISCUSSIONE SUI DATI RACCOLTI**

Nel caso dei treni Regionali abbiamo a disposizione un numero relativamente grande di dati a disposizione, che risulta fondamentale per mediare una serie di valori fra loro altrimenti estreme e molto differenti. Come avevamo già osservato nel caso dei Regionali veloci, tale caratteristica è probabilmente da imputarsi al numero di variabili che entrano in gioco quando si parla di emissioni acustiche e che comprendono velocità, lunghezza e emissione in generale del materiale rotabile. Nel caso dei regionali queste tre variabili assumono i più diversi valori e lo si può notare guardando a ogni singolo grafico registrato nei tre diversi siti di misura. Possiamo notare la presenza di una molteplicità di curve che si differenziano molto le une dalle altre, a differenza di quanto accade nel caso dei treni a composizione bloccata in cui i singoli passaggi si differenziano molto poco dalla media. Ovviamente, una simile varietà di dati si accompagna ad un errore relativamente alto che si aggira sui 9-13dB. Tale aspetto sembra essere notevole anche nel caso del rumore di fondo e la cosa sembra strana dato che in questo caso il passaggio del treno dovrebbe avere una importanza limitata. Una deviazione standard particolarmente elevata si riscontra nel SITO 1 e si potrebbe spiegare con situazioni particolari che hanno di volta in volta condizionato i dati registrati. Infatti, non si registrano variazioni rispetto al comportamento della curva rispetto al solito (ovvero una curva che definisce un evento che dura circa 20s), e se notiamo, le curve che si trovano al di sopra della media lo sono sia all'inizio che alla fine dell'evento. Ciò significa che il clima acustico registrato in quel dato passaggio risulta superiore (o inferiore nel caso opposto) rispetto a quello che ci potevamo aspettare. Riguardo alla durata dell'evento possiamo notare, come abbiamo già osservato, che la durata non si discosta molto rispetto a quella di altre categorie di treno. Come abbiamo già accennato nel caso dei Regionali Veloci il reale andamento delle curve potrebbe essere stato mascherato dalla scelta dell'intervallo di integrazione che non ci permette di apprezzare più in dettaglio le differenze fra un passaggio e l'altro. I valori massimi raggiunti sono nell'ordine dei 72dB, quindi più alti rispetto a quelli registrati nel caso dei Regionali Veloci. Ciò ci porta a concludere che, ammettendo che la lunghezza di Regionali e Regionali Veloci sia abbastanza simile, e che questi ultimi sono più veloci, la maggior emissione è da imputarsi al differente materiale rotabile impiegato. Nel caso dei Regionali, un materiale con emissioni più alte riesce ad essere più importante rispetto alla velocità tenuta dai convogli. Questo può essere uno spunto interessante per

tutte quelle campagne di misura che più spesso valutano velocità e lunghezza come gli aspetti più importanti al fine di prevedere i livelli sonori.

Riguardo all'insertion loss, vediamo come la riduzione del livello sonoro sia relativamente alta.

Quest'aspetto può essere particolarmente significativo alla luce delle molteplici rilevazioni che abbiamo a disposizione per la classe Regionale e che ci assicurano che i valori così calcolati sono abbastanza affidabili (molto più di quanto non fossero i dati rilevati per Intercity o Eurocity). Inoltre, i valori rilevati sono nell'ordine dei 13-14dB, che sono un valore che ci potevamo attendere basandoci su quanto descritto in letteratura. Ammettendo che non ci siano grosse differenze fra quanto viene emesso dalle varie categorie di treno, possiamo tenere il valore dei Regionali come il più affidabile ed ammettere che le differenze con le altre categorie di treno fossero legate alla mancanza di un numero sufficiente di dati.

Per quanto riguarda il SITO 4 abbiamo scelto di non unire i dati rilevati con quelli dei siti 1 e 3 perché le condizioni di emissione erano differenti (i treni del SITO 4 rallentavano prima del passaggio) e la nostra scelta è stata giustificata dai dati raccolti. Come vediamo, i livelli sonori registrati sono inferiori di 2-3dB rispetto a quelli degli altri siti, ma soprattutto i valori di SEL indicano come le due sorgenti non potessero essere più di tanto paragonabili. Osserviamo, inoltre, che oltre alle condizioni di traffico, le differenze si sono registrate anche in termini di composizione dei treni, che, nel SITO 4 sono più corti e per lo più alimentati a nafta piuttosto che elettricamente. Per tutti questi motivi, i dati del SITO 4 non sono aggregabili con quelli dei siti 1 e 3, ma possono essere un interessante spunto per vedere come le emissioni cambiano nel caso di veicoli con una velocità inferiore.

### 3.5.8 Merci



Il trasporto merci è il più antico trasporto ferroviario, svolto dai treni fin dai primi prototipi impiegati. Attualmente, dopo una battuta d'arresto negli anni '90, l'Italia sta riacquistando fiducia in questa tipologia di trasporto rivolta ai più diversi materiali. Proprio questa versatilità ha portato alla creazione dei più diversi tipi di carri ferroviari, da quelli per il trasporto di container a quelli per il trasporto di barre di metalli, a quelle per il trasporto di autovetture. A seconda della domanda, la lunghezza dei treni cambia, così come il tipo di carro e locomotiva impiegato. Diviene, così, naturale aspettarsi un'estrema varietà nelle emissioni registrate.

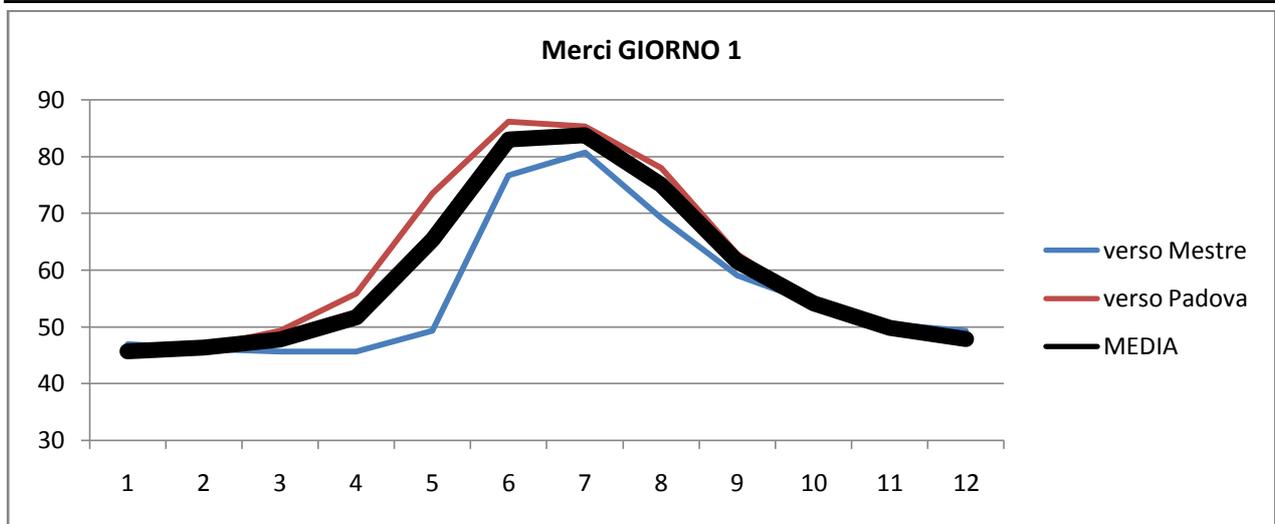
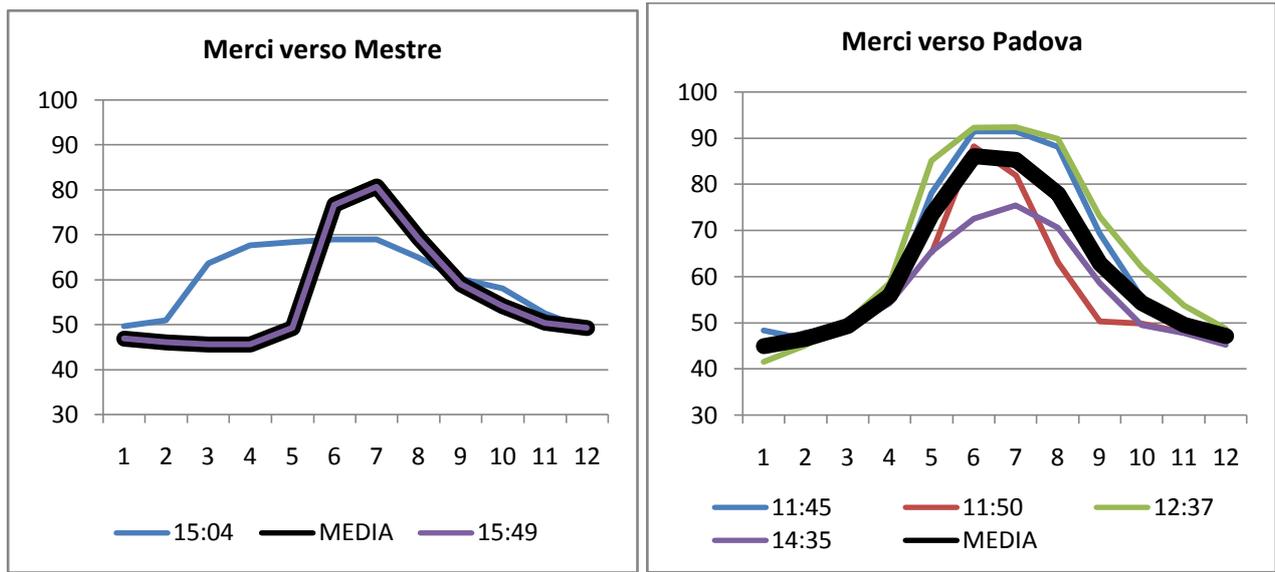
Riguardo alla velocità massima si parla di convogli che viaggiano a 100-120 km/h massimi.

Puntualizziamo, comunque, che la maggior parte del traffico merci si svolge nelle ore notturne, così che l'immagine che abbiamo ottenuto non è che una immagine parziale del fenomeno.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l'andamento dei livelli sonori equivalenti all'interno del singolo evento sonoro nei siti interessati. Il numero dei passaggi registrati è stato:

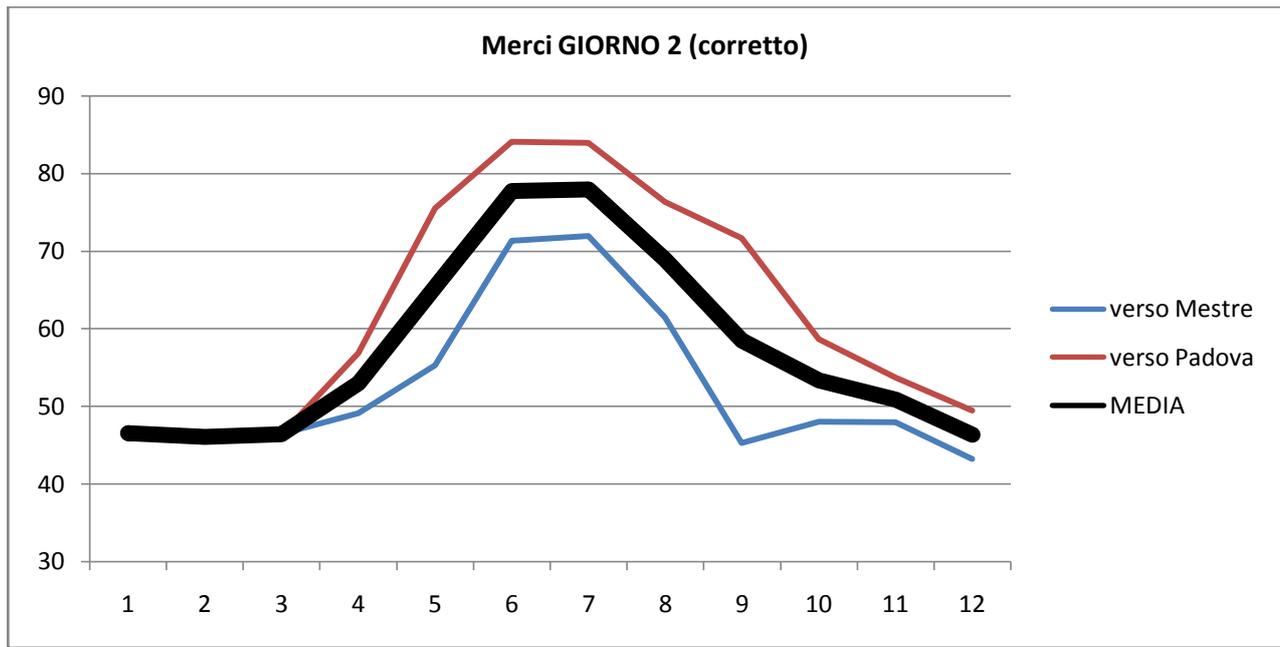
<b>MERCI</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	6	3
<b>SITO 2</b>	6	3
<b>SITO 3</b>		4
<b>SITO 4</b>		3

**SITO 1 – GIORNO 1**



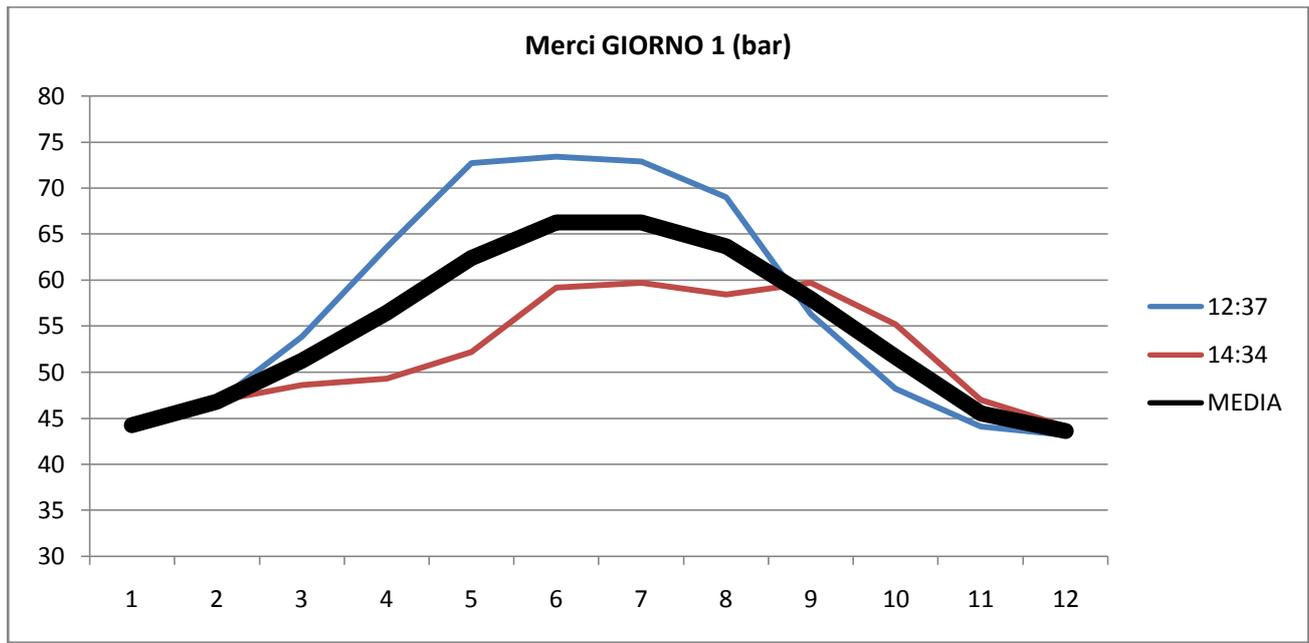
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
media	standard	media	standard	media	standard
46.900	2.121	44.900	3.400	45.700	3.159
46.100	2.192	46.500	1.400	46.340	2.149
45.600	8.910	49.267	0.961	47.800	6.298
45.600	12.092	55.833	2.409	51.740	6.539
49.300	9.051	73.475	9.808	65.417	10.450
76.700	2.970	86.150	9.206	83.000	10.631
80.700	6.223	85.325	8.092	83.783	9.217
69.200	2.616	77.950	13.196	75.033	12.816
59.000	6.576	62.825	10.352	61.550	9.331
54.100	7.566	54.225	5.863	54.183	5.721
50.400	3.960	49.525	2.812	49.817	2.809
49.300	2.051	47.150	1.572	47.867	1.538

**SITO 1 – GIORNO 1**



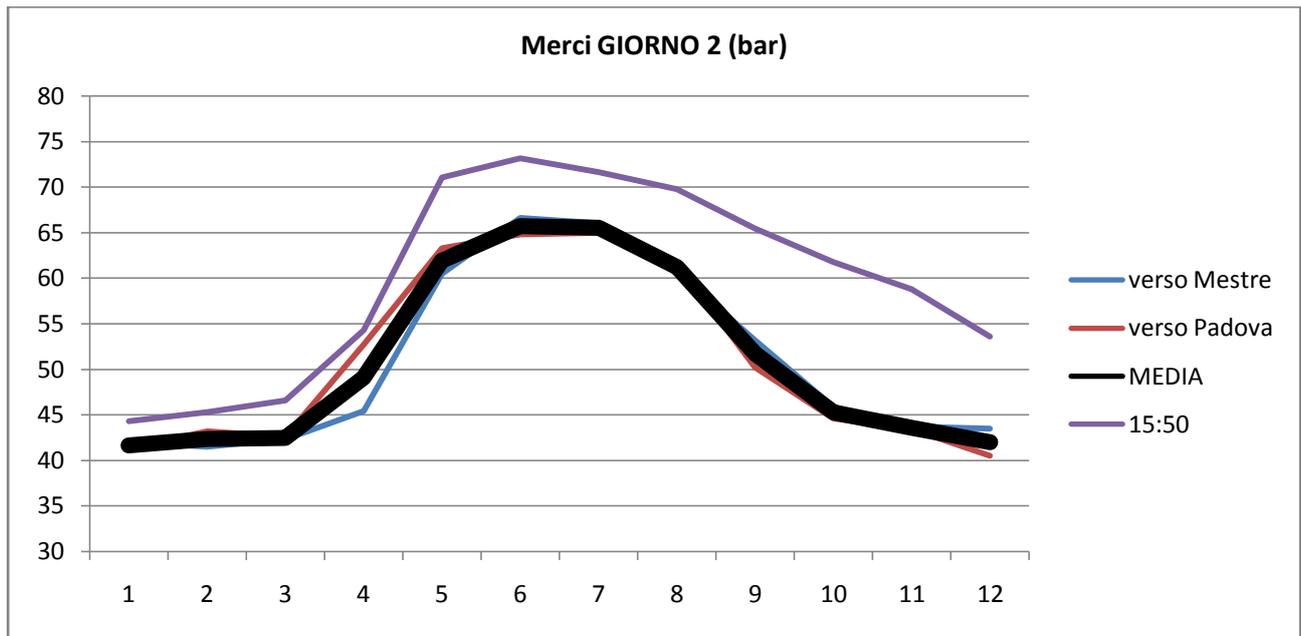
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
media	deviazione standard	media	deviazione standard	media	deviazione standard
45.885	*	47.250	*	46.568	0.965
46.200	*	45.990	*	46.095	0.148
46.515	*	46.305	*	46.410	0.148
49.170	*	56.870	*	53.020	5.445
55.330	*	75.570	*	65.450	14.312
71.400	*	84.120	*	77.760	8.994
72.000	*	84.000	*	78.000	8.485
61.490	*	76.340	*	68.915	10.501
45.320	*	71.720	*	58.520	18.668
48.090	*	58.695	*	53.393	7.499
47.985	*	53.760	*	50.873	4.084
43.260	*	49.455	*	46.358	4.381

**SITO 2 – GIORNO 1**



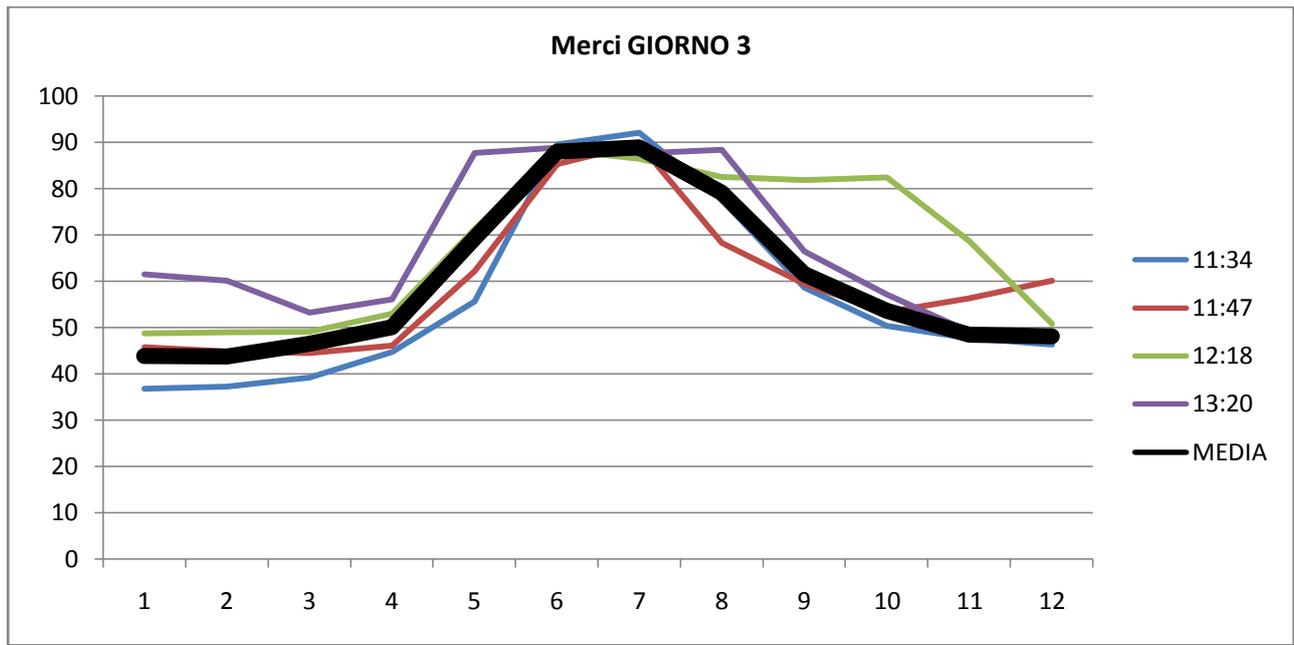
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
**	**	<b>44.300</b>	0.707	<b>44.300</b>	0.707
**	**	<b>46.850</b>	0.071	<b>46.850</b>	0.071
**	**	<b>51.250</b>	3.748	<b>51.250</b>	3.748
**	**	<b>56.450</b>	10.112	<b>56.450</b>	10.112
**	**	<b>62.450</b>	14.496	<b>62.450</b>	14.496
**	**	<b>66.300</b>	10.041	<b>66.300</b>	10.041
**	**	<b>66.300</b>	9.334	<b>66.300</b>	9.334
**	**	<b>63.700</b>	7.495	<b>63.700</b>	7.495
**	**	<b>58.000</b>	2.404	<b>58.000</b>	2.404
**	**	<b>51.700</b>	4.950	<b>51.700</b>	4.950
**	**	<b>45.550</b>	2.051	<b>45.550</b>	2.051
**	**	<b>43.650</b>	0.636	<b>43.650</b>	0.636

**SITO 2 – GIORNO 2**



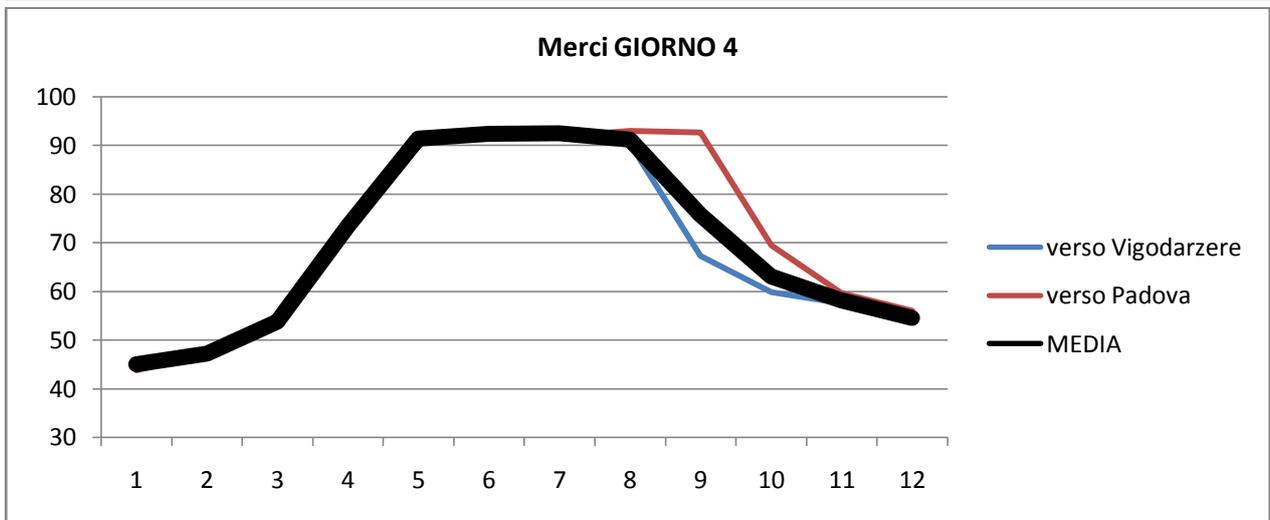
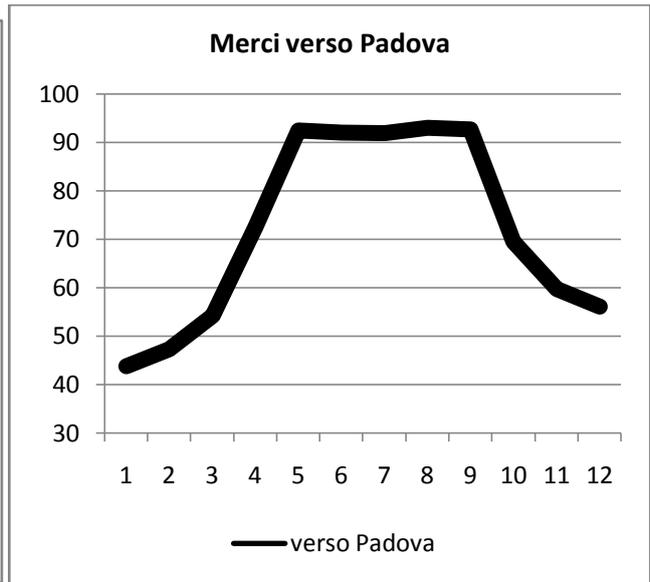
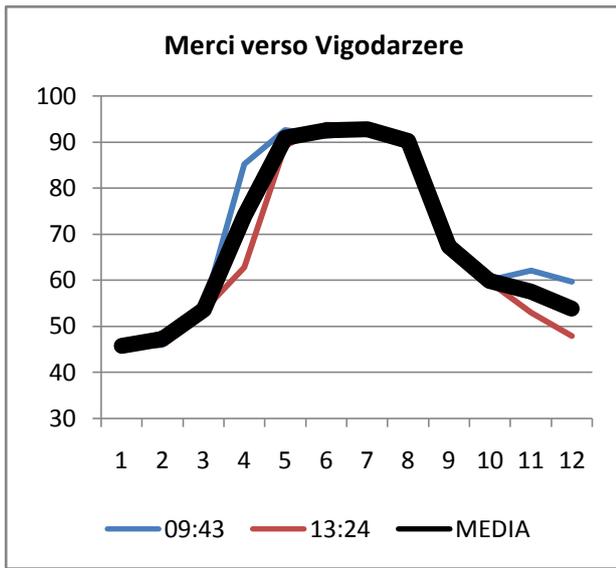
verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
media	standard	media	standard	media	standard
42.000	*	41.300	*	41.650	0.495
41.500	*	43.200	*	42.350	1.202
42.300	*	42.600	*	42.450	0.212
45.400	*	52.700	*	49.050	5.162
60.500	*	63.300	*	61.900	1.980
66.600	*	64.800	*	65.700	1.273
66.000	*	65.000	*	65.500	0.707
60.700	*	61.700	*	61.200	0.707
53.200	*	50.200	*	51.700	2.121
45.900	*	44.600	*	45.250	0.919
43.700	*	43.400	*	43.550	0.212
43.500	*	40.500	*	42.000	2.121

**SITO 3**



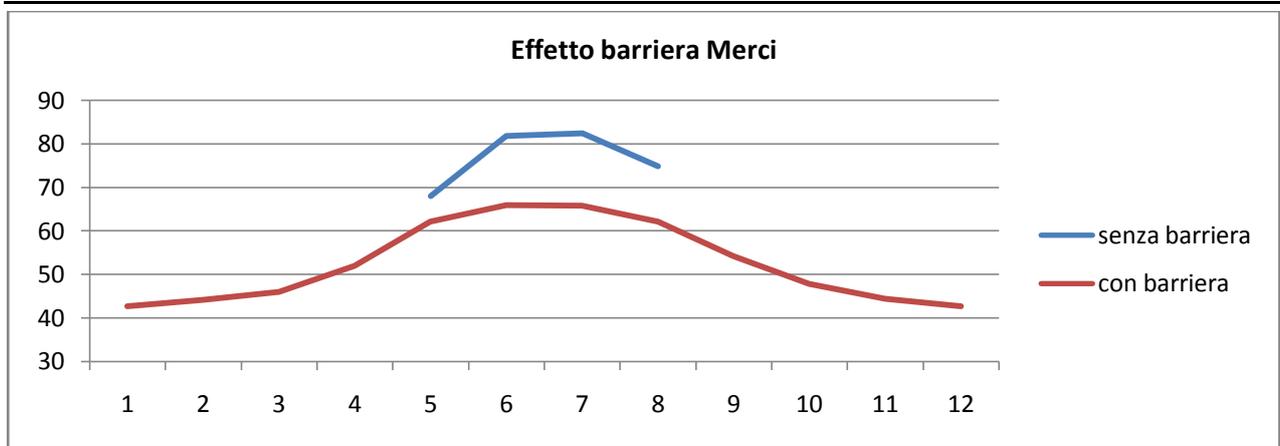
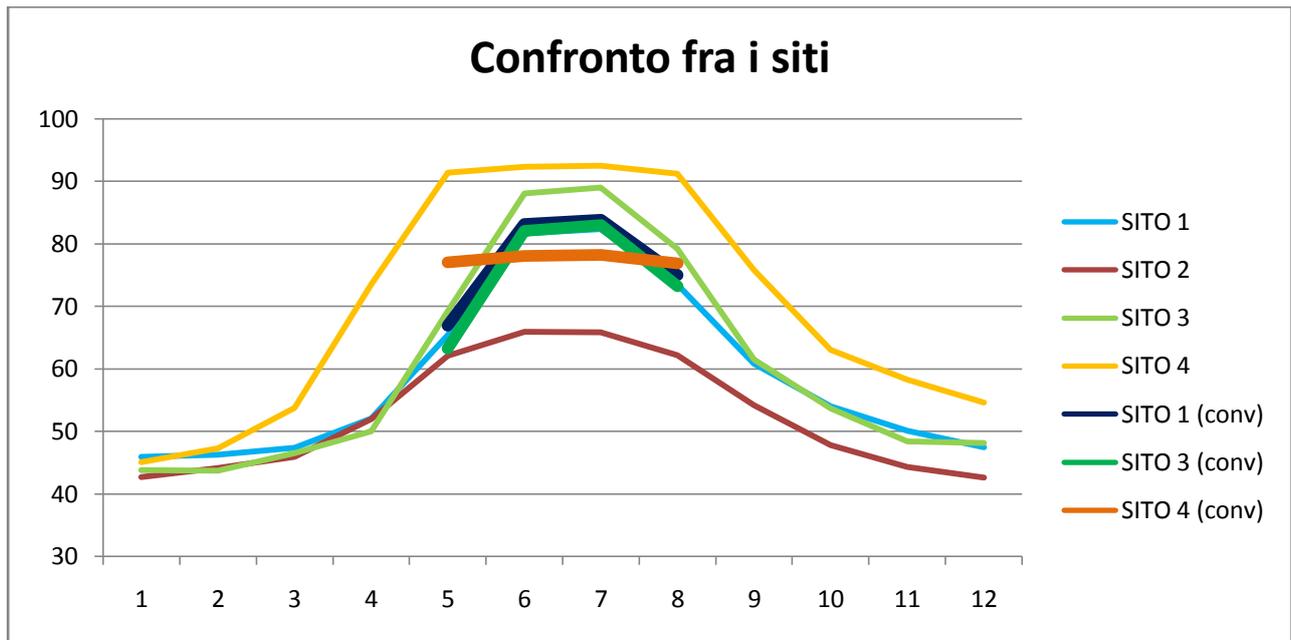
verso Bologna		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
<b>43.800</b>	6.245	**	**	43.800	6.245
<b>43.700</b>	5.927	**	**	43.700	5.927
<b>46.500</b>	6.026	**	**	46.500	6.026
<b>50.000</b>	5.481	**	**	50.000	5.481
<b>69.250</b>	7.836	**	**	69.250	7.836
<b>88.050</b>	1.898	**	**	88.050	1.898
<b>88.975</b>	2.470	**	**	88.975	2.470
<b>79.225</b>	8.516	**	**	79.225	8.516
<b>61.500</b>	4.267	**	**	61.500	4.267
<b>53.633</b>	3.356	**	**	53.633	3.356
<b>48.400</b>	4.672	**	**	48.400	4.672
<b>48.100</b>	6.327	**	**	48.100	6.327

**SITO 4**



verso Mestre		verso Padova		TOTALE	
deviazione		deviazione		deviazione	
media	standard	media	standard	media	standard
45.700	0.283	43.800	*	45.067	1.115
47.250	1.768	47.300	*	47.267	1.250
53.550	0.212	54.200	*	53.767	0.404
74.000	15.839	72.600	*	73.533	11.229
90.900	2.404	92.400	*	91.400	1.908
92.550	1.768	92.000	*	92.367	1.290
92.800	0.990	91.900	*	92.500	0.872
90.300	0.141	93.000	*	91.200	1.562
67.300	0.424	92.700	*	75.767	14.668
59.850	0.354	69.500	*	63.067	5.577
57.500	6.505	59.700	*	58.233	4.772
53.800	8.344	56.100	*	54.567	6.048

**DATI RIASSUNTIVI**



SITO 1			SITO 3			S 1-3	SITO 2		
dev	conv	al	dev	conv	al	media	dev	INSERTION	
media	standard	sito 2	media	standard	sito 2	media	media	standard	LOSS
45.948	2.616	***	43.800	6.245	***	***	42.710	1.514	***
46.270	1.911	***	43.700	5.927	***	***	44.150	2.350	***
47.403	5.935	***	46.500	6.026	***	***	45.970	4.785	***
52.106	6.126	***	50.000	5.481	***	***	52.010	6.811	***
65.425	10.538	<b>66.914</b>	69.250	7.836	<b>63.293</b>	<b>67.987</b>	62.120	8.338	<b>5.867</b>
81.690	9.732	<b>83.179</b>	88.050	1.898	<b>82.093</b>	<b>81.868</b>	65.940	6.006	<b>15.928</b>
82.338	8.566	<b>83.827</b>	88.975	2.470	<b>83.018</b>	<b>82.487</b>	65.820	5.366	<b>16.667</b>
73.504	11.691	<b>74.993</b>	79.225	8.516	<b>73.268</b>	<b>74.916</b>	62.200	5.151	<b>12.716</b>
60.793	10.617	***	61.500	4.267	***	***	54.220	5.931	***
53.986	5.607	***	53.633	3.356	***	***	47.830	7.228	***
50.081	2.894	***	48.400	4.672	***	***	44.350	6.533	***
47.489	2.148	***	48.100	6.327	***	***	42.660	5.013	***

SITO 4		
	dev	conv al
media	standard	sito 2
45.07	1.115	***
47.27	1.250	***
53.77	0.404	***
73.53	11.229	***
91.40	1.908	<b>77.11</b>
92.37	1.290	<b>78.07</b>
92.50	0.872	<b>78.21</b>
91.20	1.562	<b>76.91</b>
75.77	14.668	***
63.07	5.577	***
58.23	4.772	***
54.57	6.048	***

SEL	
<b>SITO 1</b>	92.365
<b>SITO 1 (conv)</b>	93.854
<b>SITO 2</b>	77.417
<b>SITO 3</b>	98.808
<b>SITO 3 (conv)</b>	92.851
<b>SITO 1-3 (conv)</b>	82.758
<b>SITO 4</b>	104.915
<b>SITO 4 (conv)</b>	79.065

### DISCUSSIONE SUI DATI RACCOLTI

Analizzando i dati raccolti per i treni merci ci si rende subito conto di come essi si discostino più di qualunque altro tipo di treno dal “comportamento medio”. Le differenze non stanno solo nel livello sonoro raggiunto, ma anche nella durata dell’evento stesso e nella forma assunta dalla curva.

Com’era naturale aspettarci, i singoli treni merci sono molto diversi fra loro. Al di là della velocità, la differenza principale consiste nella composizione del treno stesso, che è più o meno lungo e trasporta materiali più o meno pesanti in vagoni diversi a seconda della merce. Tutti tali aspetti si concretizzano in una curva diversa per ogni passaggio. La differenza sta sia nei livelli massimi raggiunti (specie nel SITO 1), che nella durata dell’evento (ciò accade spesso nel SITO 3).

Tali differenze si riscontrano ovviamente nello scarto quadratico medio che mette in luce differenze anche nell’ordine dei 10dB. A differenza di quanto accaduto nel caso dei Regionali, però, l’errore è piuttosto contenuto nel caso del rumore di fondo, condizione, questa, che ci rassicura circa la bontà dei dati raccolti. Riguardo la durata si può verificare come l’evento possa durare anche 30s nei caso dei siti 1 e 3, e anche di più nel caso del SITO 4, probabilmente per la maggior vicinanza dello strumento alla linea, che permetteva di rilevare anche l’avvicinarsi del treno. Ovviamente, la maggior durata dell’evento è da imputarsi alla maggior lunghezza dei convogli, oltre che al rumore che i mezzi emettono in avvicinamento-allontanamento, il quale è sensibilmente maggiore alla media, dato che i convogli hanno una minor attenzione per l’uso di dispositivi anti-rumore.

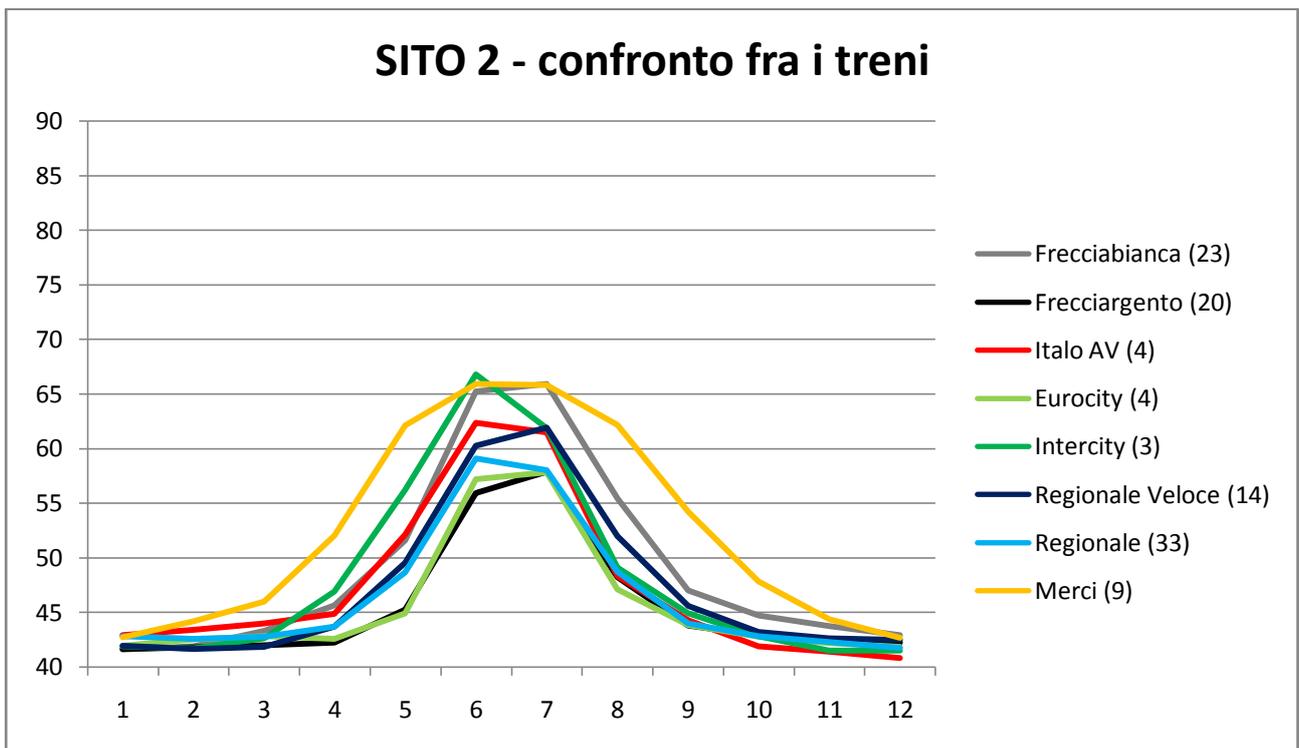
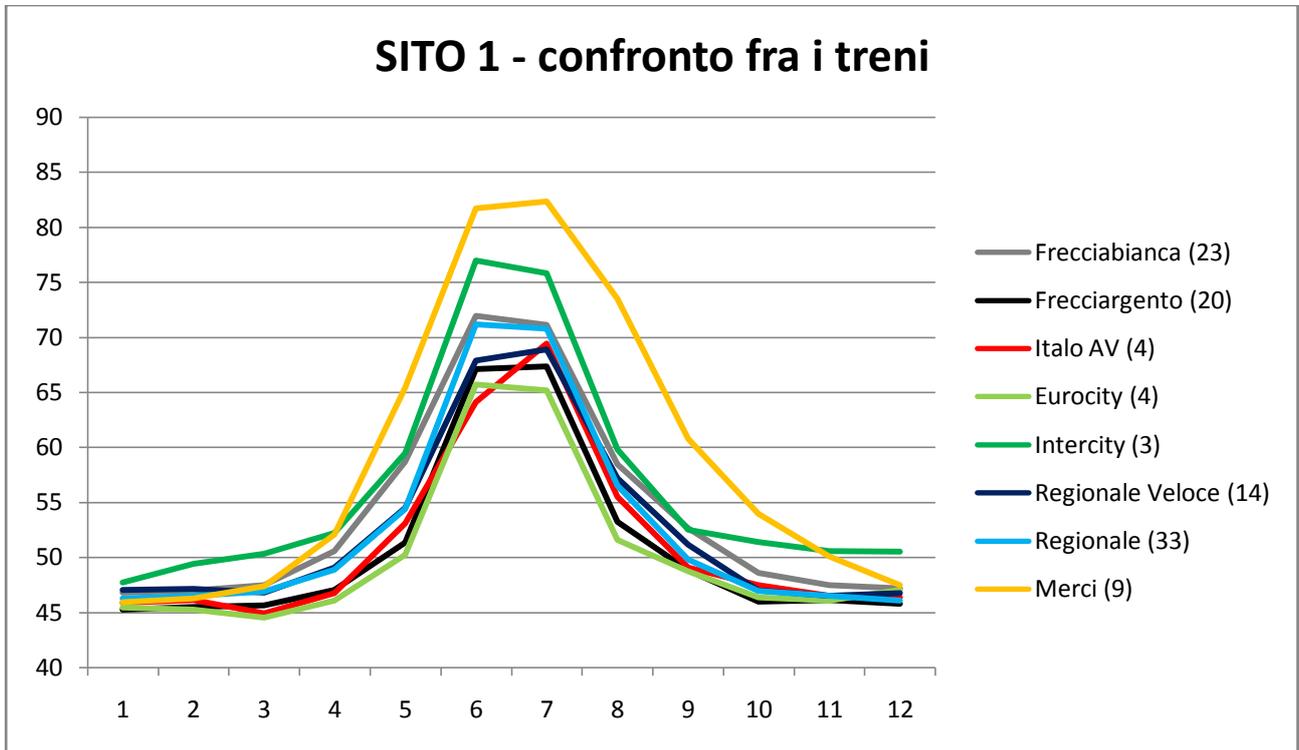
Riguardo i livelli raggiunti si parla di oltre 10dB in più rispetto alle altre categorie di treno, con picchi anche superiori in alcuni casi. La causa di tale maggior emissione è da ricercarsi sempre nella diversa composizione del treno, sia per quanto riguarda il numero di vagoni che per le loro caratteristiche.

Infine, per quanto riguarda l’insertion loss, si parla di 15dB. Il maggior isolamento è forse da imputarsi al fatto che la tipologia di rumore emesso è diversa, maggiormente concentrata sulle ruote e legata ad una velocità sensibilmente inferiore. È possibile che tale emissioni sia meglio schermata dai pannelli fono-isolanti installati, il che rende ancor più efficienti i pannelli, dato che sono in grado di schermare in modo efficiente il rumore da traffico merci che in assoluto è il più disturbante.

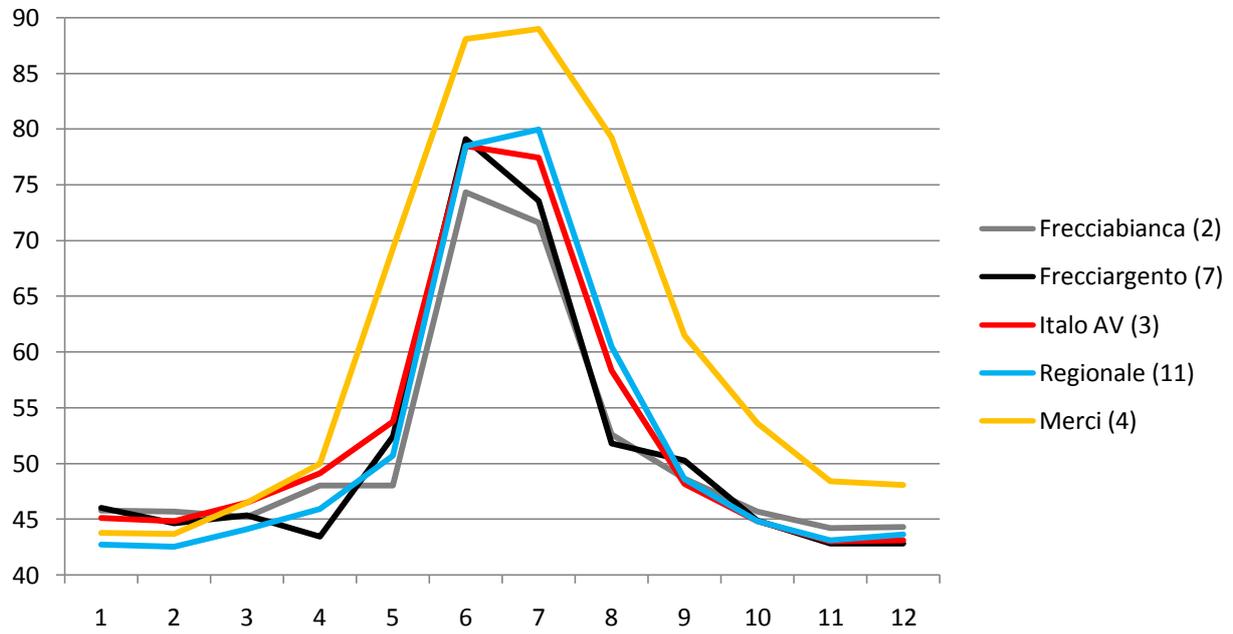
Ad ogni modo osserviamo come la mole di dati in nostro possesso non sia particolarmente voluminosa e, vista anche la singolarità di ogni passaggio, sarebbe il caso, in un ipotetico esperimento futuro, incrementare il numero di rilevazioni.

### 3.5.9 GRAFICI RIASSUNTIVI

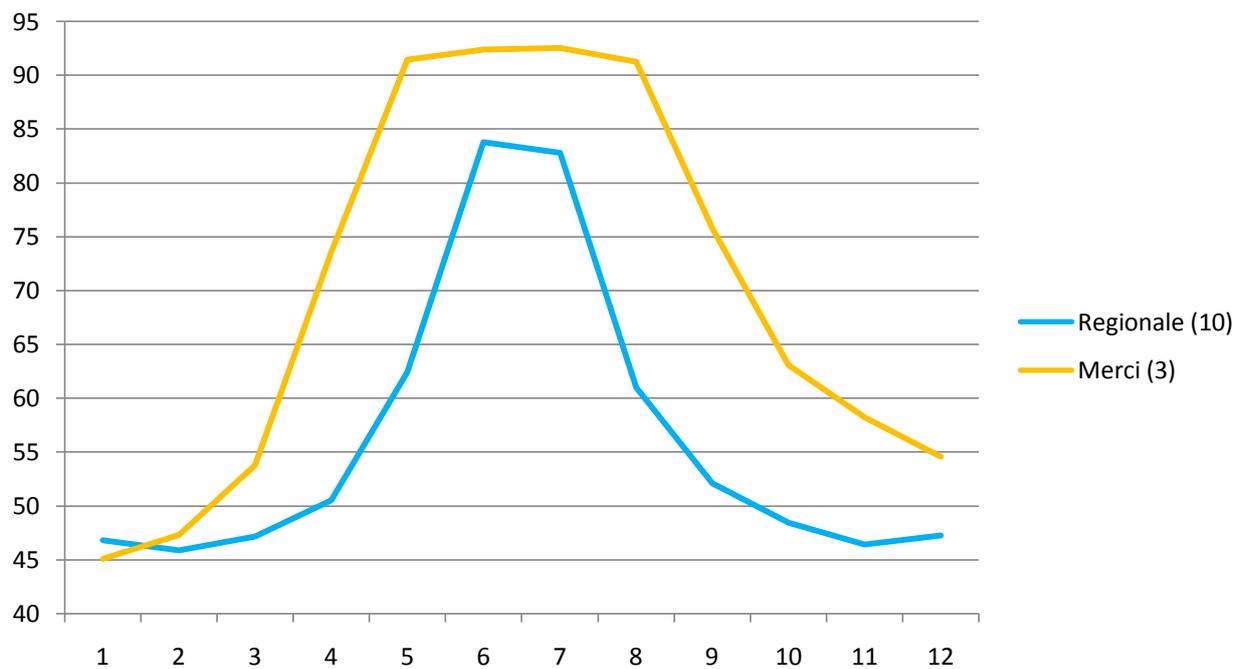
Riportiamo di seguito dei grafici in grado di darci un'idea trasversale ai diversi tipi di treno riguardo i livelli di emissione e all'insertion loss. L'analisi di tali dati sarà molto utile per comprendere davvero le differenze fra un tipo di treno e l'altro.



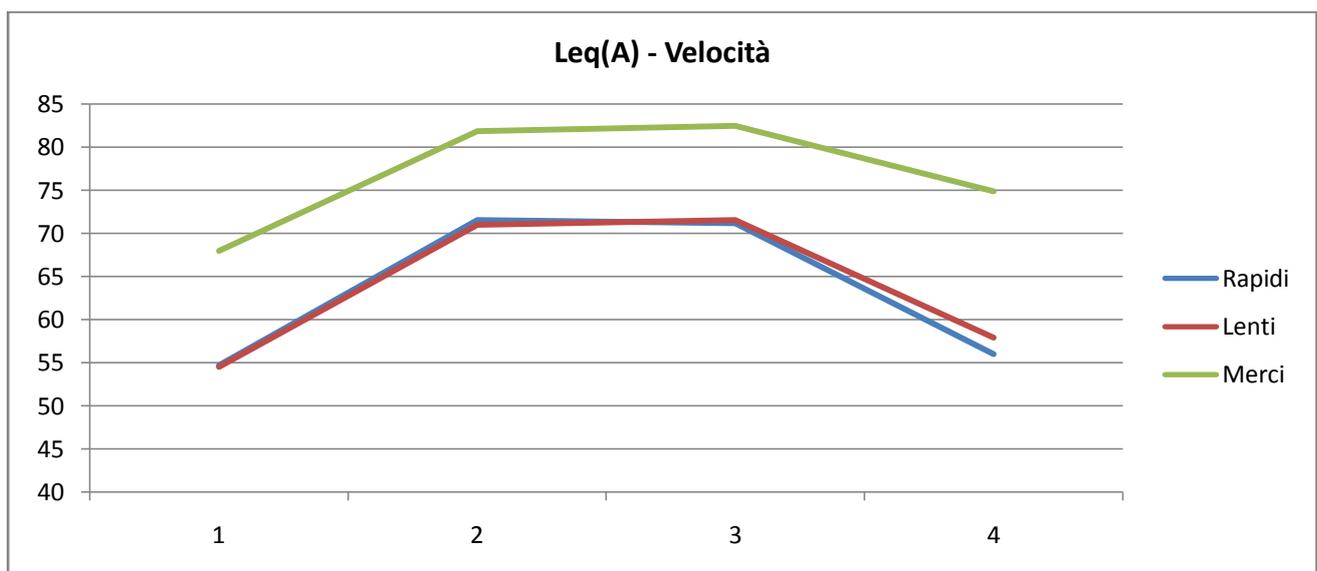
### SITO 3 - confronto fra i treni



### SITO 4 - confronto fra i treni



I grafici riportati sopra hanno lo scopo di farci capire, in ogni sessione di misura, le differenze fra i diversi tipi di treno che abbiamo rilevato e, se da sito a sito assistiamo a variazioni nei livelli registrati. Il quarto grafico, riferito al SITO 4 riporta solo due categorie molto diverse fra loro in termini di emissioni e non solo. Tale aspetto risultava evidente fin da subito, ovvero, i treni merci raggiungono livelli di emissione superiori di oltre 6dB, rispetto a quelli registrati al passaggio dei veicoli regionali, inoltre, l'evento sonoro ha una durata superiore del 50% a favore dei treni merci. Tutto ciò che possiamo dedurre da questo grafico, quindi, consiste solo nell'ovvia osservazione che i treni Regionali sono più silenziosi e danno origine ad un evento sonoro di più breve durata rispetto ai treni merci, una conclusione cui eravamo già arrivati. Analizzando gli altri grafici, invece, siamo in grado di giungere a conclusioni molto più interessanti. Come possiamo notare, nei primi due siti di misura, non abbiamo sostanziali distinzioni fra il rumore provocato da treni definibili "veloci" e treni "lenti", comprendendo in queste categorie le Freccie e i Regionali o Regionali Veloci, rispettivamente. La cosa è ravvisabile anche nel grafico che proponiamo qui di seguito, focalizzato solo sui livelli centrali convertiti alla distanza del SITO 2:



A differenza di quello che potevamo pensare, i veicoli più lenti non raggiungono livelli acustici superiori. Inoltre, come possiamo vedere dai grafici proposti in precedenza, i Frecciabianca nel SITO 1 e 2 emettono rumori paragonabili se non superiori rispetto ai Regionali, che di primo acchito si sarebbero potuti considerare più rumorosi. La distanza fra Frecciabianca e Regionali sembra aumentare nel SITO 3, ma comunque, questi ultimi diventano confrontabili con altri treni veloci e le osservazioni si ripetono (questa apparente variazione nel comportamento dei Frecciabianca si può spiegare con il basso numero di rilevazioni svolte nel SITO 3 che ci portano a diffidare di quanto ottenuto). In conclusione, in ciascun sito di misura non si registrano variazioni nel comportamento fra treni veloci e treni lenti né nella durata dell'evento né tantomeno nel massimo livello raggiunto. La velocità, quindi, sembrerebbe un parametro da non considerare da solo nella definizione del rumore ferroviario, ma anche la composizione e la lunghezza dei convogli risultano parametri fondamentale, senza i quali non risulta possibile procedere ad una corretta previsione. Questo aspetto era già noto, ma dai grafici che abbiamo costruito, emerge in modo ancora più chiaro.

Una cosa che ci ha stupito, inoltre, è stata la differenza fra i singoli tipi di treni veloci, specialmente fra Frecciabianca e Frecciargento (gli Italo AV non fanno testo, dato il numero esiguo di rilievi ottenuti). In tutti i siti di misura le differenze fra queste due categorie rientrano nell'ordine dei 3dB, e la cosa non può che

risultarci strana, dato che sono veicoli con velocità simili, specie su tratti dove entrambi possono raggiungere il limite imposto e dove si presume che la loro velocità sia comparabile.

Secondo delle simulazioni da noi svolte un aumento della velocità passando dai 100 agli oltre 120 km/h può comportare un aumento delle emissioni nell'ordine dei 5/6dB, mentre un aumento di lunghezza da 200 a 300m comporta un aumento di soli 2dB circa, che è quanto noi abbiamo notato nel nostro studio.

Probabilmente il numero di registrazioni da noi effettuate risulta ancora insufficiente per permetterci delle conclusioni definitive, tuttavia, è interessante notare come nella nostra analisi siamo riusciti ad osservare un fenomeno che i modelli di simulazione già implementano, e con ordini di grandezza così simili.

Altro aspetto che ha suscitato in noi qualche perplessità è il comportamento dei Frecciabianca nel SITO 2. A dire il vero delle osservazioni simili potrebbero coinvolgere anche i treni Intercity, ma in questo secondo caso dobbiamo opporre un ragionevole dubbio che ci proviene dall'esigua mole di dati in nostro possesso.

Nel caso dei Frecciabianca, invece, il numero di rilevazioni (23) è sufficiente da delineare una certa linea di tendenza statisticamente valida, per questo motivo risulta strano come il livello registrato si possa paragonare a quello dei treni merci. Se osserviamo bene, i treni con il maggior numero di rilevazioni (Frecciabianca, Frecciargento, Regionali e Mercì), mantengono pressoché inalterato il loro ordine fra il SITO 1 ed il SITO 2 (il meno rumoroso è il Frecciargento, seguito dal Regionale, dal Frecciabianca e dal Mercì).

Tuttavia, il Frecciabianca risulta subire una diminuzione di livello molto minore rispetto agli altri tipi di treno, tanto che dietro alle barriere il suo rumore è paragonabile a quello di un treno merci. I dati a disposizione sono relativamente molti, per cui non possiamo parlare di comportamenti dettati da casi particolari non mediati da un sufficiente numero di rilevazioni. Trattandosi di treno a composizione bloccata, inoltre, non può sostenersi che tale comportamento riguardi variazioni nella composizione del treno stesso. Semmai si può supporre che le emissioni del materiale rotabile dei Frecciabianca sono tali che le barriere in calcestruzzo non sono adatte a schermarle adeguatamente, o comunque, nella stessa misura con cui vengono schermate le altre categorie di treno. La ragione di tale comportamento è, quindi, da ricercarsi nelle emissioni del materiale rotabile dei Frecciabianca, oppure nella particolare abbinata lunghezza-velocità che caratterizza i Frecciabianca rispetto ai Frecciargento, per esempio. La lunghezza di questi ultimi, infatti, risulta circa 2/3 degli altri, mentre la loro velocità è paragonabile nei tratti in analisi. È possibile che tale abbinata risulti dare origine ad un'emissione più alta in campo libero e più difficilmente schermabile dalle barriere. In definitiva, possiamo ipotizzare che la maggior emissione dei Frecciabianca e il loro minor abbattimento da parte delle barriere è da imputarsi o al particolare materiale rotabile, o all'abbinata lunghezza/velocità.

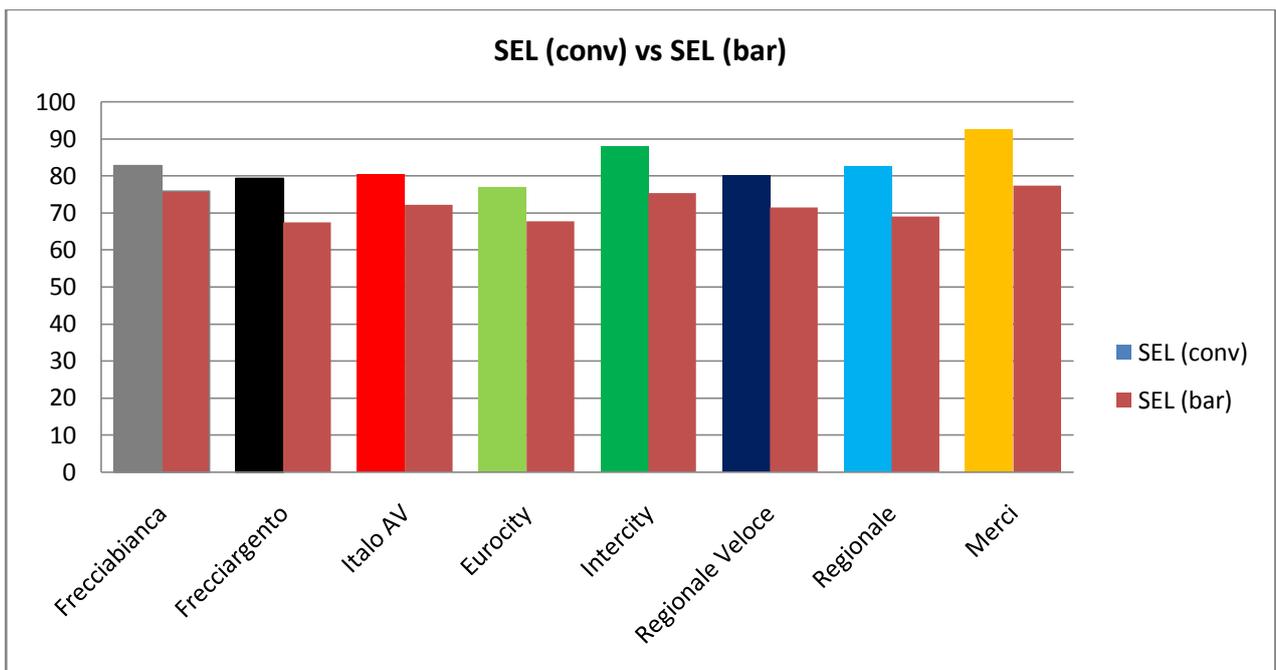
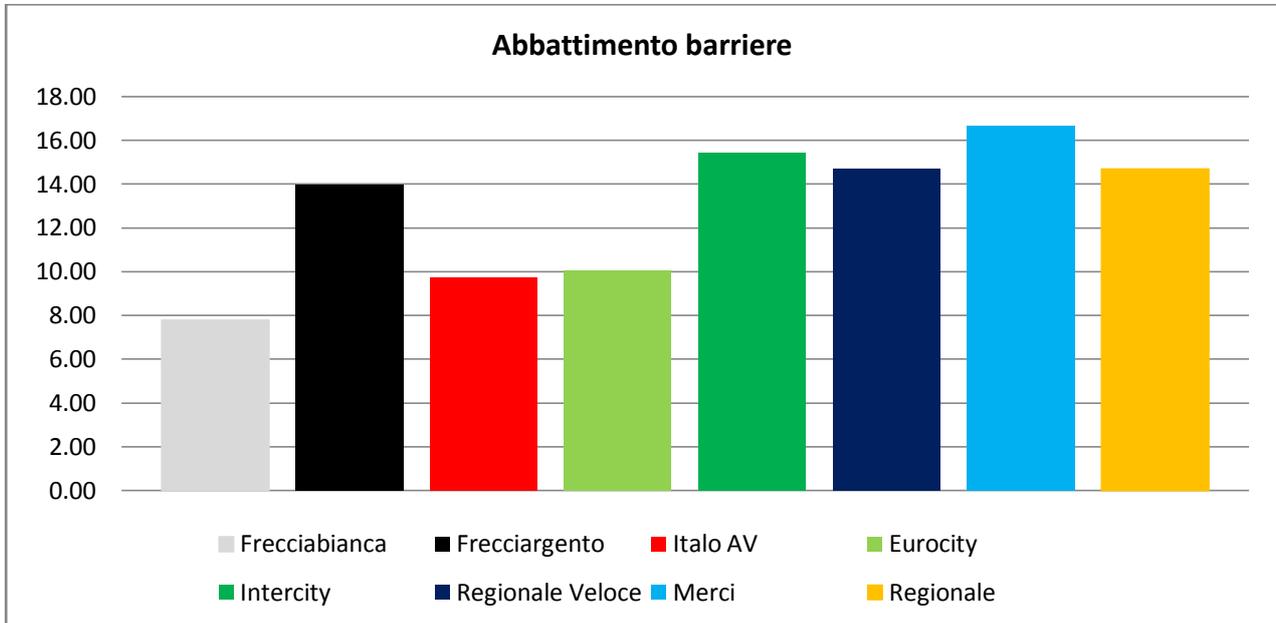
Per far luce su tale questione possiamo osservare il SITO 3 e vedere se il fenomeno, almeno in campo libero, si ripete. Qui possiamo vedere come l'ordine di emissione dei treni si mantiene costante ad eccezione proprio dei Frecciabianca, che da treno fra i più rumorosi è diventato fra i più silenziosi.

Ammesso che il materiale rotabile è sempre lo stesso fra SITO 1 e SITO 3, giungiamo alla conclusione che non è il materiale rotabile il responsabile delle emissioni, ma piuttosto è l'abbinata lunghezza/velocità.

Anche se abbiamo ipotizzato che i due siti venissero percorsi con velocità analoghe (il che è vero per la maggior parte delle categorie), è comunque da osservare come le due linee prevedano diverse velocità massime, tanto più diverse quanto più è alto il rango dei treni stessi. Se prendiamo in analisi i treni di rango C, vediamo come nel SITO 3 la velocità massima consentita è nell'ordine dei 180km/h, contro i 140km/h del SITO 1. È lecito supporre che treni meno pesanti, perché meno lunghi, come i Frecciargento possano sfrecciare a velocità più alte rispetto ai Frecciabianca, e pertanto possano giustificare in questo modo le loro maggiori emissioni nel SITO 3. A contrario, nel SITO 1 il limite di velocità più proibitivo appiattisce a velocità comparabili le velocità delle due categorie di treno e pertanto è la maggior lunghezza del Frecciabianca a farla da padrone (ricordiamo che una variazione nella velocità incide molto di più di una variazione della lunghezza nel conto delle emissioni).

In conclusione, la differenza delle emissioni fra i siti 1 e 3 è da imputarsi alla differente velocità massima. I Frecciargento viaggiano alla stessa velocità dei Frecciabianca nel SITO 1 ed essendo più corti emettono meno rumore. A contrario, nel SITO 3 possono viaggiare a velocità maggiori e pertanto sono più rumorosi, anche se possiedono meno carrozze.

Riguardo lo scarso valore di insertion loss posseduto dai Frecciabianca, possiamo mostrare il seguente grafico per averne un'idea più completa:



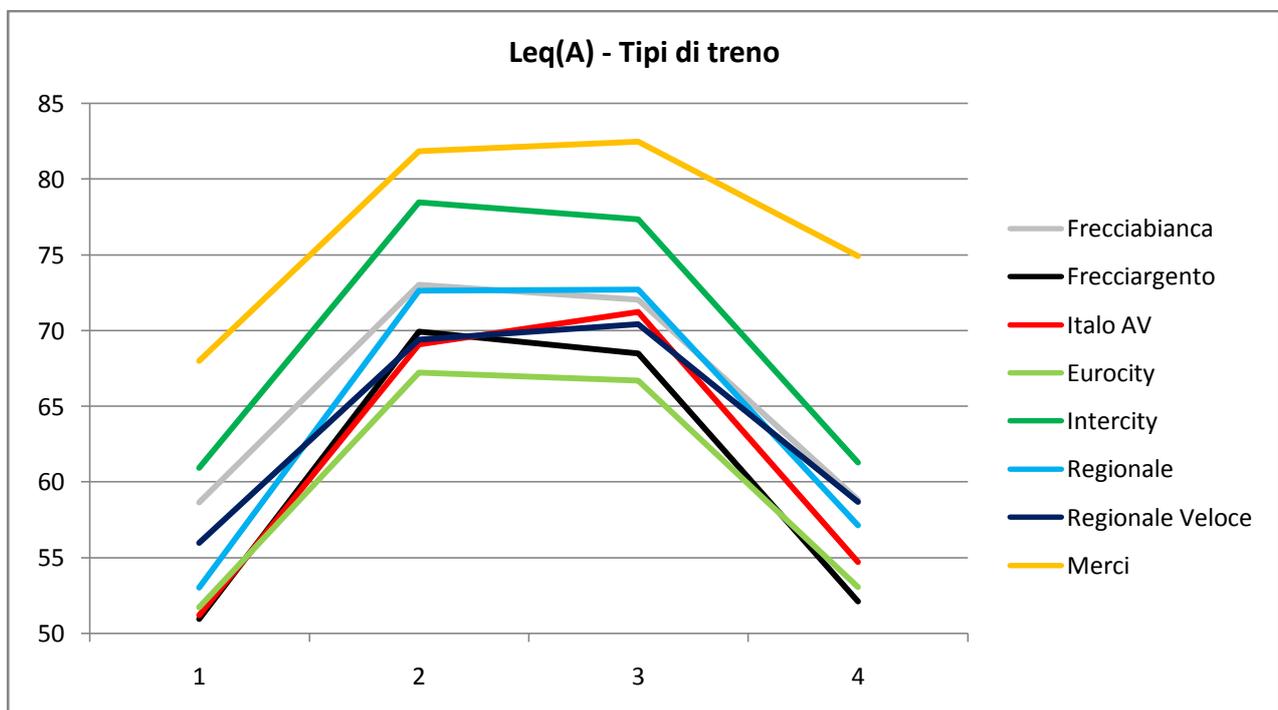
Come possiamo vedere, l'insertion loss nei Frecciabianca è il valore più basso di tutti, soprattutto se consideriamo che il numero di rilevazioni dei Frecciabianca è fra i più consistenti ed è più basso di circa 6dB rispetto ai valori di treni simili quali il Frecciargento. Anche analizzando il contributo energetico sottoforma di SEL, vediamo che le differenze fra le emissioni schermate e non schermate sono piuttosto simili, a differenza di quanto accade in tutte le altre tipologie di treno. A cosa può imputarsi tale comportamento?

Di certo non lo si può imputare all'effetto della vegetazione nel SITO 2, il quale dovrebbe affliggere anche le altre categorie di treni, e che non sortisce alcun effetto (o comunque un effetto minimo) nel corso del passaggio dei treni. Non può neanche essere un effetto legato al fatto di essere un treno dalla composizione bloccata, in quanto i Frecciargento non sembrano esserne affetti. Forse la soluzione può ricercarsi dal confronto con gli Italo AV. Prendendo per buoni i dati riferiti a quest'ultima classe di treno, anche se sono relativamente pochi, possiamo notare una certa somiglianza fra Italo AV e i Frecciabianca specie riguardo l'insertion loss. Precisiamo che entrambi i treni sono a composizione fissa e, almeno nel SITO 1 sono chiamati a velocità simili (per le ragioni esposte in precedenza). Altra cosa che accomuna le due categorie di treno è, infine, la lunghezza. I treni Italo possono essere lunghi fino a 14 carrozze, quindi possiamo ipotizzare che in media viaggiano con lunghezze comparabili a quelle dei Frecciabianca. Premesso ciò ecco che i comportamenti dietro la barriera sono simili, perciò è lecito supporre che la minor efficacia della barriera sia incontri solo in corrispondenza di treni al tempo stesso lunghi e veloci.

La cosa risulta interessante perché mette in luce come le barriere si rivelino meno efficaci non quando il treno è molto lungo (vedi merci) e neanche quando è molto veloce (vedi Frecciargento), ma quando abbiamo la combinazione fra questi due fattori (Frecciabianca e Italo AV). Osserviamo, comunque, come ciò non pregiudichi la bontà delle barriere, le quali assicurano sempre un clima acustico sopportabile anche immediatamente dietro alle barriere. È vero che sono meno efficaci per Frecciabianca e simili, ma in questo caso, il livello di emissioni da abbattere è relativamente basso e ciò che si registra al di là della barriera è un livello comunque accettabile.

In generale le barriere che abbiamo esaminato si sono comportate come potevamo aspettarci, ovvero con abbattimento nell'ordine dei 10-15 dB per ciascuna categoria di treno, aumentando la propria efficacia nei treni ritenuti più rumorosi, come i Mercis o i Regionali. Ciò ci suggerisce come le barriere che sono installate nella maggior parte delle linee italiane si rivelano particolarmente efficaci quando vanno a bloccare il rumore da rotolamento, caratteristico dei treni più lenti.

Proponiamo, infine, per un'analisi riassuntiva, un grafico che illustri le diverse emissioni convertite per ciascuna categoria di treno. Alla luce di ciò faremo delle osservazioni specifiche su ogni categoria, che è lo scopo di questa analisi.



**Frecciabianca:** come abbiamo visto, si tratta della categoria di treni meno scontata. L'abbinata fra la velocità e la lunghezza la porta ad avere delle emissioni superiori rispetto a quelle dei treni a composizione bloccata più simili. Raggiunge così un livello di 73dB circa fra SITO 1 e SITO 3, con differenze, nei due siti, legate alla differente velocità massima. La durata dell'evento sonoro non è di molto diversa rispetto a quella degli altri treni, anche se la rispettiva curva sembra essere più larga almeno dei Frecciargento (lo si può apprezzare nel SITO 1).

Uno degli spetti più interessanti risiede nell'insertion loss particolarmente basso, che ci ha portati a concludere che le barriere sono meno efficaci in presenza di un'abbinata velocità/lunghezza opportuna. Il minor abbattimento delle barriere non si può infatti imputare al contenuto energetico dei segnali sonori dei Frecciabianca, del tutto comparabili con le altre categorie.

**Frecciargento:** a contrario di quanto osservato nel caso precedente, si tratta di una categoria dal comportamento "prevedibile". Le sue emissioni rientrano nell'ordine dei 70dB massimi, con una curva più stretta rispetto agli altri treni. È uno dei treni in assoluto più silenziosi, specie quando la velocità non può superare alcuni limiti imposti. Quando questa velocità deve rimanere entro definiti limiti, le emissioni si abbassano a causa di una lunghezza limitata.

Riguardo all'insertion loss si osservano valori sui 14dB, che si possono definire ottimali per una barriera. Si può supporre che a velocità superiori (non nei tratti da noi analizzati) possa subentrare il contributo aerodinamico del rumore, contro il quale non sappiamo come possano reagire barriere come quelle da noi analizzate.

**Italo AV:** la categoria Italo AV abbinata una velocità paragonabile ad un Frecciargento con la lunghezza di un Frecciabianca. Per questo motivo possiamo notare come nel SITO 1 il suo comportamento sia più simile a quello di un Frecciabianca (specie nella definizione dell'insertion loss), mentre nel SITO 3 sia molto più simile a quello di un Frecciargento, con il quale condivide simili valori di SEL.

In generale raggiunge valori di emissioni simili a quelli di un Frecciargento (70dB) con larghezze della curva molto simile.

Riguardo all'insertion loss, nonostante i pochi dati raccolti, possiamo associarlo al Frecciabianca, probabilmente per l'affinità di lunghezza, ed in alcuni tratti di velocità.

**Eurocity:** Tenendo per buone le poche rilevazioni a nostra disposizione si tratta della categoria di treno più silenziosa in assoluto. La lunghezza dei treni e la loro composizione potrebbe associarlo facilmente ad un Regionale o un Regionale Veloce, ma la sua abbinata velocità/lunghezza contribuisce ad emettere livelli entro i 68dB, con curve di larghezza comparabile a quelle di treni dalla composizione bloccata.

La propria composizione contribuisce anche a livelli energetici più bassi rispetto alla media ed a un effetto barriera meno pronunciato (livelli simili a quelli di Italo AV). Possibili spiegazioni a questi dati rilevati sono che i treni che abbiamo rilevato avessero una velocità ed una lunghezza limitata, da cui le minori emissioni. Nella maggior parte dei casi, comunque, possiamo ipotizzare che lunghezza e velocità di tali convogli siano consistenti e che anche le emissioni possano essere diverse da quelle rilevate. Possiamo quindi ritenere troppo pochi i dati rilevati ed esortare ad ulteriori campagne di misurazione.

**Intercity:** dai dati rilevati l'Intercity rappresenta la categoria di treni che effettuano servizio passeggeri più rumorosa, con livelli ben superiori alla media e oltre i 78dB. Anche in questo caso lo scarso numero di dati non ci permette di fare delle considerazioni definitive, ma possiamo ipotizzare che alla base di tale comportamento possa celarsi la lunghezza e la velocità dei mezzi. La loro lunghezza e velocità può, infatti,

essere paragonata a quella dei mezzi a composizione bloccata, ma il materiale rotabile a disposizione è sensibilmente più rumoroso, paragonabile a quello impiegato nei Regionali. Per questo motivo si può ritenere che la rumorosità sopra la media di questa categoria di veicoli sia proprio da imputare al materiale rotabile impiegato unito ad una velocità e lunghezza considerevole.

Anche il livello energetico è superiore alla media e paragonabile a quello dei treni merci, ma l'insertion loss (circa 15dB) è anch'esso considerevole, con l'importante conferma del fatto che la barriera analizzata risulta efficace soprattutto nello schermare il rumore emesso da materiale rotabile simile a quello impiegato nei Regionali.

**Regionali Veloci:** si pone come categoria intermedia fra i Regionali e i treni veloci. Con la prima condivide il materiale rotabile, ma lo trasporta ad una velocità superiore. Questo aumento di velocità dovrebbe portarci ad ipotizzare che tale categoria abbia delle emissioni superiori rispetto ai Regionali, mentre accade esattamente il contrario (anche se non in modo molto pronunciato con differenze limitate). Forse tale stranezza è da imputarsi alla differente lunghezza dei due tipi di treni (normalmente i Regionali sono più lunghi), ma in alcuni casi, anche il materiale rotabile può avere una qualche influenza. Infatti, i Regionali Veloci possono impiegare delle carrozze di tipo differente rispetto ai Regionali (vedi le carrozze Duplex), e possiamo ipotizzare che tale differente materiale possa avere degli accorgimenti che possano limitarne le emissioni.

Riguardo all'insertion loss, esso si pone come su livelli simili a quelli dei treni merci o degli Intercity. Probabilmente il materiale rotabile impiegato è più simile a quello di quest'ultima categoria piuttosto che a quello dei Regionali, almeno in termini di abbattimento.

**Regionali:** rappresentano dopo i merci e gli intercity la categoria di treni più rumorosa (73dB). Premesso che la loro velocità non è molto alta si può imputare questo fatto alla loro maggior lunghezza e al loro materiale rotabile più rumoroso. Anche la rispettiva curva, infatti, sembrerebbe essere più larga del normale.

Il contenuto energetico di ogni singolo passaggio è consistente, ma anche il rispettivo insertion loss. Si può concludere, quindi, che la maggior rumorosità di tale categoria sia da imputarsi alla loro maggior lunghezza (che prevale sulla velocità in tratti dove questa può raggiungere valori non troppo alti) e soprattutto ad un parco carrozze rumoroso e da rinnovare.

**Merci:** come potevamo prevedere è la categoria in assoluto più rumorosa (oltre 82 dB), con una larghezza della curva superiore del 50% rispetto alle altre categorie. Ovviamente ciò è da imputare alla lunghezza dei convogli (doppia a volte rispetto alla maggioranza dei treni) ma soprattutto al materiale impiegato. Nonostante la comunità ferroviaria si lamenti molto del tipo di freno che i treni merci usano, anche nel corso della normale percorrenza i vagoni tendono ad emissioni fuori dalla media. Ciò sarà da rivedere in fase di progettazione.

Riguardo al contenuto energetico, ovviamente, si tratta di quello più alto, ma fortunatamente l'insertion loss registrato è anch'esso molto alto (circa 15dB). In definitiva possiamo ammettere che le barriere impiegate si rivelano particolarmente efficaci nello schermare le emissioni dei treni più rumorosi.

### **3.6 Presentazione e discussione dei dati raccolti suddivisi in base alle tipologie di locomotiva.**

Una volta terminata la discussione riguardo i diversi tipi di treno passiamo, ora, all'analisi dei risultati ottenuti in base alla tipologia di locomotiva. Le classi di locomotiva individuate sono:

- E656
- E464
- ALe 506-426
- ALn 501-502
- ALn 668
- E190
- E402 ETR
- E414
- AGV575 AV
- ETR 600
- ETR 610

La presentazione dei risultati è analoga a quella usata per i singoli tipi di treno. Tuttavia, in questo caso presentiamo solo una curva riassuntiva per ciascuna categoria di locomotiva. Tale grafico conterrà sia i dati rilevati nei quattro siti, sia i dati convertiti alla stessa distanza che troviamo nel SITO 2, per un massimo di 7 curve. Segue, poi, una tabella nella quale vengono descritti i dati nella loro interezza.

Al termine dell'esposizione inseriremo una serie di grafici riassuntivi che ci condurranno alle dovute conclusioni riguardo ciascuna tipologia e trasversalmente ad esse.

### 3.6.1 E656

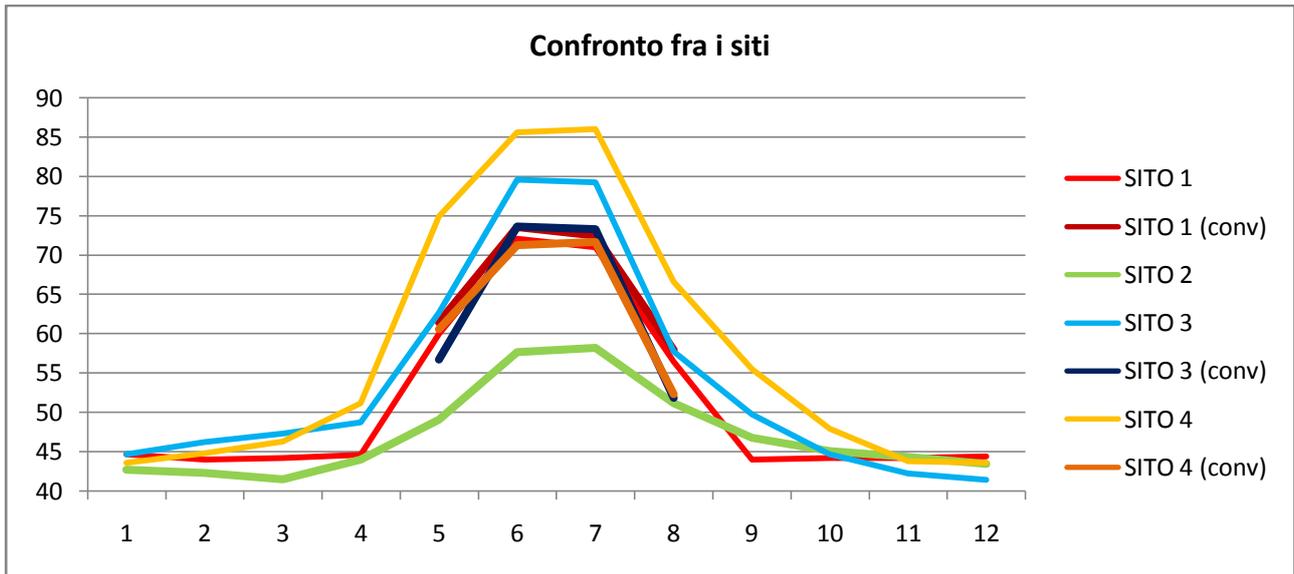


Il locomotore E656 rappresenta attualmente uno dei treni più datati ancora in circolazione. La loro realizzazione risale agli anni Sessanta, dove, per far fronte alla grande domanda di spostamento dei pendolari, e vista la mancanza di altri mezzi per servizi a lunga tratta, Ferrovie dello Stato ordinò la realizzazione di un numero considerevole di E656 che raggiunsero le oltre 400 unità in servizio alla fine degli anni Ottanta. Il parco degli E656 venne di volta in volta aggiornato con le più moderne tecnologie e attualmente è ancora in grado di svolgere servizi Regionali.

Le locomotive sono composte da due semicasce accoppiate con 3 carrelli da 2 assili ciascuno, mossi da 12 motori in corrente continua in grado di erogare 400kW ciascuno. Problemi nella stabilità del mezzo, specie per quel che riguarda il serpeggiamento, hanno portato la velocità massima, prima pensata sui 160km/h, fino agli attuali 150 km/h.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l'andamento dei livelli sonori equivalenti all'interno del singolo evento sonoro nei siti interessati. Il numero dei passaggi registrati è stato:

<b>E656</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	2	2
<b>SITO 2</b>	2	2
<b>SITO 3</b>		2
<b>SITO 4</b>		1



SITO 1			SITO 3			S 1-3	SITO 2		
dev	conv	al	dev	conv	al		dev	INSERTION	
media	standard	sito 2	media	standard	sito 2	media	media	standard	LOSS
44.700	*	***	44.700	*	***	***	42.700	*	***
44.000	*	***	46.250	*	***	***	42.300	*	***
44.200	*	***	47.350	*	***	***	41.500	*	***
44.600	*	***	48.733	12.587	***	***	44.000	2.263	***
60.000	10.748	<b>61.489</b>	62.667	5.869	<b>56.709</b>	<b>59.401</b>	49.050	4.455	<b>10.351</b>
72.100	7.071	<b>73.589</b>	79.600	1.131	<b>73.643</b>	<b>73.154</b>	57.650	8.697	<b>15.504</b>
71.000	0.990	<b>72.489</b>	79.267	12.021	<b>73.309</b>	<b>72.661</b>	58.200	8.485	<b>14.461</b>
56.450	5.445	<b>57.939</b>	57.767	4.172	<b>51.809</b>	<b>54.361</b>	51.200	13.435	<b>3.161</b>
44.000	*	***	49.733	0.212	***	***	46.750	8.556	***
44.200	*	***	44.700	1.838	***	***	45.050	5.020	***
44.200	*	***	42.233	2.758	***	***	44.350	4.313	***
44.400	*	***	41.433	2.899	***	***	43.450	3.041	***

SITO 4		
dev	conv	al
media	standard	sito 2
43.60	*	***
44.80	*	***
46.30	*	***
51.20	*	***
74.90	*	<b>60.61</b>
85.60	*	<b>71.31</b>
86.00	*	<b>71.71</b>
66.60	*	<b>52.31</b>
55.50	*	***
47.90	*	***
43.80	*	***
43.60	*	***

SEL	
SITO 1	81.797
SITO 1 (conv)	83.286
SITO 2	69.003
SITO 3	89.332
SITO 3 (conv)	83.374
SITO 1-3 (conv)	82.758
SITO 4	93.358
SITO 4 (conv)	79.065

### 3.6.2 E464

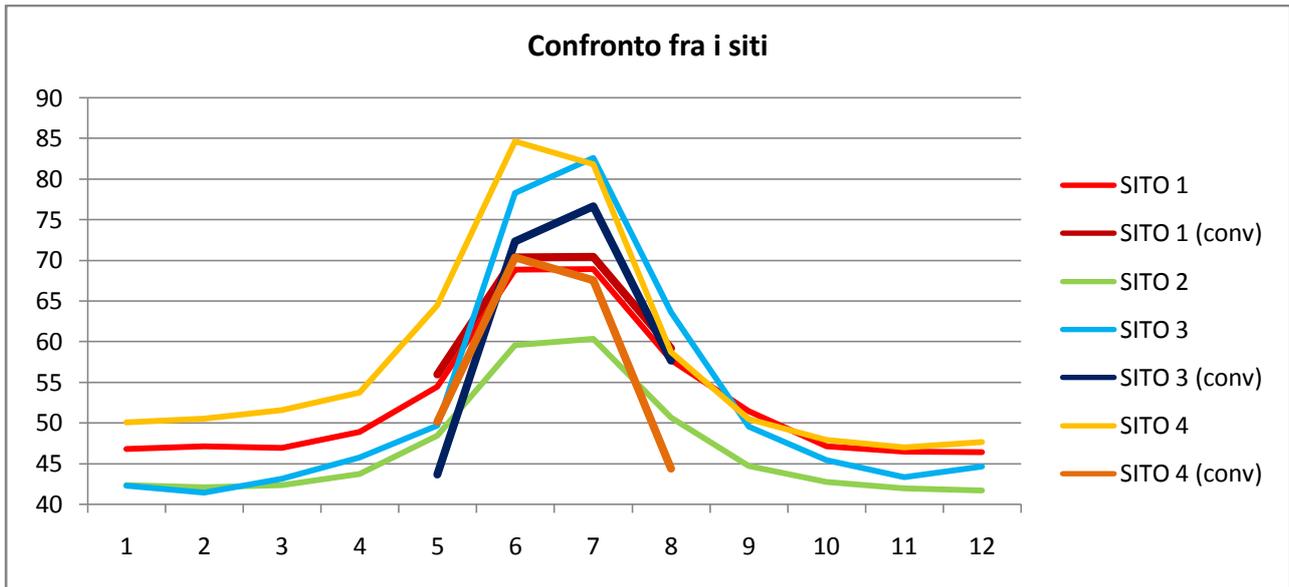


Il locomotore E464 venne ideato nel corso degli anni Ottanta con lo scopo di rispondere alla crescente domanda di pendolari ed in sostituzione dei convogli fino ad allora realizzati e oramai obsoleti. Il loro successo nel corso degli anni l'ha resa la locomotiva più impiegata da Trenitalia per i servizi Regionali, tanto che ora il parco mezzi ne conta oltre 500.

Il crescente successo di tale mezzo deriva dalla sua grande versatilità che le consente di comporre i treni più diversi in base alle necessità di trazione richieste. Il tutto è mosso da 4 motori asincroni trifase che le consentono di avere una potenza di traino di 200 kN ed una velocità massima sui 160km/h. Nello stesso locomotore sono conservati anche i motori da 450 V a 60 Hz che servono per la gestione dei freni, dei climatizzatori, e dell'impianto di raffreddamento.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l'andamento dei livelli sonori equivalenti all'interno del singolo evento sonoro nei siti interessati. Il numero dei passaggi registrati è stato:

<b>E464</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	12	13
<b>SITO 2</b>	12	13
<b>SITO 3</b>		7
<b>SITO 4</b>		2



SITO 1			SITO 3			S 1-3	SITO 2		
dev	conv	al	dev	conv	al	media	dev	INSERTION	
media	standard	sito 2	media	standard	sito 2	media	media	standard	LOSS
46.815	2.395	***	42.271	4.322	***	***	42.350	1.111	***
47.102	2.510	***	41.417	3.747	***	***	42.044	0.869	***
46.909	2.377	***	43.129	4.159	***	***	42.328	1.049	***
48.874	2.748	***	45.714	7.542	***	***	43.690	1.972	***
54.472	5.758	55.961	49.643	4.102	43.686	53.005	48.433	3.356	4.572
68.851	5.962	70.340	78.271	8.658	72.314	70.760	59.567	3.727	11.193
68.938	5.117	70.427	82.600	4.752	76.643	71.572	60.338	4.539	11.234
57.706	4.920	59.195	63.643	9.771	57.686	57.979	50.638	4.546	7.341
51.436	4.339	***	49.529	3.335	***	***	44.662	3.737	***
47.108	2.297	***	45.414	3.047	***	***	42.735	2.309	***
46.471	2.187	***	43.300	3.591	***	***	41.955	1.648	***
46.405	2.356	***	44.629	2.949	***	***	41.680	2.275	***

SITO 4		
dev	conv	al
media	standard	sito 2
50.10	10.041	***
50.55	9.829	***
51.60	8.627	***
53.75	5.869	***
64.45	0.778	50.16
84.65	5.445	70.36
81.85	9.263	67.56
58.70	7.071	44.41
50.45	4.172	***
47.90	3.960	***
47.00	2.546	***
47.65	3.182	***

SEL	
SITO 1	79.132
SITO 1 (conv)	80.621
SITO 2	70.357
SITO 3	90.996
SITO 3 (conv)	85.039
SITO 1-3 (conv)	81.320
SITO 4	93.506
SITO 4 (conv)	79.213

### **3.6.3 ALe 506-426**



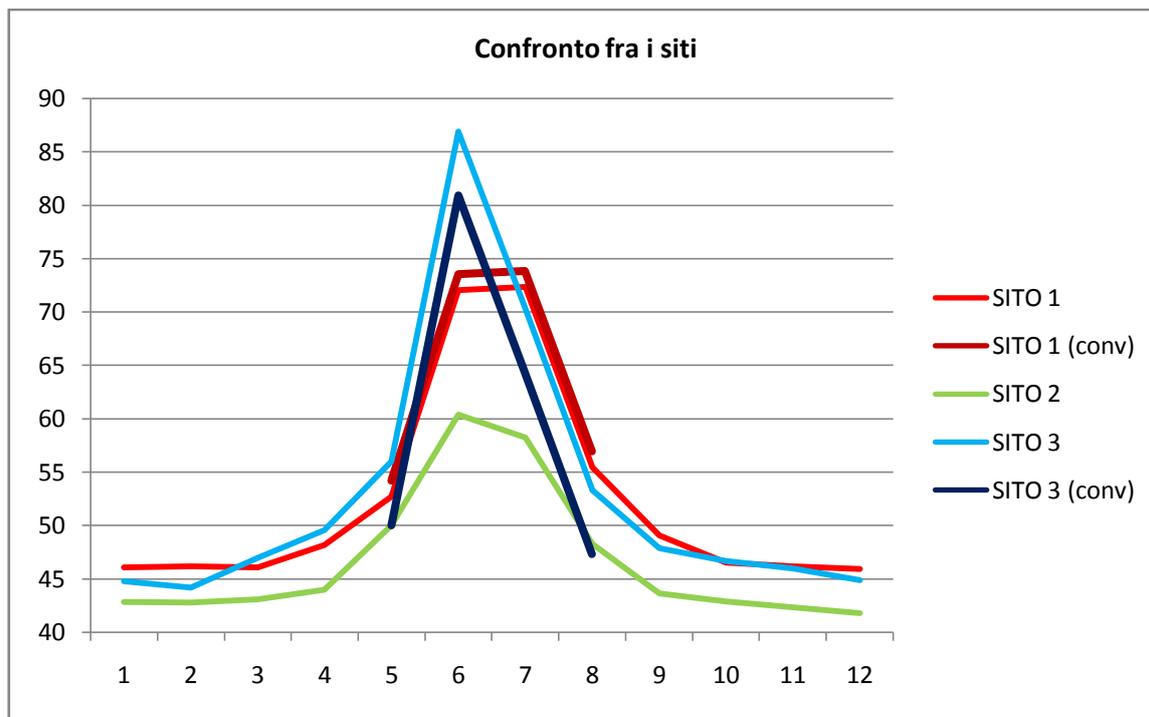
La tipologia di locomotiva ALe 506 e 426 viene oggi impiegata da Trenitalia per espletare il servizio TAF (Treno ad Alta Frenquenza), un treno dalla composizione fissa con carrozze a due piani e trainato da entrambe le estremità da due locomotori elettrici. Attualmente il TAF viene impiegato per il trasporto locale in alcune tratte locali e, in Veneto e Liguria per tratte regionali (viene impiegato negli altri casi in aree suburbane o come treno di collegamento verso aeroporti).

I due locomotori, azionati da motori elettrici a corrente alternata trifase, oltre ad offrire la trazione, assicurano energia all'intero convoglio, comandando l'impianto di climatizzazione, per esempio. La loro azione è ridondante, così che normalmente agisce solo uno dei motori, attivando l'altro solo in caso di guasto del primo.

Le locomotive di cui stiamo parlando, secondo le indicazioni progettuali, dovrebbero fare dell'accelerazione il loro punto di forza, tuttavia, la loro composizione fa sì che tale aspetto risulti ancora carente nella maggior parte dei mezzi in circolazione. Anche la velocità, per via del fatto che si tratta di un treno per il servizio pendolare, è relativamente bassa (velocità limite 140 km/h).

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l'andamento dei livelli sonori equivalenti all'interno del singolo evento sonoro nei siti interessati. Il numero dei passaggi registrati è stato:

<b>ALn 506-426</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	8	7
<b>SITO 2</b>	8	7
<b>SITO 3</b>		1
<b>SITO 4</b>		0



SITO 1			SITO 3			S 1-3	SITO 2		
dev	conv al	sito 2	dev	conv al	sito 2	media	media	dev	INSERTION
media	standard	sito 2	media	standard	sito 2	media	media	standard	LOSS
46.095	3.463	***	44.800	*	***	***	42.877	2.424	***
46.193	3.367	***	44.200	*	***	***	42.785	1.985	***
46.140	3.095	***	47.000	*	***	***	43.092	2.180	***
48.193	4.135	***	49.600	*	***	***	44.023	2.851	***
52.726	5.157	<b>54.215</b>	56.000	*	<b>50.043</b>	<b>53.937</b>	50.008	6.091	<b>3.930</b>
72.109	4.814	<b>73.598</b>	86.900	*	<b>80.943</b>	<b>74.087</b>	60.385	3.736	<b>13.703</b>
72.384	4.475	<b>73.873</b>	70.300	*	<b>64.343</b>	<b>73.238</b>	58.238	3.887	<b>15.000</b>
55.471	4.933	<b>56.960</b>	53.300	*	<b>47.343</b>	<b>56.319</b>	48.269	3.138	<b>8.049</b>
49.095	2.734	***	47.900	*	***	***	43.627	2.196	***
46.588	1.776	***	46.700	*	***	***	42.925	2.320	***
46.194	2.232	***	46.000	*	***	***	42.362	2.744	***
45.968	2.606	***	44.900	*	***	***	41.808	1.658	***

SEL	
SITO 1	82.318
SITO 1 (conv)	83.807
SITO 2	68.837
SITO 3	93.989
SITO 3 (conv)	88.032
SITO 1-3 (conv)	83.746

### 3.6.4 ALn 501-502

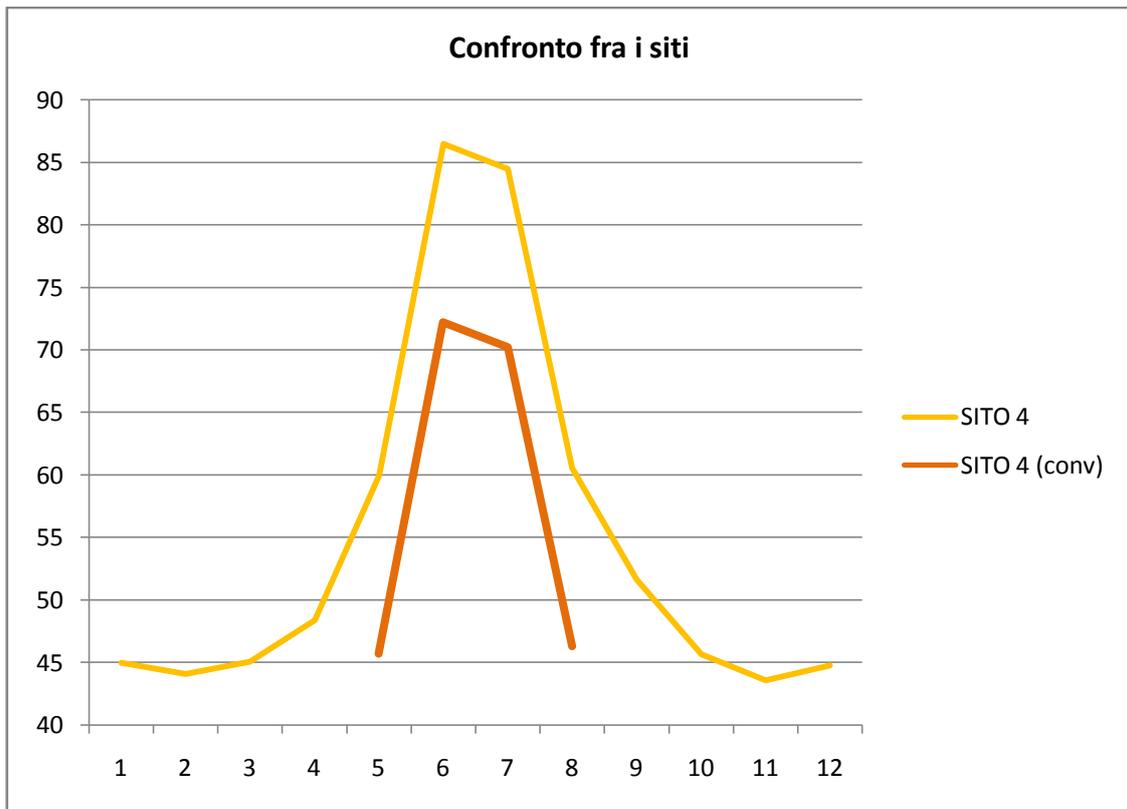


Le locomotive ALn 501 e 502 (disponibili anche nella versione elettrica) fanno parte di un treno dalla composizione bloccata denominato “minuetto”, costruito con lo scopo di sostituire all’inizio degli anni 2000 per sostituire gli obsoleti ALn 668, ed offrire un trasporto di più alta qualità. La composizione tipo prevede due locomotive alle due estremità più una carrozza centrale, per un totale di circa 150 posti fra prima classe, seconda classe e posti per disabili (oltre alla possibilità di ospitare le biciclette degli occupanti). Pensato inizialmente per il trasporto regionale e interregionale, non è stato molto apprezzato per la scarsità di posti a disposizione rispetto alle tratte coperte, anche se è possibile spezzare il convoglio per aggiungervi ulteriori carrozze o unire fra loro diversi treni.

Nel nostro caso abbiamo registrato i livelli sonori per la sola versione diesel, che, rispetto a quella elettrica, raggiunge una velocità inferiore (130 km/h). Nella nostra analisi dovremo considerare, quindi, una velocità massima ridotta unita ad una lunghezza anch’essa limitata. L’alimentazione a nafta potrà dar comunque luogo a livelli sonori più elevati.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l’andamento dei livelli sonori equivalenti all’interno del singolo evento sonoro nei siti interessati. Il numero dei passaggi registrati è stato:

<b>ALn 501-502</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	0	0
<b>SITO 2</b>	0	0
<b>SITO 3</b>		0
<b>SITO 4</b>		1



SITO 4		
media	dev standard	conv al sito 2
45.00	*	***
44.10	*	***
45.10	*	***
48.40	*	***
60.00	*	<b>45.71</b>
86.50	*	<b>72.21</b>
84.50	*	<b>70.21</b>
60.60	*	<b>46.31</b>
51.70	*	***
45.70	*	***
43.60	*	***
44.80	*	***

SEL	
SITO 4	95.627
SITO 4 (conv)	81.334

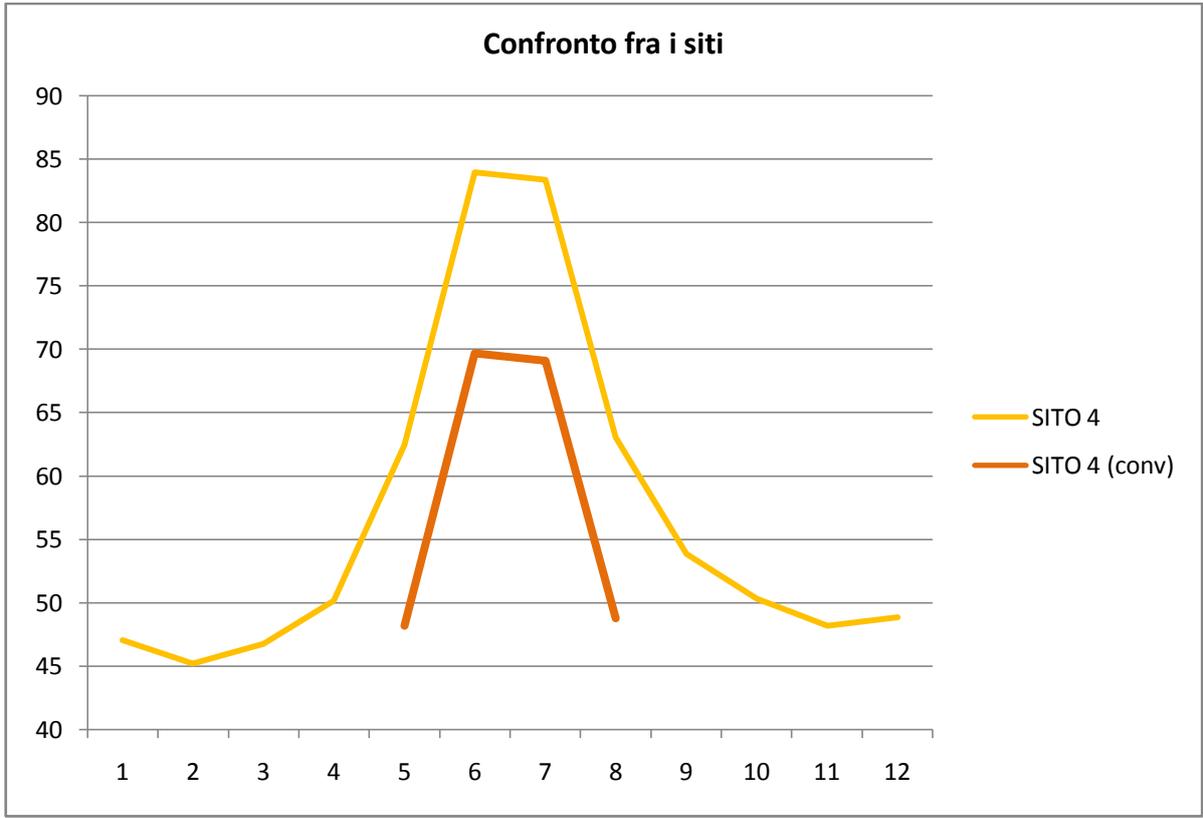
### 3.6.5 ALn 668



Le locomotive ALn 668 risalgono agli anni Sessanta, nelle loro prime serie, ma sono state prodotte anche nel corso di tutti gli anni Ottanta, con lo scopo di creare veicoli per il trasporto regionale e interregionale percorrenza medio-breve. Si tratta di veicoli oramai datati, dalla trazione diesel, ma che continuano a svolgere efficacemente il loro compito specie nelle tratte meno trafficate (vedi la sezione di Vigodarzere). Nella maggior parte dei casi appaiono come una coppia di carrozze da 68 posti l'una con trazione propria. Attualmente il modello ALn 501-502 sta progressivamente sostituendo questo modello di locomotore. Per quel che riguarda le prestazioni, si tratta di treni dalla lunghezza paragonabile a quella delle normali carrozze passeggeri (sui 22m), mentre la velocità rimane limitata e inferiore a 110 km/h.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l'andamento dei livelli sonori equivalenti all'interno del singolo evento sonoro nei siti interessati. Il numero dei passaggi registrati è stato:

<b>ALn 668</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	0	0
<b>SITO 2</b>	0	0
<b>SITO 3</b>		0
<b>SITO 4</b>		5



SITO 4		
	dev	conv al
media	standard	sito 2
47.04	3.496	***
45.20	2.817	***
46.76	2.361	***
50.14	1.736	***
62.48	3.607	<b>48.19</b>
83.98	4.913	<b>69.69</b>
83.40	5.911	<b>69.11</b>
63.06	2.304	<b>48.77</b>
53.84	1.521	***
50.34	3.905	***
48.20	4.500	***
48.88	7.445	***

SEL	
SITO 4	93.735
SITO 4 (conv)	79.442

### **3.6.6 E190**

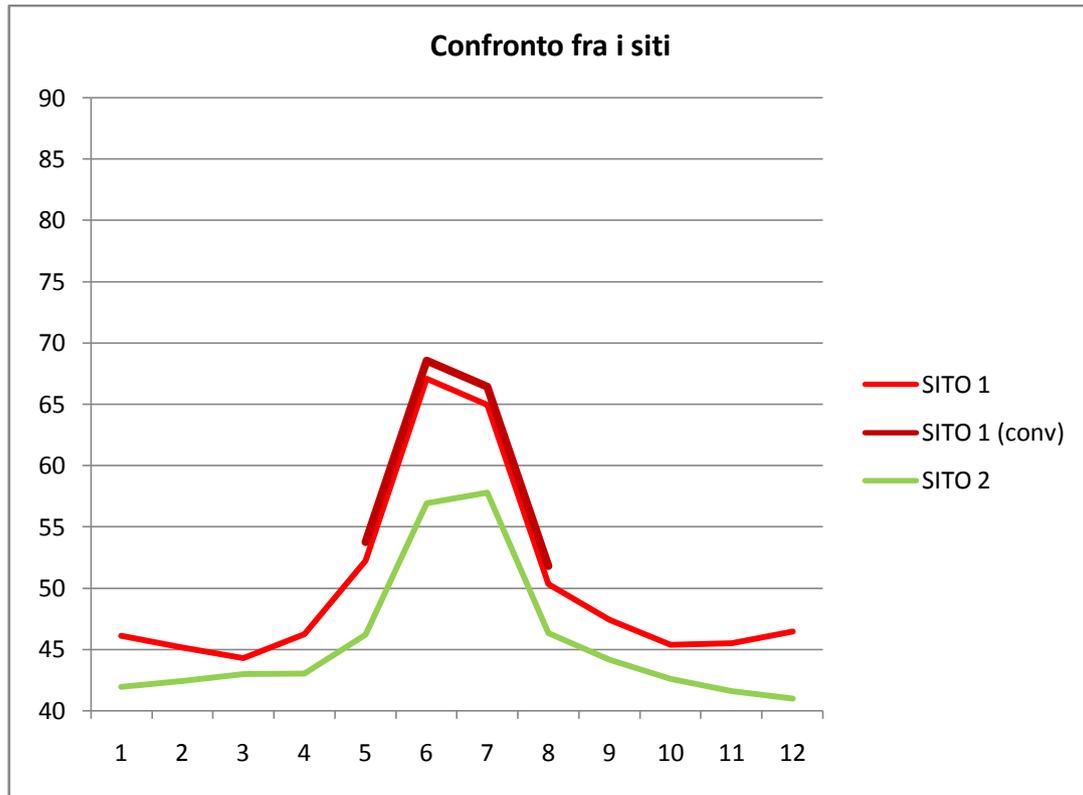


La locomotiva E190 è una locomotiva di recente costruzione impiegata da diverse società ferroviarie italiane e non in grado di essere molto versatile per quel che riguarda il materiale rotabile che è in grado di trasportare. Nella nostra esperienza essa è stata impiegata come locomotore per treni Eurocity, condizione questa che le deriva dalla relativamente alta velocità massima per la quale è stata progettata (160 km/h), la quale, per via dei limiti imposti nei siti da noi analizzati, la rende confrontabile con treni quali i Frecciabianca.

Si tratta, in definitiva, di una locomotiva elettrica in grado di funzionare a differenti regimi di tensione: dai 3000V in corrente continua tipici del nostro Paese, ai 15000V in corrente alternata, ai 25000V sempre in corrente alternata, tipici di altre nazioni; il che la rende un veicolo ideale per il servizio Eurocity, dato il suo carattere di servizio internazionale.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l'andamento dei livelli sonori equivalenti all'interno del singolo evento sonoro nei siti interessati. Il numero dei passaggi registrati è stato:

<b><i>E190</i></b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	1	1
<b>SITO 2</b>	1	1
<b>SITO 3</b>		0
<b>SITO 4</b>		0



SITO 1			SITO 2		INSERTION LOSS
media	dev standard	conv al sito 2	media	dev standard	
46.138	2.316	***	41.950	2.051	***
45.173	2.790	***	42.450	0.636	***
44.295	2.397	***	43.000	1.131	***
46.250	3.041	***	43.050	3.041	***
52.245	0.629	<b>53.734</b>	46.200	4.101	<b>7.534</b>
67.070	0.523	<b>68.559</b>	56.950	0.212	<b>11.609</b>
64.940	3.026	<b>66.429</b>	57.800	2.546	<b>8.629</b>
50.310	6.944	<b>51.799</b>	46.350	3.323	<b>5.449</b>
47.405	4.674	***	44.150	1.768	***
45.400	1.131	***	42.600	*	***
45.505	1.280	***	41.600	*	***
46.450	0.354	***	41.000	*	***

SEL	
SITO 1	76.277
SITO 1 (conv)	77.766
SITO 2	67.719

### 3.6.7 E 402 ETR

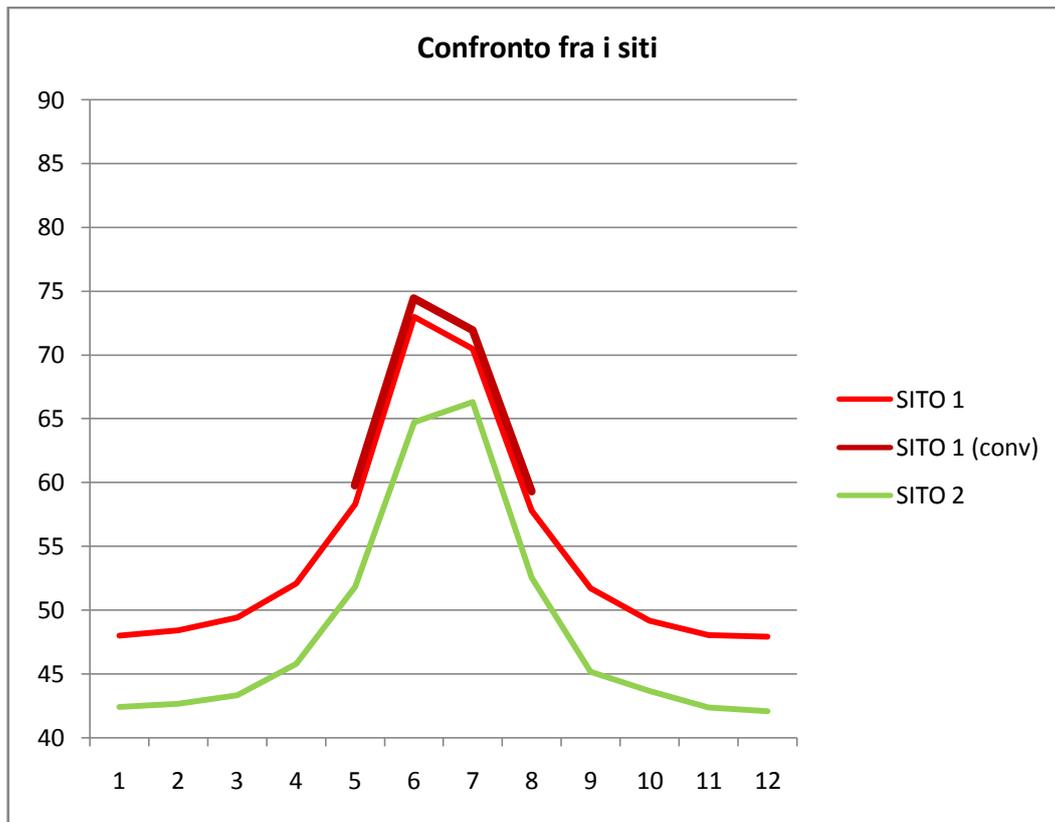


La locomotiva E 402 ETR è stata prodotta come locomotiva per il servizio Intercity e trasporto merci. La sua più grande peculiarità, similmente all'E190, consiste nella possibilità di variare la tensione di funzionamento da 3000V in corrente continua, a 15000V o 25000V in corrente alternata. Per far ciò si serve di dispositivi particolari, che le consentono di utilizzare i diversi voltaggi e indifferentemente corrente continua e alternata, oltre che differenti tipi di pantografo, dal classico rombo a pantografi asimmetrici. Questi accorgimenti hanno permesso a questo modello di treno di poter viaggiare anche lungo binari francesi e l'ha reso particolarmente apprezzato per il trasporto merci internazionale (da cui la costruzione di alcuni modelli denominati "Francia").

Per quel che riguarda le caratteristiche tecniche, si tratta di un locomotore in grado di viaggiare fino ai 200 km/h (tanto che può venir impiegato anche per il servizio Frecciabianca), e dalla ridotta lunghezza (inferiore ai 20m).

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l'andamento dei livelli sonori equivalenti all'interno del singolo evento sonoro nei siti interessati. Il numero dei passaggi registrati è stato:

<b>E 402 ETR</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	4	3
<b>SITO 2</b>	4	3
<b>SITO 3</b>		0
<b>SITO 4</b>		0



SITO 1			SITO 2		INSERTION LOSS
dev	conv al	dev	dev		
media	standard	sito 2	media	standard	
48.036	3.815	***	42.450	0.778	***
48.451	4.325	***	42.700	1.414	***
49.421	4.706	***	43.350	1.061	***
52.124	4.978	***	45.800	1.556	***
58.306	9.882	<b>59.795</b>	51.850	6.152	<b>7.945</b>
72.980	8.173	<b>74.469</b>	64.700	2.970	<b>9.769</b>
70.480	7.780	<b>71.969</b>	66.300	6.223	<b>5.669</b>
57.826	4.701	<b>59.315</b>	52.550	4.879	<b>6.765</b>
51.717	6.427	***	45.200	0.424	***
49.197	6.363	***	43.700	*	***
48.067	5.272	***	42.400	*	***
47.938	5.175	***	42.100	*	***

SEL	
SITO 1	82.083
SITO 1 (conv)	83.573
SITO 2	75.769

### 3.6.8 E 414

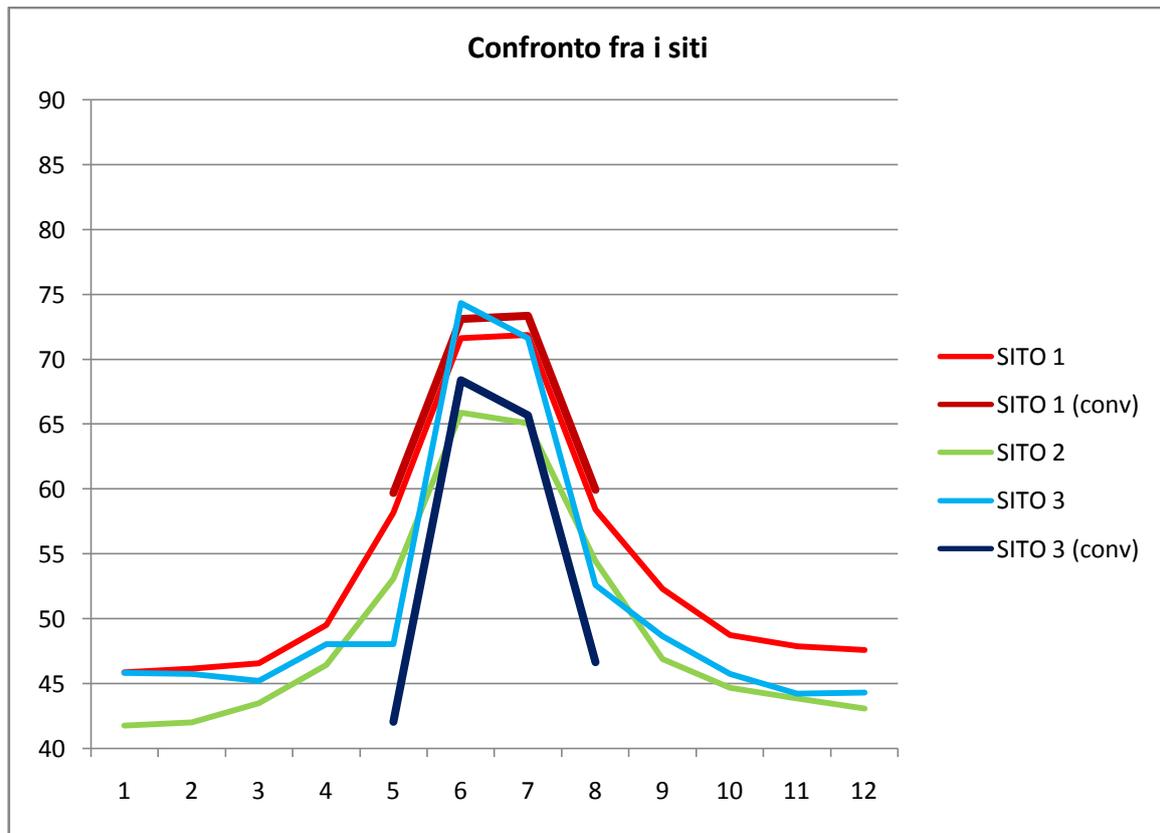


Il locomotore E414 nasce agli inizi degli anni Novanta con lo scopo di ristrutturare i più vecchi E404, limitati dall'impossibilità di adottare voltaggi diversi dai 3000V in corrente continua. La necessità di avere a disposizione veicoli per la nuova linea a corrente alternata a 25000V in corrente alternata, unita alla relativamente recente messa in circolazione degli E404, ha spinto ad una revisione di questi ultimi piuttosto che ad una loro completa sostituzione. Nacque pertanto l'E414, con la possibilità di viaggiare su tratti dalla diversa alimentazione unita alla possibilità di agganciarsi a classiche carrozze UIC-X, in seguito alla revisione anche degli organi d'attacco.

Attualmente il modello E414 viene impiegato per il servizio Frecciabianca svolto su alcune delle linee a più alta velocità del nostro Paese. A tale scopo, la velocità è stata mantenuta sui 200 km/h, adatta sia per percorrere tratti ad AV, sia per i tipi di carrozze impiegate.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l'andamento dei livelli sonori equivalenti all'interno del singolo evento sonoro nei siti interessati. Il numero dei passaggi registrati è stato:

<b>E 414</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	9	10
<b>SITO 2</b>	9	10
<b>SITO 3</b>		2
<b>SITO 4</b>		0



SITO 1			SITO 3			S 1-3	SITO 2		
dev	conv	al	dev	conv	al	media	dev	INSERTION	
media	standard	sito 2	media	standard	sito 2	media	media	standard	LOSS
45.880	2.999	***	45.800	*	***	***	41.753	2.056	***
46.154	2.950	***	45.700	*	***	***	41.980	1.714	***
46.577	2.769	***	45.200	*	***	***	43.481	3.293	***
49.532	2.943	***	48.000	0.566	***	***	46.413	5.238	***
58.188	7.348	<b>58.188</b>	48.000	1.273	<b>48.000</b>	<b>57.169</b>	53.060	7.108	<b>4.109</b>
71.634	6.810	<b>71.634</b>	74.350	2.899	<b>74.350</b>	<b>71.906</b>	65.873	5.110	<b>6.033</b>
71.882	4.655	<b>71.882</b>	71.650	4.313	<b>71.650</b>	<b>71.859</b>	65.073	3.129	<b>6.786</b>
58.447	6.884	<b>58.447</b>	52.600	4.384	<b>52.600</b>	<b>57.863</b>	54.440	4.343	<b>3.423</b>
52.334	6.243	***	48.650	3.041	***	***	46.880	1.754	***
48.745	4.535	***	45.700	*	***	***	44.660	3.224	***
47.875	4.428	***	44.200	*	***	***	43.853	2.640	***
47.611	4.474	***	44.300	*	***	***	43.047	1.988	***

SEL	
SITO 1	81.952
SITO 1 (conv)	83.441
SITO 2	75.777
SITO 3	83.232
SITO 3 (conv)	77.275
SITO 1-3 (conv)	82.784

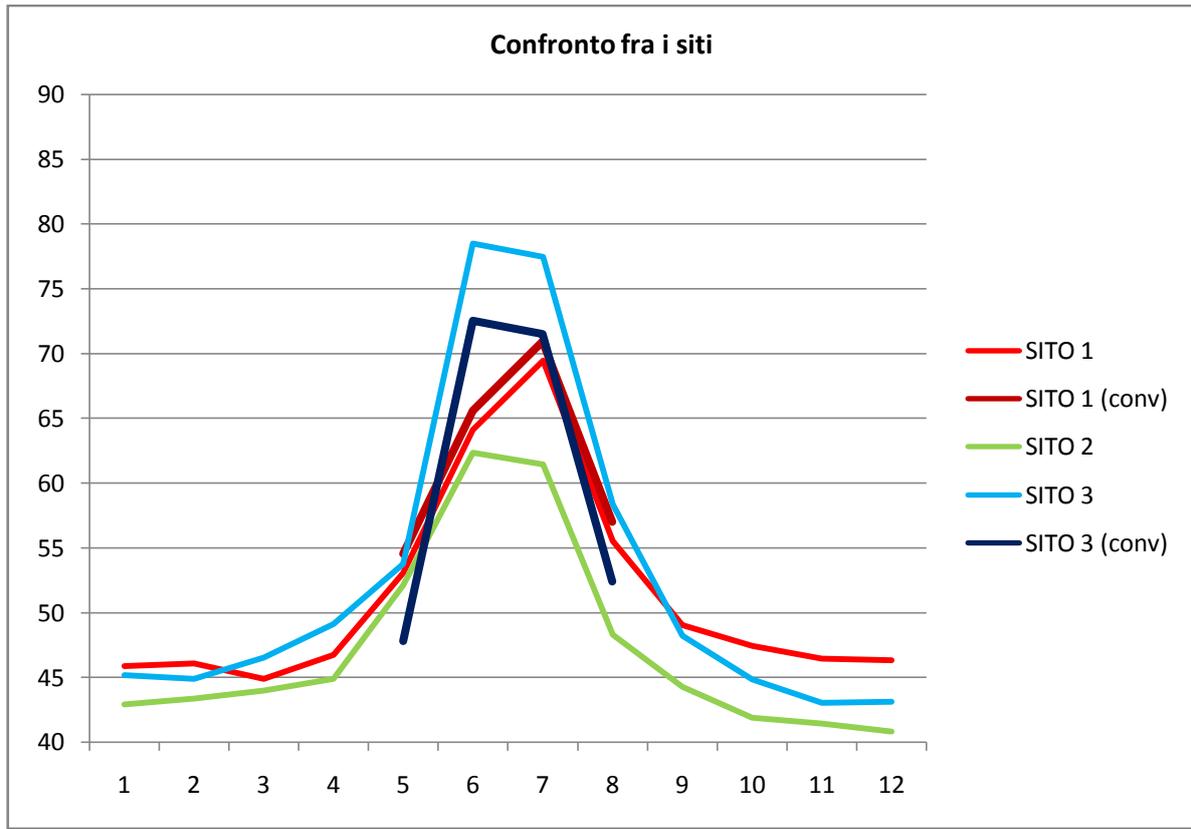
### 3.6.9 AGV 575 AV



Il treno ad alta velocità (Automotrice a Grande Vitesse) AGV 575 AV è un elettrotreno circolante soprattutto in Francia ed in Italia, dove viene impiegato nelle lunghe tratte dalla società NTV. La principale caratteristica di questo treno (si tratta, infatti, di un treno dalla composizione bloccata) è quello di prevedere una distribuzione dell'energia motrice lungo tutte le carrozze che lo compongono (di fatto, quindi, si tratta di un treno che può fare a meno della locomotiva in senso stretto). Ciò unito ad una serie di altri accorgimenti mutuati da veicoli quali il Pendolino (della stessa casa produttrice, la Alstom), gli consente di raggiungere la considerevole velocità di 360 km/h, limitati in Italia a solo 300 km/h. Pur trattandosi di treno a composizione bloccata, esso è stato progettato per adattarsi alle esigenze del servizio, potendo passare facilmente da 7 a 14 carrozze.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l'andamento dei livelli sonori equivalenti all'interno del singolo evento sonoro nei siti interessati. Il numero dei passaggi registrati è stato:

<b>AGV 575 AV</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
SITO 1	2	2
SITO 2	2	2
SITO 3		3
SITO 4		0



SITO 1			SITO 3			S 1-3	SITO 2			INSERTION
dev	conv	al	dev	conv	al	media	media	dev	LOSS	
standard	sito 2	media	standard	sito 2	media	media	media	standard	LOSS	
45.880	2.234	***	45.150	2.192	***	***	42.900	1.432	***	
46.105	3.401	***	44.867	4.907	***	***	43.367	0.769	***	
44.903	4.953	***	46.533	6.070	***	***	43.967	0.121	***	
46.735	8.111	***	49.133	8.893	***	***	44.867	3.427	***	
53.070	9.068	<b>54.559</b>	53.767	8.703	<b>47.809</b>	<b>51.184</b>	52.100	7.590	<b>-0.916</b>	
64.120	2.062	<b>65.609</b>	78.500	5.243	<b>72.543</b>	<b>69.076</b>	62.367	11.206	<b>6.709</b>	
69.453	3.850	<b>70.942</b>	77.467	11.498	<b>71.509</b>	<b>71.226</b>	61.467	5.000	<b>9.759</b>	
55.520	4.917	<b>57.009</b>	58.367	6.532	<b>52.409</b>	<b>54.709</b>	48.300	4.751	<b>6.409</b>	
49.063	1.874	***	48.200	0.849	***	***	44.267	4.754	***	
47.463	1.506	***	44.850	7.142	***	***	41.850	1.138	***	
46.477	3.016	***	43.033	4.594	***	***	41.400	0.509	***	
46.335	3.650	***	43.133	5.159	***	***	40.800	1.273	***	

SEL	
SITO 1	77.767
SITO 1 (conv)	79.256
SITO 2	72.248
SITO 3	88.046
SITO 3 (conv)	82.088
SITO 1-3 (conv)	80.369

### 3.6.10 ETR 600



Il treno ETR 600 rappresenta un esempio di “treno pendolante”, ovvero in grado di inclinare la cassa in corrispondenza delle curve. Ciò gli consente di raggiungere velocità considerevoli mantenendo un alto valore di comfort.

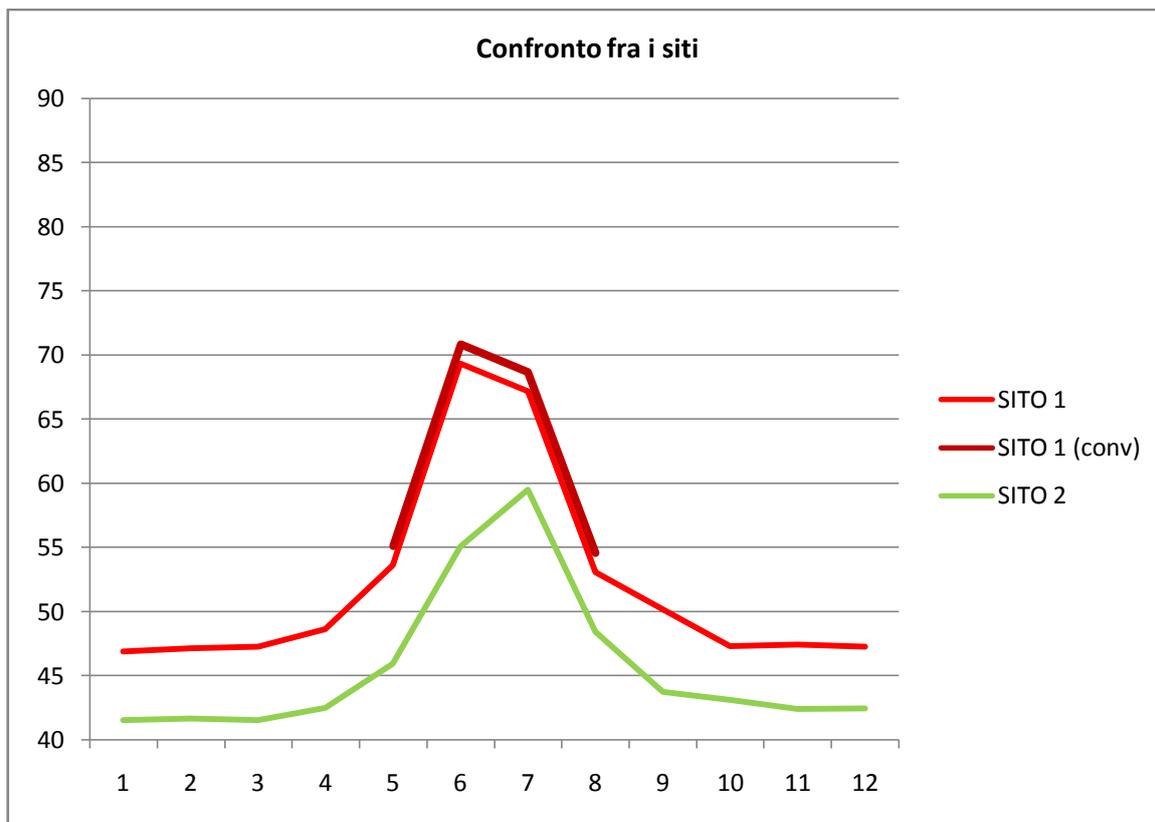
L'alimentazione è studiata in modo da adattarsi a tutti i possibili voltaggi reperibili in Italia, dai 3000V in corrente continua sulle normali linee, ai 25000V in corrente alternata sulle linee ad alta velocità.

La sua composizione tipo è di 7 carrozze, di cui la centrale adibita a ristorante, ma può benissimo essere raddoppiata fino a 14 carrozze. In questo modo è possibile unire due treni per un tratto per poi separarli verso direzioni differenti.

Attualmente questo convoglio denominato anche “ghepardo” svolge il servizio Frecciargento, con velocità massima sui 250 km/h, la massima consentita per un treno pendolante.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l'andamento dei livelli sonori equivalenti all'interno del singolo evento sonoro nei siti interessati. Il numero dei passaggi registrati è stato:

<b>ETR 600</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	5	6
<b>SITO 2</b>	5	6
<b>SITO 3</b>		0
<b>SITO 4</b>		0



SITO 1			SITO 2		
dev	conv al		dev	INSERTION	
media	standard	sito 2	media	standard	LOSS
46.891	4.244	***	41.563	1.364	***
47.129	3.944	***	41.650	1.648	***
47.260	3.429	***	41.544	1.633	***
48.633	3.509	***	42.489	1.724	***
53.620	4.218	<b>55.109</b>	45.940	5.367	<b>9.169</b>
69.360	2.518	<b>70.849</b>	55.070	3.553	<b>15.779</b>
67.192	6.362	<b>68.681</b>	59.510	1.325	<b>9.171</b>
53.072	5.019	<b>54.561</b>	48.430	2.085	<b>6.131</b>
50.175	3.423	***	43.760	2.607	***
47.299	3.249	***	43.110	*	***
47.446	3.111	***	42.410	*	***
47.267	3.651	***	42.470	*	***

SEL	
SITO 1	78.543
SITO 1 (conv)	80.033
SITO 2	68.207

### 3.6.11 ETR 610



Il treno ETR 610 rappresenta un'ulteriore evoluzione del modello ETR 600.

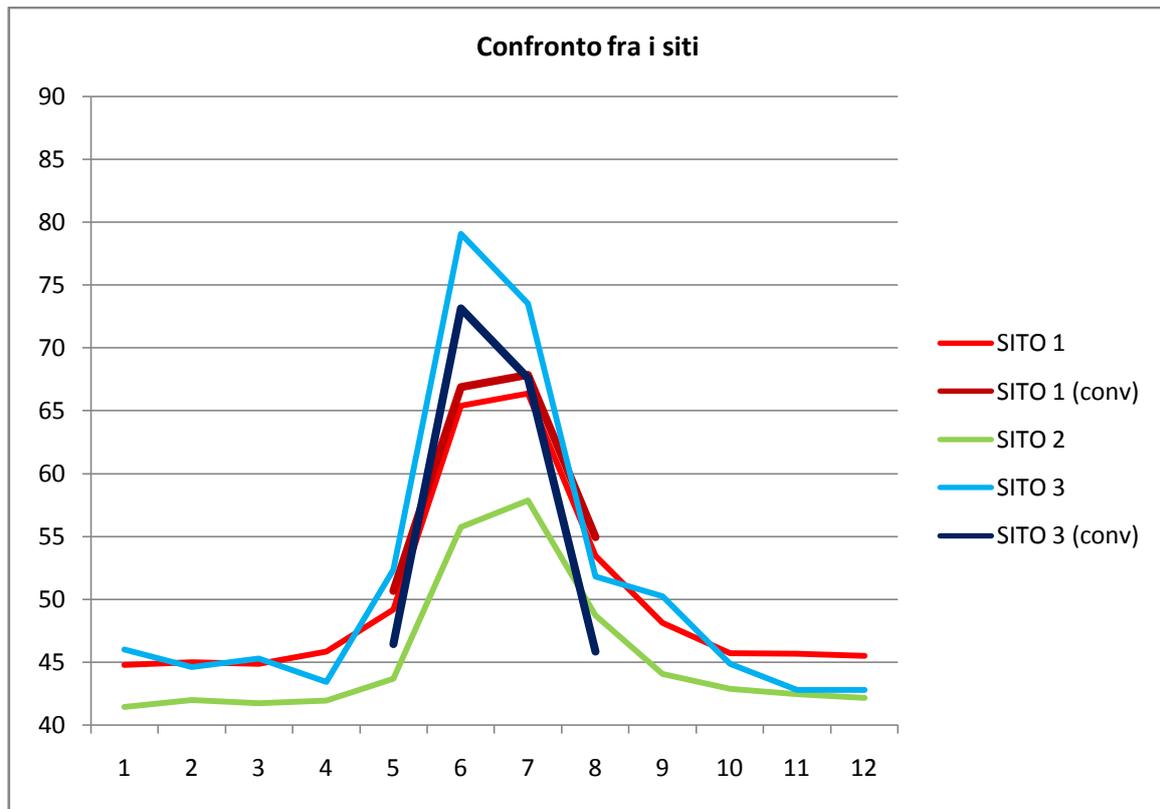
Progettato dalla società Alstom negli anni Duemila, rappresenta un tipico esempio di treno a cassa pendolante (vedi il Pendolino), che permette un discreto comfort anche a velocità sostenute.

Dovendo originariamente effettuare servizio fra Svizzera, Italia e Germania, è dotato di accorgimenti che permettono l'alimentazione da diversi voltaggi e sia in corrente alternata che continua. L'intercambiabilità del voltaggio (e la compatibilità con le linee tedesche) è uno degli aspetti che lo differenziano dall'ETR 600. Nella sua composizione tipo prevede 7 carrozze, che possono diventare facilmente 14 quando si uniscono due convogli. Tale soluzione è stata adottata per permettere un servizio che prevede, prima il raggiungimento di una stazione con un treno "lungo", per poi dividerlo ed continuare il servizio su due direzioni differenti.

La soluzione a cassa pendolante gli impedisce di viaggiare a velocità troppo elevate raggiungendo al massimo i 250 km/h.

Riportiamo di seguito i grafici che descrivono l'andamento dei livelli sonori equivalenti all'interno del singolo evento sonoro nei siti interessati. Il numero dei passaggi registrati è stato:

<b>ETR 610</b>	<b>GIORNO 1</b>	<b>GIORNO 2</b>
<b>SITO 1</b>	6	6
<b>SITO 2</b>	6	6
<b>SITO 3</b>		7
<b>SITO 4</b>		0

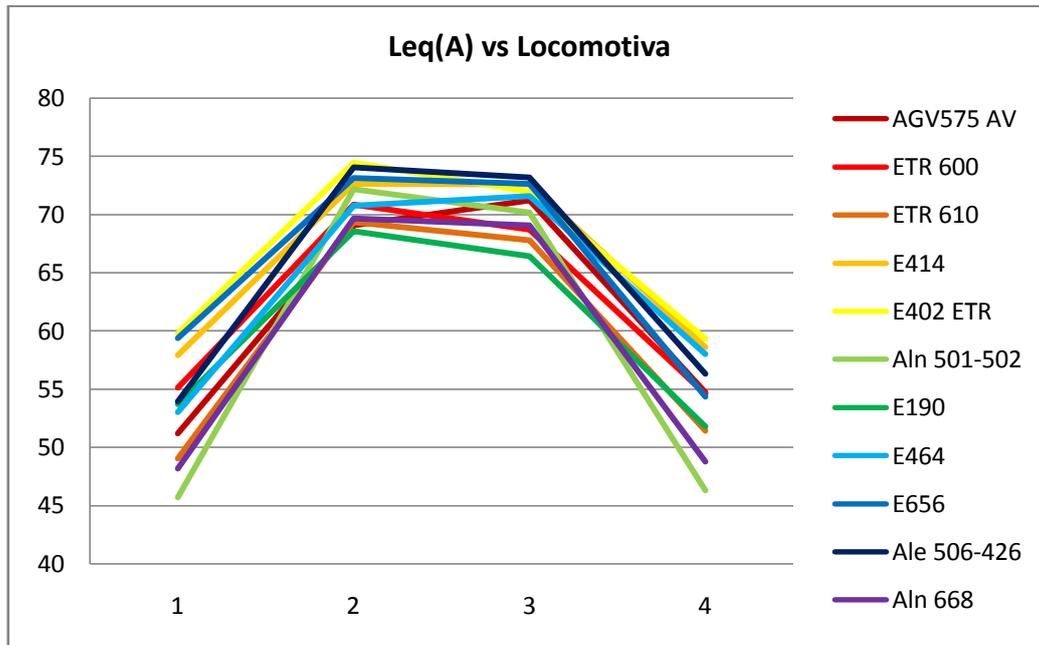


SITO 1			SITO 3			S 1-3	SITO 2		
dev	conv al		dev	conv al		media	media	dev	INSERTION
media	standard	sito 2	media	standard	sito 2	media	media	standard	LOSS
44.782	2.356	***	46.017	1.941	***	***	41.436	1.337	***
45.001	2.921	***	44.620	0.942	***	***	41.982	1.507	***
44.879	3.368	***	45.333	3.500	***	***	41.745	1.481	***
45.850	3.641	***	43.440	3.807	***	***	41.927	1.475	***
49.184	6.058	<b>50.673</b>	52.400	5.599	<b>46.443</b>	<b>49.028</b>	43.673	1.784	<b>5.355</b>
65.420	3.054	<b>66.909</b>	79.100	4.831	<b>73.143</b>	<b>69.333</b>	55.755	4.430	<b>13.579</b>
66.387	1.736	<b>67.876</b>	73.571	4.355	<b>67.614</b>	<b>67.774</b>	57.891	6.020	<b>9.883</b>
53.458	3.527	<b>54.947</b>	51.814	3.026	<b>45.857</b>	<b>51.412</b>	48.718	5.304	<b>2.694</b>
48.120	3.602	***	50.283	8.649	***	***	44.073	2.592	***
45.716	2.779	***	44.883	5.477	***	***	42.882	1.946	***
45.674	2.772	***	42.817	4.134	***	***	42.473	2.116	***
45.506	2.848	***	42.829	3.629	***	***	42.173	6.064	***

SEL	
SITO 1	76.096
SITO 1 (conv)	77.585
SITO 2	67.361
SITO 3	87.175
SITO 3 (conv)	81.218
SITO 1-3 (conv)	78.688

### 3.6.12 GRAFICI RIASSUNTIVI

Riportiamo di seguito i grafici che ci permetteranno un confronto fra i singoli tipi di locomotive.



Abbiamo scelto di dare dei colori in modo che rispecchiassero la principale caratteristica che qui vogliamo discutere, ovvero la velocità. Così, passando dal rosso al blu la velocità diminuisce sempre di più, passando dai 300 km/h massimi dell'AGV 575 AV, fino ai 130 dell'ALn 668.

La prima cosa che possiamo dedurre dal grafico è che non esistono sostanziali differenze fra i diversi convogli, ma i valori di picco rientrano tutti in un intervallo di poco più di 5 dB; inoltre, non si assiste ad un'effettiva differenziazione sulla base della velocità.

Per quanto riguarda il primo punto, dobbiamo evidenziare che le emissioni che abbiamo registrato non sono frutto delle sole locomotive utilizzate dai treni, ma, come abbiamo potuto osservare diverse volte, dipendono da una combinazione di fattori, fra cui la lunghezza totale del convoglio ed il tipo di materiale trainato (carrozze o vagoni merci). Pertanto le informazioni riportate nel grafico soprastante non riguardano solo la velocità, ma sono condizionate anche da altri fattori. Fattori che nell'analisi riguardante le sole locomotive sono state necessariamente trascurate. Nell'analisi del grafico dobbiamo ovviamente tener conto di ciò.

Dall'altro lato, dobbiamo ammettere che avendo scelto le locomotive come discriminante, abbiamo creato dei gruppi sostanzialmente omogenei. Infatti, nella parte relativa alle varie tipologie di treno, dovevamo mettere in conto che in una stessa categoria (specie per quelle a medio-breve percorrenza) la categoria comprendeva convogli a volte molto diversi fra loro per lunghezza e materiale rotabile impiegato. Nel caso della distinzione per locomotore, invece, simili problemi non si riscontrano, in quanto ciascun locomotore ha sempre la stessa velocità e traina lo stesso numero e la stessa tipologia di carrozza. Tutto ciò ovviamente va a discapito di un'accuratezza statistica, in quanto, dovendo spezzettare i dati rilevati in una decina di diverse categorie, si sono ottenuti locomotori con molti dati da usare, e locomotori con uno o due soli rilevamenti.

In conclusione, comunque, possiamo dire che l'analisi in base alla locomotiva ha comportato il vantaggio di avere un'analisi fra dati fra loro omogenei e ci ha offerto la possibilità di valutare l'incidenza della velocità

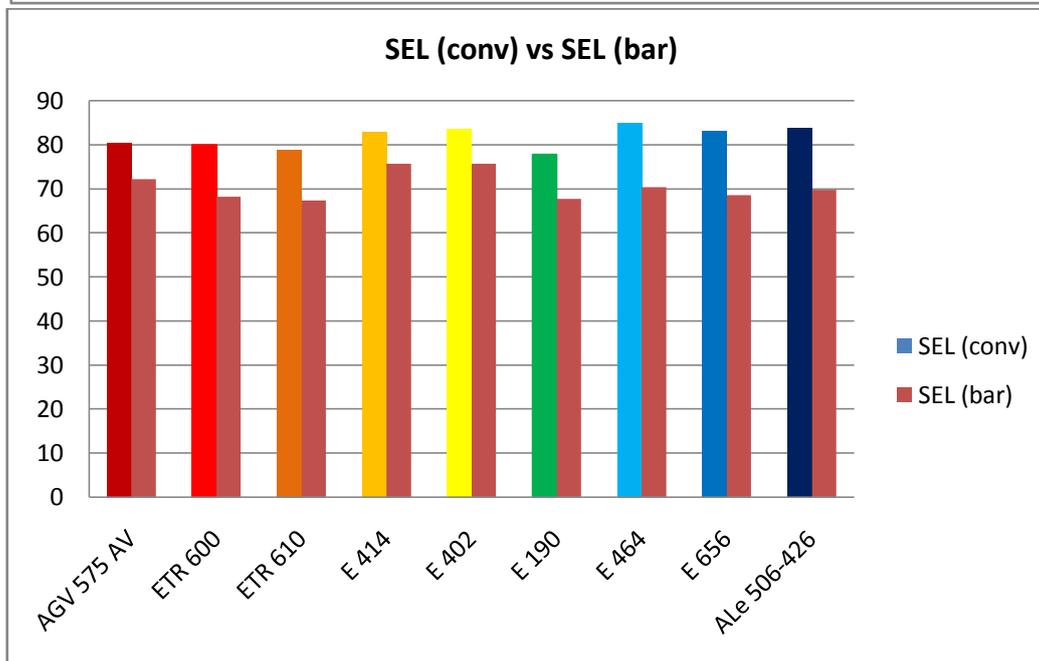
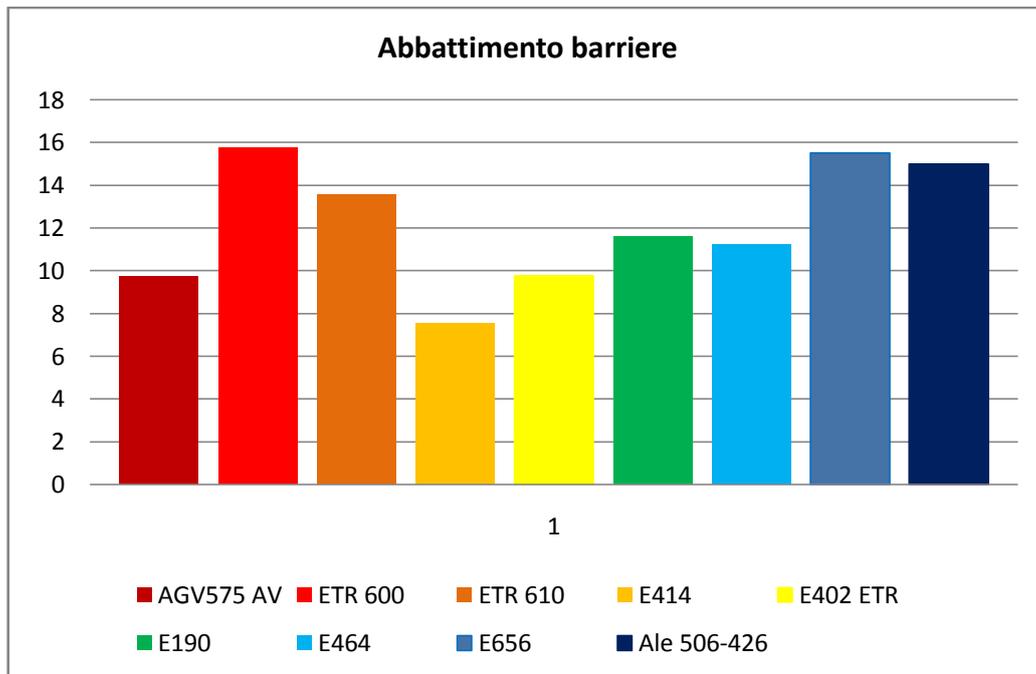
sul fenomeno delle emissioni. D'altro canto, si tende così a trascurare altri aspetti importanti quali la lunghezza. Avendo avuto dati a riguardo si sarebbe potuti condurre un'analisi ancor più esauriente. Riguardo l'aspetto della velocità, sappiamo che tanto più un convoglio è veloce e tanto più emette rumore. Viene quindi spontaneo pensare che le locomotive con la velocità massima più alta, quale l'AGV 575 AV o l'ETR 610 siano le locomotive più rumorose. Il grafico, invece, ci mostra come le loro emissioni siano in realtà fra le più basse. Come è possibile ciò?

La risposta è piuttosto semplice. Ad una maggiore velocità, è spesso affiancata una tecnologia che abbassa (a quanto pare notevolmente) le emissioni. Treni come l'ETR 610, infatti, sono treni di nuova concezione, progettati a metà degli anni Duemila, implementando le più moderne tecnologie in fatto di abbattimento delle emissioni, come ruote silenziate, freni a disco con materiale composito o altre di quelle che abbiamo visto nella bibliografia. Ricorderemo che l'Unione Europea a cavallo del Duemila a riguardo, aveva affermato che le emissioni legate al trasporto ferroviario sarebbero dovute calare di oltre la metà rispetto alle emissioni degli anni Sessanta. È logico aspettarsi, quindi, che tutti i veicoli di nuova concezione siano progettati secondo tali criteri, e, come possiamo vedere, tutto ciò ha prodotto dei buoni risultati. Il confronto appare evidente rispetto al locomotore E656, risalente agli anni Sessanta: pur essendo metà la velocità di tali convogli, rispetto all'ETR610, emette fino a 5dB in più.

In conclusione, i veicoli più rapidi non sono necessariamente i più rumorosi, ma conta anche l'anno di fabbricazione e le conseguenti tecnologie adottate. L'E402, per esempio, di circa un decennio precedente all'ETR 600, ha emissioni molto più elevate, pur proseguendo con velocità simili ai treni più moderni. L'ordine delle velocità, quindi, non corrisponde necessariamente a quello delle emissioni. Normalmente, anzi, i treni più lenti sono anche i più rumorosi. Unica eccezione sembra essere l'E668, che però è stato rilevato solo nel SITO 4 con i condizionamenti riguardo alla velocità, che già conosciamo. Anche qui sembra che la tecnologia moderna sia una condizione importante per giudicare le emissioni. Infatti, un convoglio come l'E464 (degli anni Novanta) emette meno rispetto ad un E656, vecchio di oltre 30 anni, ma chiamato allo stesso servizio Regionale e interregionale.

Dal grafico che abbiamo proposto, quindi, deduciamo che i treni più moderni sono anche quelli meno rumorosi, nonostante le differenze di velocità. La tecnologia ha permesso a treni molto veloci di poter essere anche silenziosi, realizzando così il primo passo di ciò che l'UE si auspica.

Passiamo ora all'analisi dell'abbattimento della barriera per ciascun tipo di locomotiva. Proponiamo, quindi un grafico riguardo l'insertion loss e riguardo il singolo evento sonoro con e senza barriera. Alcuni tipi di locomotiva, non transitando nel SITO 2 non ci hanno offerto la possibilità di valutare tale aspetto.



L'analisi dell'insertion loss ha come scopo quello di valutare caratteristiche peculiari nell'emissione delle singole barriere. I dispositivi fono isolanti, infatti, propongono sì un certo livello di abbattimento delle emissioni, tuttavia non si comportano allo stesso modo per tutti i treni. Ciò significa che il rumore emesso dai convogli di passaggio non ha sempre la stessa origine. Se tutti i treni emettessero rumore nello stesso modo, l'abbattimento sarebbe uguale.

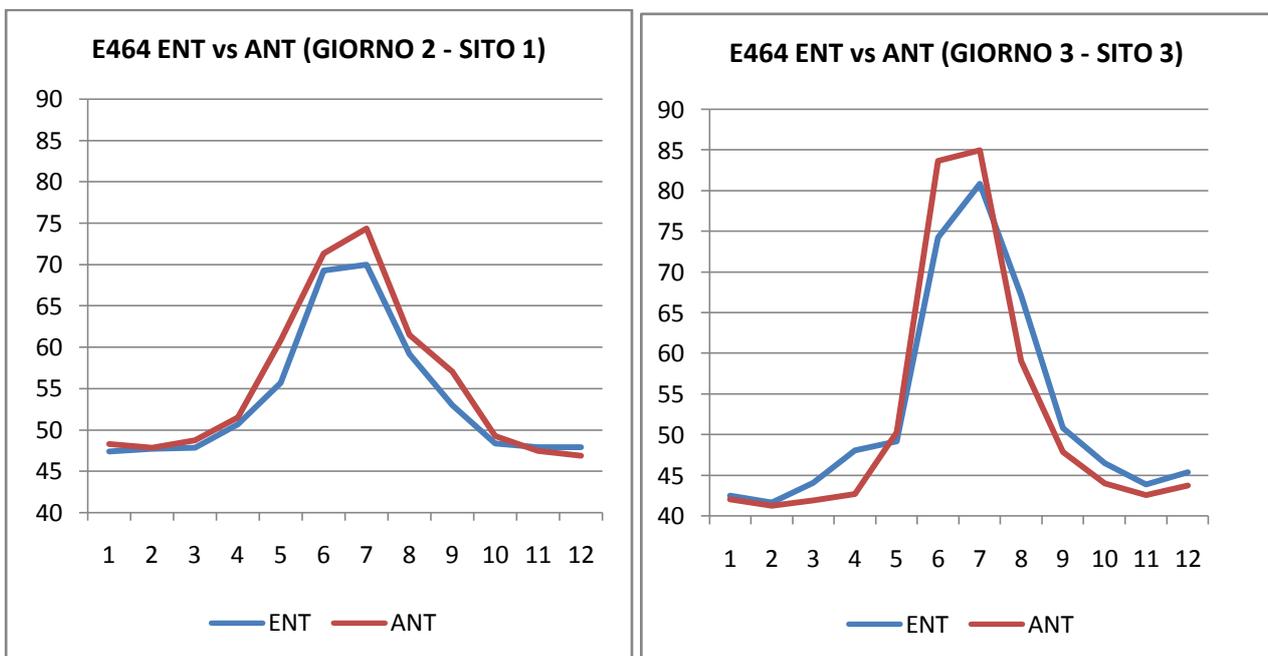
Analizzando i grafici possiamo notare come l'abbattimento del rumore sia molto più pronunciato nei treni "lenti" rispetto a quelli "veloci". Tale aspetto risulta evidente specialmente se analizziamo la variazione di contenuto energetico, in cui dall'E464 all'Ale 506-426 abbiamo abbattimenti nell'ordine di oltre 10dB. Più limitato risulta l'insertion loss in treni quali l'E414 e l'E402. Tuttavia, tali treni sono le locomotive dei Frecciabianca, che aveva comportamento simile. Rimandiamo alla sezione precedente per le relative considerazioni.

Una possibile spiegazione potrebbe essere sempre nella tecnologia adottata. Il rumore emesso dai convogli più lenti, e solitamente quelli più datati è relativa alla componente del rotolamento. Negli ultimi anni si sono compiuti passi avanti con l'introduzione di elementi che diminuiscono l'impatto di questo tipo di rumore, tuttavia rimane sempre questo genere di emissione, che tra l'altro è il tipo di emissione più rumoroso. Le barriere attualmente in commercio sono per l'appunto realizzate con lo scopo di fermare tale componente di rumore, verso la quale hanno sviluppato una buona efficacia. Il rotolamento, infatti, si sviluppa nel punto di contatto fra ruota e rotaia, quindi in una posizione abbastanza bassa. La barriera con il suo sviluppo verticale può schermare efficacemente tale componente, sicuramente meglio di quanto non possa fare per una componente aerodinamica localizzata tutt'attorno al mezzo.

In conclusione, le barriere analizzate si sono rivelate particolarmente efficaci nello schermare la componente del rotolamento dei treni, specialmente di quelli più lenti. Nel caso dei treni veloci di recente fabbricazione la componente del rotolamento è meno pesante, in quanto sono provvisti di accorgimenti atti a limitarla (come abbiamo già osservato in precedenza), e non riescono, nei nostri siti, a sviluppare appieno una componente aerodinamica di rilievo. Le barriere, dunque, sembrano agire non con un taglio netto alle emissioni, ma piuttosto con un "taglio in percentuale". Se ad esempio il rumore di un E464 è di 70dB e per il 100% composto da rumore da rotolamento, e la barriera sottrae il 20% di tale componente, alla fine l'insertion loss sarà conteggiato nell'ordine 14dB. Se il rumore di un E610 è sempre di 70dB ed è composto per il 50% da rumore da rotolamento (quello su cui la barriera effettivamente agisce), e la barriera sottrae sempre il 20%, la riduzione totale sarà di 7dB.

Questo riteniamo essere uno spunto interessante per le successive progettazioni di barriere acustiche.

Oltre alla distinzione delle emissioni sulla base delle tipologie di treno e dei tipi di locomotiva, abbiamo svolto anche altre indagini distinguendo fra "sola motrice anteriore" (ANT) e "motrice da entrambi i lati" (ENT). A tal riguardo abbiamo effettivamente potuto fare delle distinzioni solo riguardo al modello di locomotiva E464, la più diffusa e l'unica con un numero di rilievi sufficienti per una categoria e per l'altra. I risultati sono stati i seguenti:



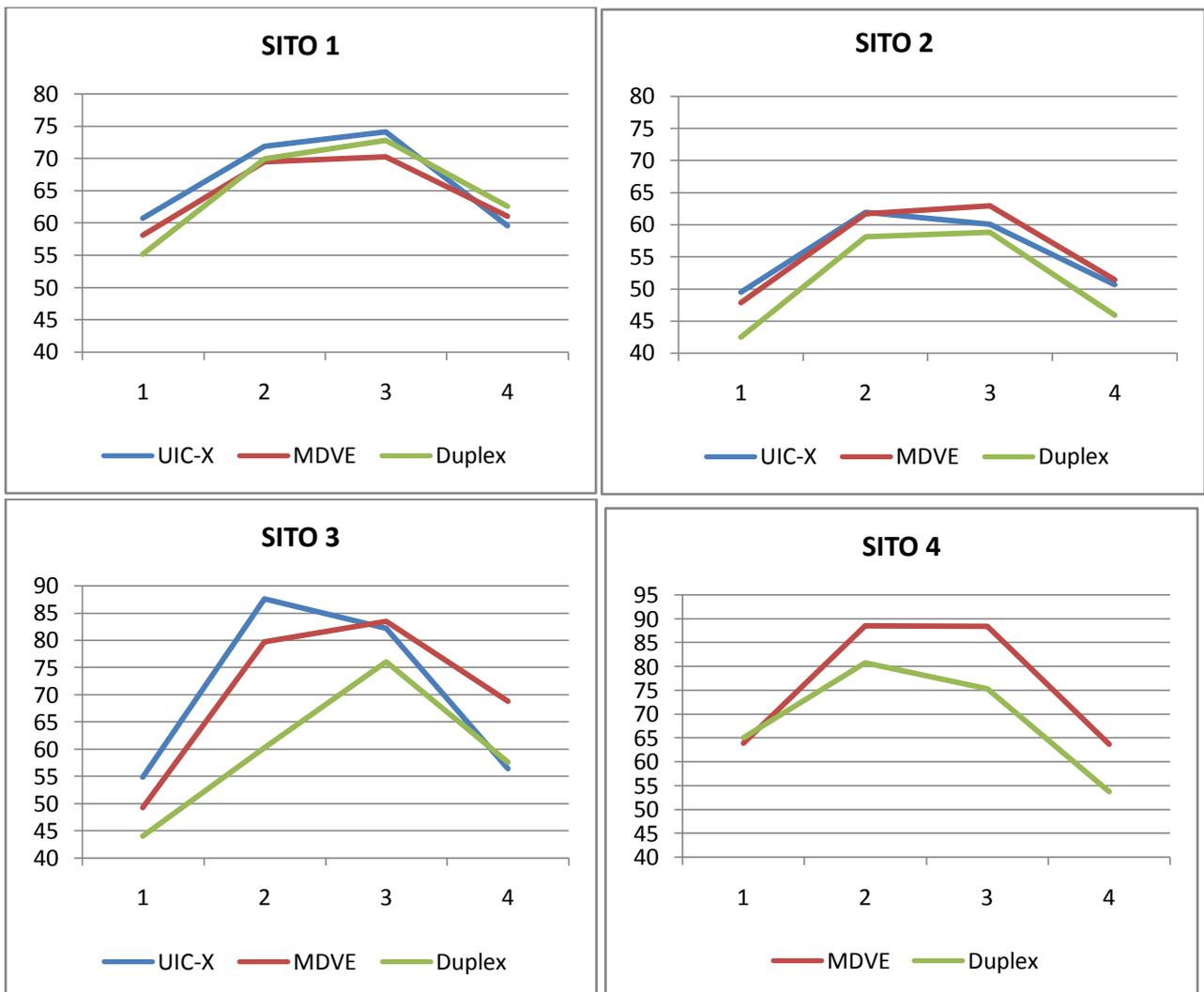
Come vediamo, indifferentemente da un giorno all'altro e da un sito all'altro, i dati rivelano che la composizione con locomotiva anteriore e locomotiva da entrambi i lati, non comportano grosse differenze

in termini di emissione. Generalmente si assiste ad emissioni maggiori se la locomotiva è solo anteriore, ma sembrano differenze tutto sommato limitate a massimo 5dB, quindi possiamo considerarle abbastanza trascurabili.

In conclusione possiamo affermare che non si assistono a differenze di rilievo passando da una conformazione con la sola locomotiva anteriore a quella con la locomotiva da entrambi i lati.

Abbiamo, infine, effettuato un confronto fra i diversi tipi di carrozze, per vedere che incidenza potessero avere nelle emissioni. Ancora una volta abbiamo svolto l'indagine in riferimento al solo E464 nel quale abbiamo un numero sufficiente di dati per permetterci un'indagine statistica valida.

I tipi di carrozze confrontati sono stati il modello UIC-X, il modello MDVE ed il modello Duplex, comprendendo anche le carrozze del modello Vivalto. I risultati, nei 4 siti sono stati i seguenti:



Quello che possiamo dedurre dai grafici è che nella maggior parte dei casi il tipo di carrozza non è particolarmente influente riguardo alle emissioni. Nel SITO 1 e nel SITO 2, dove abbiamo un numero maggiore di dati il che rende più attendibili i risultati, non si ha né una differenza sostanziale nelle emissioni né un ordine preciso dalla carrozza più rumorosa a quella meno. L'ordine, infatti, cambia anche passando al SITO 3 e 4.

In definitiva, sembra che il modello di carrozze non influisca più di tanto nelle emissioni finali, infatti, i modelli di carrozze, pur diversi nella forma (basti pensare alle differenze fra Duplex e carrozze ad un piano) sono simili nel rodiggio, che è la vera sorgente del rumore, quindi anche nelle emissioni finali.

Concludiamo dicendo che le analisi svolte hanno evidenziato il fatto che il tipo di locomotiva influisce in certa misura sulle emissioni sonore dei veicoli, ma sembra che sia molto più incisiva la composizione del treno stesso (treno più o meno lungo) e soprattutto l'anno di fabbricazione. I modelli più recenti offrono una serie di soluzioni che abbattano drasticamente il rumore, mentre i veicoli più datati, privi di tali accorgimenti, risultano molto più rumorosi.

A contrario, la posizione della locomotiva o il tipo di carrozza non sono molto influenti sul livello sonoro registrato.

### 4.1 Introduzione al programma.

Il programma Citymap rientra all'interno del pacchetto DISIA, sviluppato dall'ing. Angelo Farina nell'ambito del progetto denominato "Individuazione degli obiettivi di risanamento acustico", finanziato direttamente dalla Comunità Europea attraverso il Ministero dell'Ambiente.

Scopo del progetto era quello di creare un software semplice ma abbastanza attendibile per la previsione dei livelli sonori in ambienti urbani, in modo da essere un buon supporto per eventuali Dichiarazioni Preventive di Impatto Acustico (DPIA) o di Valutazioni di Impatto Acustico Ambientale (VIAA).

La creazione del pacchetto suddetto ha richiesto un discreto lavoro di programmazione e soprattutto di taratura, attraverso diverse prove svolte fra Napoli, Trieste e Mestre in modo da coprire al meglio il parco veicolare nazionale.

Così come si presenta esso va ad affiancarsi ad altri programmi sviluppati nelle vicine nazioni europee per scopi simili, come RLS-90 e lo SCHALL-03 in Germania o l'ENPA e il SEMIBEL in Svizzera.

Il programma CITYMAP viene rilasciato direttamente dal professor Farina a tutti gli istituti universitari che ne fanno richiesta, ma non è stato pensato per una commercializzazione. Di fatto si tratta di un programma dalle potenzialità limitate (come vedremo più avanti) che assume più un'importanza teorica (quindi adatta allo scopo accademico) piuttosto che pratica. Nel nostro caso esso è stato utilizzato come metodo di confronto contro un altro software (SoundPlan) per valutare differenze nell'approccio e nei risultati finali. Come abbiamo già accennato CITYMAP rappresenta solo una parte del pacchetto DISIA, il quale è un insieme di programmi finalizzati ad supportare, prevalentemente in fase input e output, il programma stesso ed il suo contraltare ovvero DISIAPYR. Quest'ultimo rappresenta una sorta di perfezionamento di CITYMAP, con una maggiore attenzione al dettaglio: se CITYMAP permette di effettuare previsioni su zone urbane relativamente estese, DISIAPYR prende in esame una singola sezione e, ricevendo informazioni ulteriori sulla posizione delle superfici riflettenti/assorbenti riesce a restituire il clima acustico (le linee isofoniche) lungo la sezione stessa.

Tornando all'analisi del pacchetto DISIA, riportiamo qui sotto uno schema che illustra i diversi programmi coinvolti o richiesti dai programmi stessi.

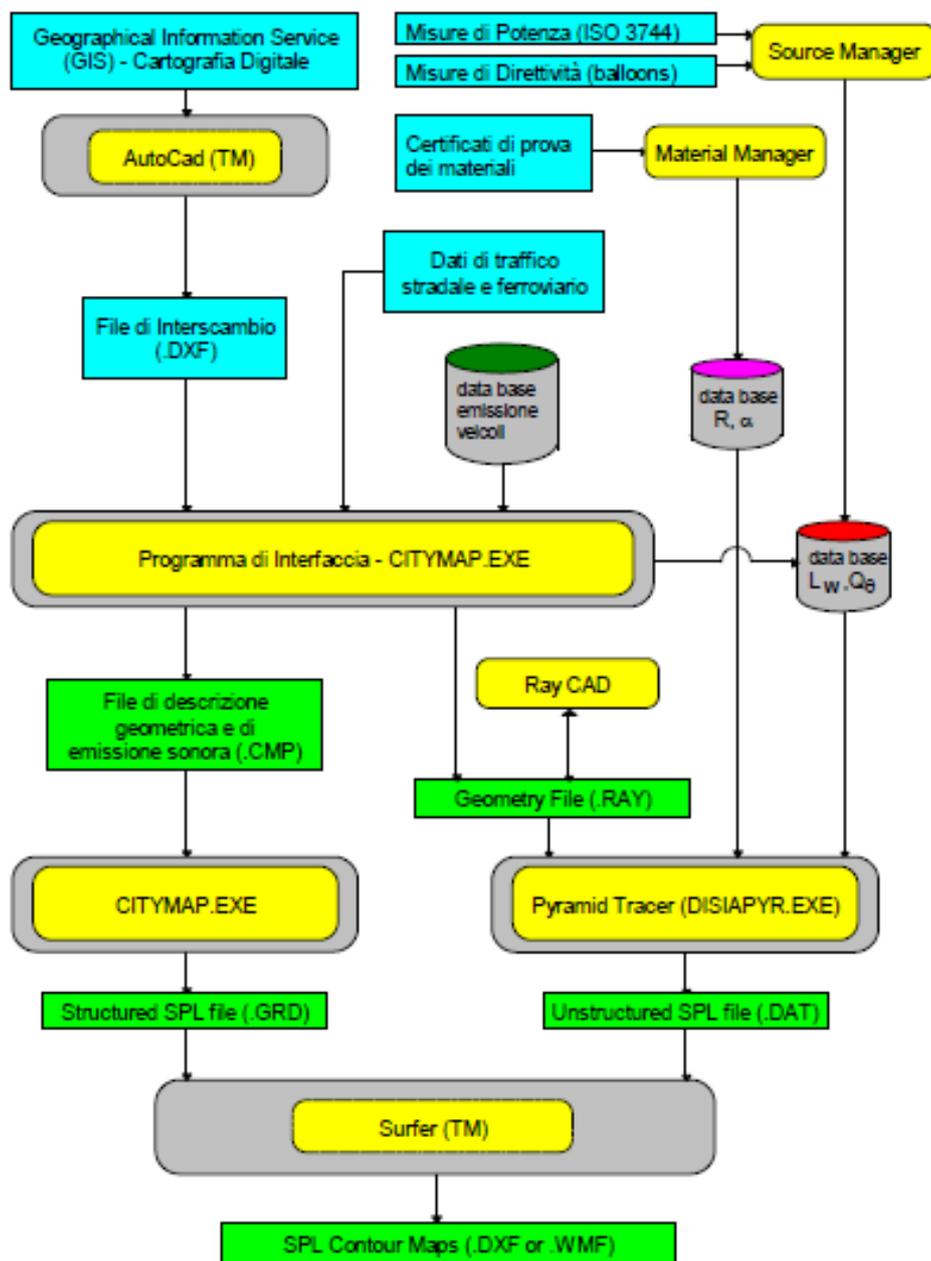


Figura 1. Schema di funzionamento del pacchetto DISIA. Fonte Manuale DISIA

Come avevamo già accennato, il lavoro che ha portato alla creazione del pacchetto ha richiesto un attenta raccolta di informazioni riguardanti la potenza e la direttività delle diversi sorgenti possibili (tipicamente sorgenti isolate quali fabbriche, discoteche ecc. e sorgenti lineari quali linee ferroviarie, strade ecc.). Ad esempio, nel caso ferroviario sono state predisposte delle stazioni di ricezione alte svariati metri che possiamo vedere nell'immagine sottostante (tratta proprio dal lavoro di raccolta dati).

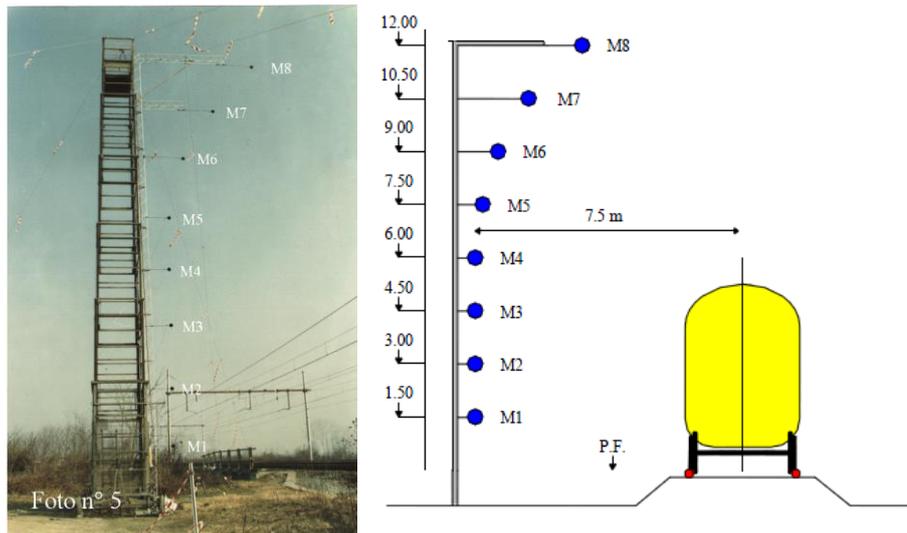


Figura 2. Dispositivo per la recezione dei segnali sonori nell'ambito ferroviario. Fonte: pubblicazioni del prof. Farina

A diverse altezze sono stati posti dei microfoni con lo scopo di valutare per ciascuna banda d'ottava il livello sonoro raggiunto e dare un'immagine quanto più chiara possibile di quale fosse effettivamente l'emissione sonora dei veicoli transitati. L'indagine ha riguardato due distinti siti monitorati per 24 ore per 3 giorni e ha permesso di raccogliere dati su diverse entità:

- Livello sonoro per bande d'ottava
- Andamento del livello sonoro ponderato A
- Livello sonoro ponderato massimo raggiunto
- SEL Singolo Evento Sonoro di ciascun convoglio

Tali grandezze sono state poi classificate in base alla categoria di treno (3 categorie: merci, treni locali e treni a lunga percorrenza), alla velocità (4 categorie da V1 a V4) e al tipo di armamento (2 categorie: lunga rotaia saldata e rotaie interrotte per scambi). Si sono quindi ottenute delle tabelle che contengono un diverso valore delle grandezze appena elencate in base a tali parametri (quindi si sono ottenute tabelle che contenevano, per esempio il livello sonoro raggiunto per ciascuna banda d'ottava a seconda del tipo di armamento e la tabella era riferita ad una specifica categoria di velocità e di treno). Inoltre al fianco di tali valori che sono stati registrati dalla postazione posta più in basso (M1 nella figura,) sono stati calcolate tutte le riduzioni qualora il valore cercato sia posto ad un'altezza o posizione diversa da M1, facendo assumere alle tabelle di cui parlavamo una sorta di "aspetto tridimensionale" distribuito su una specifica sezione..

Aspetto importante che non abbiamo ancora menzionato è quello della lunghezza dei convogli. Come la scienza acustica ci ha insegnato il livello sonoro raggiunto da un convoglio cambia sensibilmente con la lunghezza del convoglio stesso. Tuttavia la scelta, in questo caso, non è stata di creare una serie di categorie simili a quelle viste per la velocità, ma di creare le tabelle di cui parlavamo con riferimento ad un convoglio standard di 100m. Questo perché la modalità di dati descritta è del tutto simile a quella creata per l'ambito stradale in cui l'aspetto della lunghezza è trascurato. Per rendere omogenei i dati fra strade e ferrovie si è pensato di utilizzare una lunghezza standard. Una volta inserita la lunghezza il livello viene ricalcolato di conseguenza e le tabelle risistemate.

Tutti questi dati riguardo al livello e alla direttività vengono inseriti in un apposito database da cui CITYMAP attinge per le proprie previsioni.

Tali dati rappresentano però un semplice riferimento generale per il programma, e verranno di volta in volta riadattati alle condizioni di traffico specifiche della situazione in esame. A tal riguardo diviene necessario introdurre nel programma altre due informazioni cruciali:

- I dati di traffico
- Le condizioni geografiche dell'area in esame.

Riguardo al primo punto si tratta di svolgere delle indagini sul traffico seguendo le consuete metodologie. Dato che CITYMAP è in grado di mappare intere aree più o meno estese dei centri urbani, sono richieste informazioni in merito a tutte le possibili sorgenti coinvolte. Grazie al database di cui accennavamo in precedenza, l'effettiva potenza sonora di strutture lineari quali strade e ferrovie si ricava a partire dal numero di veicoli di passaggio. Incrociando tali dati con il database saremo in grado di definire Lw che cercavamo. Pertanto l'operatore deve semplicemente raccogliere dati riguardo a:

- Numero di veicoli
- Velocità dei veicoli
- Caratteristiche delle superficie su cui corrono i veicoli o sul tipo di armamento su cui corrono i convogli, compresa l'eventuale pendenza
- Tipo di veicoli (veicoli pesanti, treni merci...)
- Lunghezza dei convogli (nel caso ferroviario)

Come vediamo rappresentano gli stessi dati sulla base dei quali le tabelle del database sono state costruite e dalle quali sarà facile recuperare il rispettivo spettro dei livelli sonori alle diverse frequenze.

Riguardo a sorgenti sonore isolate (quali fabbriche, attività rumorose legate a cantieri ...) si deve fornire a parte le caratteristiche del segnale sonoro emesso attraverso una procedura di cui non ci occupiamo dato che non ci interessa ai fini del nostro progetto.

Definiti i livelli di traffico si passa alla definizione cartografica dell'area in esame (la quale, ovviamente deve essere definita a priori onde individuare le sorgenti da tenere effettivamente d'occhio). CITYMAP è pensato per interfacciarsi perfettamente con il programma AutoCad che risulta diffusissimo in tutte le attività ingegneristiche. Da tale programma si ottengono, infatti, file di interscambio definiti dxf che, seppur costruiti in AutoCad sono perfettamente leggibili da CITYMAP.

Come dicevamo all'interno di tale file di interscambio si deve definire l'area in esame, nella quale si devono evidenziare binari, strade, case, barriere, punti di registrazione del suono ecc. A tal proposito si possono facilmente utilizzare le cartografie rese disponibili dalle Regioni sottoforma di CTR. Nella Regione Veneto esse sono reperibili gratuitamente dal sito della Regione e scaricabili direttamente nel formato dxf.

Normalmente è comunque consigliabile rimettere mano a tali CTR, in modo da eliminare informazioni superflue o evidenziare elementi di interesse. Nel nostro caso si tratterà di evidenziare le sorgenti lineari che effettivamente emettono rumore e i punti in cui abbiamo effettuato la registrazione (grazie ai quali faremo un confronto fra quanto il programma prevede e le registrazioni ottenute), oltre che inserire tutti gli elementi salienti all'interno di appositi Layers che li renderanno leggibili da CITYMAP stesso. I Layers più importanti (e che abbiamo dovuto usare sono):

- BINARI: vi vengono inseriti tutti i binari di cui ci interessa tener conto. L'elemento binario sulla cartografia deve risultare una polilinea e deve trovarsi alla quota esatta (almeno rispetto agli altri elementi) e avere una larghezza pari a quella reale.
- STRADE: vale lo stesso discorso fatto in occasione dei binari, ma vi vengono salvate le strade d'interesse. Si ripetono le stesse avvertenze riguardo a larghezza e quota delle stesse.
- CASE: contengono tutti gli elementi (normalmente edifici ed ad eccezione delle barriere) che possono assorbire/riflettere il suono incidente. Possono essere definite attraverso delle polilinee eventualmente portate alla quota desiderata (quindi non è necessaria un'effettiva estrusione dell'edificio, almeno fin tanto che ci si limita a CITYMAP)
- BARRIERE: contengono tutti gli elementi che fungono da elementi fono isolanti lungo il percorso. Si tratta essenzialmente di polilinee che vengono portate alla quota della parte superiore della

barriera reale. Nel caso quest'ultima abbia uno sviluppo verticale diverso dalla classica barriera verticale si cerca di riportarla ad una sorta di "barriera verticale equivalente"

- SEZIONI: serve sia per definire lo spazio entro il quale CITYMAP ricostruirà le eventuali mappe delle linee isofoniche, sia per individuare eventuali sezioni che DISIAPYR possa prendere in esame nell'eventuale analisi successiva.
- PUNTI: contiene dei punti salienti sui quali CITYMAP può calcolare con dettaglio il livello sonoro equivalente ponderato raggiunto. Sono dei cerchi posti alla quota d'interesse.

Una volta seguite tutte le accortezze del caso per ottenere una cartografia conforme ai layers appena definiti, si può salvare il file in dxf e passarlo direttamente a CITYMAP.

Arrivati a questo punto, come possiamo vedere dall'immagine che illustra il funzionamento del pacchetto, abbiamo tutti i dati di input che ci occorrono per passare all'utilizzo del programma stesso.

L'aspetto del programma una volta avviato e caricato un dxf è il seguente:

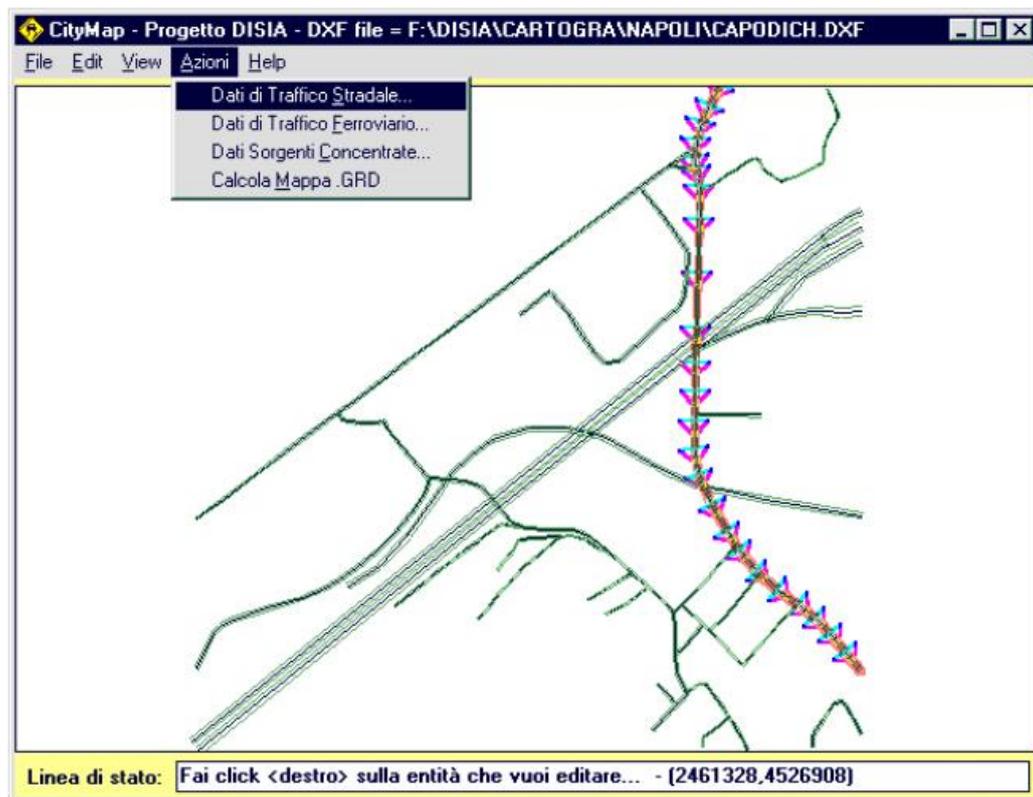


Figura 3. Schermata iniziale del programma CITYMAP una volta caricato un file dxf. Fonte Manuale DISIA

Come vediamo il programma ha letto i layers del dxf contrassegnati dai nomi che abbiamo precedentemente elencato, trascurando tutto il resto del file. Come ormai sarà risultato evidente, il programma in questione non tratta minimamente dell'andamento altimetrico del terreno, tanto che, misurando i livelli sonori previsti in un certo punto posto prima ad una quota e poi ad un'altra, ma mantenendo inalterata la distanza mutua fra gli elementi coinvolti, il risultato non è cambiato minimamente, segno che non si tiene affatto conto dell'effetto assorbente del terreno.

Ad ogni modo, una volta caricato il progetto si tratta di immettere i dati relativi al traffico, che saranno stati recuperati precedentemente. Le finestre in cui inserire i dati sono riportate sotto.

**Editazione dati traffico stradale**

Selezione Tratto Stradale  
 Tratto n. 23 Nome: TANGENZIALE  
 Leq,7.5m (G/N) 76.5 68.5  Fisso  Calcola

Proprietà  
 Tipo di Pavimentazione 1-Asfalto Liscio  
 Pendenza (% + | -) 0-5%  
 hmed edifici lato Sinistro 6  
 hmed edifici lato Destro 0

Traffico diurno complessivo

N. autovetture (V1)	12800	C7-(90-110 km/h)
N. camion 2 assi (V2)	1600	C6-(70-90 km/h)
N. camion 3 assi (V3)	640	C6-(70-90 km/h)
N. TIR (V4)	640	C6-(70-90 km/h)
N. motocicli (V5)	640	C7-(90-110 km/h)

Traffico notturno complessivo

N. autovetture (V1)	800	C7-(90-110 km/h)
N. camion 2 assi (V2)	240	C6-(70-90 km/h)
N. camion 3 assi (V3)	80	C6-(70-90 km/h)
N. TIR (V4)	80	C6-(70-90 km/h)
N. motocicli (V5)	40	C8-(> 110 km/h)

Cat.A - Autostrada    Cat.B - Extraurb. princ.  
 Cat.C - Extraurb. sec.    Cat.D - Urbana scorr.  
 Cat.E - Urbana quart.    Cat.F - Locale

**Editazione dati traffico ferroviario**

Selezione Tratto Ferroviario  
 Tratto n. 1 Nome: binario1  
 Leq,7.5m (G/N) 74. 71.8  Fisso  Calcola

Proprietà  
 Tipo di Armamento 1-Bin. cont. saldato  
 hmed edifici lato Sinistro 10  
 hmed edifici lato Destro 0

Traffico diurno complessivo

	Num.	Lungh.	Velocità
tr.merci (V1)	100	100	C1-(0-60 km/h)
tr.pass. locali (V2)	20	100	C2-(60-90 km/h)
tr.pass. l.perc. (V3)	0	0	C1-(0-60 km/h)

Traffico notturno complessivo

	Num.	Lungh.	Velocità
tr.merci (V1)	100	10	C3-(90-120 km/h)
tr.pass. locali (V2)	0	0	C1-(0-60 km/h)
tr.pass. l.perc. (V3)	0	0	C1-(0-60 km/h)

Figura 4. Inserimento dei dati di traffico nell'ambiente CITYMAP. Fonte Manuale DISIA

Come vediamo, nel caso delle ferrovie si tratta di inserire il tipo di armamento (fra le due categorie prima definite), il numero di treni di ciascuna delle tre categorie di passaggio durante il giorno e la notte e le classi di velocità (fra le 4 categorie definite). Inoltre è possibile aggiungere il numero di edifici che circondano la ferrovia in modo da comprendere eventuali effetti tunnel. Il concetto di diurno e notturno lo consideriamo secondo la concezione italiana ovvero diurno (6-22) e notturno (22-6). È possibile, se si dispone di tali dati, definire direttamente la potenza sonora della linea (anziché procedere al calcolo da parte del programma) attraverso l'immissione della potenza sonora misurata da una postazione a 7.5m dall'asse della linea e a 1m da terra.

Nel caso stradale i dati da immettere sono del tutto simili, con l'eccezione che, dato che spesso le strade sono molte e non se ne conosce effettivamente i dati di traffico, si possano caricare dei dati medi, già contenuti nel programma, e specifici per ciascun tipo di strada.

Riguardo alle sorgenti fisse la procedura è ancor diversa e richiede l'immissione diretta della potenza sonora lungo le diverse direzioni.

Terminata la fase di immissione dei dati si può salvare il tutto sottoforma di un file .CMP che potrà essere di volta in volta caricato per ripetere le misure.

Si può passare, quindi, al calcolo vero e proprio che prevede diversi output:

- Una mappa sottoforma di file .GRD perfettamente leggibile dal programma Surfer in grado di effettuare a sua volta delle rielaborazioni per rendere più leggibile il tutto

- Un calcolo focalizzato solo sui cerchi definiti nel layer PUNTI. In questo caso è possibile attivare o escludere l'effetto di barriere o di sorgenti concentrate.

Nel primo caso si ottiene una mappa simile a quella riportata sotto alla quale affianchiamo la successiva rielaborazione tramite Surfer

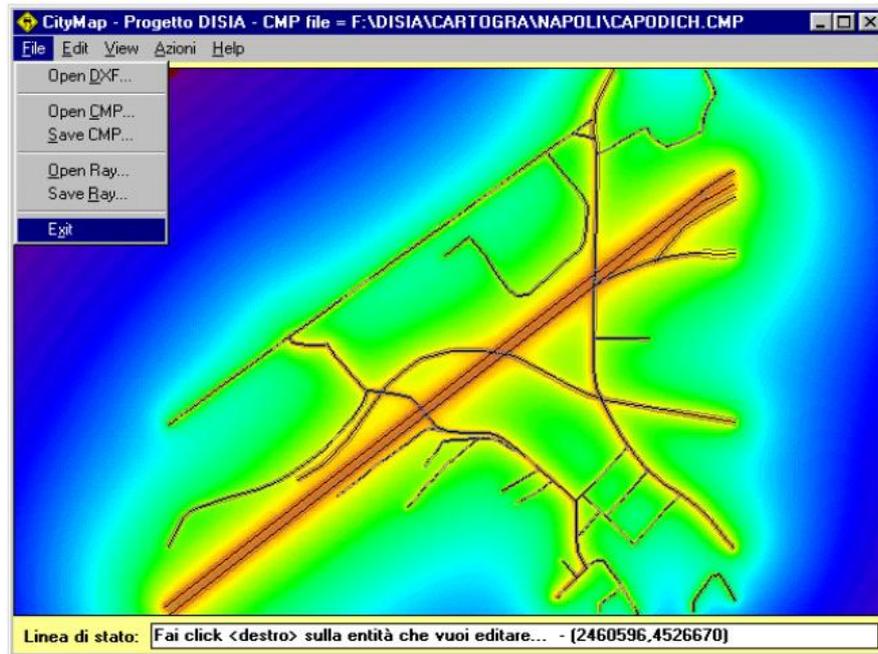


Figura 5. Mappa del clima sonoro dell'area analizzata ottenuta come output da CITYMAP . Fonte Manuale DISIA

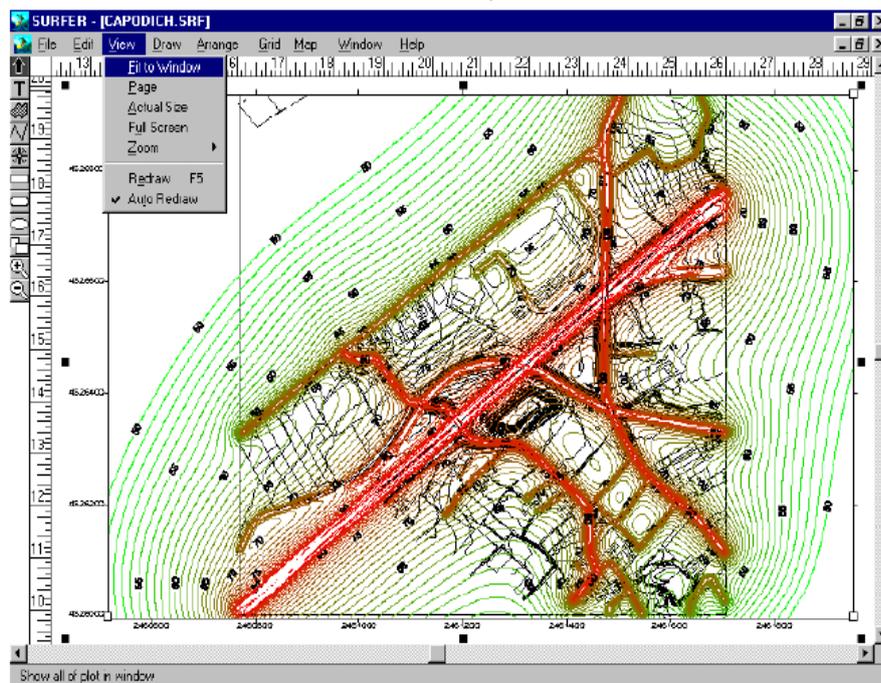


Figura 6. Rielaborazione dell'output di CITYMAP da parte di Surfer. Fonte Manuale DISIA

Nella successiva rielaborazione tramite Surfer è possibile notare come sia possibile ottenere anche una ricostruzione tramite linee isofoniche ed eventualmente distinguere le zone sottoposte a diversi livelli sonori con colori differenti. Oltretutto è possibile sovrapporre tale ricostruzione alla cartografia originale permettendoci di individuare se, in tutte quelle zone nelle quali i limiti posti dalla legge nelle singole zone d'utilizzo o nelle fasce circostanti le sorgenti lineari, i limiti siano rispettati o meno.

#### 4.2 Funzionamento dell' algoritmo di calcolo di CITYMAP.

Vediamo ora di descrivere per sommi capi il funzionamento teorico del programma CITYMAP avendo ben presenti gli input da fornire al programma.

Come già accennato CITYMAP è in grado di mappare solo il livello sonoro equivalente ponderato, pertanto non è in grado di effettuare indagini rispetto alla frequenza o alla direttività della sorgente. In secondo luogo il software non prevede alcuna differenza fra strade e ferrovie (riguardo le sorgenti concentrate, comunque non di nostro interesse, il trattamento è ancora diverso e lo tralasciamo).

Anzitutto il programma cerca di trovare l' effettivo livello sonoro equivalente a 7.5m dalla strada/ ferrovia, indicata nella cartografia da una semplice polilinea, che risulta il valore di riferimento registrato durante le campagne di misura presso le stazioni che abbiamo descritto in precedenza (corrisponde al microfono M1 della figura 2). Il calcolo di tale livello sonoro avviene a partire dai valori di SEL (livello del singolo evento sonoro) contenuti nel database di CITYMAP e da una serie di attenuazioni legate alle condizioni della strada/binario o alla pendenza della linea (indicati come input in fase di caricamento dei dati di traffico). Il calcolo avviene separatamente per le ore diurne e notturne.

Le formule sono le seguenti:

$$L_{eq,7.5m} = 10 \cdot \lg \left[ \sum_{i=1}^5 \left( 10^{\frac{SEL_i + \Delta L_{asfalto,i} + \Delta L_{pendenza,i}}{10}} \cdot \frac{N_i}{16 \cdot 3600} \right) \right]$$

Valida per quanto riguarda l' ambito stradale, e:

$$L_{eq,7.5m} = 10 \cdot \lg \left[ \sum_{i=1}^3 \left( 10^{\frac{SEL_i + \Delta L_{binario,i} + \Delta L_{pendenza,i}}{10}} \cdot \frac{N_i}{16 \cdot 3600} \cdot \frac{L_i}{100} \right) \right]$$

Per l' ambito ferroviario.

Come possiamo vedere si tratta della somma (somma di livelli sonori ovviamente, quindi comprendente logaritmi) nella quale i singoli eventi sonori SEL vengono corretti da parte di opportuni coefficienti e vengono moltiplicati per il numero di veicoli di data categoria e velocità cui appartiene il rispettivo valore di SEL. Il tutto viene mediato lungo il tempo diurno espresso in secondi (16\*3600 che divengono 8\*3600 se riferiti al periodo notturno).

Riguardo all' ambito ferroviario, dato che tutte le diverse categorie sono state rilevate, nell' ambito della creazione del database, prendendo una lunghezza di riferimento di 100m è necessario effettuare una seconda moltiplicazione nella quale si tiene conto della lunghezza delle singole categorie di convogli. In definitiva si tratta del calcolo non di un livello equivalente, quanto piuttosto una vera e propria somma di livelli sonori (infatti manca la divisione della sommatoria per il numero di passaggi come prevedrebbe il calcolo di un livello equivalente).

Ottenuto ciò si tratta di recuperare, a partire da questi primi dati, la potenza sonora della linea per ciascun metro di sviluppo (quindi si tratta di effettuare una sorta di operazione inversa rispetto al solito dove si parte dalla potenza per ricavare il livello a distanza d dalla sorgente).

Pertanto si crea una sorta di griglia di calcolo in cui l' obiettivo è quello di conoscere il livello sonoro di ciascun punto, partendo dal fatto che si conosce attualmente solo il livello sonoro a 7.5m dall' asse delle linee. La griglia che si viene a creare conterrà una serie di punti il cui clima acustico è determinato dal contemporaneo effetto di differenti sorgenti. Il programma procede quindi a verificare se la distanza di

ciascun punto dalla linea sia almeno doppia della lunghezza del tratto. Se ciò non risulta verificato di suddivide a metà la lunghezza della linea considerata, operando così un raffittimento nei pressi delle sorgenti. Si ottiene, così, una serie di tratti in cui ferrovie e strade sono state suddivise e ciascuno di questi tratti è di per sé una sorgente che emette suono a partire dal proprio centro come una sorgente puntiforme. L'aspetto lineare si ottiene come sequenza di tali sorgenti concentrate. Si tratta ora di conoscere l'effettiva potenza sonora di tale sorgente e per farlo si ricorre alla formula inversa rispetto a quella per il calcolo di L ad una distanza di 7.5m a partire da una sorgente di potenza nota e nello specifico:

$$L_{W,lm} = L_{eq,7.5m} - 10 \cdot \lg(\pi \cdot 7.5)$$

Operando in questo modo si può conoscere la potenza lineare di ciascun tratto.

La potenza complessiva del tratto in analisi si ricava a partire dalla formula seguente:

$$L_W = L_{W,lm} + 10 \cdot \lg(l)$$

Dove l è lo sviluppo del tratto.

A questo punto ciascuna sorgente è individuata con la rispettiva potenza e il livello equivalente rilevato in ciascun punto della griglia di calcolo si ricava dalla formula seguente:

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

Dove l'unica incognita è la distanza d e dove il termine  $\beta$  serve a tener conto dell'attenuazione con la distanza e si può assumere pari a 0.007.

Riguardo alla riflessione dovuta ad ostacoli, barriere o edifici (e non allo sviluppo del terreno che, abbiamo già detto, non viene conteggiata dal software) si ricorrono ad altre formule che, dato lo scarso interesse che hanno per noi, tralasciamo.

### 4.3 DISIAPYR.

Si può considerare così conclusa la parte dedicata al flusso di dati richiesto e generato da CITYMAP.

Riguardo a DISIAPYR è possibile accennare qualcosa per motivi di completezza.

Esso si pone come programma di dettaglio per valutare lungo una sezione il livello acustico raggiunto in modo da integrare le informazioni di CITYMAP anche lungo la terza dimensione. La creazione di un programma di studio dettagliato della propagazione sonora si è reso necessario perché CITYMAP era inadatto a comprendere anche la propagazione lungo l'asse Z, che comunque è fondamentale per lo studio del clima sonoro interno o in prossimità degli edifici stessi. D'altra parte, richiedendo un carico di lavoro troppo elevato, svolgere lo studio per ampie aree (quelle trattabili con CITYMAP) si è specializzato il software DISIAPYR solo sul calcolo su specifiche sezioni. In questo modo è possibile svolgere una prima indagine generale con CITYMAP e studiare più specificatamente alcune sezioni con DISIAPYR.

I dati ricevuti dal software sono del tutto simili a quelli impiegati da CITYMAP (database delle emissioni di veicoli stradali e convogli ferroviari, cartografia aggiornata e dati di traffico), tuttavia queste informazioni devono essere opportunamente integrate. Come possiamo vedere in Figura 1 DISIAPYR ha richiesto la creazione di un secondo database che contenga le caratteristiche di assorbimento/riflessione di diversi materiali tra loro connotati da diversi codici numerici.

Oltre a ciò è necessario sistemare opportunamente anche il file CTR originario inserendo tutti i layers visti in occasione di CITYMAP, e rispettando una serie di altre accortezze:

- SEZIONI è il layer nel quale vengono contenute anche tutte le sezioni di interesse. Esse assumono un aspetto tridimensionale e tagliano sorgenti, edifici e quant'altro
- Gli edifici vengono ricostruiti in tre dimensioni, ma vengono individuati da CITYMAP solo qualora vengano "rivestiti" da superfici, che possono essere forate da finestre o porte. Per creare tali superfici si utilizza la funzione 3DFACE ed esse devono essere inserite in appositi layers denominati da un numero che denota le caratteristiche della superficie stessa.
- Le porte e le finestre, oltre che i buchi possono essere creati tramite la funzione polilinea 3d e denominati in appositi layers come le superfici di cui sopra.

Una volta creata la cartografia con le regole appena menzionate possiamo creare il rispettivo dxf leggibile da CITYMAP nel quale può essere caricato con le modalità già viste. A questo punto si inseriscono i dati di traffico come per il programma precedente, ma non si procede al calcolo. Si crea, invece un file di estensione .RAY. Esso è ottenibile semplicemente salvando in tale formato il file caricato in CITYMAP.

Il software DISIAPYR normalmente non possiede un'interfaccia utente ma a tale scopo è stato ugualmente creato un piccolo programma denominato dplaunch il quale provvede a caricare il file .RAY precedentemente creato e permette di inserire una serie di valori relativi all'umidità, al massimo tempo di corsa che il suono può avere e il livello di suddivisione in piramidi di ciascuna sorgente (per l'ambiente esterno si può considerare 3 come valore ottimale. L'ultimo valore di cui abbiamo appena parlato deriva dal particolare funzionamento del programma stesso, che prevede di suddividere il suono in una serie di piramidi in grado di trasportare il segnale tenendo conto di riflessioni e assorbimenti.

Il programma dplaunch provvede, quindi, alla creazione di un nuovo file di tipo .DAT leggibile (e modificabile) in Surfer.

Ciò che si ottiene alla fine è una mappa di isofoniche esattamente come quelle ottenibili da CITYMAP, ma tracciato lungo una sezione verticale. A differenza di CITYMAP, inoltre, DISIAPYR è in grado di svolgere delle rielaborazioni riguardo alle diverse bande d'ottava oltre al livello sonoro ponderato A. In Surfer, a tal proposito è possibile scegliere quale banda di frequenza studiare e sulla quale costruire le rispettive isofoniche.

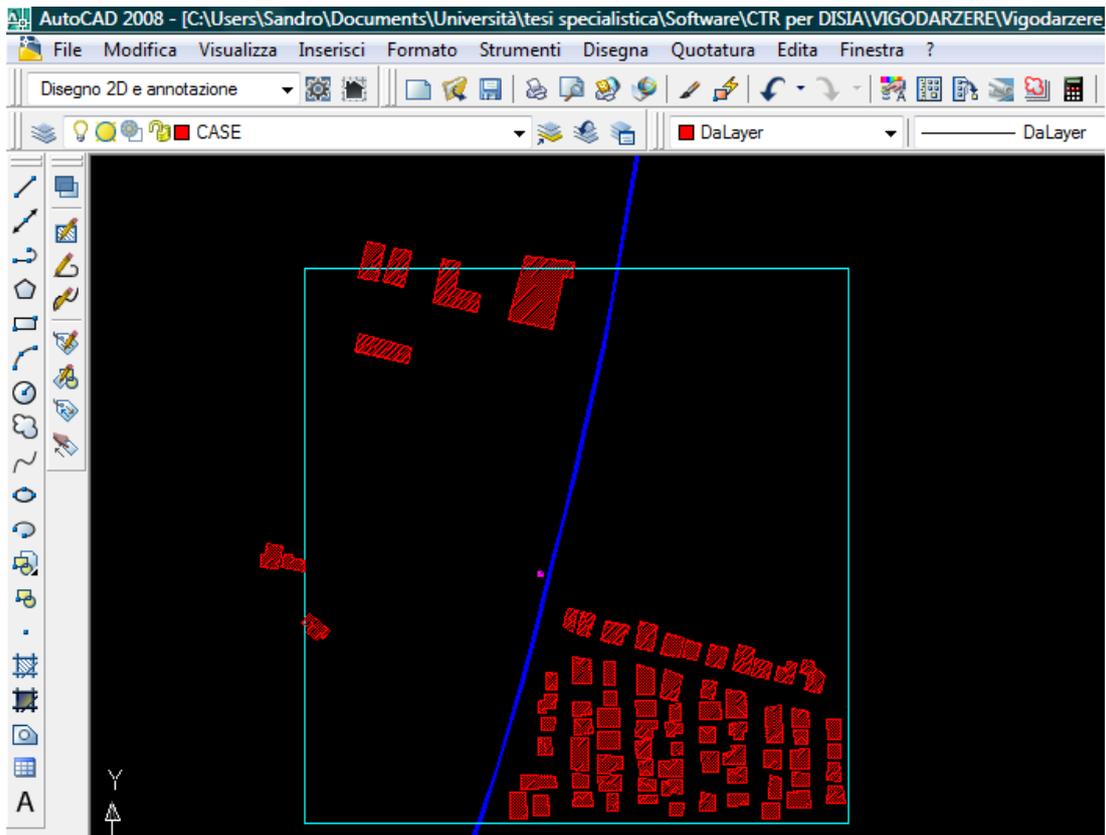
#### **4.4 Applicazione pratica in Citymap.**

Veniamo ora alla procedura di inserimento dati ed elaborazione per quel che riguarda la nostra esperienza. Abbiamo già visto cosa serve dare come input al programma al fine di ottenere una previsione sui livelli in un dato punto e la rispettiva mappa delle isofoniche. Sulla falsa riga di quanto già svolto da RFI svolgiamo prima una simulazione con i dati che il software già contiene nel proprio database e successivamente cercheremo di ri-tarare il modello partendo dai livelli acustici equivalenti registrati durante la campagna di misure.

Gli input necessari per poter dare il via alla prima simulazione sono:

- Mappa dei siti di indagine. Nel nostro caso estrarremo tale informazione direttamente dalle CTR disponibili in rete. All'interno di tali file sarà poi necessario svolgere un accurato lavoro di sfolgimento dei layers, conservando solo quelli di effettiva importanza. Questi ultimi, poi, dovranno essere rinominati in modo da rispettare i dettami di Citymap. Troviamo tutte le indicazioni a riguardo nei capitoli precedenti.

Alla fine di questo lavoro avremo tra le mani dei file .dxf simili a quelli proposti qui di seguito:



Importante notare nella figura il cerchio color viola che indica il punto dei rilievi.

Notiamo, inoltre, come dalla mappa preparata per Citymap non compaiano informazioni riguardanti l'orografia del terreno, neanche quelle di maggior rilievo come la presenza di un fiume (la figura fa riferimento al sito di Vigodarzere). Il software, infatti, non tiene conto di tali aspetti.

- Dati di traffico. Questi ultimi servono per poter dare al programma dei dati di partenza in base ai quali valutare l'effettiva potenza sonora della nostra sorgente.

Nel nostro caso possiamo rifarci alle tabelle che abbiamo utilizzato per tener conto dei singoli passaggi durante le misure per sapere quanti e quali convogli passano. Teniamo conto, inoltre, come il programma che stiamo utilizzando si riferisce all'intero traffico giornaliero, mentre i nostri rilievi si sono limitati a solo poche ore. Per questo motivo l'effettivo numero di passaggi può essere dedotto dalle tabelle orarie corrispondenti all'intera giornata, oppure, nel caso dei treni merci possono essere estratte attraverso una semplice proporzione. Sapendo, infatti, che i nostri rilievi si riferiscono solo a n ore, mentre il periodo diurno dei rilievi si compone di 16 (dalle 6 alle 22), possiamo aumentare il numero dei treni merci di conseguenza. Ovviamente pone come ipotesi (non sempre verificata) che nel corso della giornata il traffico merci sia omogeneamente spalmato nella diverse fasce orarie, ma, in mancanza di dati certi è sicuramente il metodo che più ci avvicina alla realtà.

Considerando che per Citymap le categorie di treno sono solo 3 abbiamo deciso di comprendere nella categoria "merci", tutti i treni merci, nella categoria "locali" i Regionali ed i Regionali Veloci e tutti i rimanenti nella categoria "treni a lunga percorrenza".

Il numero di passaggi registrati è stato:

<b>n° passaggi</b>	<b>SITO 1-2</b>	<b>SITO 3</b>	<b>SITO 4</b>
<b>MERCI</b>	14	48	10
<b>LOCALI</b>	58	59	51
<b>LUNGA PERCORRENZA</b>	87	14	0

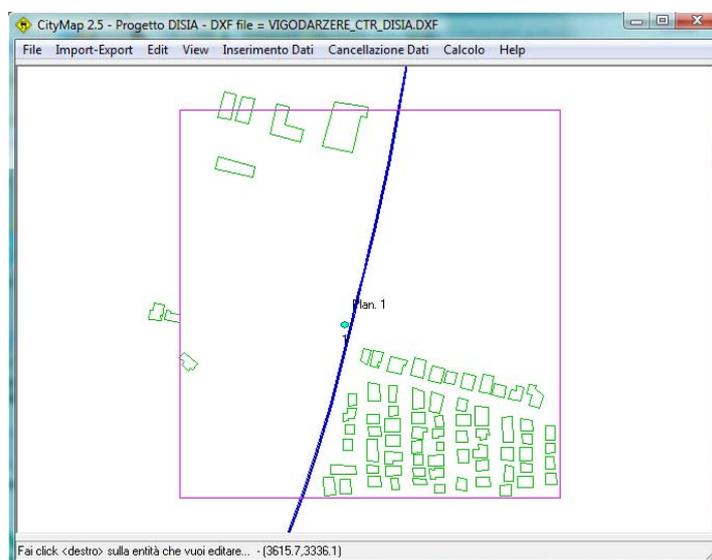
Tali dati dovranno in seguito essere caricati nelle apposite finestre di Citymap.

- Tipo di armamento. Nonostante il fatto di aver accuratamente descritto i binari su cui viaggiano i nostri treni, ancora nella Parte 1, dobbiamo considerare che il software valuta solo due tipi di supporti: “lunga rotaia saldata senza interruzioni” e “rotaie corte con scambi”. Nei nostri siti, pur avendo notato un giunto nel SITO 4, esso è sufficientemente lontano e non ci sono gli estremi per inserirlo nella seconda categoria, per cui consideriamo tutti i siti come “lunghe rotaie saldate senza interruzioni”.

A questo punto siamo pronti per procedere.

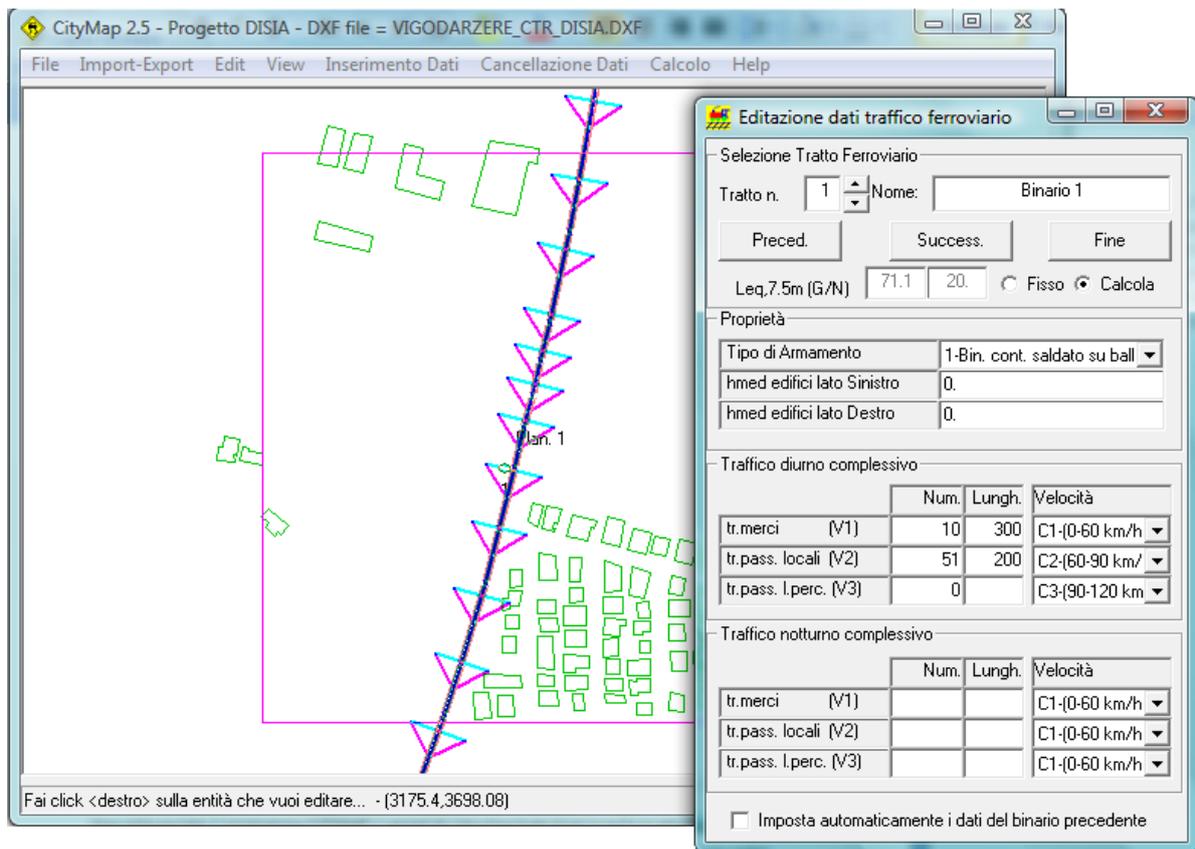
Una volta avviato il programma CITYMAP ci apparirà una schermata bianca nella quale dovremo caricare un file .dxf. Il software a questo punto caricherà le sole informazioni sensibili, connotandole con colori appositi. Tali informazioni sono quelle contenute nei layers descritti in precedenza e con i formati corretti (così i binari devono essere polilinee, i PUNTI devono essere cerchi e così via).

Un esempio è riportato qui sotto.



Come possiamo vedere, il programma riconosce l’area in cui dovrà successivamente costruire la mappa del rumore e il punto di misura (indicato dal numero 1).

A questo punto dobbiamo inserire i dati sul traffico e sul tipo di armamento di cui abbiamo discusso già in precedenza. Il programma contiene un menù a tendina con la dicitura “inserimento dati” cui ci rivolgeremo per svolgere questa operazione. La finestra di cui abbiamo appena parlato assumerà l’aspetto seguente (sempre con riferimento al SITO 4)



Per quel che riguarda dati riguardanti la lunghezza e la velocità dei convogli, non avendo informazioni in merito, abbiamo optato per dei valori consigliati dalle esperienze trovate in letteratura. Quindi:

- Treni merci: Lunghezza 300m; Classe di velocità C1 (0-60 km/h)
- Treni locali: Lunghezza 200m; Classe di velocità C2 (60-90 km/h)
- Treni a lunga percorrenza: Lunghezza 200m; Classe di velocità C3 (90-120km/h)

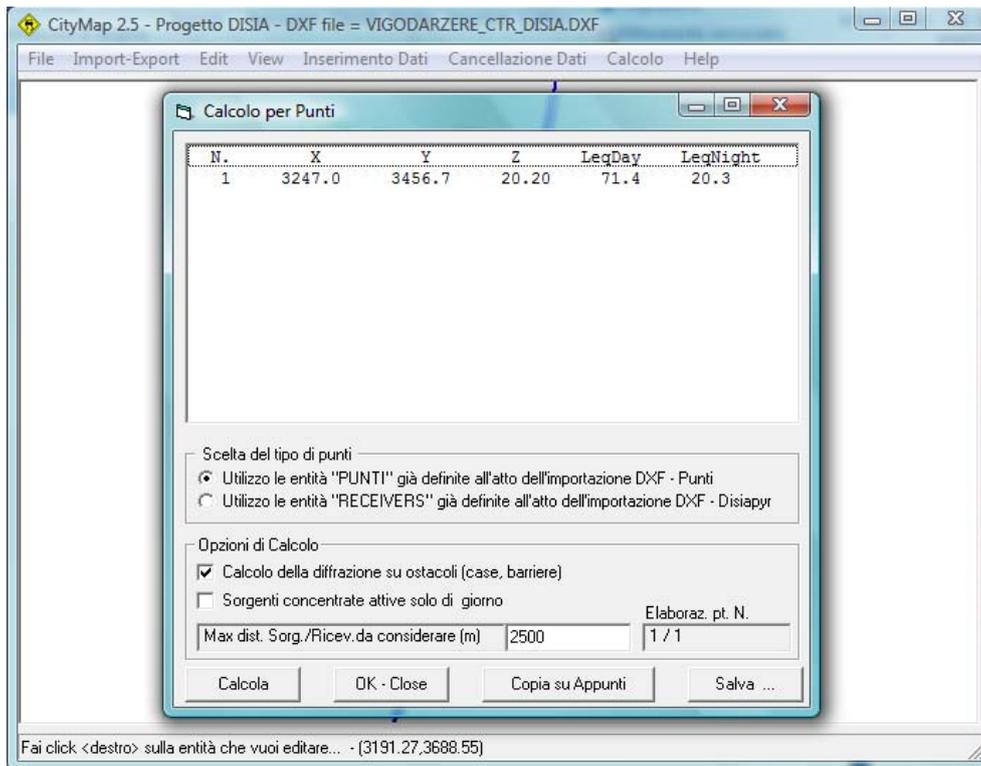
Fatto questo possiamo considerare terminata la fase di inserimento dei dati in input. Passiamo, quindi, ai prodotti da ottenere in output.

Nel nostro caso calcoleremo i livelli previsti nel punto di rilievo e successivamente costruiremo una mappa di isofoniche in modo da estendere, in via teorica, i nostri rilievi all'intera zona circostante.

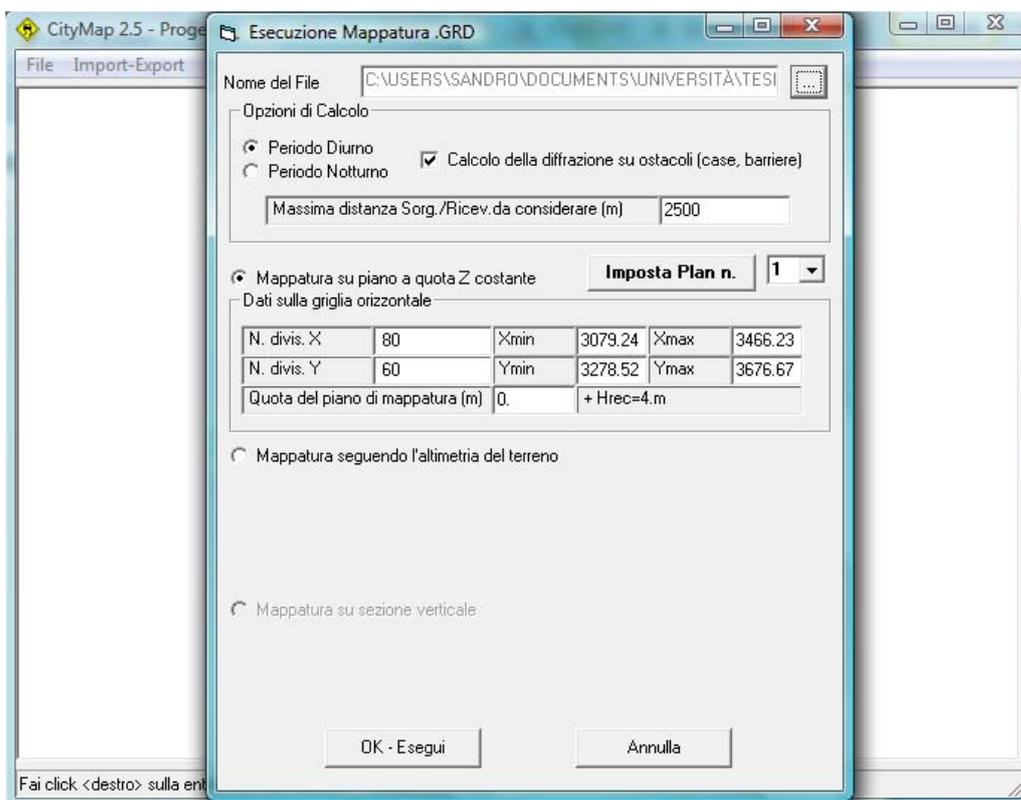
Tali output possiamo ottenerli dalla finestra "calcolo" del software, nel quale possiamo scegliere se calcolare il livello nei singoli PUNTI o creare una mappa in formato .grd.

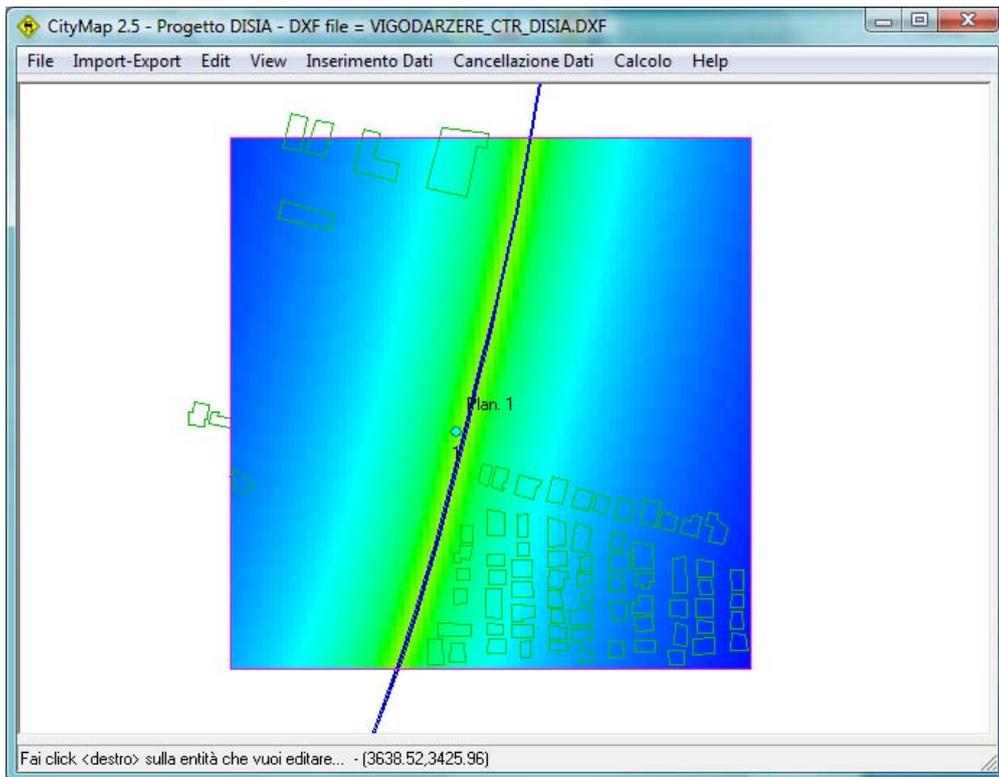
Procediamo con entrambi.

Per quanto riguarda il calcolo nei PUNTI dobbiamo specificare se calcolare o meno la diffrazioni su barriere ed edifici. La quota di tale punto è già specificata nel file dxf, quindi non servono specifiche ulteriori. Ciò che otteniamo è una schermata simile a quella proposta di seguito, salvabile peraltro anche in un file testo.

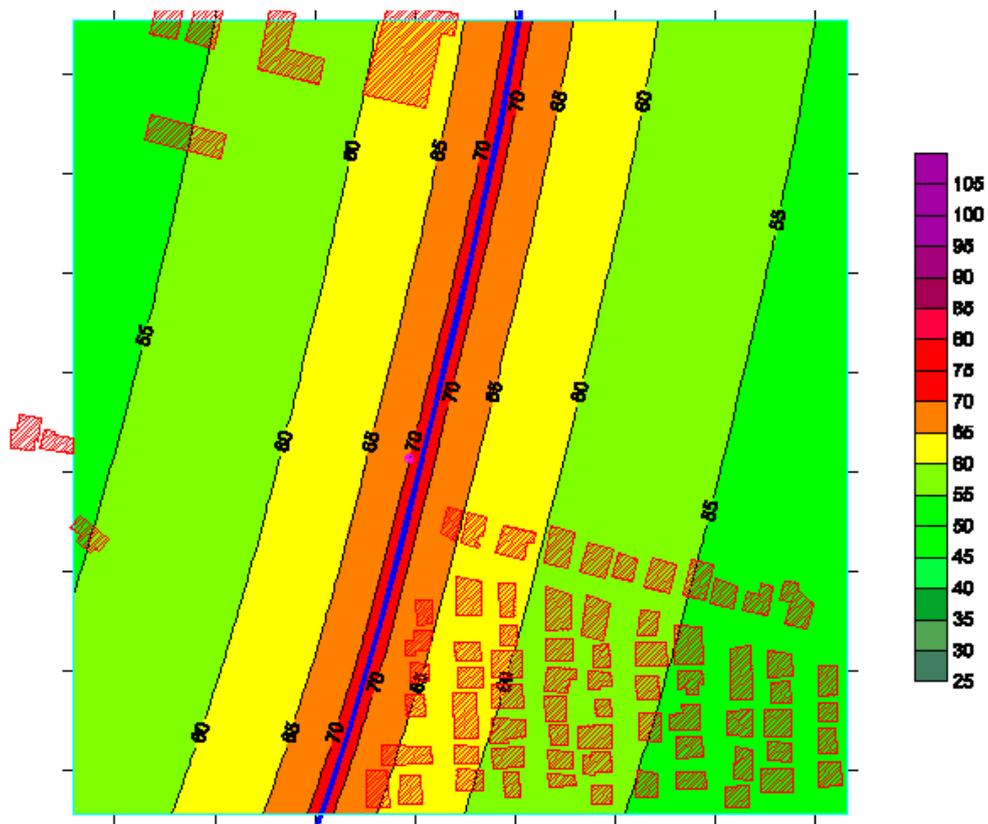


Per quanto riguarda la creazione di mappe di linee di isolivello ci basta accedere attraverso la voce "Calcolo mappa". Dato che la propagazione del rumore è un fenomeno protratto nelle tre dimensioni, la mappa cambia da quota a quota, ed è necessario specificare quest'ultima in fase di lancio del calcolo. Una volta terminato tale inserimento otteniamo l'elaborazione a seguire.





Eventualmente, la mappa così ottenuta può essere ulteriormente raffinata con l'uso del programma Surfer, che, utilizzando il file in formato .grd ci consegna un'immagine più chiara del fenomeno. Questa mappa può poi essere sovrapposta alla CTR utilizzata in precedenza, ottenendo un'immagine simile a quella seguente:

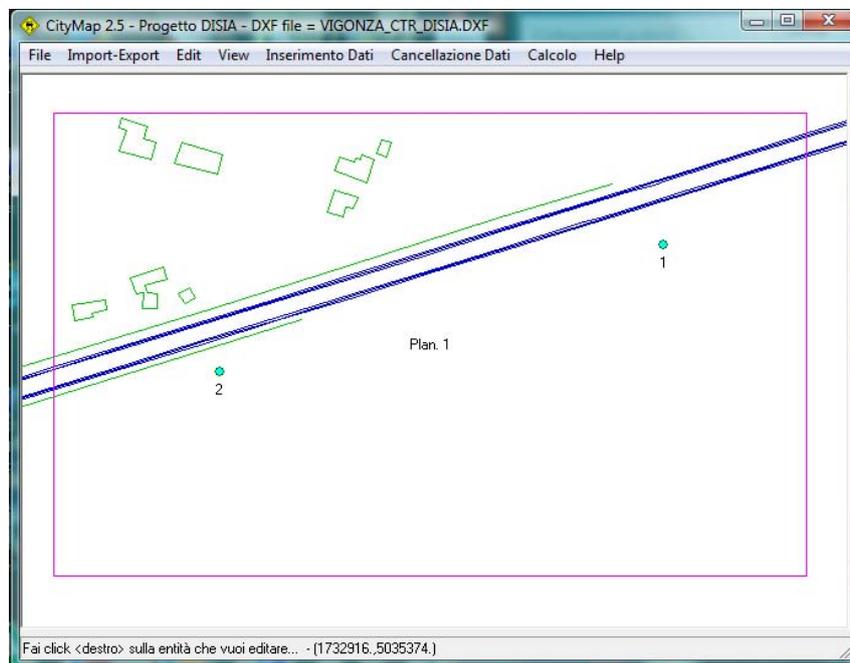


Queste mappe possono essere ulteriormente migliorate inserendovi delle indicazioni che ci permettano di valutare l'effettivo rispetto dei limiti imposti dalla legge.

A questo punto passiamo alla presentazione effettiva dei risultati.

#### **4.4.1 SITO 1-2.**

La preparazione della cartografia ha richiesto l'eliminazione di una serie di layers per noi di scarso interesse. Alla fine il file .dxf che abbiamo passato al software ha generato il seguente risultato.



Dal confronto con le foto aeree proposte nella Parte 1 non possiamo non notare la somiglianza.

A seguire dobbiamo inserire anche tutti i dati di traffico secondo la tabella che abbiamo costruito in precedenza.

Come possiamo vedere abbiamo, in questo caso, inserito 2 punti nei quali svolgere i rispettivi calcoli. Essi ovviamente corrispondono ai punti in cui abbiamo effettuato i rilievi e in cui il programma ha rilevato i seguenti risultati:

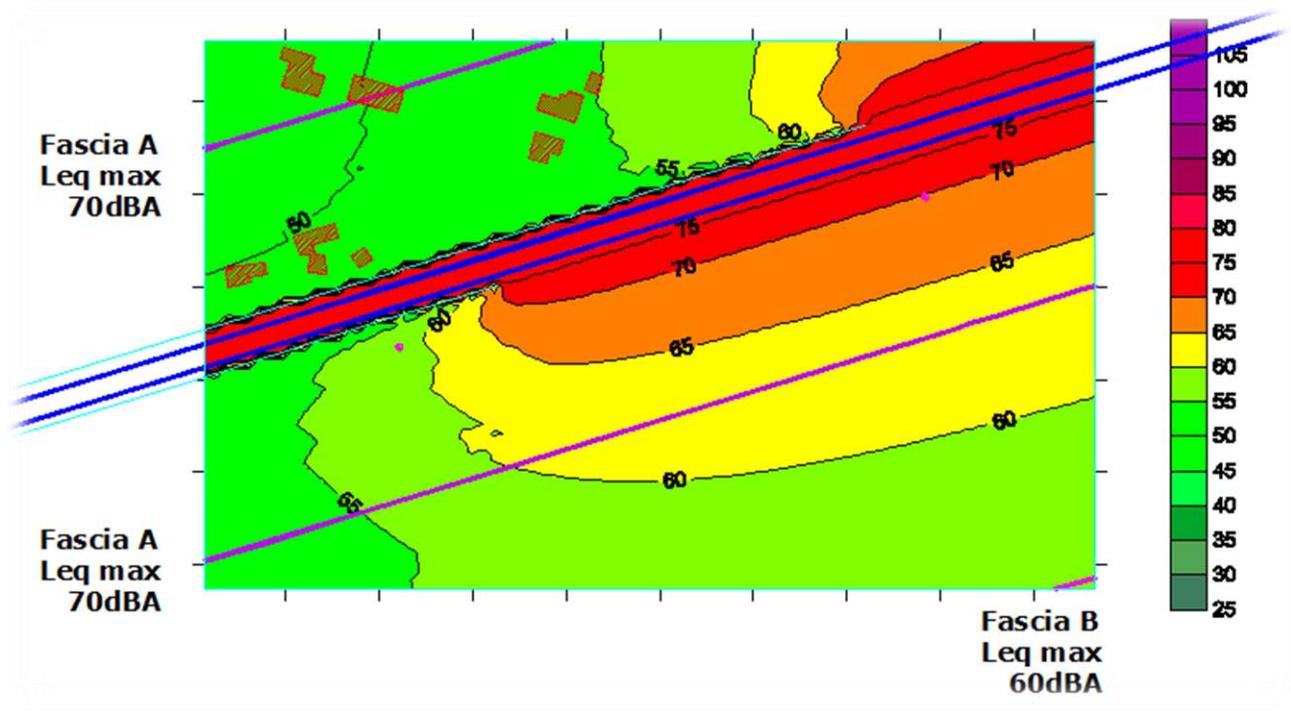
	<b>SITO 1</b>	<b>SITO 2</b>
<b>Leq A (diurno)</b>	69.8	57.4

A questi risultati specifici per un solo punto abbiamo affiancato anche una mappa del territorio circostante contenente le linee di isolivello che ci aiutano ad avere un'idea più globale del fenomeno acustico legato al passaggio del treno.

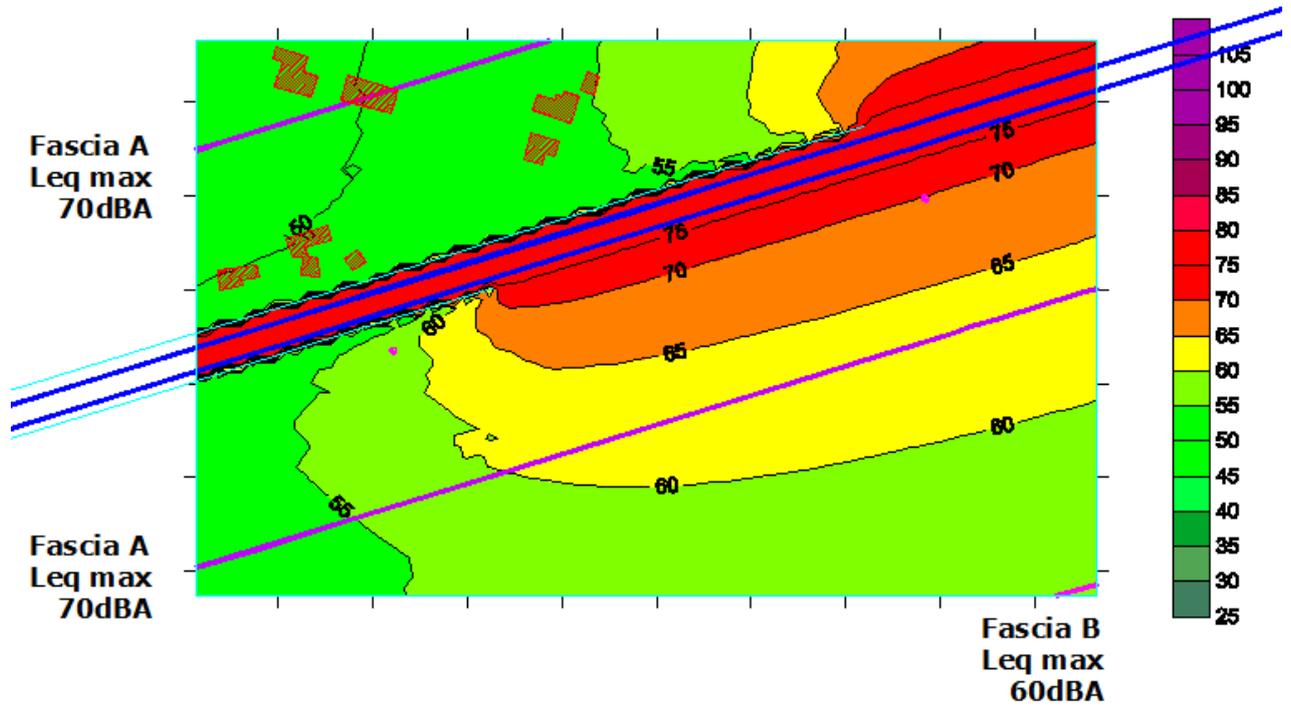
Le mappe costruite sono 2: la prima è realizzata alla quota di 10.5m, corrispondente alla quota del SITO 1, mentre la seconda è costruita a quota 9.3m, alla stessa altezza del SITO 2. Tali quote sono quelle dedotte direttamente dalla CTR e che abbiamo deciso di mantenere inalterate. Ovviamente tale operazione ha riguardato anche i binari e tutti gli altri elementi conservati dalla CTR, in modo da mantenere inalterate le altezze relative fra i diversi elementi.

Alle mappe così realizzate abbiamo affiancato anche delle linee indicanti le fasce di pertinenza dell'infrastruttura, alle quali corrispondono specifici limiti delle emissioni.

**Mappa alla quota del SITO 1 (10.5m)**



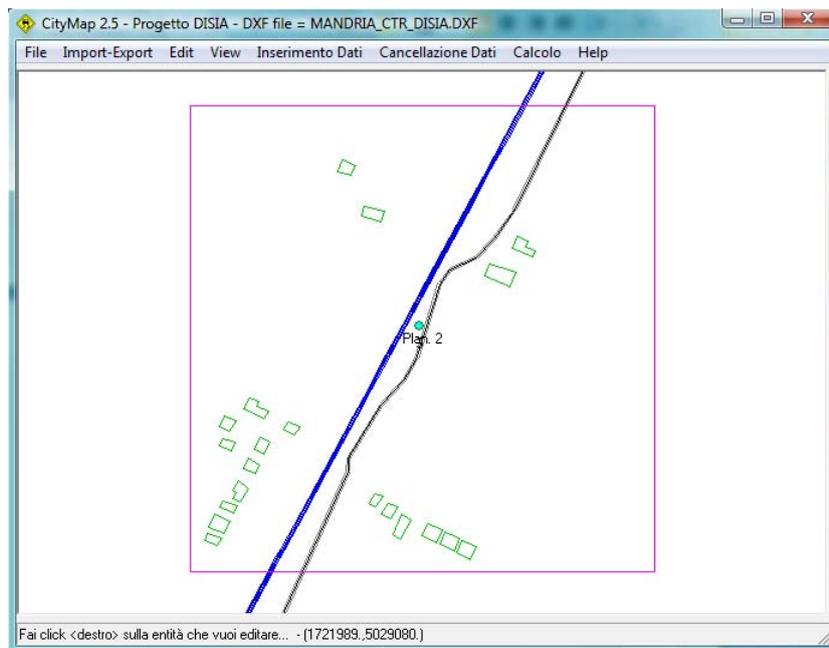
**Mappa alla quota del SITO 2 (9.3m)**



Come possiamo vedere le mappe rispettano perfettamente i calcoli effettuati nei punti, inoltre i limiti imposti sulle fasce sono perfettamente rispettate. Ricordiamo che tali limiti cambiano nel caso nelle fasce compaiano recettori sensibili quali ospedali o scuole. Non è questo il nostro caso.

#### 4.4.2 SITO 3

Analogamente a quanto fatto in precedenza carichiamo la CTR “depurata” dei layers per noi inutili nel software Citymap. Otteniamo la schermata seguente:



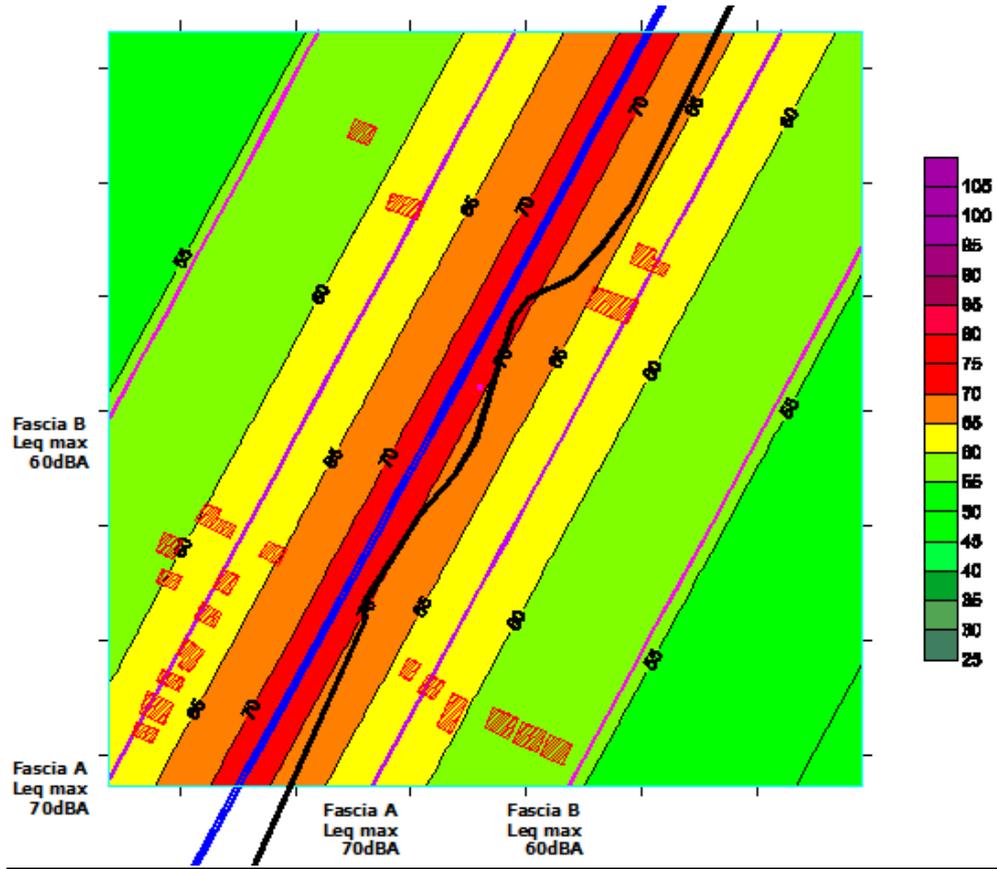
Caricata la mappa possiamo inserire i dati di traffico ferroviario indicati nella tabella precedente. Notiamo, tuttavia, come in questo caso le sorgenti sono 2, ovvero la linea ferroviaria e la strada locale che vi passa di fianco. Avendo la possibilità di caricare dati stradali di default, impostando la sola categoria della strada, possiamo realizzare due calcoli e due mappe separate. Nel primo caso abbiamo la sola sorgente ferroviaria (quindi imponiamo un traffico nullo sulla strada), mentre nella seconda impostiamo la strada come “strada locale categoria F” caricandovi il traffico previsto dal programma.

I risultati sono riportati di seguito:

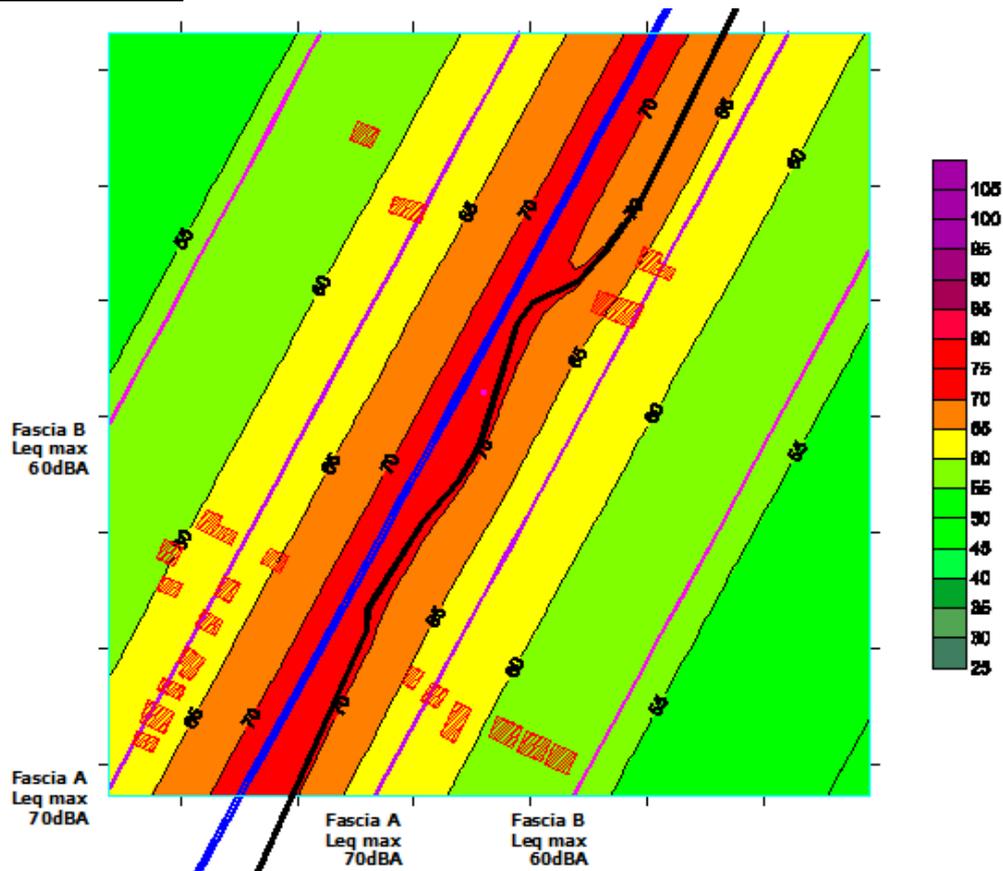
	SITO 3 no strada	SITO 3 sì strada
Leq A (diurno)	71.5	72.3

Seguono le mappe isofoniche per i due casi descritti, sempre alla quota del rilevatore a 12.3m. Nelle mappe inseriamo anche le fasce di pertinenza con i rispettivi limiti.

**Mappa senza strada (12.3m)**



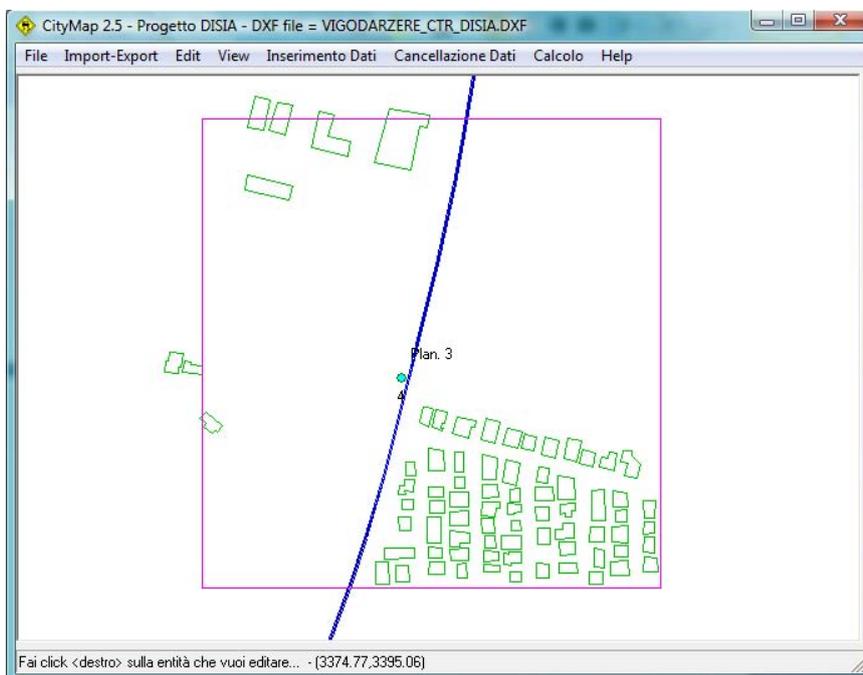
**Mappa con strada (12.3m)**



Innanzitutto notiamo come in nessuno dei due casi i limiti delle fasce di pertinenza siano oltrepassati. Nel secondo caso, come è giusto che sia, le isofoniche rispettano molto di più l'andamento della strada e comporta un aumento generale dei livelli sonori. Riteniamo, pertanto, che questo secondo caso è il vero caso di riferimento per confronti con i valori rilevati.

#### 4.4.3 SITO 4

Come nei casi precedenti, inseriamo in Citymap la CTR corretta anche per quel che riguarda il SITO 4. Otteniamo:

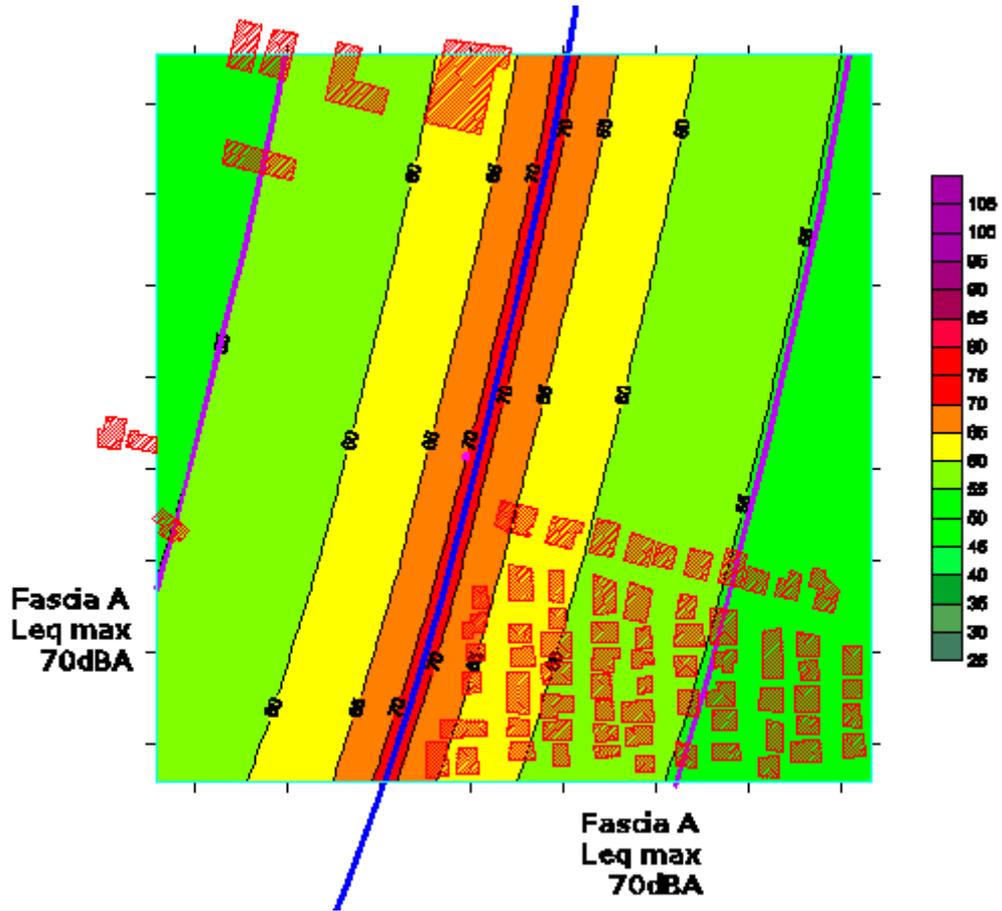


Come possiamo vedere dalla figura soprastante, il programma non individua la presenza del ponte ferroviario né del fiume su cui questo passa. Questo può essere uno dei motivi per cui diffidare dei risultati che otterremo dal programma. Oltretutto, come abbiamo già sottolineato nelle Parti precedenti, i treni in prossimità del ponte tendono a rallentare, ma non c'è modo di inserire questa informazione nel software. Riguardo ai dati di traffico ci rifacciamo sempre a quanto descritto nelle tabelle precedenti, ottenendo i seguenti risultati per l'unico punto di misura a nostra disposizione:

	<b>SITO 4</b>
<b>Leq A (diurno)</b>	71.4

Di seguito proponiamo la mappa delle linee isolivello ottenute dal programma:

## Mappa SITO 4 (20.2)



come possiamo notare, anche in questo caso i limiti imposti dalle fasce di pertinenza sono stati pienamente rispettati. Teniamo anche conto che il sito presenta, nella parte rivolta verso gli edifici, una fitta vegetazione che riteniamo possa abbattere ulteriormente i livelli sonori registrati. Altro spetto da approfondire è la presenza o meno di recettori sensibili nel vicino Comune di Vigodarzere. Questi ultimi, infatti, richiedono dei limiti più stringenti (50dBA diurni per tutta la fascia di pertinenza), i quali potrebbero non essere stati rispettati in pieno.

### 4.5 Confronto con i dati rilevati.

Ovviamente non possiamo avere una chiara idea dell'effettiva qualità dei dati ottenuti dalla simulazione, se non abbiamo dati da confrontare. A questo punto, quindi, diviene necessario estrapolare dai rilievi effettuati i livelli acustici equivalenti per i quattro siti individuati.

Per capire come possiamo fare dobbiamo partire dall'analisi dei dati in nostro possesso, ovvero i livelli equivalenti mediati ogni 5s dallo strumento. Se ricordiamo, la formula del livello equivalente è:

$$L_{AeqT} = 10 \lg \left[ \frac{1}{T} \int p_A^2(t) / p_0^2 dt \right] \text{dB}$$

Quindi, se avessimo a disposizione tutti i valori di  $p_A$ , potremo trovare anche il livelli equivalente per tutto il periodo di misura. Tuttavia, attraverso una semplice formula inversa possiamo riuscire a dedurre tali pressioni a partire dai livelli sonori  $L_{Aeq}$  che possediamo per ciascun intervallo di 5s:

$$T10 \frac{L_{AeqT}}{10} = \int_T p_A^2(t) / p_0^2 dt$$

Dove il valore di T può essere considerato pari a 5s, ovvero a ciascun intervallo di calcolo del livello. Sapendo che l'integrale di un tempo T corrisponde alla somma degli integrali di tutti i propri sottointervalli (in questo caso da 5s l'uno), deduciamo che la formula del livello equivalente prima vista può essere aggiornata come:

$$L_{AT}(DW) = 10 \lg \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{A,i}} \right\} \text{ dB}$$

Dove n corrisponde al numero di intervalli da 5s l'uno in cui abbiamo diviso il periodo di osservazione TO. A questo punto sappiamo come ricavare il livello acustico equivalente nei diversi siti di misura. Prima di procedere con il calcolo, tuttavia, è necessario fare molta attenzione a quali intervalli da 5s effettivamente comprendere. Dato che la simulazione con Citymap rileva solo ciò che accade a causa della sorgente ferroviaria, per avere dei dati effettivamente confrontabili, dovremo eliminare dai rilievi tutti quegli eventi che non corrispondono al passaggio dei treni come ad esempio il fischio dei treni o il passaggio di un aereo. Tutte le alterazioni al livello sonoro di questo tipo dovranno essere eliminate dal conteggio della sommatoria della formula precedente e sostituite dal rumore di fondo medio registrato durante la sessione. Se venissero solamente eliminate si accorcerebbe il tempo di integrazione con conseguente aumento di Leq, in quanto avrebbero un peso maggiore i singoli passaggi. Quest'ultima osservazione è ancora più importante nel SITO 3, dove abbiamo diversi passaggi di veicoli nella strada vicina. In questo caso svolgeremo due calcoli separati: il primo eliminerà tutte le interferenze legate al passaggio delle auto e le sostituirà con il rumore di fondo medio, e verrà confrontato con la simulazione in cui la strada aveva traffico nullo; il secondo terrà conto dei livelli registrati al passaggio dei veicoli e verrà confrontato con la simulazione in cui la strada è stata caricata con un traffico tipico della categoria F. Con rumore di fondo medio non intendiamo la media vera e propria, ma il calcolo del livello equivalente ponderato prendendo in esame i soli intervalli in cui non si registra alcun evento sonoro. In questo modo riteniamo che la sostituzione degli intervalli non validi sia più corretta.

Di seguito proponiamo un confronto fra i dati rilevati e quelli calcolati dalla simulazione:

<b>conf. fra simulazione e rilievo</b>	<b>LeqA rilevato</b>	<b>LeqA simulato</b>
SITO 1 (GIORNO 1)	67.16	69.8
SITO 1 (GIORNO 2)	66.98	69.8
SITO 2 (GIORNO 1)	50.27	57.4
SITO 2 (GIORNO 2)	51.97	57.4
SITO 3 (SI' STRADA)	67.17	72.3
SITO 3 (NO STRADA)	67.01	71.5
SITO 4	70.11	71.4

Come possiamo vedere, i dati previsti dal programma risultano leggermente differenti da quelli rilevati (che riteniamo essere i valori da prendere come riferimento), ma con errori tutto sommato contenuti. Anzitutto notiamo come il sito nel quale la simulazione è più attendibile è il SITO 4, nel quale la differenza è nell'ordine di 1.3dB, accettabile, dato che il programma è stato pensato per contenere gli errori entro i 3-

4dB. Tale fenomeno è presto spiegabile sapendo che il SITO 4 è in assoluto quello in cui lo strumento più si avvicinava ai canonici 7.5m con i quali è stato costruito l'intero database di DISIA. Oltretutto il sito in questione non possedeva barriere o altri ostacoli che potessero alterare il livello registrato. Se a questo aggiungiamo che il programma Citymap raggiunge questi risultati anche senza tener conto dei rallentamenti che i convogli hanno in prossimità del ponte e della presenza del ponte stesso, capiamo come questi due aspetti siano del tutto marginali nelle emissioni sonore. Avevamo già messo in luce nella Parte 2 come la presenza del ponte avesse la semplice conseguenza di minori emissioni legate alla velocità ridotta dei convogli, ma non aveva altri effetti riguardo alla propagazione del suono. In definitiva, la presenza di ponti non metallici non ha effetti di sorta sulle emissioni, tanto che se avessimo avuto un sito analogo ma senza ponte avremmo ottenuto dal programma i medesimi risultati, che si sono rivelati abbastanza attendibili dal confronto con i dati rilevati.

Dove i dati si discostano di più, invece, è nel SITO 2, fino a circa 7dB di differenza. La cosa è da imputare alla natura del sito stesso. Se ricordiamo, lo strumento non solo è posto al di là di una barriera (la cui unica caratteristica inseribile nel programma è l'altezza) ma anche di parecchi metri al di sotto del piano del ferro, al piede di una scarpata. A questo dobbiamo aggiungere la presenza di una fitta vegetazione che può ulteriormente abbassare il livello registrato. Tutti questi fattori, che non hanno modo di essere comunicati al programma, allargano la differenza fra i dati reali e quelli simulati, in quanto è come se si trattasse di due siti differenti. Discorso analogo si può fare nel caso del SITO 3, in quanto anch'esso si trova circondato da vegetazione che contribuisce ad abbassare il livello registrato rispetto a quello simulato.

Infine, nel SITO 1 le differenze con il programma sono limitate, comunque entro i 3-4dB posti come limite all'errore del programma. Ciò dimostra come il programma si rivela attendibile quando il segnale ha un percorso libero fra sorgente e ricevitore. Infatti, nonostante la distanza fra i due sia abbastanza considerevole, e vi sia un dislivello di diversi metri, il segnale non incontra ostacoli lungo la via di propagazione e le differenze fra sito reale e simulato sono, dunque, molto limitate e così anche fra livelli simulati e registrati.

In conclusione, il programma tende a sopravvalutare i dati effettivamente registrati (come è consigliabile per un programma di simulazione), ma, considerando che si tratta di un programma Open Source, è abbastanza attendibile. Ovviamente tale attendibilità è tanto maggiore quanto più i siti costruiti nel programma sono simili a quelli reali. Inoltre, la simulazione è tanto migliore quanto più il segnale registrato prosegue lungo una via di propagazione libera e tanto più ci avviciniamo a 7.5m dai binari.

#### **4.6 Taratura del modello.**

Quanto abbiamo visto fin'ora risulta essere una pura simulazione, priva di qualsiasi dato raccolto dalla nostra campagna di misure, ma costruita sulla base di un database precedentemente raccolto. È arrivato il momento di sfruttare quanto fatto nella Parte 2 per svolgere un aggiornamento al database di Citymap e provare una nuova simulazione.

Il pacchetto DISIA si appoggia ad un database costruito dal professor Farina e dai suoi collaboratori circa 15 anni fa, poi progressivamente aggiornato. I rilievi sono stati svolti attraverso un'apparecchiatura che abbiamo già descritto all'inizio di questo capitolo. I dati così raccolti sono stati organizzati in un database che consiste in una serie di file di testo riportanti le emissioni registrate, organizzate secondo le diverse bande d'ottava (per permettere la successiva applicazione di DISIAPYR), ma riportanti anche il rispettivo LeqA. Tali file sono organizzati secondo una specifica nomenclatura, in cui si indica se si faccia riferimento ad un treno o ad una strada, la classe di velocità e la categoria del treno. Un esempio è SELTC1V1, nella quale SELT indica che contiene i dati sulle emissioni (in termini di singolo evento sonoro) relativamente al trasporto ferroviario (vedi la lettera T), con riferimento alla classe di velocità C1 (inferiore ai 60km/h) ed alla categoria di treni merci (V1). Nel dettaglio, la classificazione utilizzata nell'ambito ferroviario è la seguente:

V1- treni merci  
V2- treni passeggeri a breve percorso  
V3- treni passeggeri a lunga percorrenza

C1- velocità < 60km/h  
C2- velocità compresa fra 60 e 90km/h  
C3- velocità compresa fra 90 e 120km/h  
C4- velocità superiore a 120km/h

Una volta compresa la classificazione adoperata dal software, sappiamo dove dobbiamo agire e quali dati modificare.

Per fare questa modifica dobbiamo comprendere in quali condizioni ed a quale distanza sono stati svolti i rilievi originali, e, come già detto in precedenza, si tratta di rilievi svolti a 7.5m dalla sorgente e ad 1m dal piano del ferro. Nel nostro caso, non rispettiamo mai questi dettami, ma abbiamo, oramai, imparato a convertire i dati in nostro possesso in modo da riportarli a qualsiasi distanza da noi scelta. Segendo, quindi, la norma UNI 9613 sul calcolo e sull'uso delle attenuazioni, siamo in grado di riportarci alla posizione del rilievo del professor Farina a partire dalle posizioni che abbiamo scelto noi.

Per svolgere correttamente tale conversione dobbiamo aver presente la sorgente letta dal software di Citymap. Nei siti 1, 2 e 3 si tratta di un doppio binario, mentre il SITO 4 ha un binario singolo. La nostra conversione deve tener conto di tale aspetto e riportare ogni livello registrato al corrispettivo livello convertito nella posizione di rilievo scelta dal professor Farina (che chiameremo posizione F).

A questo punto passiamo all'aspetto pratico. Dobbiamo prima di tutto individuare, per ciascun passaggio di convoglio quale sorgente l'ha provocato, quindi associarlo al corretto binario o coppia di binari (nel SITO 1 Citymap associava a ciascuna coppia di binari una sola polilinea BINARIO, quindi ciascun rilievo svolto nel SITO 1 deve essere accoppiato con il binario 1-2 o con il binario 3-4). A questo punto entra in gioco la conversione. Abbiamo già visto come funziona tale operazione: si tratta di calcolare l'attenuazione A che troviamo nella posizione originale e nella nuova posizione (la posizione F). Ammettendo che il rumore provocato nella posizione di rilievo e nella posizione F sia la stessa (cosa ovvia), il livello registrato corrisponderà alla somma della potenza sonora della sorgente  $L_w$  e dei rispettivi contributi di attenuazione A. Quindi, la differenza fra il livello nella posizione originale e quello nella posizione F è da imputare alla sola differenza nel valore di A. La conversione, quindi, avverrà secondo la formula seguente:

$$A + L_{AT} = A' + L_{AT}'$$
$$A - A' + L_{AT} = L_{AT}'$$

A questo punto possiamo convertire correttamente tutti i rilievi effettuati, stando attenti ai valori di A che utilizziamo, ovvero riferendoli al corretto binario. Una volta convertiti tutti tali valori, è come se fossimo in possesso di un numero consistente di rilievi svolti nella posizione F, utilizzabili, quindi, per aggiornare il database di Citymap.

Dato che il database che dobbiamo aggiornare è classificato secondo i criteri illustrati in precedenza, mentre i nostri rilievi sono stati condotti secondo la categoria di treno (una classificazione differente da quella del professor Farina) è necessario unire tra loro i dati convertiti. La classificazione che adotteremo sarà la seguente:

- V3: conterrà Frecciabianca, Frecciargento, Italo AV, Eurocity, Intercity
- V2: conterrà Regionali e Regionali Veloci

- V1: conterrà i treni merci.

Quindi, per ottenere un dato unico riferito a ciascuna delle categorie V1, V2, V3, è necessario accorpate i dati delle categorie appena indicate, svolgendo una semplice media fra i valori già convertiti. Di tali medie prenderemo solo il valore di picco di ciascun evento sonoro, ottenendo un solo valore di LeqA di riferimento. Per finire, dato che il database DISIA è costruito per contenere i valori di SEL e non di LeqA, dovremo convertire quanto fin'ora ottenuto nel corrispondente valore di SEL secondo la formula:

$$SEL = 10 \lg \left\{ 5 \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{Ai}} \right\}$$

A questo punto siamo pronti per sostituire i dati del professor Farina con i nostri dati più aggiornati.

I file da sostituire saranno:

- SELTV1C1: vi porremo i dati relativi ai treni merci, in cui abbiamo ipotizzato una velocità inferiore ai 60km/h, velocità che riteniamo sia tenuta dai veicoli di passaggio e con la quale abbiamo svolto la nostra prima simulazione
- SELTV2C2: vi poniamo i dati relativi ai treni a breve percorrenza (Regionali e Regionali Veloci) con velocità fra i 60 e i 90 km/h
- SELTV3C3: vi poniamo i dati relativi ai treni a lunga percorrenza (Frecciabianca, Frecciargento, Italo AV, Eurocity, Intercity) con velocità fra i 90 e i 120 km/h

I dati che dovremo modificare sono contenuti alla voce LeqA di ciascun file. I dati suddivisi per bande d'ottava sono per noi di scarso interesse e li trascureremo.

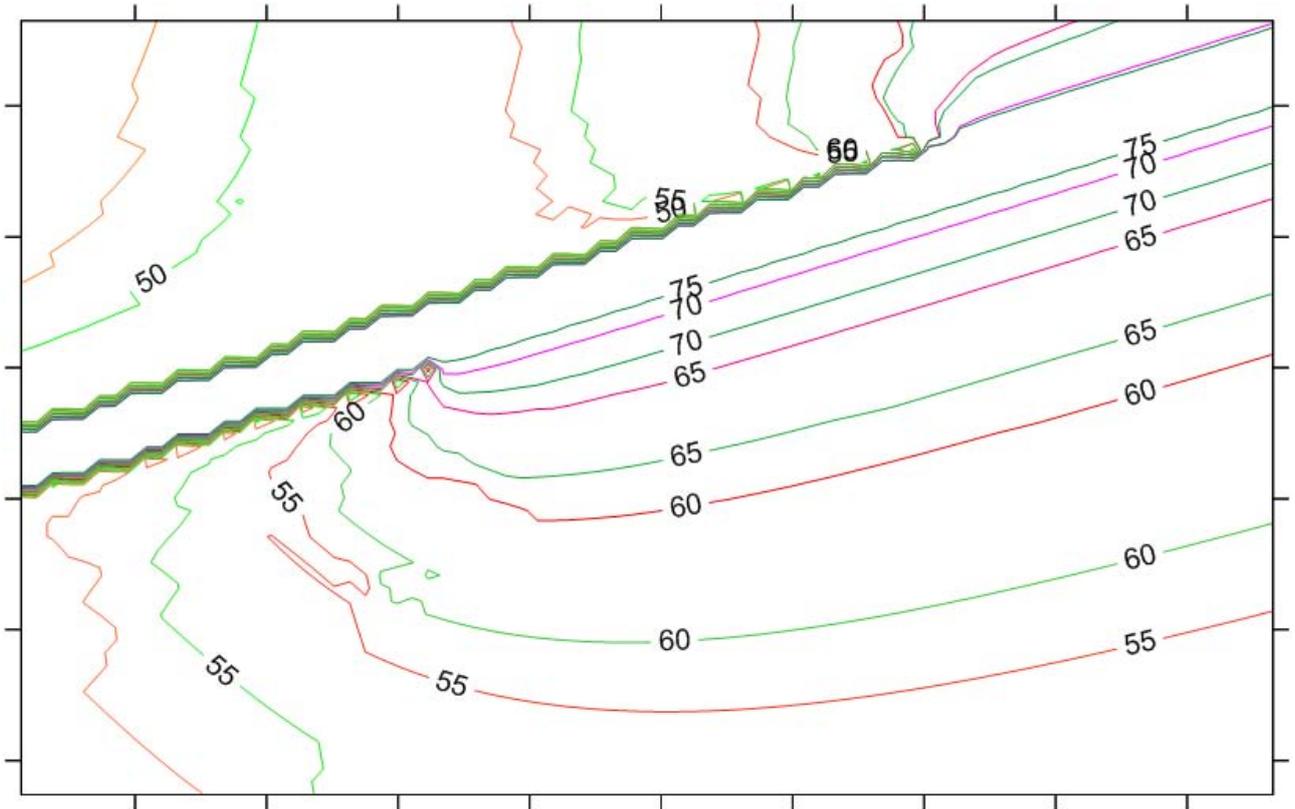
	Dati prof. Farina	Dati aggiornati
<b>SELTV1C1</b>	101.4	102.5
<b>SELTV2C2</b>	95.0	93.3
<b>SELTV3C3</b>	101.5	92.9

Una volta sostituiti i dati del database possiamo rieffettuare tutte le operazioni viste in occasione della prima simulazione calcolando le emissioni nei relativi punti di misura e costruendo delle nuove mappe di isofoniche. Per comprendere al meglio le effettive differenze fra la prima e la seconda simulazione abbiamo sovrapposto le rispettive mappe, indicando la simulazione originale con il colore verde e la simulazione in seguito alla nuova taratura del programma con il colore rosso.

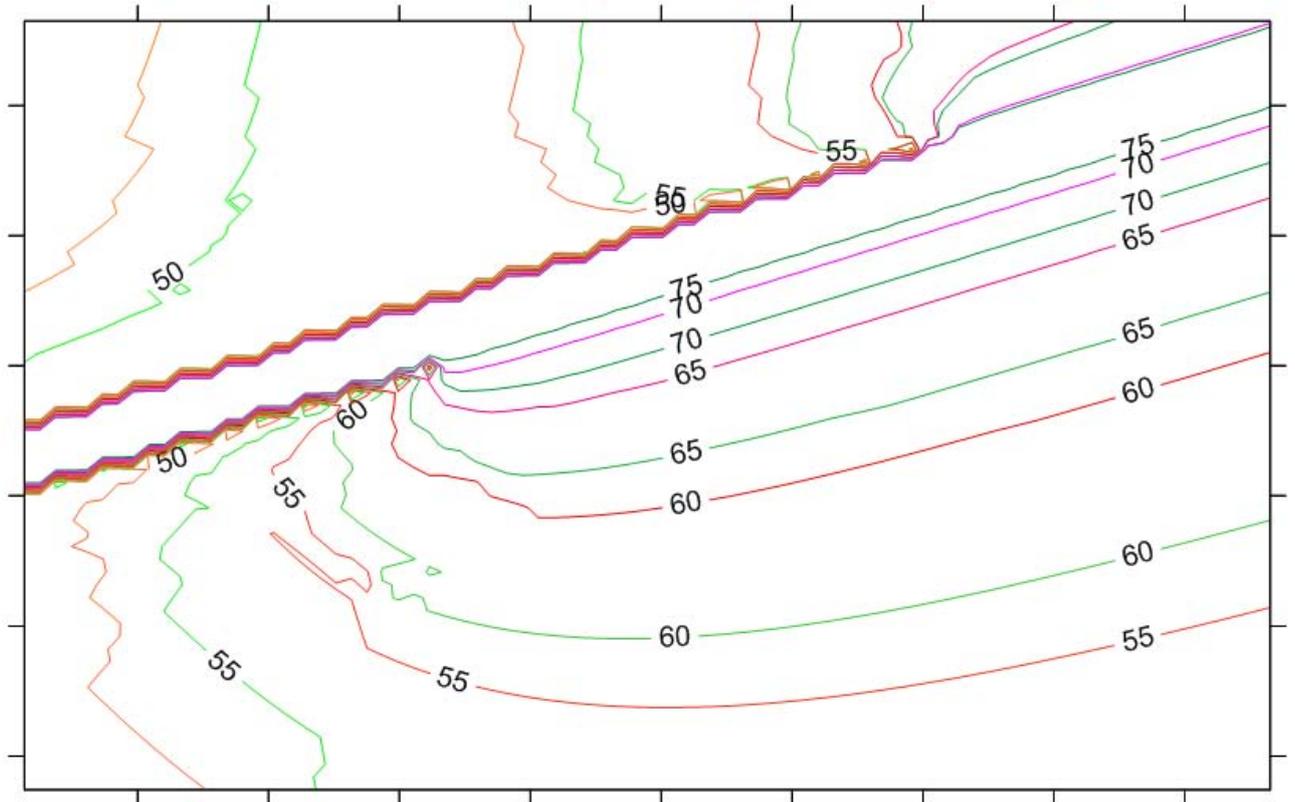
I risultati sono stati i seguenti:

<b>conf. fra 1° e 2° simulazione</b>	<b>LeqA rilevato</b>	<b>LeqA 1° sim.</b>	<b>LeqA 2° sim.</b>
<b>SITO 1 (GIORNO 1)</b>	67.16	69.8	66.7
<b>SITO 1 (GIORNO 2)</b>	66.98	69.8	66.7
<b>SITO 2 (GIORNO 1)</b>	50.27	57.4	55.0
<b>SITO 2 (GIORNO 2)</b>	51.97	57.4	55.0
<b>SITO 3 (SI' STRADA)</b>	67.17	72.3	70.3
<b>SITO 3 (NO STRADA)</b>	67.01	71.5	68.8
<b>SITO 4</b>	70.11	71.4	71.5

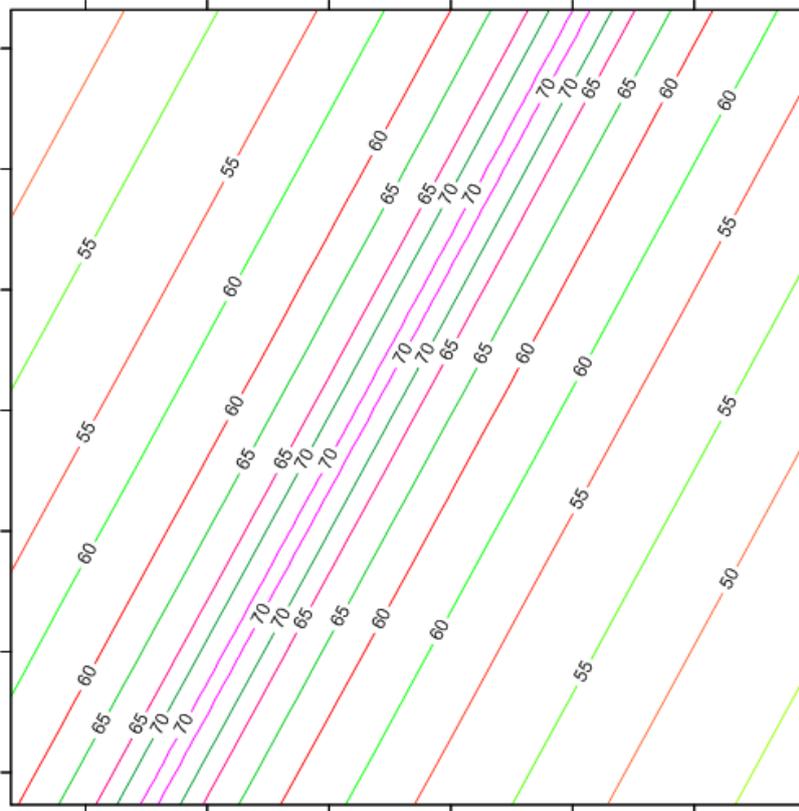
**Mapa alla quota del SITO 1 (10.5m)**



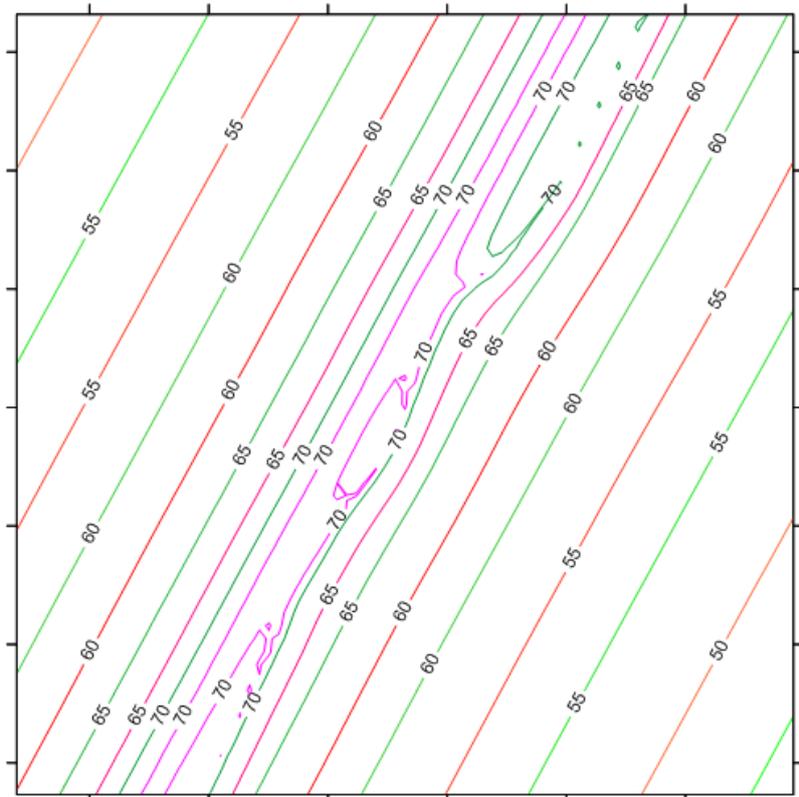
**Mapa alla quota del SITO 2 (9.3m)**



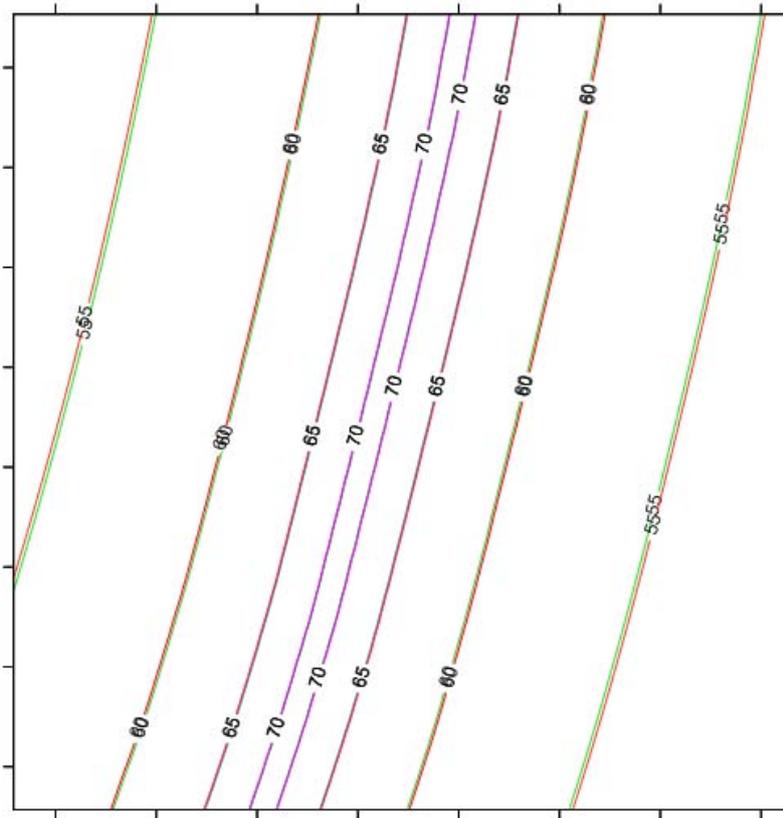
**Mappa senza strada (12.3m)**



**Mappa con strada (12.3m)**



## Mappa SITO 4 (20.2)



### **4.7 Confronto fra le simulazioni.**

Dalle simulazioni svolte emerge chiaramente come i risultati ottenuti con la ri-taratura del modello sono molto più accurati rispetto a quanto non sia stato nel corso del primo lancio del programma. Da ciò emerge che il software implementa un calcolo della propagazione sufficientemente accurato, in grado di dare risultati abbastanza attendibili una volta corretto nel database. Dall'altro lato notiamo come i dati originali siano in parte da rivedere, specie per quanto riguarda la categoria V3. Se nelle altre categorie di treni le differenze fra il database originale e quelle riviste sono state comunque contenute entro 2-3 dB, la differenza sale a oltre 10dB nell'ultimo caso, denotando che probabilmente il parco macchine circolante per i treni più veloci è stato fortemente rimaneggiato nell'ultimo decennio, diventando, pur a velocità medio-alte un trasporto tutto sommato silenzioso, così come avevamo notato anche analizzando i dati raccolti nella Parte 2.

Pare inutile far notare come i dati calcolati nella seconda simulazione siano più vicini a quelli rilevati. La cosa è naturale, dato che proprio da questi dati siamo partiti per riscrivere il database, è, invece, più interessante valutare le mappe che otteniamo. In tutte le mappe si nota la stessa cosa, ovvero il clima acustico previsto dalla seconda simulazione è meno rumoroso di quello previsto dalla prima. Ciò mette in luce due cose: la prima è che la simulazione permette di avere una sovrastima dei reali livelli di rumore causati dal passaggio dei treni, mentre la seconda è che il software adottato è sufficiente solo per dare un'idea approssimativa del clima acustico di una certa area, immagine questa che può essere adatta per compilare un VIAA o un DPIA, ma che non è certo sufficiente per un'indagine approfondita del fenomeno acustico (tutto ciò era già stato dichiarato dal professor Farina che metteva in guardia sull'uso improprio del programma, ma in seguito alle nostre osservazioni possiamo ribadirlo a nostra volta). Il clima più silenzioso proprio della seconda simulazione può essere dettato dalla natura dei dati registrati e

successivamente inseriti nel database. Si tratta di dati che tengono già conto delle condizioni specifiche del sito con tutte le sue attenuazioni. Ciò ha comportato una maggior somiglianza dei dati simulati con quelli reali, ma ha portato all'inserimento di dati in cui era presente l'effetto di fasce di vegetazione, ostacoli vari, oltre che le approssimazioni dovute alla conversione dei dati raccolti. In definitiva, i dati con cui abbiamo aggiornato il database sono stati condizionati da una serie di fattori che hanno abbassato il livello sonoro originale dato dal passaggio del treno. Di conseguenza abbiamo inserito dei livelli sonori più bassi nel database aggiornato e ci siamo ritrovati con un clima acustico simulato più silenzioso. Ciò non è necessariamente un aspetto negativo, infatti alle osservazioni appena fatte dobbiamo affiancare quelle fatte in precedenza per i treni a lunga percorrenza.

In conclusione, dall'analisi delle due simulazioni abbiamo dedotto che un aggiornamento del database è necessario, in quanto i mezzi attuali (specie quelli usati nelle tratte più lunghe) sono oggi più silenziosi che in passato. A questo, però dobbiamo aggiungere che l'aggiornamento deve avvenire in una posizione quanto più possibile vicino alla posizione F, in modo che i dati raccolti non siano condizionati da nulla. Per convincersi di ciò basta osservare il SITO 4, in cui la vicinanza fra il sito di rilievo alla posizione F ha fatto sì che le due simulazioni fossero praticamente identiche. Ciò è dovuto anche al fatto che nel sito non abbiamo passaggi di treni a lunga percorrenza.

Citymap è quindi un programma ancora valido, specie per simulazioni su aree relativamente grandi (richiede pochi minuti di calcolo per la macchina), ma richiede ulteriori aggiornamenti sui livelli sonori causati dal parco macchine, specie su quello dei treni più veloci.

#### **4.8 Considerazioni conclusive.**

L'uso del software Citymap aveva per noi uno scopo più pratico che teorico. Esso ci ha permesso di toccare con mano un programma, per quanto semplificato, che consente di ottenere calcoli previsionali e mappe acustiche con sufficiente accuratezza.

Quanto abbiamo ottenuto aveva lo scopo di replicare quanto fatto da RFI nella prima parte del piano di risanamento acustico, ovvero integrare le poche rilevazioni effettuate con l'uso di programma che potessero estendere queste ultime all'intera area coperta dalla rete ferroviaria. Nel nostro lavoro di tesi abbiamo replicato ciò in una scala diversa, più in piccolo, ma seguendo gli stessi passi, ovvero, effettuando dei rilievi e usando quanto raccolto per tarare il software.

Citymap si è rivelato uno strumento utile per quanto limitato nelle possibili applicazioni. Rappresenta, infatti, una buona base di partenza per capire il clima acustico su zone di medio-grande dimensione, ma d'altra parte si rivela scarso nella modellizzazione in 3 dimensioni anche per quel che riguarda DISIAPYR. L'aspetto più criticabile del programma risiede proprio nell'impossibilità di comunicare l'orografia del terreno, aspetto questo che diventava importante anche nella nostra seppur breve esperienza. La presenza di rilevati, di vegetazione o la semplice qualità delle barriere non sono contemplate dal programma, mentre, specie nelle immediate vicinanze della sorgente, si rivelano decisive. A suo favore c'è da osservare come Citymap nasca non come programma di dettaglio, ma per associare all'analisi di aree piuttosto grandi dei tempi di elaborazione relativamente brevi, quindi il suo interesse è quello di limitare gli errori su larghe distanze piuttosto che essere preciso al decibel nelle brevi.

Se da un lato possiamo lamentarci della non perfetta simulazione dataci dal programma (anche se dobbiamo ammettere che in condizioni di campo libero gli errori si sono mantenuti entro i 3-4dB così come sperato dal professor Farina), dall'altro dobbiamo ammettere che il programma si rivela di facile utilizzo anche per un operatore alle prime armi e con scarse conoscenze di acustica. Gli output disponibili, per quanto non molto numerosi, sono di immediata comprensione e danno un'idea piuttosto chiara di quanto accada dal punto di vista acustico.

Nella nostra esperienza Citymap si è, dunque, rivelato uno strumento utile ed abbastanza affidabile che ci ha permesso di allargare quanto rilevato direttamente ad aree relativamente ampie. In non tutti i casi i calcoli da esso eseguiti si sono rivelati corretti, ma c'è da osservare che in quei casi è stata una forzatura da parte nostra a causare la nascita di errori. È ovvio, infatti, come da un ambiente virtuale che non replica del tutto le condizioni reali non si possa che ottenere un certo grado di errore. Ecco che, quando subentrano situazioni che il programma non può simulare (vegetazione, rilevati, ecc.) ogni calcolo è inutile e privo di significato. Ad ogni modo la sopravvalutazione dei risultati operata dal programma aiuta ad avere comunque un margine di errore rassicurante per gli eventuali progettisti che ne fanno uso. In conclusione, il programma Citymap è uno strumento facile da usare e ottimale per valutazioni di massima sul clima di una certa area, dall'altro lato è limitato negli scenari simulabili e negli output ottenibili. Oltretutto, il database dovrebbe essere aggiornato, cosa tra l'altro piuttosto semplice anche per un operatore inesperto.

# Considerazioni finali.

---

Come abbiamo avuto occasione più volte di ribadire, lo scopo della tesi non era quello di giungere a risultati inaspettati, ma quello di ripetere un'esperienza fatta in passato da altre organizzazioni meglio attrezzate e valutarne pregi e difetti. L'analisi dei dati raccolti ci ha poi consentito di farci un'idea sulle emissioni sonore di varie categorie di treno e di varie locomotive. Questo studio è stato più intuitivo che basato su una larga banca dati, ma ci ha consentito ugualmente di arrivare ad interessanti osservazioni.

La tesi ha quindi permesso di raccogliere tutta la legislazione, italiana e di settore (UNI-EN) riguardante il rumore ferroviario, oltre che fornire un riassunto (che riteniamo abbastanza esauriente) delle possibili soluzioni al problema. La parte bibliografica raccolta riteniamo possa essere un utile punto di partenza per chiunque voglia avvicinarsi alla materia, in quanto non solo riteniamo sia abbastanza completa e aggiornata, ma anche per l'esposizione sintetica lascia all'eventuale lettore la possibilità di approfondire a piacere gli argomenti più interessanti.

Riguardo all'attività di organizzazione della campagna di misure, diversi sono stati gli ostacoli che si sono frapposti fra noi e l'esecuzione delle misure, non ultima l'accesso a siti di misura interessanti. La maggior parte dei siti da noi presi in esame aveva qualche problema, qualcuno non aveva la possibilità di collocare lo strumento lontano da fonti di rumore esterne e in totale sicurezza, altri siti avevano un traffico troppo ridotto per permetterci di fare delle considerazioni con qualche valore statistico, altre ancora erano circondate interamente da barriere o altri ostacoli impedendoci di avere un segnale pulito.

Il sito scelto a Vigonza è stato, da questo punto di vista, un colpo di fortuna notevole. Non solo ci ha permesso di analizzare una delle vie di traffico più frequentate del nord Italia, permettendoci così, di avere un numero consistente di rilevazioni da analizzare, ma ci ha permesso di registrare i livelli di eventi sonori schermati o meno dalla barriera. Ovviamente tutto ciò è stato pagato con la collocazione dello strumento non sempre in condizioni ideali, ora sopra un argine, ora sotto un boschetto, ma riteniamo che attuando le accortezze di cui abbiamo parlato nel capitolo dedicato, siamo riusciti ad ottenere un risultato abbastanza accettabile.

Riguardo il sito di Mandria, esso è stato scelto per raccogliere dati ulteriori ed eliminare eventuali errori che potrebbero essere stati collegati con le condizioni specifiche del primo sito. Integrando i primi dati con i nuovi rilievi siamo riusciti, invece, ad astrarre il fenomeno sonoro dal sito specifico ed ottenere un'immagine oggettiva dello stesso. Anche in questo caso il punto scelto potrebbe essere oggetto di

critiche legate alla presenza di vegetazione o altro, ma riteniamo che i risultati ottenuti siano decisamente soddisfacenti e poco influenzati da simili ostacoli.

Il quarto sito, quello di Vigodarzere aveva il compito di darci un'idea di come i treni si comportino in prossimità di rallentamenti obbligati come all'imbocco di un ponte. Da questo punto di vista abbiamo avuto sì qualche riscontro, ma per la maggior parte riteniamo questa rilevazione una sostanziale delusione. Il sito si trovava all'apice di una salita, che sebbene limitata (le pendenze ferroviarie non superano mai il 3.5%) ha influenzato forse eccessivamente il moto dei veicoli. In definitiva, le variazioni di emissione potevano essere legate sia al rallentamento dei veicoli per la salita, sia per l'arrivo in prossimità di un ponte. L'impossibilità di discernere queste due variabili ci ha fatto perdere la dimensione dell'influenza posseduta dall'attraversamento di un fiume. Altro fattore che ci ha destato qualche preoccupazione è il traffico transitante su questa linea. Molti sono stati i Regionali di tipo ALn 668 o carrozze simili che ci hanno impedito di avere una qualche correlazione con gli altri siti, rendendo la rilevazione di Vigidarzere una campagna di misure a se stante.

Riguardo l'analisi dei dati, la nostra principale preoccupazione è stata quella di rendere i dati compatibili, in modo da ottenere risultati relativamente ad un'unica campagna, non a quattro campagne separate. Il problema non deve essere stato solo nostro, in quanto la normativa UNI-EN ha messo a disposizione un metodo rapido e facile da usare per conversioni di questo tipo. Oltre ad applicare la normativa, altra nostra preoccupazione è stata quella di scegliere di volta in volta le misure e le sezioni corrette, in modo da rendere corretto l'uso delle diverse formule. L'uso di semplici formule matematiche ci ha, infine, permesso di ottenere da pochi dati, una gamma enorme di informazioni.

Un problema che abbiamo ravvisato è stato quando abbiamo realizzato che usare un tempo di integrazione di 5s ci avrebbe fatto perdere quasi tutte le caratteristiche del passaggio del treno, come l'avvicinarsi dei singoli assi o dei singoli vagoni. Dobbiamo quest'errore alla nostra inesperienza in materia, ma possiamo dire che quanto ottenuto è stato comunque soddisfacente, ed un dettaglio maggiore, sebbene ci avrebbe permesso di dedurre qualche altra informazione, riteniamo sia più adatto per analisi proprie di analisti di fisica tecnica, e meno interessante per la nostra professione.

L'analisi dei livelli durante l'intero periodo di osservazione è stata una delle attività più interessanti dell'intero progetto. Incrociando gli orari con quelli registrati sulla tabella abbiamo visualizzato "su carta" il fenomeno sonoro. Abbiamo potuto così isolare eventuali errori e distinguere i diversi eventi sonori, nonché associarli al treno che li aveva provocati.

Quanto abbiamo ottenuto alla fine è stato un andamento riassuntivo per tutte le tipologie di treno e locomotiva sia per quel che riguarda i livelli massimi, sia per quel che riguarda la perdita per inserzione. Il numero di dati a nostra disposizione è stata più che esauriente per le classi di treno più importanti e ci ha permesso delle conclusioni supportate da solide basi statistiche. Avendo dei riferimenti bibliografici per i treni a composizione bloccata abbiamo potuto anche azzardarci a giustificare i diversi andamenti alla luce della maggiore o minore lunghezza e velocità dei convogli. Riteniamo che tale opera di "deduzione" sia stata decisamente interessante per quanto concluso per ciascuna categoria e possa in futuro essere un buon punto di partenza per studi più approfonditi e per correggere il modello delle emissioni sonore ferroviarie basate su velocità e lunghezza.

Ovviamente, la mancanza di strumentazione è stato uno degli ostacoli più difficili da superare.

L'impossibilità di misurare lunghezza e velocità è stato un handicap di non poco conto, senza il quale le nostre conclusioni sarebbero state sicuramente più accurate e avrebbero messo meglio in luce certi aspetti che sono stati solo accennati nel nostro lavoro (fra cui forse il più interessante è il comportamento dei Frecciabianca quando schermati dalle barriere e quindi la natura del loro rumore). Per studi futuri ci sentiamo di consigliare la predisposizione di fotocellule e quant'altro si ritenga necessario, per raffinare

ulteriormente il nostro studio. Ciò non toglie valore alla nostra indagine, ma funge da spunto per studi futuri.

Riguardo la parte finale, dedicata all'ambiente software di simulazione, non possiamo lamentarci di quanto ottenuto considerando il materiale software a disposizione. Partendo da un programma open source che premette fin da subito le sue limitate potenzialità non potevamo aspettarci accuratissime entro il decibel, ma possiamo comunque ritenerci abbondantemente soddisfatti per quanto ottenuto. Gli errori ottenuti nei casi in cui la via di propagazione era libera e la conformazione del terreno era semplice sono stati contenuti sempre entro i 3-4 dB, così come prescritto dal manuale stesso.

Ovviamente, avendo la possibilità di utilizzare dei software professionali avremmo potuto ottenere dei risultati più soddisfacenti. La possibilità di replicare nella simulazione l'esatto aspetto del sito di misura può sicuramente condurre a risultati migliori, ma riteniamo che nelle aree di estensione relativamente limitata con cui abbiamo a che fare noi l'approssimazione di Citymap è più che sufficiente. Ovviamente più cresce l'area di interesse, più gli errori si moltiplicano, e per aree estese essi possono spingersi a valori inaccettabili. Ma tutto questo non è di nostro interesse e riteniamo che, per casi come il nostro, usare un programma più "approssimativo" come Citymap da risultati apprezzabili tanto quanto software professionali.

Ci ha sorpreso la facilità d'uso e l'affidabilità del programma del professor Farina, a testimonianza dell'ottimo lavoro fatto dall'equipe di Perugia. Grazie a questo approccio ci è stato possibile modificare facilmente anche il database del programma e di ripetere la simulazione con dati aggiornati. Verificare che i nuovi risultati della simulazione erano più corretti dei primi era un risultato abbastanza scontato, ma ci ha permesso comunque di capire quanto la simulazione "pura" fosse diversa da quella aggiornata.

In definitiva la nostra tesi può essere vista sia come una serie di osservazioni riguardo al fenomeno del rumore ferroviario, sia come un buon punto di partenza per un lavoro successivo, raffinato nella strumentazione utilizzata e conseguentemente nelle conclusioni raggiunte.

## Bibliografia

---

- Conferenza "Railway noise in urban areas: possible source noise reduction measures", Davis Benton (Pisa 9-10 Novembre 2006)
- "Effect of rail grinding on rail vibration and groundborne noise: result from controlled measurements", Ben Lawrence (2004)
- "Riduzione dell'inquinamento acustico ferroviario", Commissione per i trasporti e il turismo del Parlamento europeo (2012)
- "Documentation on Noise-Differentiated Track Access Charges, Information on status, Background and implementation", UIC
- "Verifica dell'efficacia degli interventi di risanamento acustico delle infrastrutture di trasporto – studi su casi campione", Convenzioni ISPRA/ARPA/APPA in materia di rumore ambientale
- "STI Rumore", Commissione europea (2011)
- "DPCM 1 Marzo 1991 "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno"
- L 447 26 Ottobre 1995 "Legge quadro sull'inquinamento acustico"
- DPCM 14 Novembre 1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore"
- DM 16 Marzo 1998 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico"
- DPR 18 Novembre 1998 "Regolamento della Legge quadro in materia ferroviaria"
- DM 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 di contenimento e di abbattimento del rumore"
- UNI-EN 1793-1 "Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Caratteristiche intrinseche di assorbimento acustico"
- UNI-EN 1793-2 "Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Caratteristiche intrinseche di isolamento acustico per via aerea"
- UNI-EN 1793-3 "Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Spettro normalizzato del rumore da traffico"
- UNI-EN 1793-4 "Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Caratteristiche intrinseche – Valori in situ della diffrazione sonora"
- UNI-EN 1793-5 "Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Caratteristiche intrinseche – Valori in situ della riflessione sonora e dell'isolamento acustico per via aerea"
- UNI-EN 14389-1 "Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Procedure di valutazione delle prestazioni a lungo termine – parte 1: Requisiti acustici"
- UNI-EN 1794 "Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Prestazioni non acustiche"
- UNI 11022 "Misurazione dell'efficacia acustica dei sistemi antirumore (insertion loss), per infrastrutture di trasporto, installati in ambiente esterno"
- UNI-ISO 9613-2 "Attenuazione sonora nella propagazione all'aperto – Metodo generale di calcolo"
- UNI-ISO 1996 "Descrizione, misurazione e valutazione del rumore ambientale"
- "Direttiva 91/440/CEE del Consiglio", Consiglio delle comunità europee (1991)
- "DLgs 8 Luglio 2003 n. 188"

- "Linee guida per la predisposizione della documentazione di impatto acustico", ARPA (2006)
- "Legge regionale 11/2001 – Linee guida per la elaborazione della documentazione di impatto acustico ai sensi dell'art.8 della Legge quadro 447/1995"
- "Considerazioni sui modelli di previsione del rumore da traffico ferroviario", Convegno SIV, Sandro Colagrande (Cagliari 1999)
- "La mitigazione del rumore ferroviario: l'esperienza RFI", Ing. Giuseppe Albanese, Dott. Nicola Tosto
- Convegno "Modelli di calcolo per il rumore stradale e ferroviario: caratterizzazione, applicabilità, interconfronti", G. Licitra, M. Cerchiai (Bologna 2005)
- "Modelli numerici per il rumore da traffico stradale e ferroviario in aree urbane", Angelo Farina
- "Valutazione del rumore in prossimità di linee ferroviarie nella provincia di Rimini", Roberto Vecchione, Federica Bernardini, Stefano R. De Donato, Roberta Monti
- "Le barriere acustiche per la riduzione del rumore di origine ferroviaria", arch. Pietro Romani, ing. Francesco Ventura
- "Manuale di utilizzo dei Programmi CITYMAP e DISIAPYR", Angelo Farina (1995)