

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J84H17000930009

U.O. TECNOLOGIE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO LINEA CODOGNO-CREMONA-MANTOVA  
TRATTA PIADENA-MANTOVA

ELABORATI IaP-DS

STUDIO ACUSTICO DIFFUSIONE SONORA

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

N M 2 5    0 3    D    5 8    R E    D S 0 0 0 1    0 0 1    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	PRIMA EMISSIONE	S. Bonato <i>Stefano Bonato</i>	03.20	S. Bonato <i>Stefano Bonato</i>	03.20	M. Berlingieri <i>MB</i>	03.20	M. Gambaro <i>03.20</i>

File: NM2503D58REDS0001001A.doc

n. Elab.: tlc/01

## Sommario

<b>ACRONIMI, ABBREVIAZIONI E DEFINIZIONI</b> .....	<b>2</b>
<b>1 INTRODUZIONE</b> .....	<b>2</b>
1.1 SCOPO DEL DOCUMENTO.....	2
1.2 DOCUMENTI APPLICABILI E DI RIFERIMENTO .....	3
1.3 CAMPO DI APPLICAZIONE .....	3
<b>2 TRATTA PIADENA-MANTOVA</b> .....	<b>3</b>
<b>3 COPERTURA AUDIO, SPEECH TRANSMISSION INDEX E RASTI</b> .....	<b>3</b>
3.1 PREMessa .....	3
3.2 COPERTURA AUDIO.....	4
3.3 SPEECH TRANSMISSION INDEX E RASTI .....	5
<b>4 SIMULAZIONI ACUSTICHE</b> .....	<b>6</b>
4.1 INTRODUZIONE .....	6
4.2 VALUTAZIONI PREVENTIVE .....	7
4.2.1 <i>Diffusione sotto pensilina</i> .....	7
4.2.2 <i>Diffusione marciapiedi all'aperto</i> .....	9
<b>5 SIMULAZIONI</b> .....	<b>10</b>
5.1 STAZIONE TIPO 1 – SINGOLO MARCIAPIEDE .....	10
5.1.1 <i>Stazione Tipo 1 - Pressione sonora</i> .....	11
5.1.2 <i>Stazione Tipo 1 - Intelligibilità</i> .....	16
5.2 STAZIONE TIPO 2 – SINGOLO MARCIAPIEDE CON PENSILINA .....	17
5.2.1 <i>Stazione Tipo 2 - Pressione sonora</i> .....	18
5.2.2 <i>Stazione Tipo 2 - Intelligibilità</i> .....	23
5.3 STAZIONE TIPO 3 – DOPPIO MARCIAPIEDE CON PENSILINA SU OGNI MARCIAPIEDE .....	24
5.3.1 <i>Stazione Tipo 3 - Pressione sonora</i> .....	26
5.3.2 <i>Stazione Tipo 3 - Intelligibilità</i> .....	31
<b>6 CONCLUSIONI</b> .....	<b>32</b>

## ELENCO DELLE FIGURE

<a href="#">Figura 1 – Funzione di trasferimento alla modulazione – Modulation Transfer Function (MTF)</a> .....	5
<a href="#">Figura 2 – Distribuzione audio con diffusori ad array e diffusori tradizionale con unico altoparlante</a> .....	8
<a href="#">Figura 3 – Distribuzione audio con diffusori ad array e diffusori tradizionale con unico altoparlante</a> .....	8
<a href="#">Figura 4 – Diffusori DIVU901 su palo</a> .....	9

## ELENCO DELLE TABELLE

<a href="#">Tabella 1 - Livelli sonori nelle zone di copertura audio</a> .....	4
<a href="#">Tabella 2 – Tabella intelligibilità secondo l'indice STI</a> .....	6
<a href="#">Tabella 3 – Tabella intelligibilità secondo l'indice RASTI</a> .....	6

## Acronimi, abbreviazioni e definizioni

ACRONIMO	Spiegazione
AI	Perdita in percentuale delle consonanti – Articulation index
Array	Diffusore acustico costituito da una serie di altoparlanti sovrapposti
dBA	Pressione sonora espressa in dB con curva di tipo A (curva che accomuna all'ascolto del nostro orecchio)
MTF	Funzione di trasferimento di modulazione (ad una precisa frequenza)
MTI	Indice di modulazione (parametro di ponderazione da 0 -1 della modulazione alla frequenza indicata)
RASTI	Intellegibilità alla parola Rapid Speech Transmission Index (calcolato tra le frequenze 250 hz -4 khz)
SPL	Pressione sonora espressa in dB SPL
SPLdir	Pressione sonora espressa in dB SPL prodotta dalla sorgente in modo diretto (non vengono sommate le eventuali riflessioni)
SPLdir Sum	Pressione sonora espressa in dB SPL media prodotta dalla sorgente in modo diretto nelle bande di frequenza indicate (non vengono sommate le eventuali riflessioni)
STI	Intellegibilità alla parola Speech Transmission Index (calcolato tra le frequenze 125 hz -8 khz)

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 Scopo del documento

La presente relazione acustica è stata realizzata per poter eseguire un adeguato dimensionamento e configurazione del sottosistema di Diffusione Sonora (DS) nelle stazioni e fermate della tratta Piadena-Mantova.

Viene escluso nell'ambito del progetto l'adeguamento della stazione di Mantova sottoposta recentemente ad un rinnovo del sistema laP a cura della DTP di Verona.

I parametri presi in considerazione nello studio sono:

- livello di pressione sonora (SPL – Sound Pressure Level)
- indice di intelligibilità del parlato (RASTI - Rapid Speech Transmission Index)

Attraverso appositi strumenti di simulazione è possibile impostare e variare sia i parametri relativi alla diffusione sonora (pressione acustica, posizione degli altoparlanti) sia le caratteristiche acustiche dei locali (stazioni, treni, etc.) che si intende realizzare, agendo sui coefficienti di fono-assorbimento dei materiali e sulle conformazioni strutturali. Questi studi preliminari consentiranno quindi di predire con largo anticipo sia il livello di pressione sonora che i valori degli indici RASTI e permetteranno pertanto di apportare in tempo utile tutte le correzioni di progetto ritenute necessarie.

L'analisi acustica eseguita tramite la simulazione servirà per:

- Dimensionamento dell'impianto di diffusione.
- Verifica della pressione sonora
- Calcolo del STI (Rapid Acoustic Transmission Index – particolarmente adatto alla valutazione dei diffusori in un ambiente chiuso).

## 1.2 Documenti applicabili e di riferimento

CEI EN 60849 Sistemi elettroacustici applicati ai servizi di emergenza

## 1.3 Campo di applicazione

Il presente documento è parte integrante del pacchetto di documentazione prevista per la fase di Progetto.

Le misure e/o simulazioni proposte in questo documento hanno senso e vanno quindi applicate solo per ambienti chiusi in cui è presente il sistema di Diffusione Sonora ad eccezione dei veicoli (sale attesa-atri e all'eterno per le banchine delle stazioni, ecc.).

Il risultato ottenuti per uno specifico ambiente potrà essere esteso a tutti gli ambienti similari per forma e materiali costruttivi.

Per quanto riguarda lo studio degli ambienti esterni, quali marciapiedi scoperti, marciapiedi con pensilina e sottopassaggi, l'analisi verte in principalmente sulla pressione sonora garantita nell'ambiente.

## 2 TRATTA PIADENA-MANTOVA

Le stazioni e fermate interessate dalla fornitura, installazione e messa in servizio dei nuovi impianti di Diffusione sonora sono:

1. PIADENA
2. BOZZOLO
3. MARCARIA
4. CASTELLUCCHIO (FERMATA)

Le stazioni/fermate sono state classificate secondo il tipo di impianto definito al successivo par. 4 e la classe indicata dalla Specifica Tecnica RFI TEC LG IFS 002 A:

PIADENA	TIPO 1	CLASSE C	Solo rinnovo diffusori
BOZZOLO	TIPO 1	CLASSE D	All'impianto classificato "Bronze" viene aggiunto un monitor A/P.
MARCARIA	TIPO 1	CLASSE D	All'impianto classificato "Bronze" viene aggiunto un monitor A/P.
CASTELLUCCHIO	TIPO 1	CLASSE D	All'impianto classificato "Bronze" viene aggiunto un monitor A/P.

## 3 COPERTURA AUDIO, SPEECH TRANSMISSION INDEX E RASTI

### 3.1 Premessa

A causa del fenomeno della riflessione delle onde sonore, l'audio diffuso in ambiente chiuso è soggetto a modifiche qualitative che, in maniera più o meno evidente, sono percepibili dall'ascoltatore. Ciò è a causa del fatto che nel punto di ascolto, alle onde sonore ricevute direttamente dalla fonte, si aggiungono in successione

temporale con intensità differenti, le onde provenienti per riflessione dalle superfici dell'ambiente. Proprio tali onde riflesse sono coloro che danno origine al fenomeno di persistenza sonora detto riverbero, il quale è l'informazione audio che permane in un ambiente quando il suono che proviene direttamente dalla fonte si è esaurito.

Se fenomeni di riverberazione contenuti nel tempo possono essere considerati come un utile rafforzamento dell'informazione audio diretta, l'eccesso di riverbero ingenera una situazione di deterioramento acustico, il quale è percepito come degrado dell'intelligibilità dell'informazione sonora. Il degrado per mascheramento è poi ulteriormente accentuato se agli eccessi di riverberazione d'ambiente si aggiungono fenomeni di rumore di fondo di particolare rilievo.

Poiché la perdita di intelligibilità si rende particolarmente evidente sul parlato e considerando che uno dei sistemi strettamente legati alla sicurezza dei passeggeri dell'infrastruttura di trasporto è il sistema di Diffusione Sonora, si rende necessario verificare che, in tutte le zone chiuse, ovvero delimitate da muri e soffitto, in cui essa è presente, è garantita l'intelligibilità dei messaggi audio trasmessi. A tale scopo, nel presente documento è illustrata la procedura di misura adottata per la verifica dell'intelligibilità dei messaggi audio in ambiente.

È importante sottolineare infine che l'indice di intelligibilità sonora è influenzato soprattutto dalla struttura architettonica dell'ambiente in cui il messaggio audio è diffuso. Infatti, sono proprio la forma e i materiali utilizzati per la costruzione della sala d'ascolto che determinano principalmente il modo in cui il suono si propaga all'interno della sala stessa. Il sistema di diffusione audio, eventualmente unito a correttori acustici come pannelli fonoassorbenti, può comunque sopperire in parte alle problematiche audio d'ambiente, tramite una maggiore distribuzione della pressione sonora complessiva (aumento degli altoparlanti a parità di potenza totale in uscita degli amplificatori), laddove architettonicamente possibile, e tramite un'opportuna equalizzazione in frequenza in funzione della caratteristica di risposta armonica dell'ambiente.

## 3.2 Copertura Audio

Nei capitoli seguenti vengono riportati relativi alla simulazione dei valori di pressione sonora stimata nelle varie aree di cui è prevista la copertura per tutte le tipologie di stazione previste nel progetto.

La normativa CEI EN 60849 riporta che la copertura audio è garantita laddove i valori dei segnali audio per il richiamo dell'attenzione soddisfano i seguenti criteri:

<b>Casi</b>	<b>Livello minimo</b>
<b>Livello sonoro minimo</b>	<b>65 dBA</b>
<b>Livello sonoro minimo nelle zone in cui le persone dormono</b>	<b>75 dBA</b>
<b>Livello sonoro al disopra del livello normale di rumore</b>	<b>Da 6 a 20 dBA</b>
<b>Livello sonoro massimo</b>	<b>120 dBA</b>

**Tabella 1 - Livelli sonori nelle zone di copertura audio**

In una stazione il rumore di fondo può variare in modo considerevole a seconda degli orari ed a seconda delle condizioni si pensi ad esempio all'arrivo e allo stazionamento di un treno in stazione, con locomotore acceso, che aumenta di molto il rumore di fondo.

A tal proposito è difficile stabilire un livello di pressione sonora che possa essere sempre adeguato in stazione.

In ogni caso è opportuno garantire una pressione massima che possa garantire di far udire e comprendere un messaggio nella maggior parte delle situazioni.

Risulta difficile e anche fastidioso garantire una pressione sonora superiore di 6 dB rispetto al passaggio del treno.

In genere, per precedenti esperienze installative, è adeguata una pressione sonora massima nell'area da sonorizzare pari a circa 100-105 dB (alle frequenze tra 500 hz e 2khz necessarie per la diffusione di un messaggio vocale).

Questa pressione sonora sarà inoltre regolata in modo da poter variare di intensità ( i 100-105 dB sopracitati si intendono a 1,5 metri da terra alla massimo volume) in funzione delle ore della giornata o in casi più particolari regolata in funzione del rumore ambientale.

### 3.3 Speech Transmission Index e RASTI

L'intelligibilità di un'informazione è in genere una valutazione di carattere soggettivo. Nel caso di un'informazione sonora essa può essere misurata con la corretta annotazione di un insieme di fonemi prestabiliti e privi di una connotazione lessicale da un gruppo selezionato di ascoltatori.

I risultati di tali prove sono espressi come percentuale di fonemi correttamente annotati o come indice AI (Articulation Index) compreso in una scala che va da 0 a 1.

Uno dei metodi per la valutazione dell'intelligibilità tramite strumentazione è la misurazione del cosiddetto Speech Transmission Index (STI), indice questo derivato dalla famiglia delle curve che esprimono la Modulation Transfer Function (MTF). In particolare l'MTF utilizzata per lo STI è la seguente:

$$m(F) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(2\pi \frac{FT}{13,8}\right)^2}} \times \frac{1}{1 + 10^{-\frac{S}{N} \times \frac{1}{10}}}$$

dove F è la frequenza modulante del suono di test e T il tempo di riverberazione di tale suono. Il tempo di riverberazione è definito come il tempo in cui il segnale impiega a diminuire la propria intensità di 60dB dopo che la sorgente sonora è stata silenziata.

Nella MTF in questione il primo fattore tiene conto del fattore di riverberazione dell'ambiente e il secondo invece del rumore ambientale di fondo.

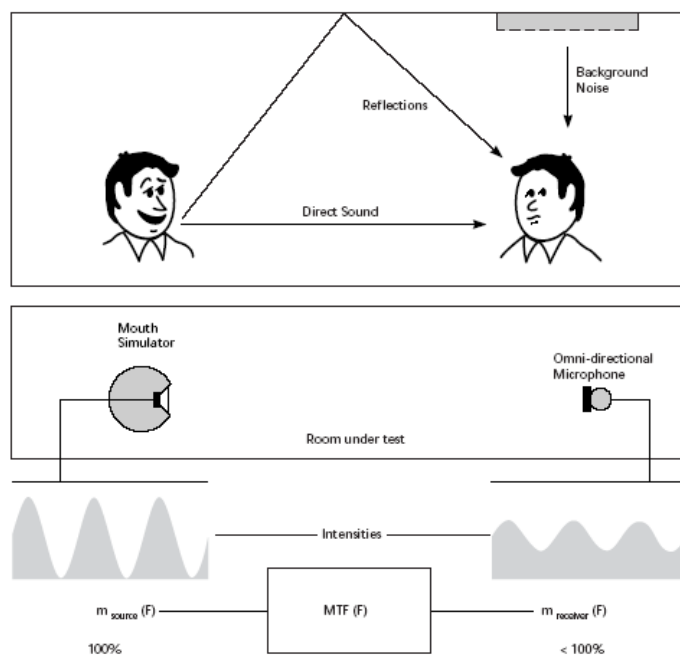


Figura 1 – Funzione di trasferimento alla modulazione – Modulation Transfer Function (MTF)

Limitato fra 0 e 1, lo STI è fondato sulla valutazione della riduzione degli indici di modulazione (Modulation Transfer Index, MTI), i quali, ricavati sulla base una serie di segnali di test che simulano il parlato da parte di uno speaker, individuano per ogni ottava, i rapporti segnale rumore apparenti dell'ambiente sotto misura. In particolare i segnali di test utilizzati per ottenere la matrice MTF 14x7 sono gli spettri di frequenze appartenenti alle ottave comprese fra 125Hz e 8000Hz, modulati su 14 frequenze prestabilite (0.63, 0.8, 1, 1.25, 1.6, 2, 2.5, 3.15, 4, 5, 6.3, 8, 10, 12.5 Hertz).

Valori	Livello intelligibilità
0,0 < STI < 0,4	Incomprensibile
0,4 < STI < 0,6	Accettabile
0,6 < STI < 0,8	Buona
0,8 < STI < 1	Eccellente

**Tabella 2 – Tabella intelligibilità secondo l'indice STI**

Sullo stesso principio dello STI, ma con un set di misure ben più limitato, si ottiene un indice detto Rapid Speech Transmission Index (RASTI), il quale è in grado, come lo STI, di fornire una precisa indicazione riguardante il valore di intelligibilità del parlato in ambiente. Il set di misure si limita a modulare 4 frequenze (1, 2, 4, 8 Hertz) sullo spettro della terza ottava (500Hz) e 5 frequenze (0.7, 1.4, 2.8, 5.6, 11.2 Hertz) per la quinta ottava (2KHz). Per valutare il livello di intelligibilità del parlato ottenuto dalla misura, si adotta lo stesso criterio dello STI. Come lo STI, anche il RASTI è un valore puro.

Valori	Livello intelligibilità
0,0 < RASTI < 0,4	Incomprensibile
0,4 < RASTI < 0,6	Accettabile
0,6 < RASTI < 0,8	Buona
0,8 < RASTI < 1	Eccellente

**Tabella 3 – Tabella intelligibilità secondo l'indice RASTI**

E' bene precisare, comunque, che l'ottenimento di un indice RASTI  $\geq 0.6$  (livello buono-eccellente) dipende in misura abbastanza marginale dalla qualità e dalla configurazione del sistema di diffusione sonora utilizzato mentre, di contro, le conformazioni architettoniche dei locali ed il coefficiente di assorbimento acustico dei materiali di rivestimento impiegati assumono un ruolo assolutamente preponderante. Tramite il sistema DS si possono sicuramente apportare dei correttivi ad un ambiente con acustica non ottimale, agendo su diversi fattori quali: pressione sonora (volume), equalizzazione dei segnali e disposizione fisica degli altoparlanti. In ogni caso resta il fatto che un sistema DS, anche se di qualità elevatissima, non riuscirà mai a compensare completamente le riverberazioni acustiche degli ambienti in cui viene utilizzato se queste superano determinate soglie, come ad esempio in un locale le cui pareti siano totalmente rivestite da materiale non fono-assorbente (marmo, acciaio, ecc.).

## 4 SIMULAZIONI ACUSTICHE

### 4.1 Introduzione

Per effettuare un'analisi preventiva della intelligibilità acustica nelle stazioni e della pressione sonora data dai diffusori previsti, e dunque verificare la loro efficacia.

A tal proposito le simulazioni sono state eseguite su alcune tipologie di stazioni e non per singola stazione, in quanto molte stazioni sono tra loro molto simili.

In particolare sono state individuate le seguenti tipologie di stazione:

Tipo 1- Stazione a singolo marciapiede

(lunghezza del marciapiedi variabile da 160 a 320 m. a seconda delle stazioni)

Tipo 2- Stazione a singolo marciapiede con pensilina.

(lunghezza del marciapiedi variabile da 160 a 320 metri e lunghezza pensilina variabile da 20 a 100 metri a seconda delle stazioni)

Tipo 3- Stazione a doppio marciapiede con pensilina.

(lunghezza del marciapiedi variabile da 160 a 320 metri e lunghezza pensilina variabile da 20 a 100 metri a seconda delle stazioni)

Esistono alcune stazioni dove i marciapiedi sono tre. Tuttavia, come si potrà notare dai prossimi capitoli, anche questa tipologia di stazioni possono essere riconducibili alla tipologia di stazione Tipo 2 e Tipo 3.

## 4.2 Valutazioni preventive

Un sistema audio, per essere efficiente deve garantire principalmente l'adeguatezza di due parametri:

- la pressione sonora
- un suono comprensibile (buona intelligibilità)

In merito alla buona intelligibilità va detto che un sistema audio all'aperto, senza riflessioni date dalle pareti di un ambiente chiuso, ha in genere sempre valori buoni, proprio per il fatto che le riflessioni (se ve ne sono), non stazionano all'interno dell'ambiente.

Per quanto riguarda invece la pressione sonora, come detto nel paragrafo 3.2 deve avere un'adeguata intensità e poter essere sufficientemente uniforme in tutte le aree da sonorizzare.

**Un'altro aspetto molto importante per un sistema audio in stazioni all'aperto, è poter garantire un'adeguata pressione sonora laddove serve (marciapiedi e sotto le pensiline) e disturbare meno possibile al di fuori di queste aree.**

Buona parte delle stazioni da sonorizzare, hanno degli edifici vicini, che potrebbero essere disturbati (in particolare al mattino presto e a tarda sera quando il rumore circostante è molto basso) dagli annunci emessi in stazione.

Per limitare questo problema, il sistema audio di seguito proposto, è stato realizzato utilizzando dei particolari accorgimenti al fine di limitare il più possibile l'inquinamento acustico verso l'esterno.

### 4.2.1 Diffusione sotto pensilina

Per limitare l'inquinamento verso l'esterno e contemporaneamente garantire una buona pressione sonora sotto la pensilina sono stati previsti dei diffusori sotto pensilina a colonna. I diffusori a colonna hanno angolo di dispersione di 160° sul piano orizzontale e di 50° sul piano verticale. Questo significa che installando i diffusori in senso trasversale rispetto alla banchina, si può ottenere una copertura molto uniforme su tutta l'area d'ascolto, limitando considerevolmente l'energia acustica irradiata all'esterno del marciapiede.

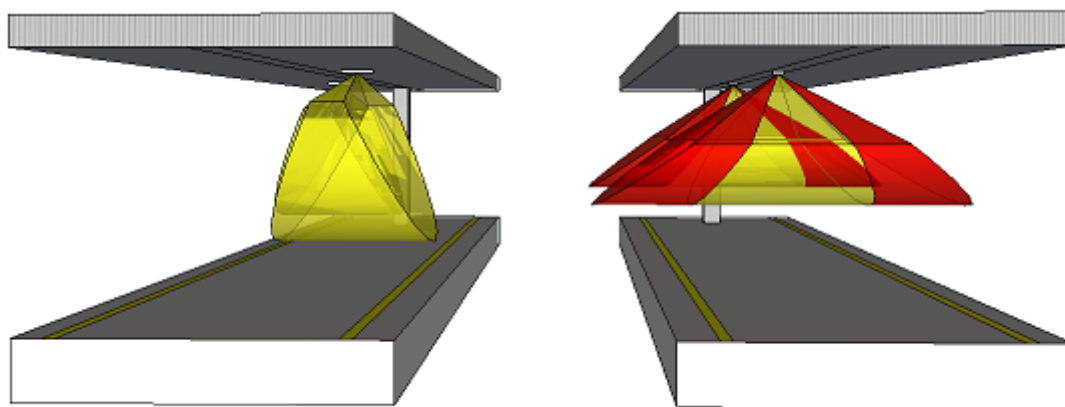
Al contrario, i diffusori da incasso hanno angolo di copertura pari a 135° (orizzontale) e 110° verticale. In questo caso la copertura della banchina viene garantita, ma si aumenta nettamente l'energia diffusa nelle aree circostanti.



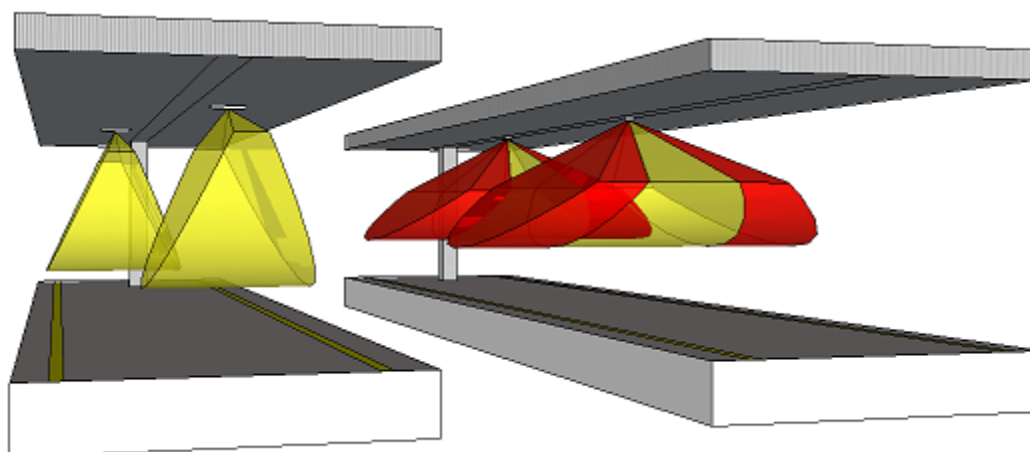
Anche l'uso di proiettori di suono permette di diffondere in modo adeguato l'informazione sonora nel marciapiede, ma questa tipologia di diffusione ha elevato inquinamento sonoro verso l'esterno, inoltre l'uniformità della pressione sonora è minore.

Le seguenti figure permettono di capire meglio la differenza tra la dispersione sonora di un diffusore a colonna (come previsto nel progetto proposto) ed un diffusore tradizionale.

Nella figura di sinistra si può vedere come l'informazione sonora segue l'andamento del marciapiede, mentre nella figura di destra si vede come il suono è diretto anche verso l'esterno, e quindi tale energia viene sprecata e contemporaneamente va a disturbare il vicinato. Trattandosi di un'area soggetta al controllo dell'inquinamento acustico, è fondamentale limitare la dispersione verso le zone non interessate dai segnali audio di stazione. Aumentare il rapporto tra energia contenuta nelle aree d'ascolto e quella "dispersa" consente di rispettare i limiti imposti dalle normative in materia di inquinamento acustico ottenendo un sensibile incremento di pressione sonora delle aree di interesse.



**Figura 2 – Distribuzione audio con diffusori ad array e diffusori tradizionale con unico altoparlante**



**Figura 3 – Distribuzione audio con diffusori ad array e diffusori tradizionale con unico altoparlante**

La sensibilità dei diffusori COLW81 a colonna è di 97 dB 1W/1m; alimentando tali diffusori con 20W nominali di potenza si ottiene una pressione sonora massima di 110 dB ad un metro di distanza.

Posizionando i diffusori a circa 8 metri l'uno dall'altro, il punto più lontano dal diffusore è di circa 5 metri (14 dB di attenuazione), per cui la pressione sonora nel punto più sfavorevole sarà di circa 96 dB, questo considerando un diffusore solo. Nel caso dei diffusori tale pressione sarà di circa 99 dB.

Le simulazioni che seguiranno, permettono di apprezzare e verificare tali valori.

#### 4.2.2 Diffusione marciapiedi all'aperto

Nel precedente capitolo abbiamo spiegato la motivazione della scelta dei diffusori a colonna per la zona delle pensiline.

Per poter beneficiare dei benefici di questa scelta di diffusori (che limita l'inquinamento acustico verso l'esterno) è opportuno che anche nella zona del marciapiede all'esterno siano adottati opportuni accorgimenti, altrimenti vanificherebbero la scelta dei diffusori sulle pensiline.

Anche nelle zone del marciapiede all'aperto è opportuno che la tipologia di diffusori non crei inquinamento verso l'esterno.

Potrebbero essere utilizzati gli stessi diffusori a colonna (utilizzati nella pensilina), ma questi non sarebbero adatti ad essere installati su pali verticali (tali diffusori devono essere installati in modo orizzontale e perpendicolare al marciapiede).

Per tale ragione, vengono proposti dei diffusori creati appositamente per la diffusione nei marciapiedi che hanno una forma simile ad un'ombrella.

Questi diffusori DIVU-901 (come si può vedere dalla figura seguente) sono fatti in modo da aggrappare un palo verticale ed hanno una forma curva nella parte superiore per favorire la caduta dell'acqua in caso di pioggia e proteggere contemporaneamente gli altoparlanti collocati sotto.



Figura 4 – Diffusori DIVU901 su palo

I diffusori posizionati nella parte inferiore del diffusore sono posizionati in modo tale da creare un piccolo array (simile alle colonne installate nella pensilina).

La posizione di questi altoparlanti è stata studiata al fine di generare un lobo complessivo del diffusore tale da sonorizzare verso il basso (e non verso destra e sinistra). Tali diffusori permettono infatti di creare due lobi (uno per ogni semicerchio) che combinati assieme diventano sufficientemente direttivi.

Grazie a questi diffusori, in modo simile ai diffusori a colonna installati sotto la pensilina, si genera una buona pressione sonora nel marciapiede limitando l'energia sonora rivolta verso l'esterno.

Dalle simulazioni che seguono sarà possibile notare come la pressione sonora nel marciapiede sia circa 6-10 dB superiore alla pressione nell'area binari (a circa 5 metri dal marciapiede). Questo significa che al di fuori della stazione, ad una certa distanza, la pressione sonora sarà molto bassa, in quanto il diffusore è direzionato verso il basso e non verso l'esterno (a differenza delle classiche trombe o proiettori di suono installati nei pali e indirizzati in modo orizzontale).

## 5 SIMULAZIONI

Le seguenti simulazioni sono state eseguite tutte con il programma CATT Acoustic. Per le stazioni all'aperto le tipologie di materiali utilizzate sono dei materiali generici quali:

- pavimento in cemento (per i marciapiedi)
- parete intonacata (per il sotto pensilina)
- ciottolato (per l'area dei binari)

Questi materiali non incidono molto sui parametri di simulazioni, in quanto si tratta di simulazioni all'aperto, dove le riflessioni dei materiali hanno poca importanza.

Le simulazioni sono state effettuate alle frequenze centrali dove si concentra l'informazione vocale.

In particolare nelle pagine seguenti saranno riportate per ogni stazione i valori di pressioni sonore per le frequenze di 500 hz, 1 khz, e 2 khz. Viene inoltre riportato una figura dove è indicata la pressione media con curva di equalizzazione tipo A. Questa immagine permette di valutare la pressione sonora a tutte le frequenze.

Per meglio leggere ed interpretare le seguenti simulazioni, va detto che a lato di ogni immagine vi è riportata la scala di misura; sulla scala sono indicati mediante una parentesi quadra, i valori minimi e massimi trovati indicati. Ovviamente questi valori si riferiscono sia alle aree interessate dalla diffusione sonora (marciapiedi e sotto pensiline) sia le aree dove non è necessario giunga l'informazione audio (zone dei binari all'esterno).

È opportuno dunque valutare con la massima attenzione i grafici di seguito riportati per non incorrere in errori di valutazione/interpretazione.

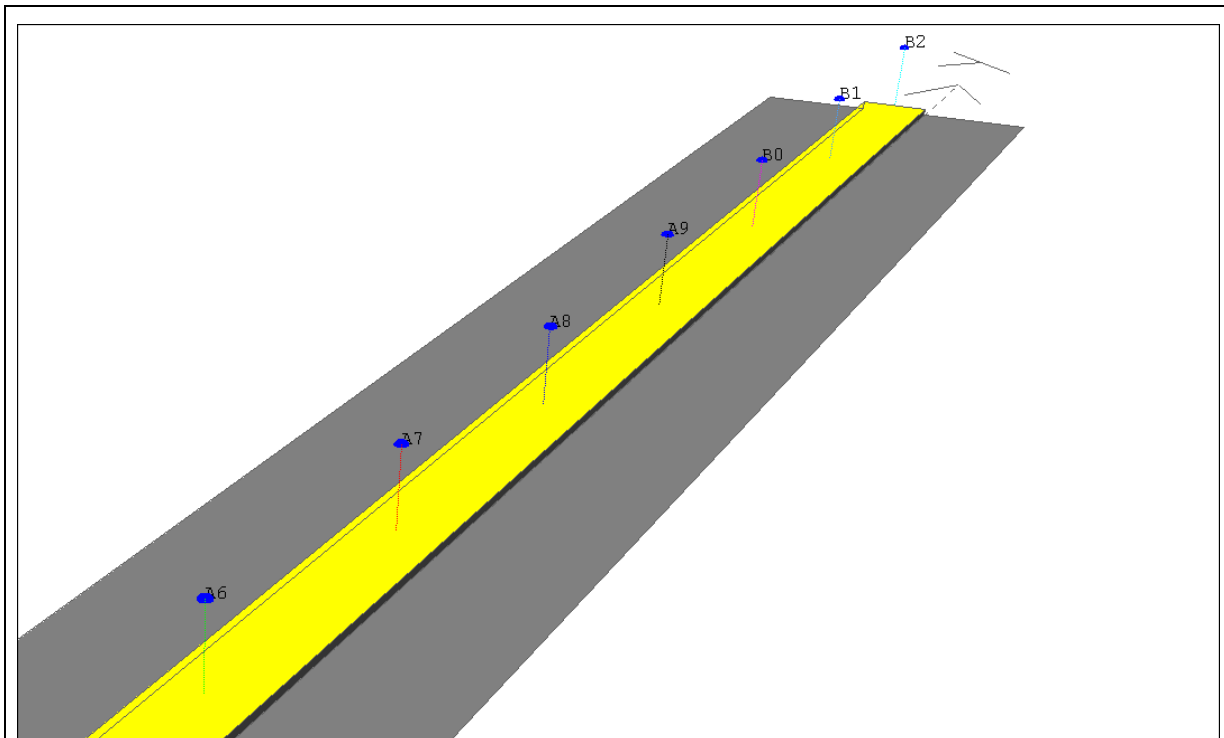
### 5.1 Stazione Tipo 1 – Singolo marciapiede

La prima tipologia di stazione presa in considerazione è relativa ad un solo marciapiede scoperto.

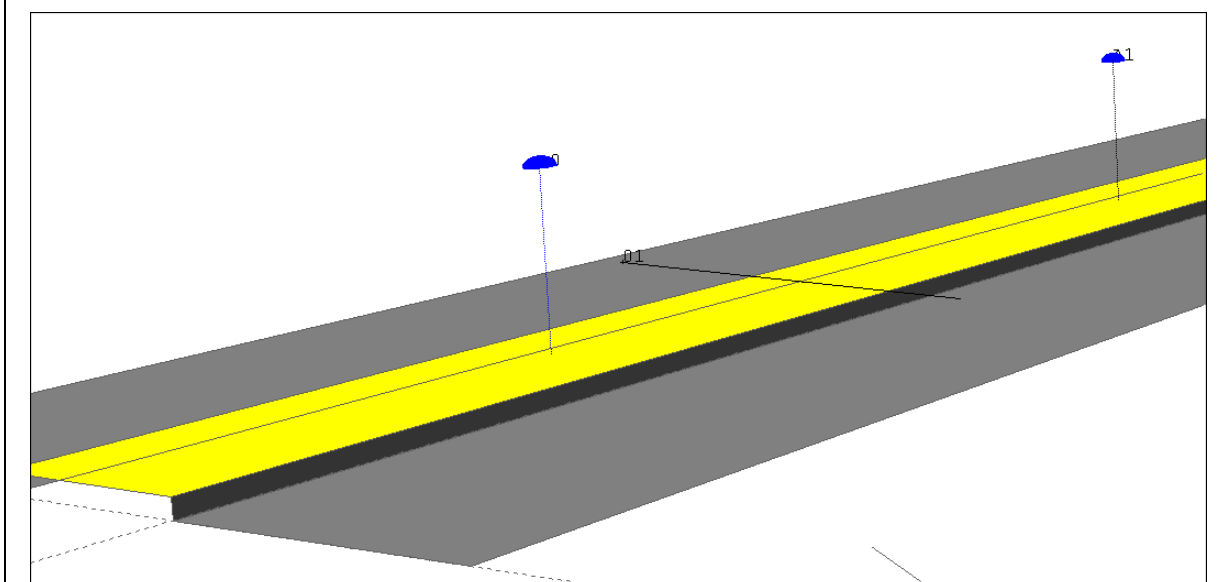
Nella realizzazione del solido si è sviluppato un marciapiede con lunghezza pari a 250 metri ed una larghezza di 5 metri. Ai lati del marciapiede sono state disegnate due aree relative ai binari per una larghezza di 8 metri su ogni lato.

In questa simulazione sono stati posizionati dei diffusori installati su ipotetico palo ad una distanza tra un palo e l'altro di 20 metri e ad un'altezza di 5 metri da terra.

Dunque, si vedranno 12 diffusori, con le relative dispersioni e pressioni sonore.



**Solido stazione Tipo 1 con posizionamento diffusori**

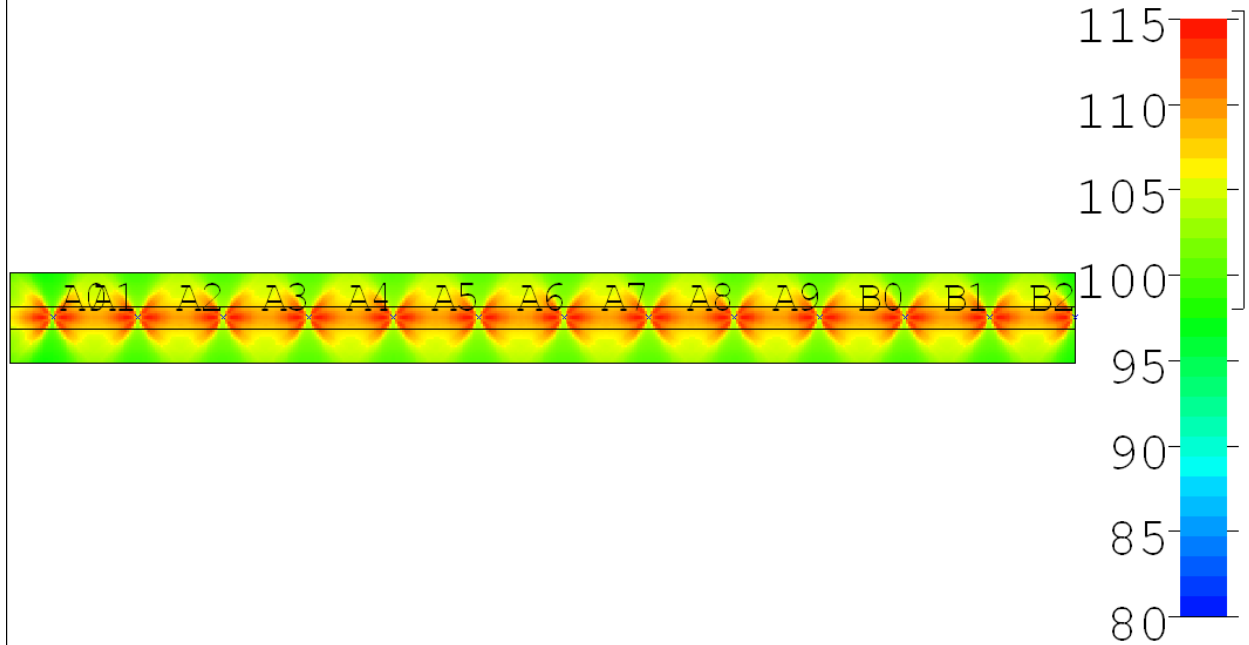


**Solido stazione Tipo 1 con posizionamento diffusori**

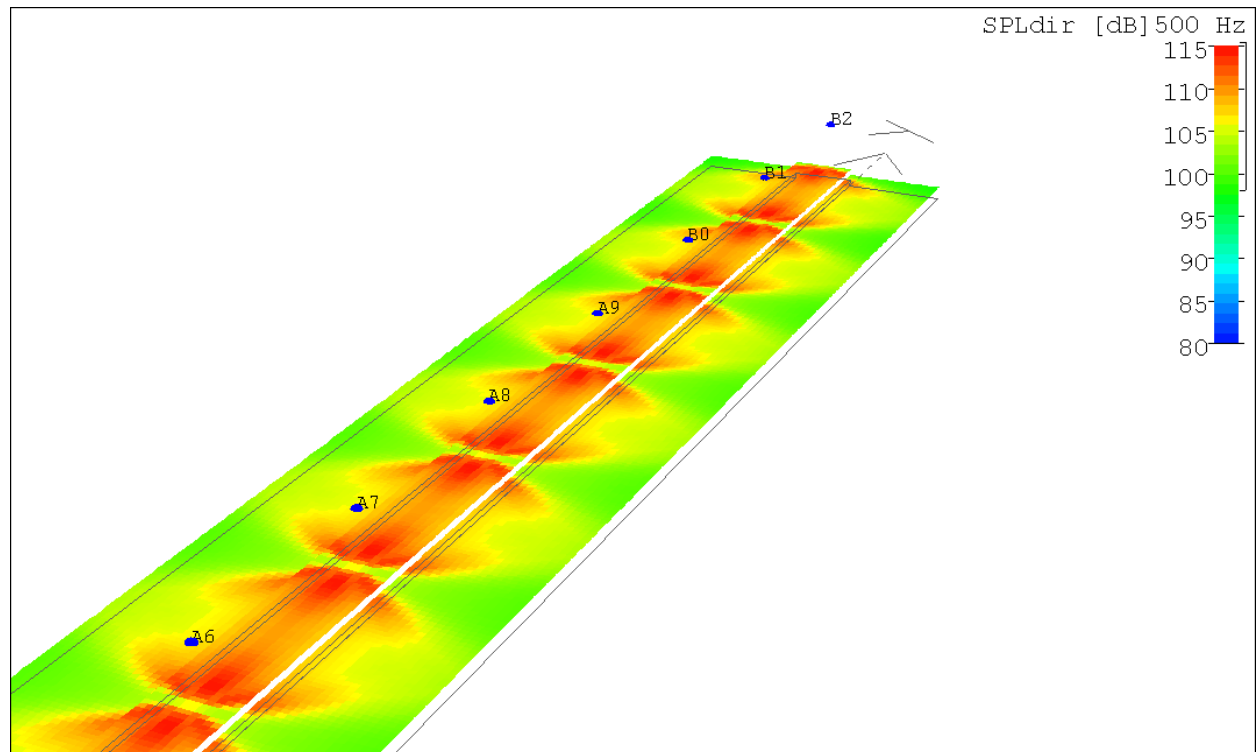
### 5.1.1 Stazione Tipo 1 - Pressione sonora

Nelle seguenti immagini vengono riportati i risultati della pressione sonora in campo diretto con i diffusori pilotati con una potenza di 20 watts.

SPLdir [dB] 500 Hz

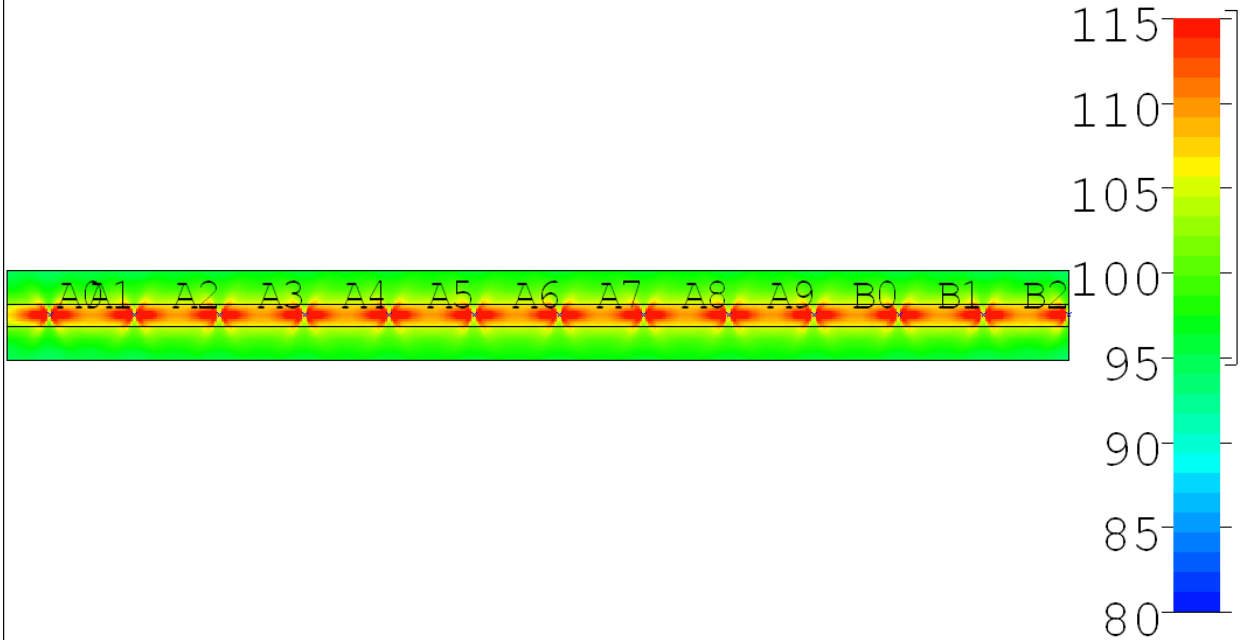


Stazione tipo 1- Pressione sonora SPL diretta a 500 Hz, vista dall'alto

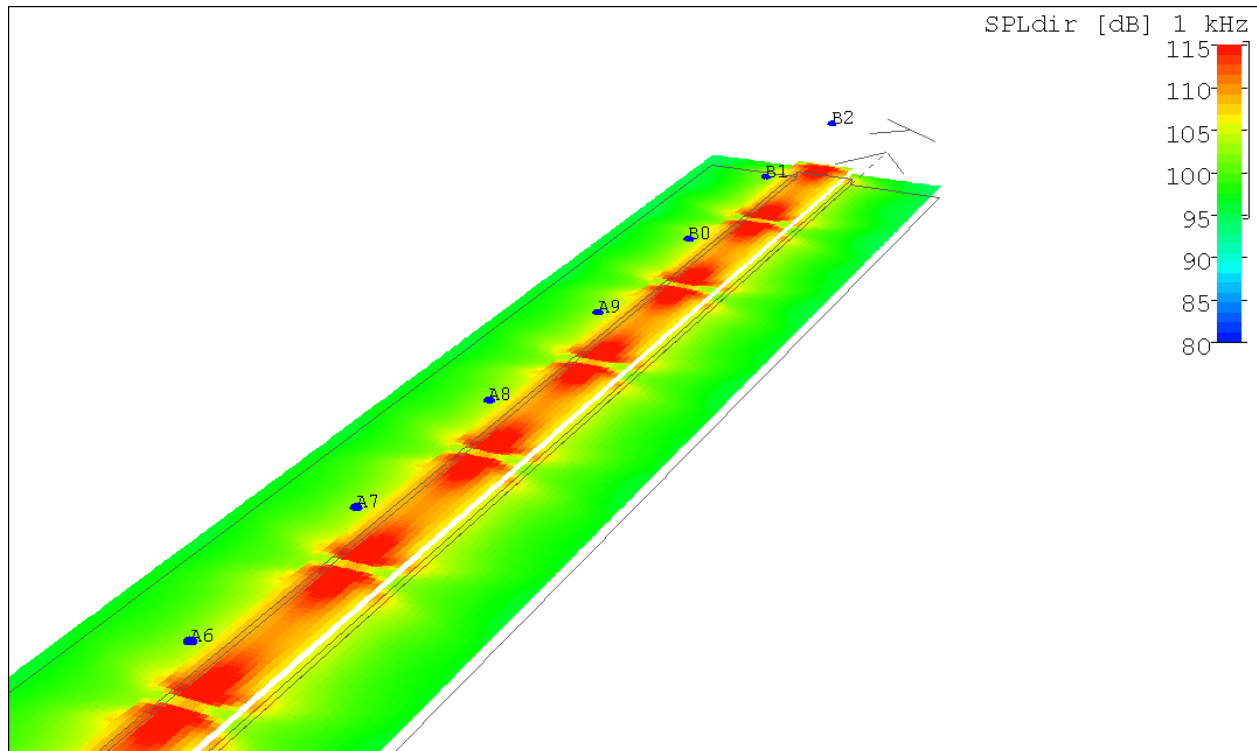


Stazione tipo 1- Pressione sonora SPL diretta a 500 Hz, vista 3D

SPLdir [dB] 1 kHz

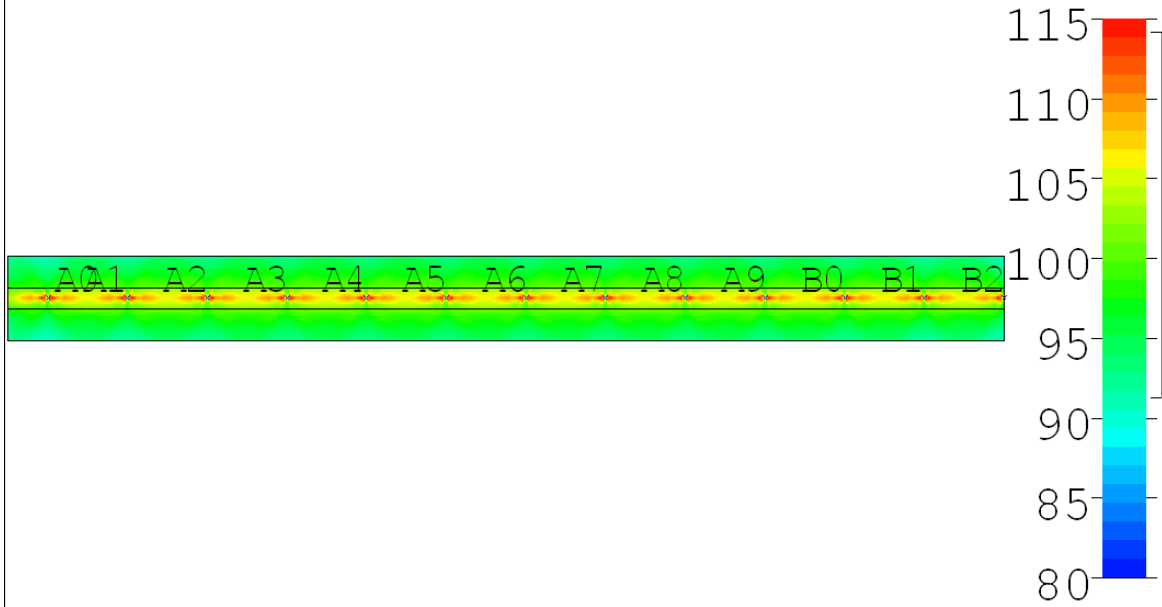


Stazione tipo 1- Pressione sonora SPL diretta a 1 KHz, vista dall'alto

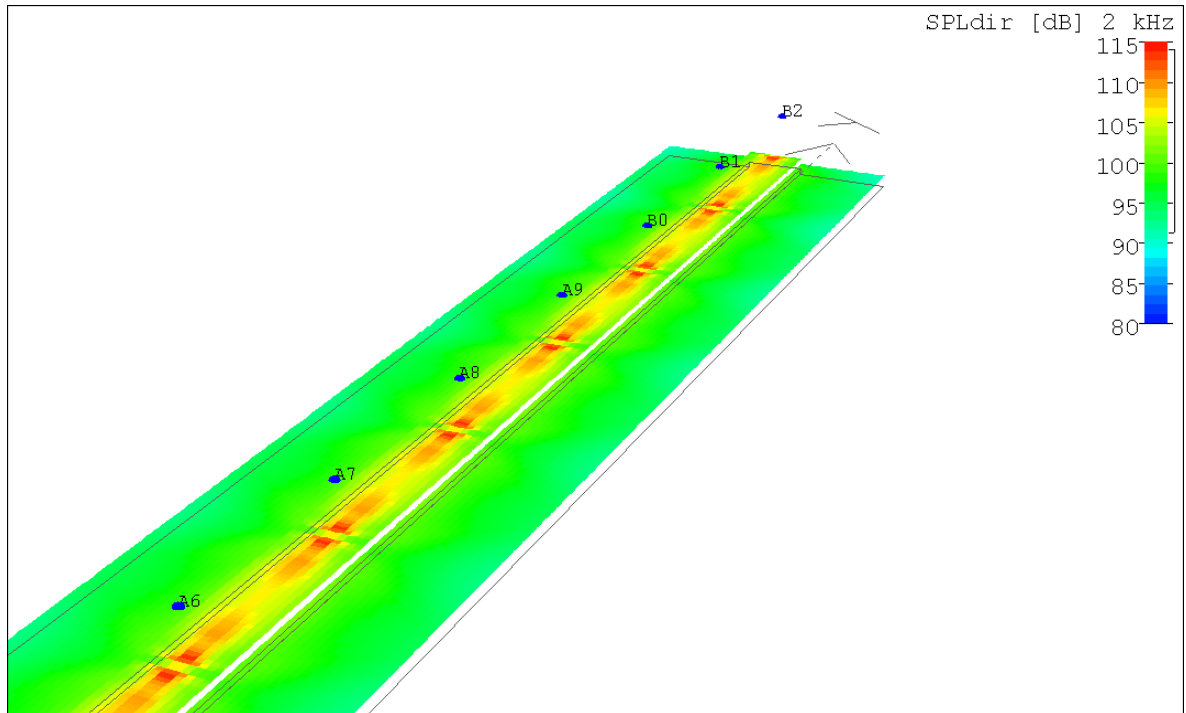


Stazione tipo 1- Pressione sonora SPL diretta a 1KHz, vista 3D

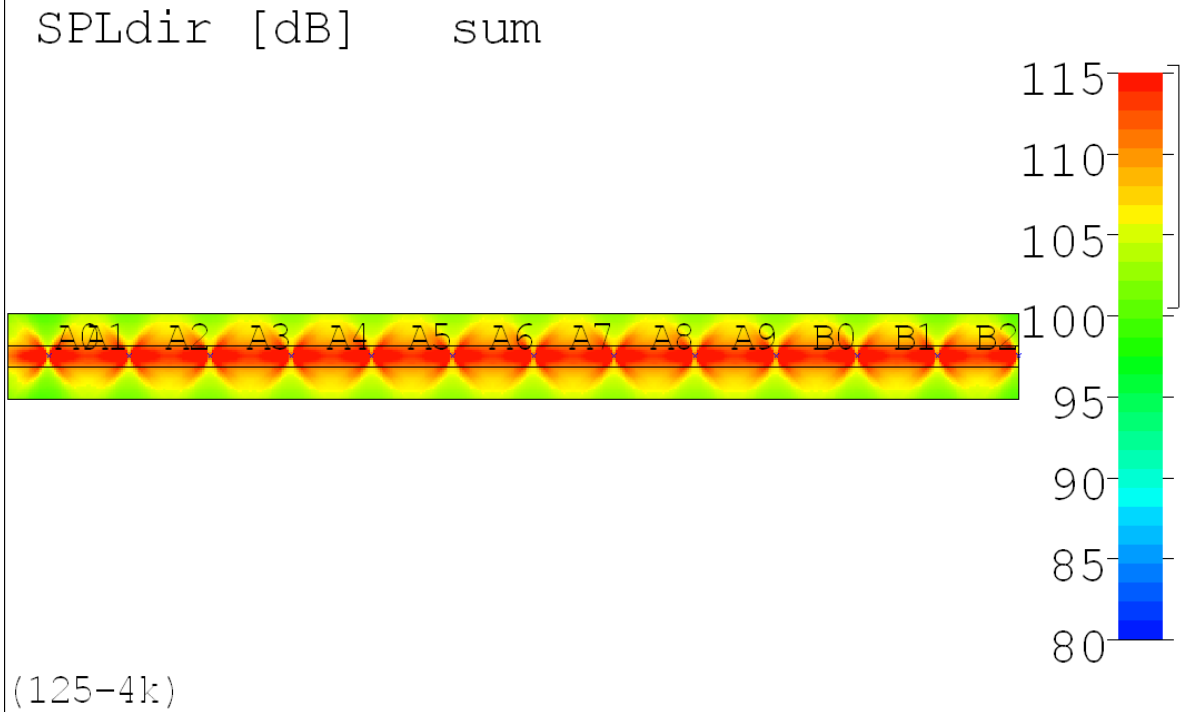
SPLdir [dB] 2 kHz



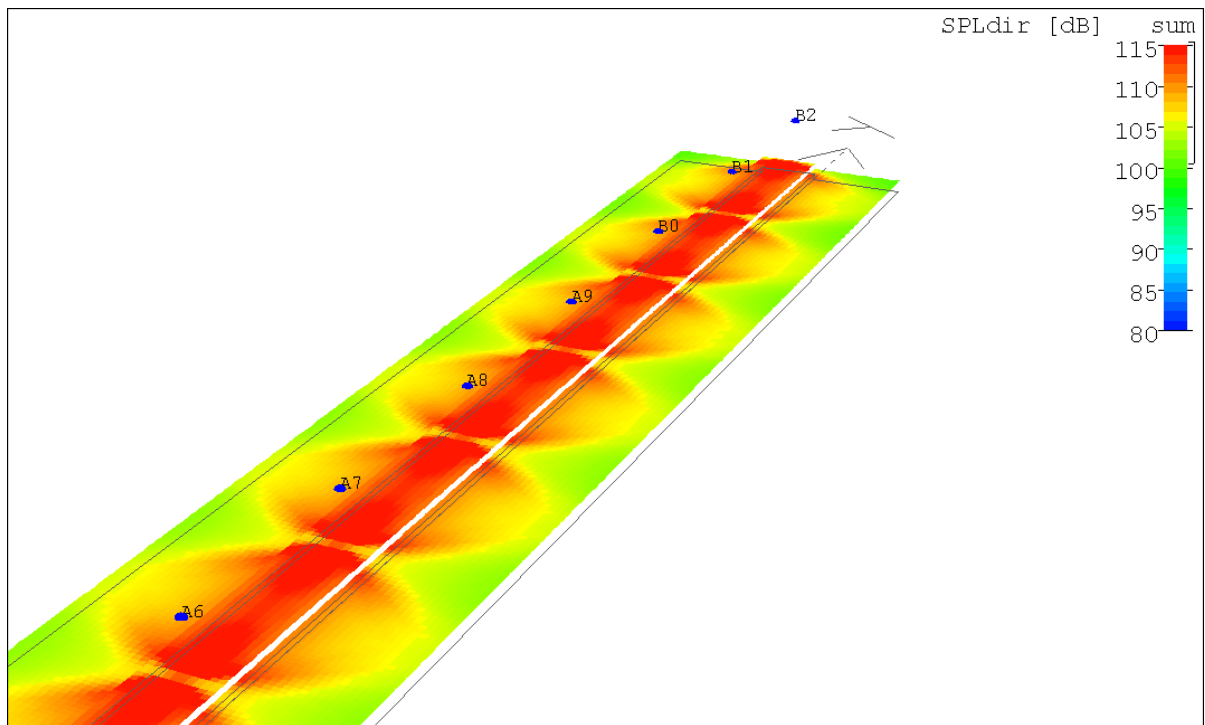
Stazione tipo 1- Pressione sonora SPL diretta a 2KHz, vista dall'alto



Stazione tipo 1- Pressione sonora SPL diretta a 2KHz, vista 3D



Stazione tipo 1- Pressione sonora SPL diretta a tutte le frequenze 125-4Khz, vista dall'alto

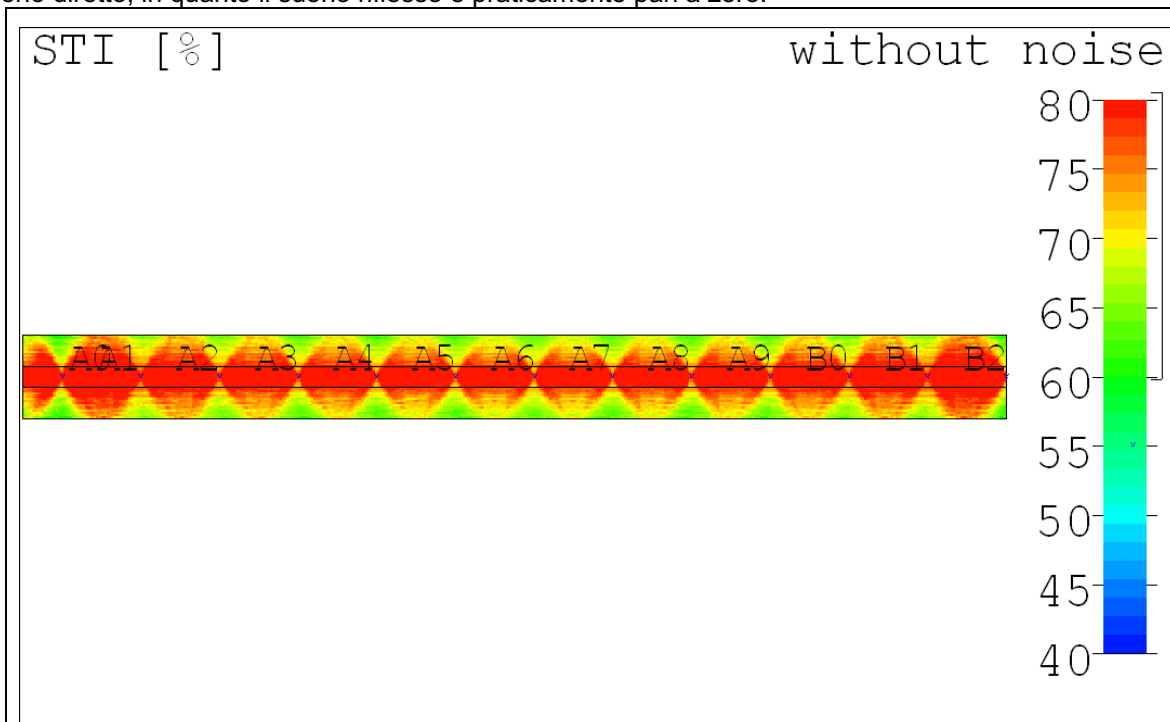


Stazione tipo 1- Pressione sonora SPL diretta a tutte le frequenze 125-4Khz, vista 3D

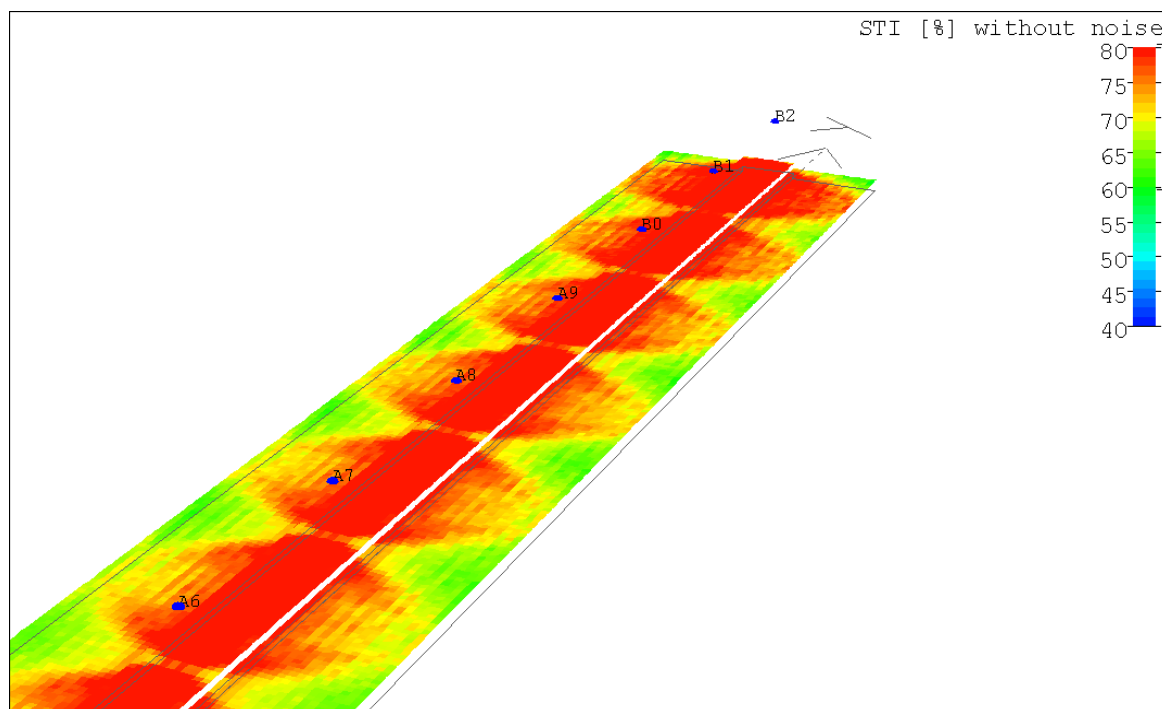


### 5.1.2 Stazione Tipo 1 - Intelligibilità

Le seguenti immagini riportano i valori d'intelligibilità stimate con i diffusori previsti dal progetto proposto. I valori risultano essere elevati; questo è dato dal fatto che siamo in ambiente aperto e che l'ascoltatore riceve il suono diretto, in quanto il suono riflesso è praticamente pari a zero.



Stazione tipo 1- Intelligibilità alla parola STI , vista dall'alto



Stazione tipo 1- Intelligibilità alla parola STI , vista 3D

## 5.2 Stazione Tipo 2 – Singolo marciapiede con pensilina

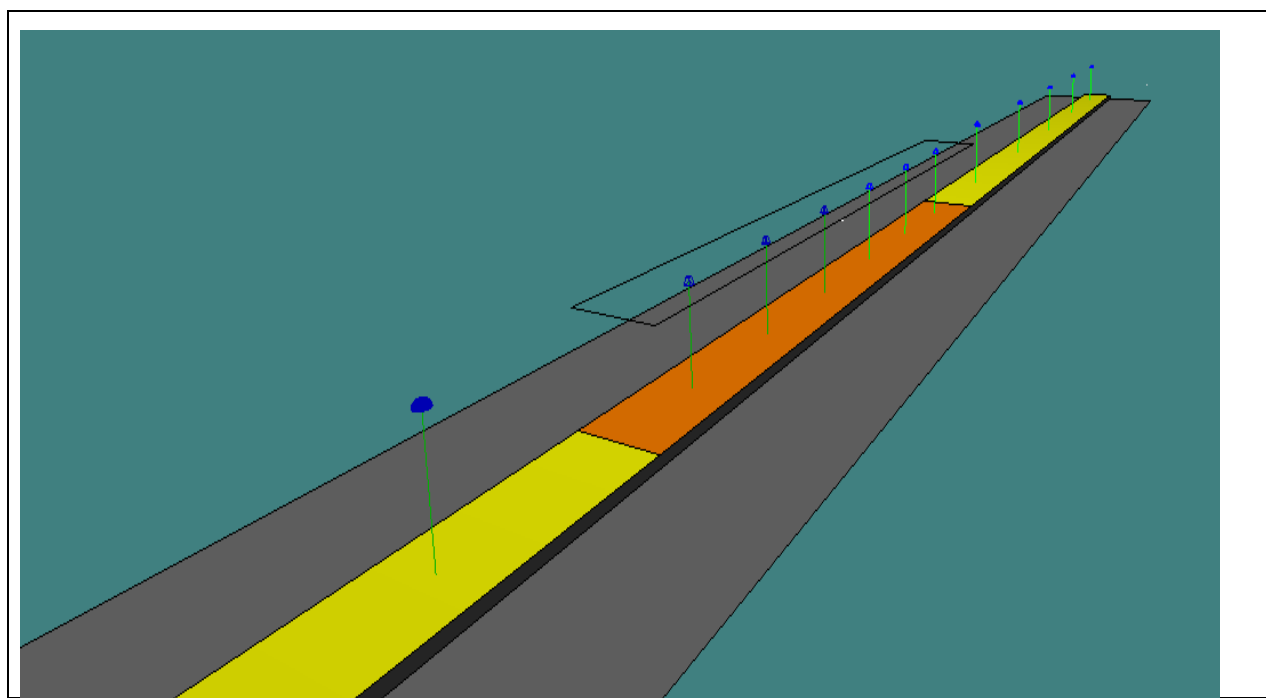
La seconda tipologia di stazione presa in considerazione è relativa ad un solo marciapiede scoperto con al centro una pensilina coperta.

Nella realizzazione del solido si è sviluppato un marciapiede con lunghezza pari a 250 metri ed una larghezza di 5 metri. Ai lati del marciapiede sono state disegnate due aree relative ai binari per una larghezza di 8 metri su ogni lato.

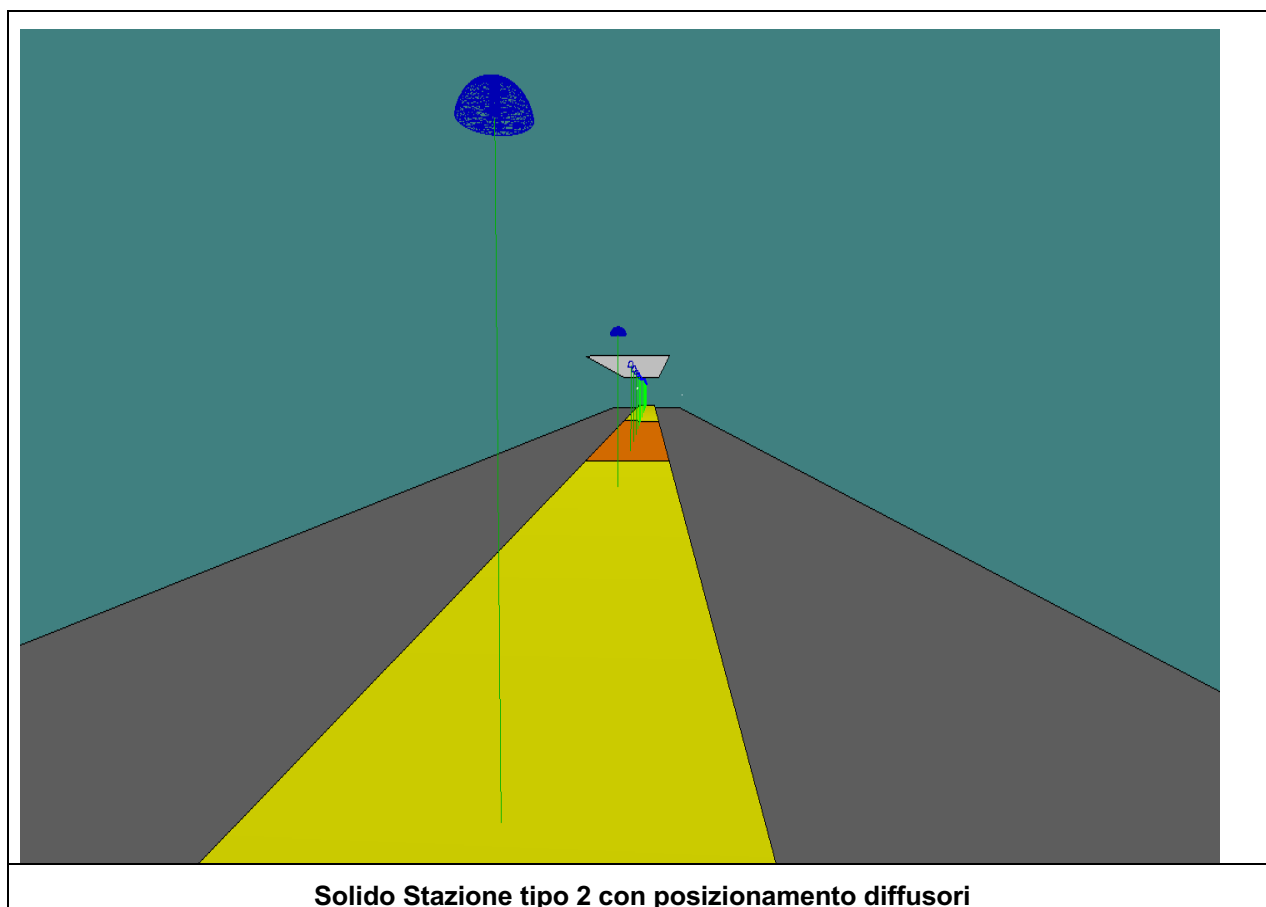
Al centro di ogni marciapiede è stata disegnata una pensilina coperta, della stessa larghezza del marciapiede

In questa simulazione sono stati posizionati per tutta l'area scoperta dei diffusori installati su ipotetico palo ad una distanza tra un palo e l'altro di 20 metri; nella pensilina invece sono stati collocati i diffusori a colonna COLW81 equidistanti tra loro ad 8 metri.

Dunque, si vedranno 12 diffusori, con le relative dispersioni.



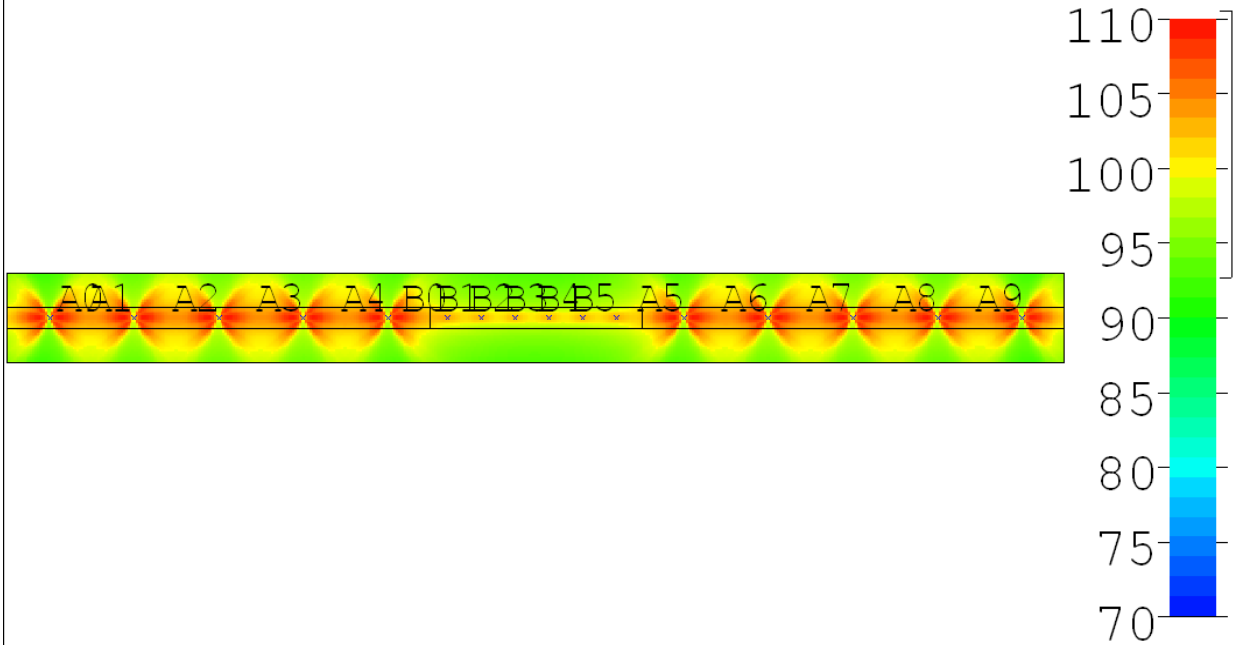
Solido Stazione tipo 2 con posizionamento diffusori



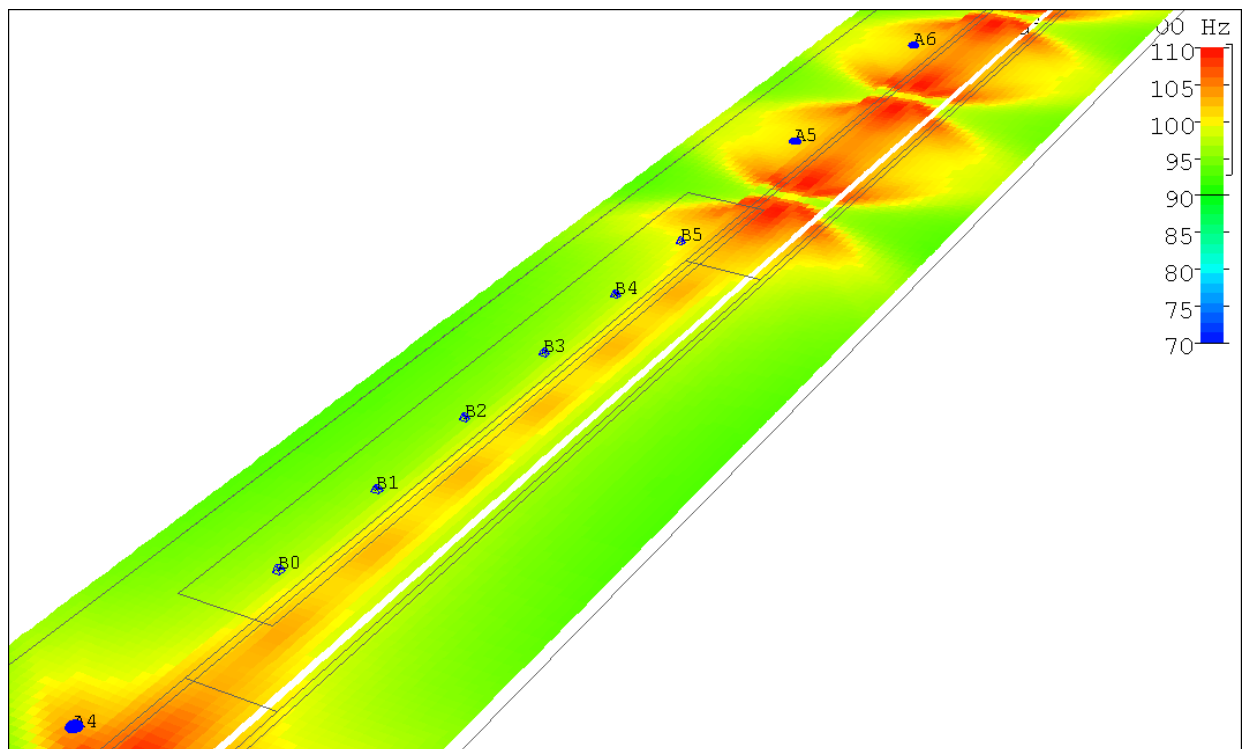
### 5.2.1 Stazione Tipo 2 - Pressione sonora

Nelle seguenti immagini vengono riportati i risultati della pressione sonora in campo diretto con i diffusori DIVU901 sui pali esterni pilotati con una potenza di 10 watts ed i diffusori sottopensilina con una potenza di 20 watts.

SPLdir [dB] 500 Hz

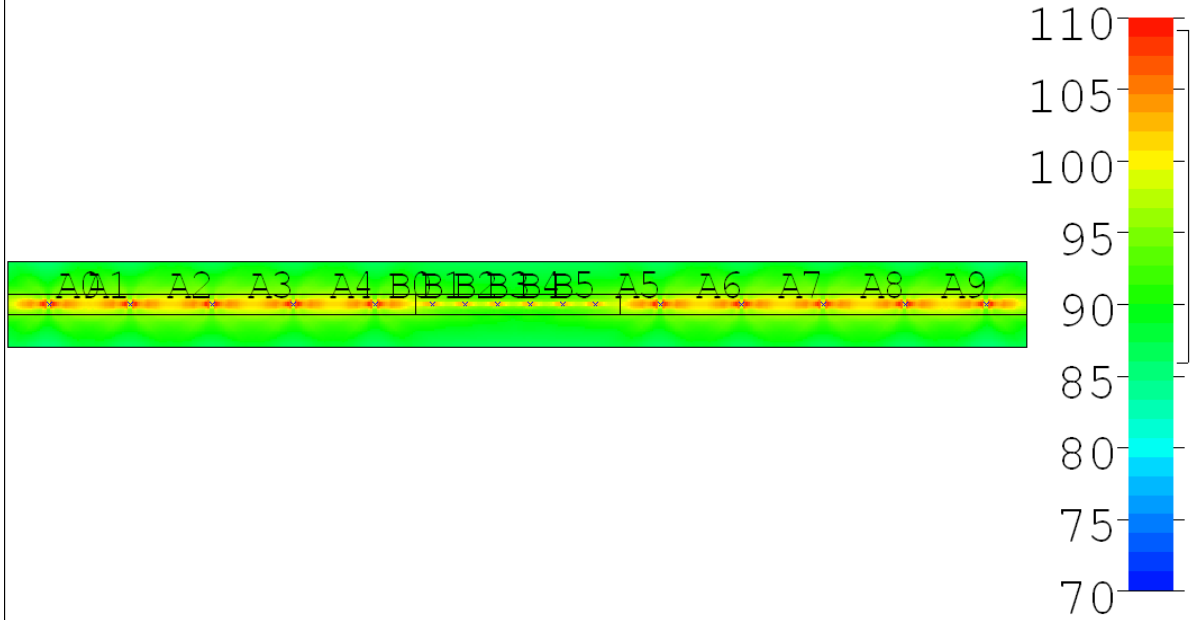


Stazione tipo 2 - Pressione sonora SPL diretta a 500 Hz, vista dall'alto

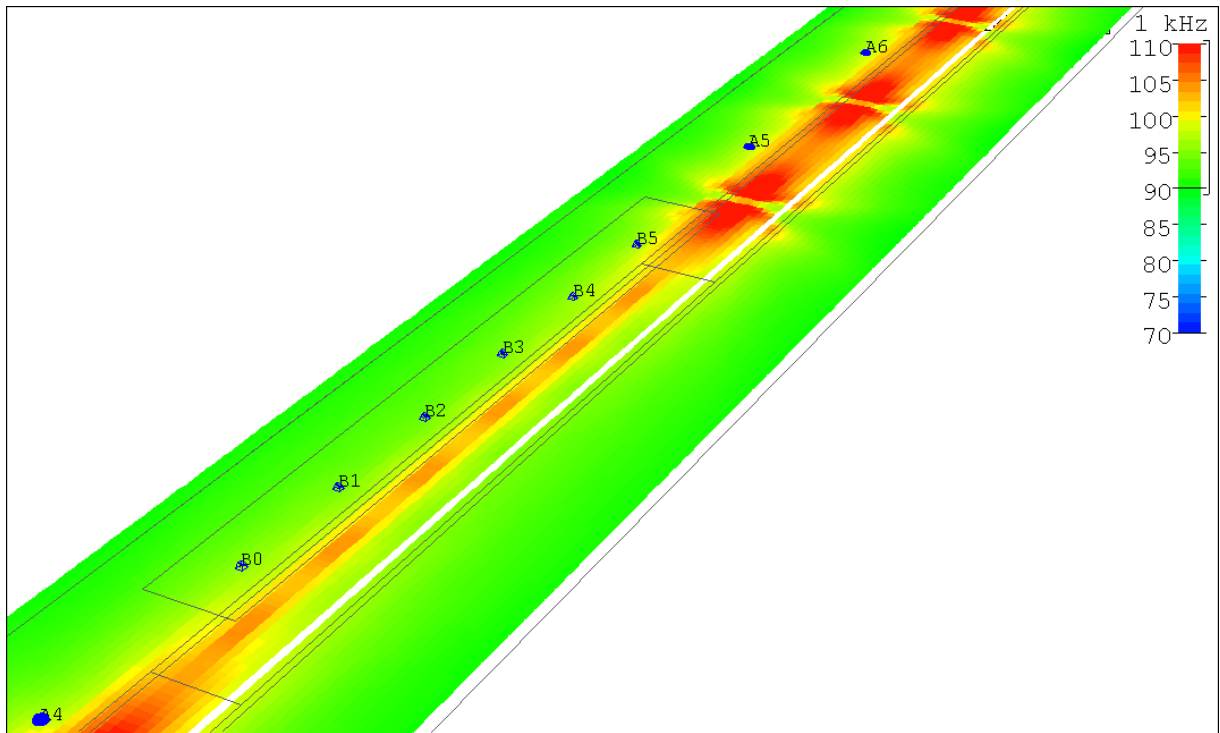


Stazione tipo 2 - Pressione sonora SPL diretta a 500 Hz, vista 3D

SPLdir [dB] 2 kHz

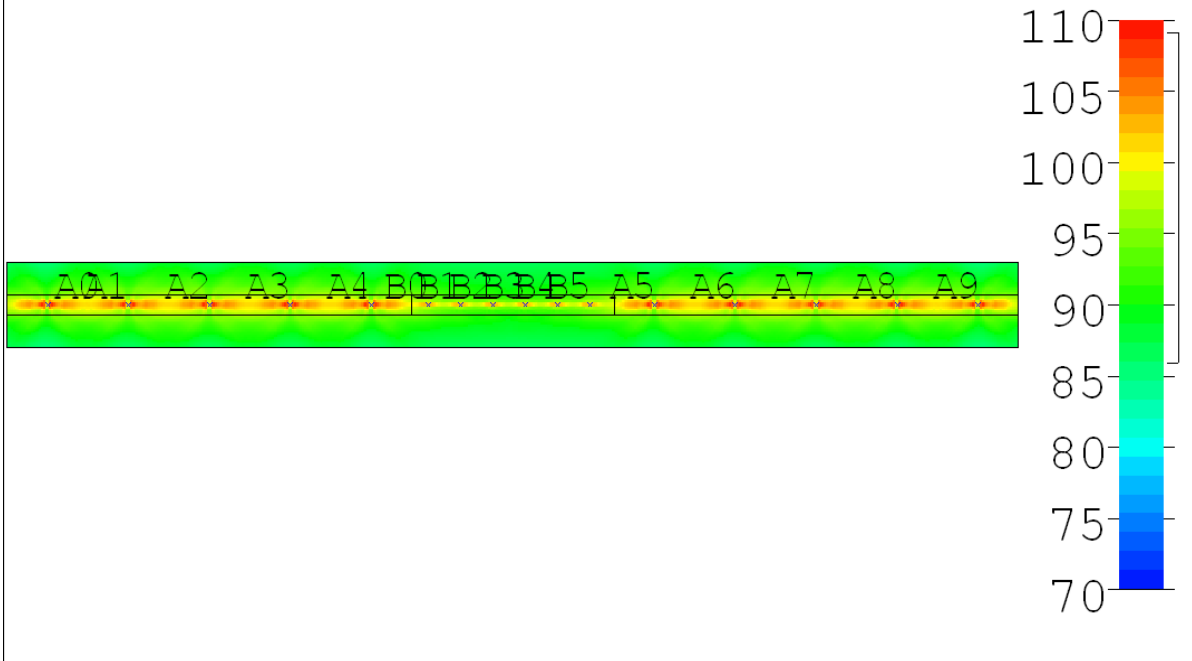


Stazione tipo 2 - Pressione sonora SPL diretta a 1 KHz, vista dall'alto

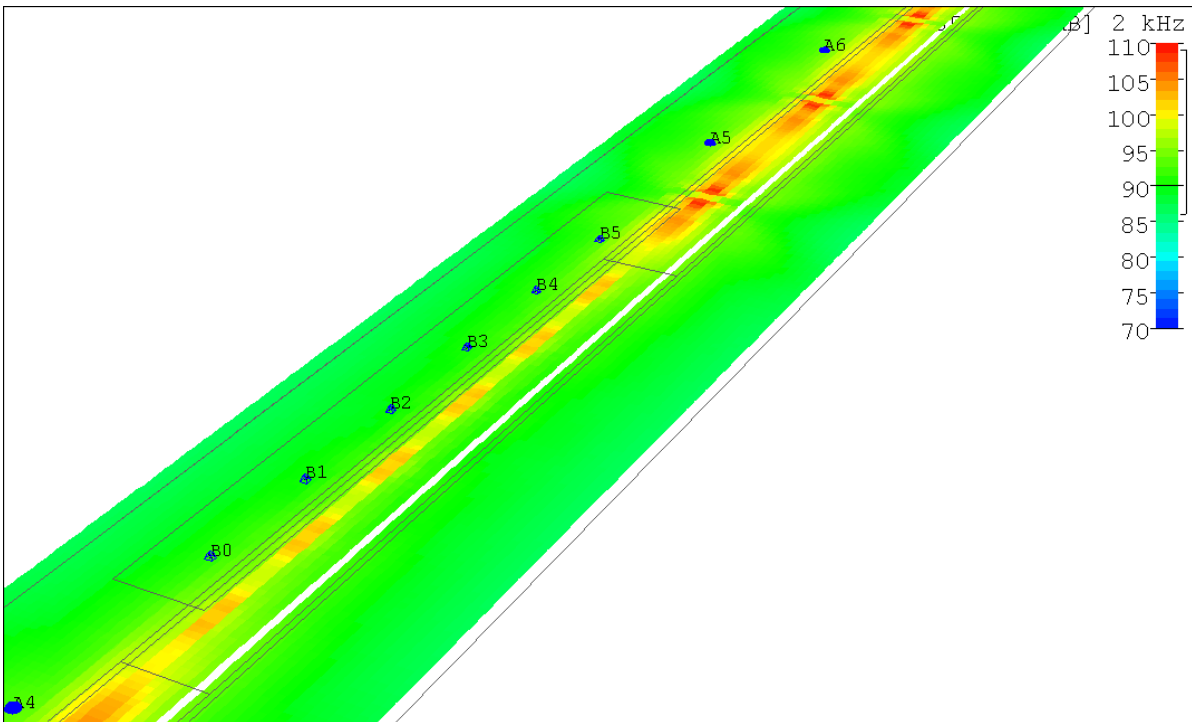


Stazione tipo 2 - Pressione sonora SPL diretta a 1 KHz, vista 3D

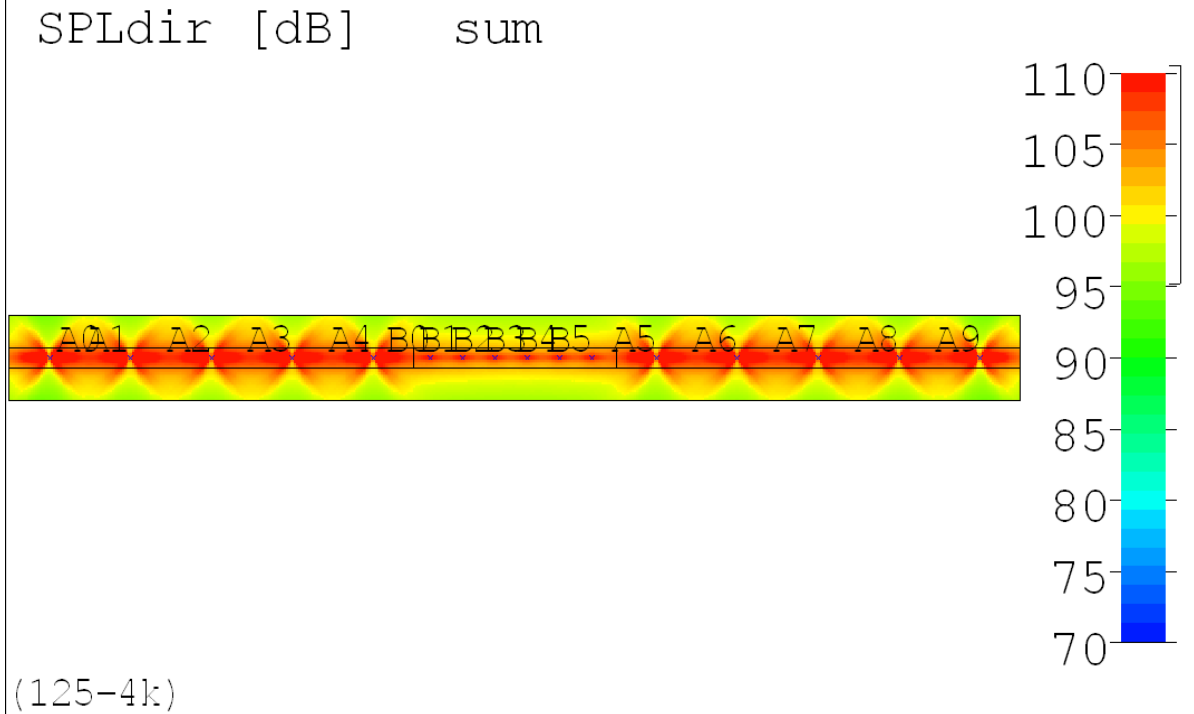
SPLdir [dB] 2 kHz



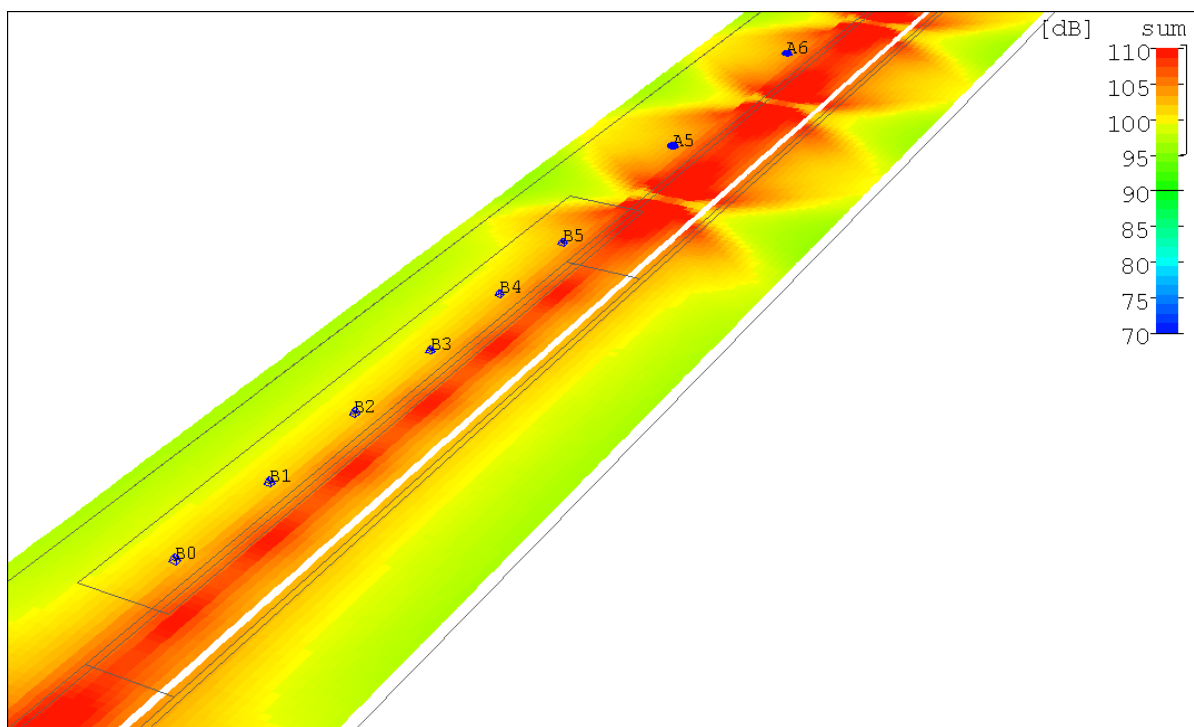
Stazione tipo 2 - Pressione sonora SPL diretta a 2 KHz, vista dall'alto



Stazione tipo 2 - Pressione sonora SPL diretta a 2 KHz, vista 3D



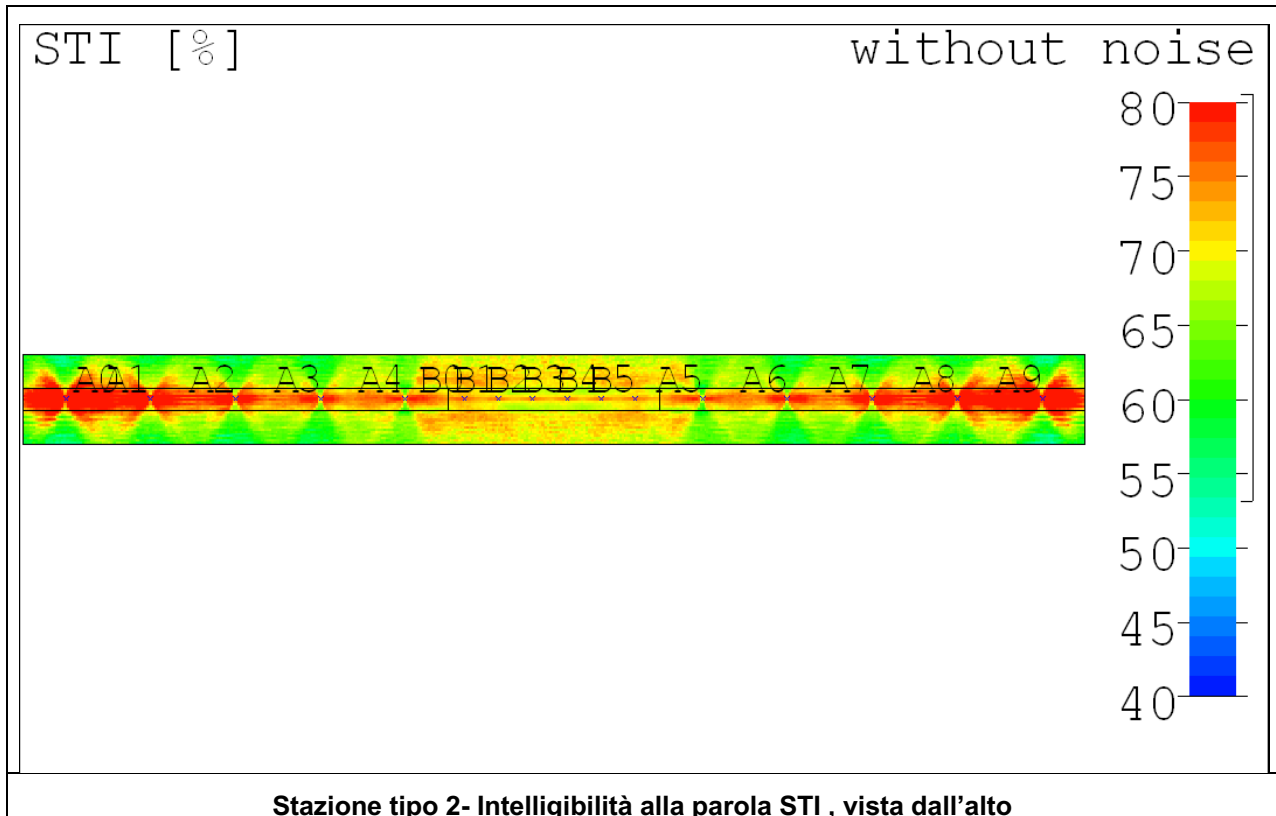
Stazione tipo 2 - Pressione sonora SPL diretta a tutte le frequenze 125-4Khz, vista dall'alto



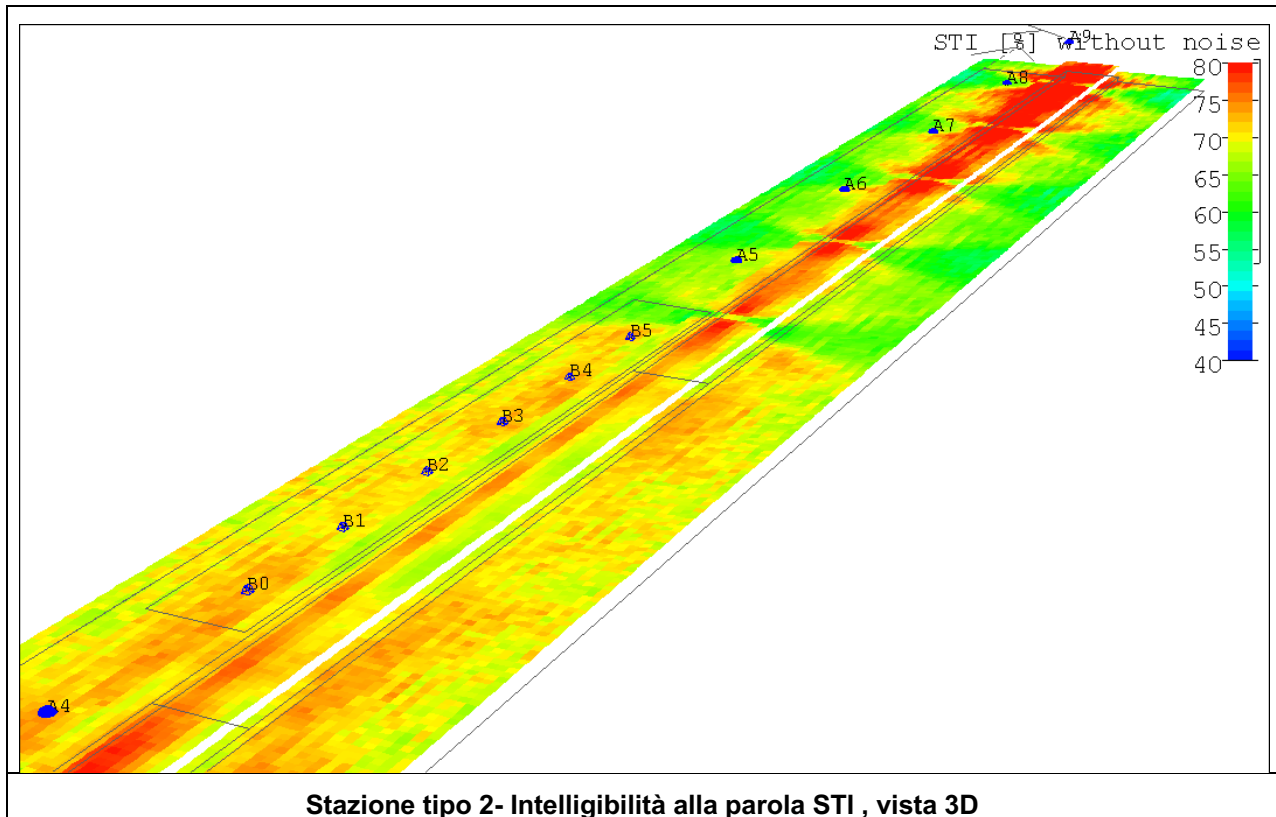
Stazione tipo 2 - Pressione sonora SPL diretta a tutte le frequenze 125-4Khz, vista 3D

### 5.2.2 Stazione Tipo 2 - Intelligibilità

Le seguenti immagini riportano i valori d'intelligibilità stimate con i diffusori previsti dal progetto proposto. I valori risultano essere elevati; questo è dato dal fatto che siamo in ambiente aperto e che non l'ascoltatore riceve il suono diretto, in quanto il suono riflesso è praticamente pari a zero.







### 5.3 Stazione Tipo 3 – Doppio marciapiede con pensilina su ogni marciapiede

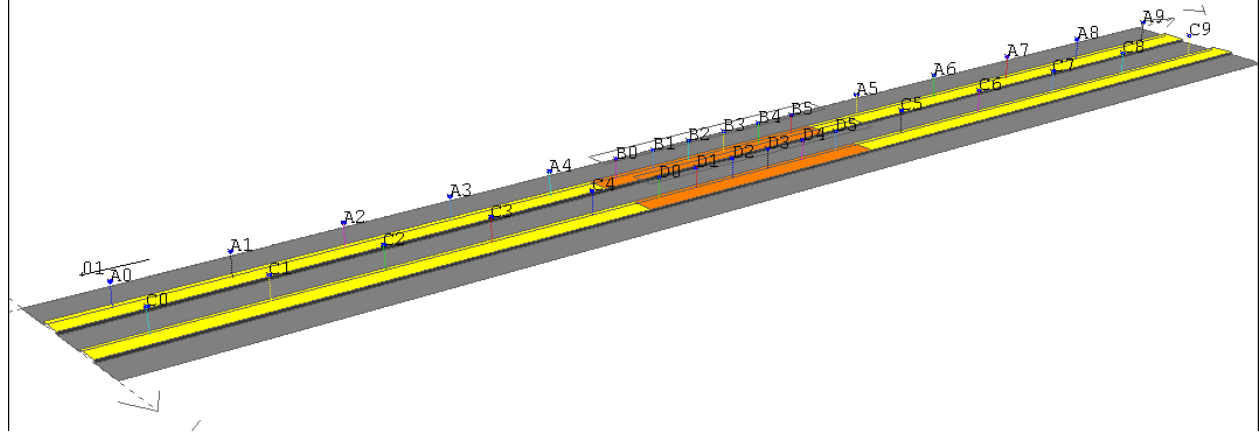
La terza tipologia di stazione presa in considerazione è relativa ad un due marciapiedi scoperti con al centro una pensilina coperta.

Nella realizzazione del solido si è sviluppato un marciapiede con lunghezza pari a 250 metri ed una larghezza di 5 metri. Ai lati dei due marciapiedi sono state disegnate due aree relative ai binari per una larghezza di 8 metri su ogni lato; tra i due marciapiedi è stato ugualmente disegnato uno spazio per i binari di 8 metri

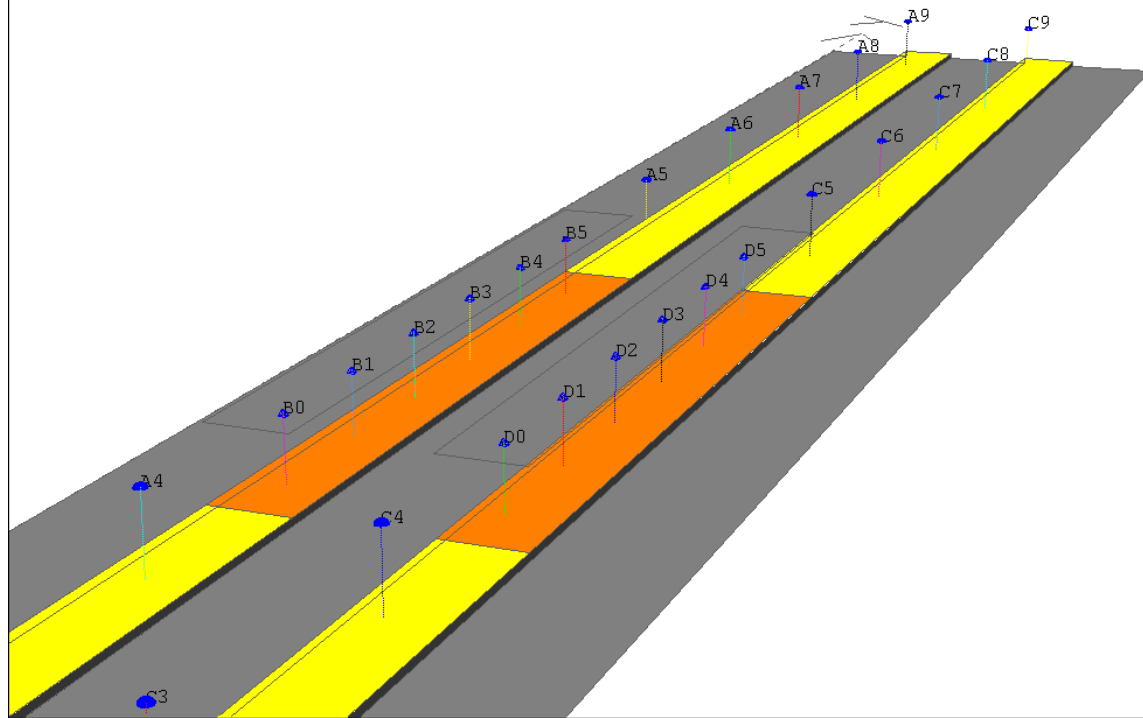
Al centro di ogni marciapiede è stato disegnata una pensilina coperta, della stessa larghezza del marciapiede

In questa simulazione sono stati posizionati per tutta l'area scoperta dei diffusori installati su ipotetico palo ad una distanza tra un palo e l'altro di 20 metri; nella pensilina invece sono stati collocati i diffusori a colonna COLW81 equidistanti tra loro ad 8 metri.

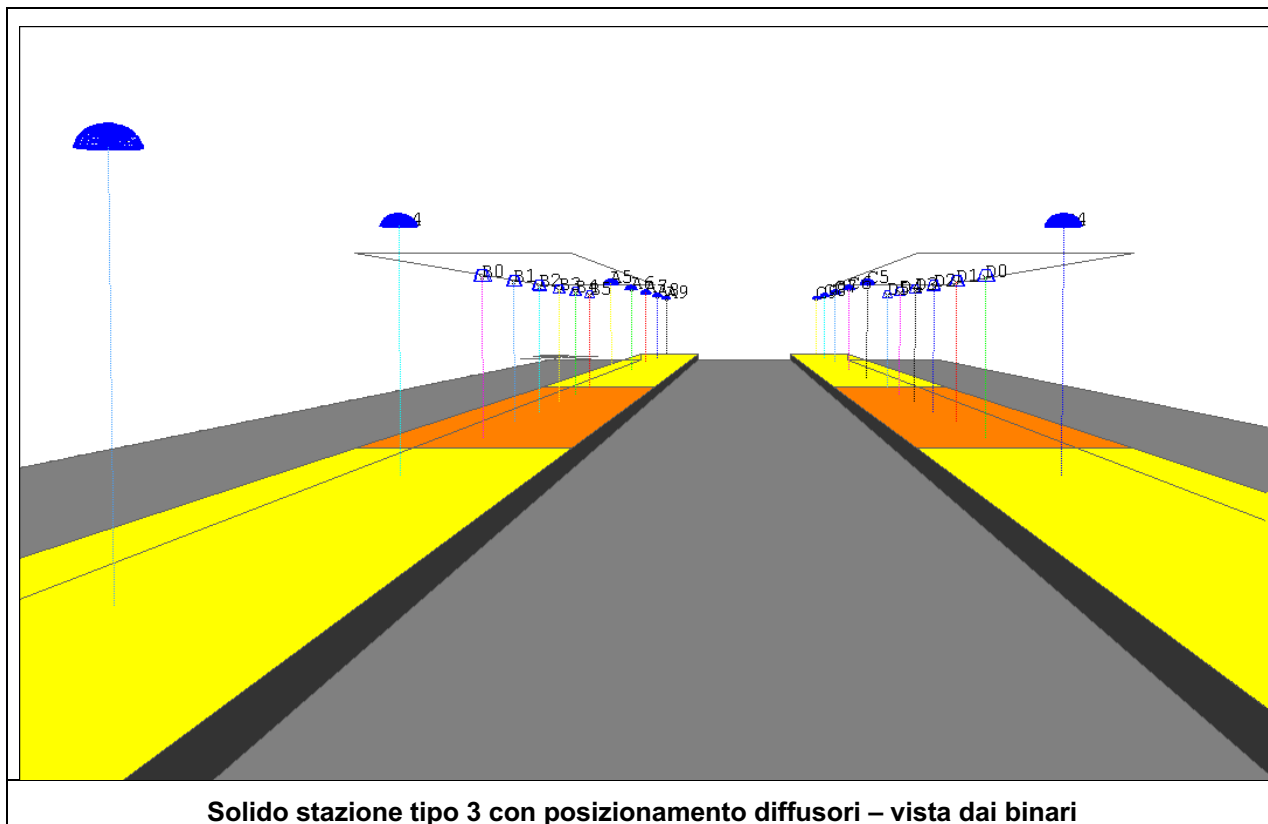
Dunque, si vedranno 10+10 diffusori su pali esterni ed altri 6+6 diffusori sotto le pensiline (per ogni marciapiede)



**Solido stazione tipo 3 con posizionamento diffusori**



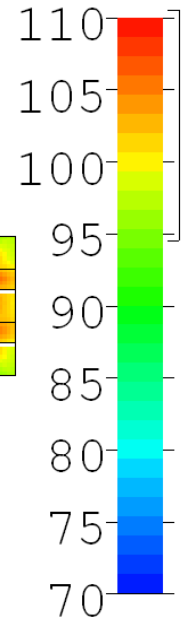
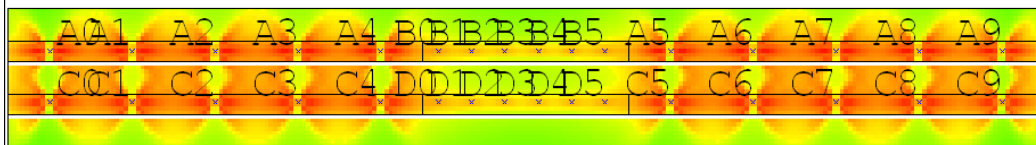
**Solido stazione tipo 3 con posizionamento diffusori**



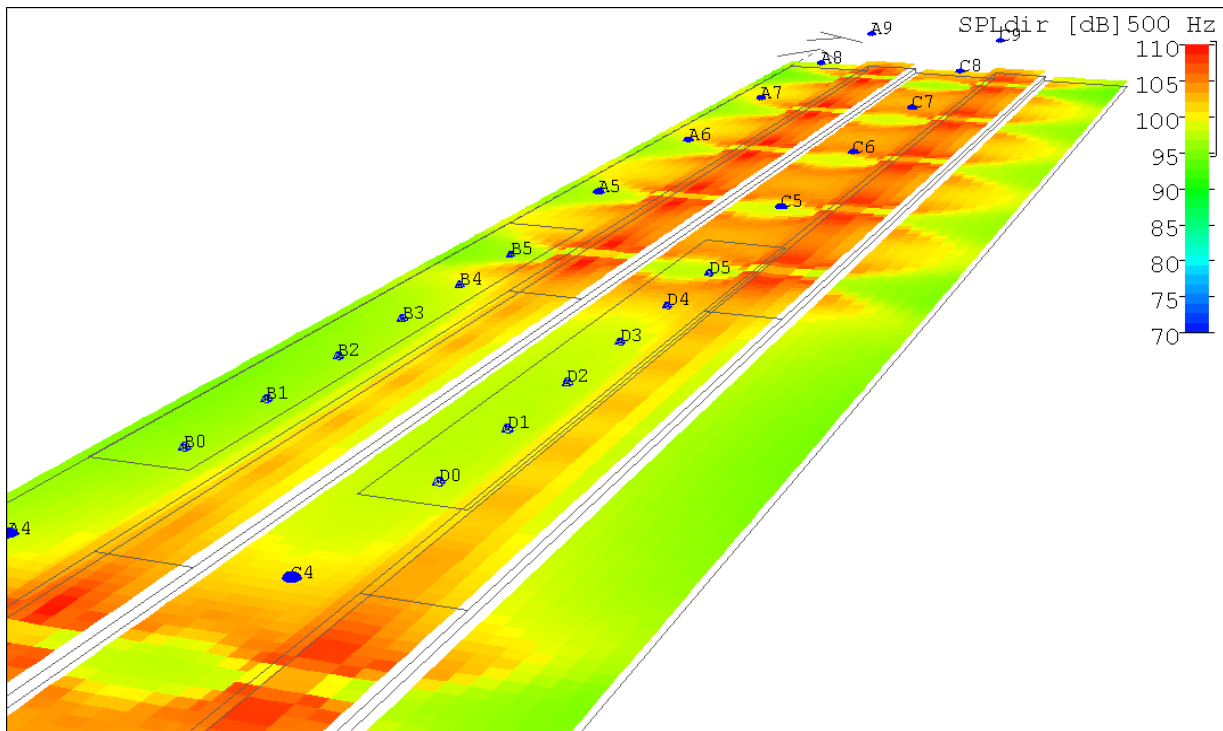
### 5.3.1 Stazione Tipo 3 - Pressione sonora

Nelle seguenti immagini vengono riportati i risultati della pressione sonora in campo diretto con i diffusori DIVU901 sui pali esterni pilotati con una potenza di 10 watts ed i diffusori sottopensilina con una potenza di 20 watts.

SPLdir [dB] 500 Hz

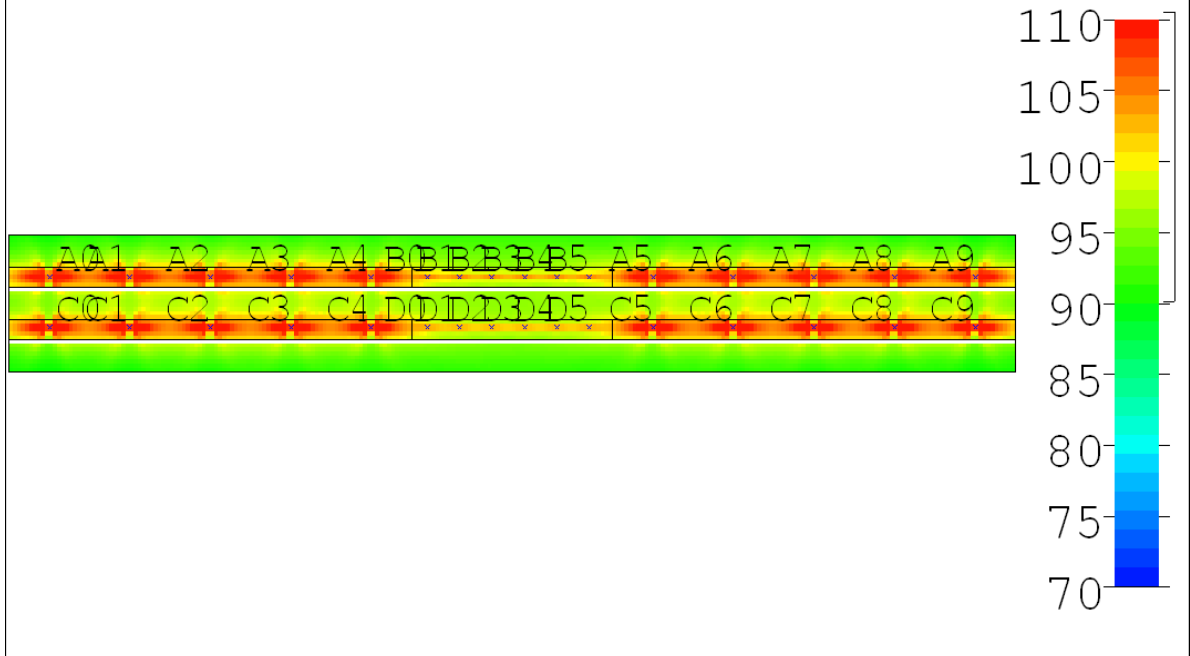


Stazione tipo 3- Pressione sonora SPL diretta a 500 Hz, vista dall'alto

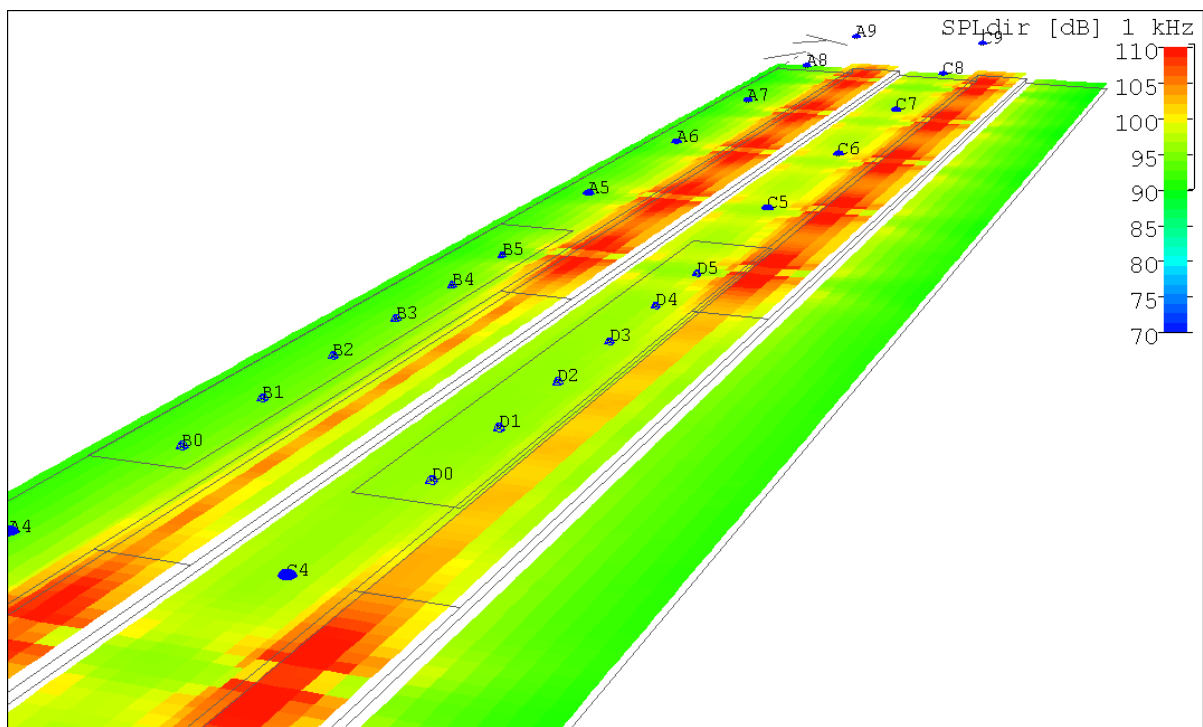


Stazione tipo 3- Pressione sonora SPL diretta a 500 Hz, vista 3D

SPLdir [dB] 1 kHz

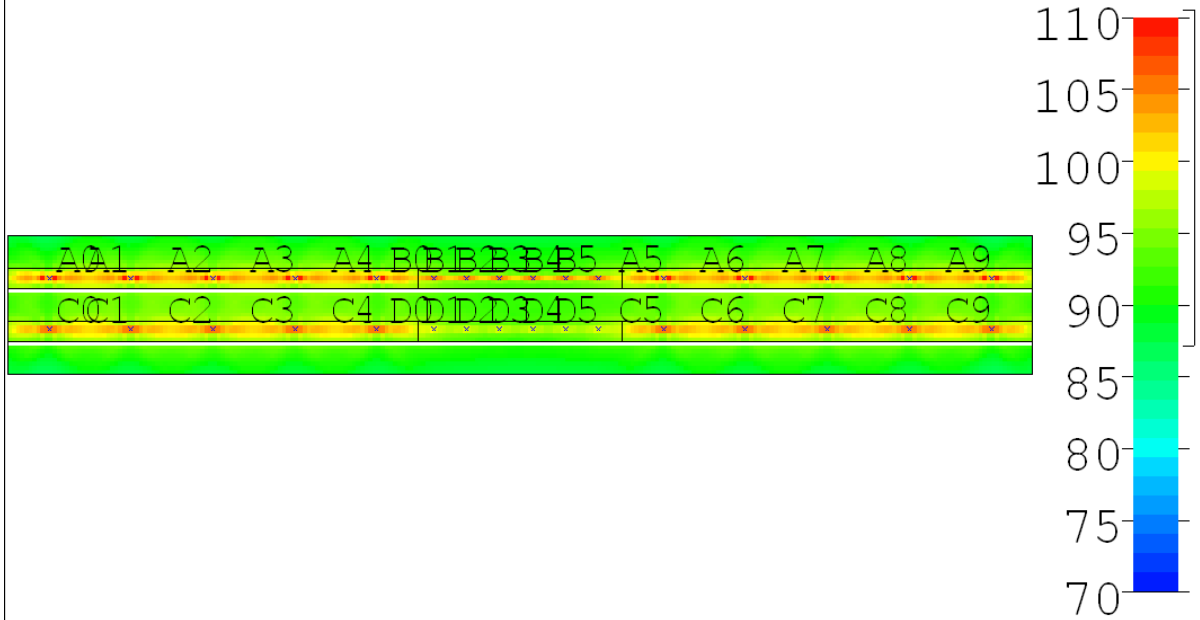


Stazione tipo 3- Pressione sonora SPL diretta a 1 KHz, vista dall'alto

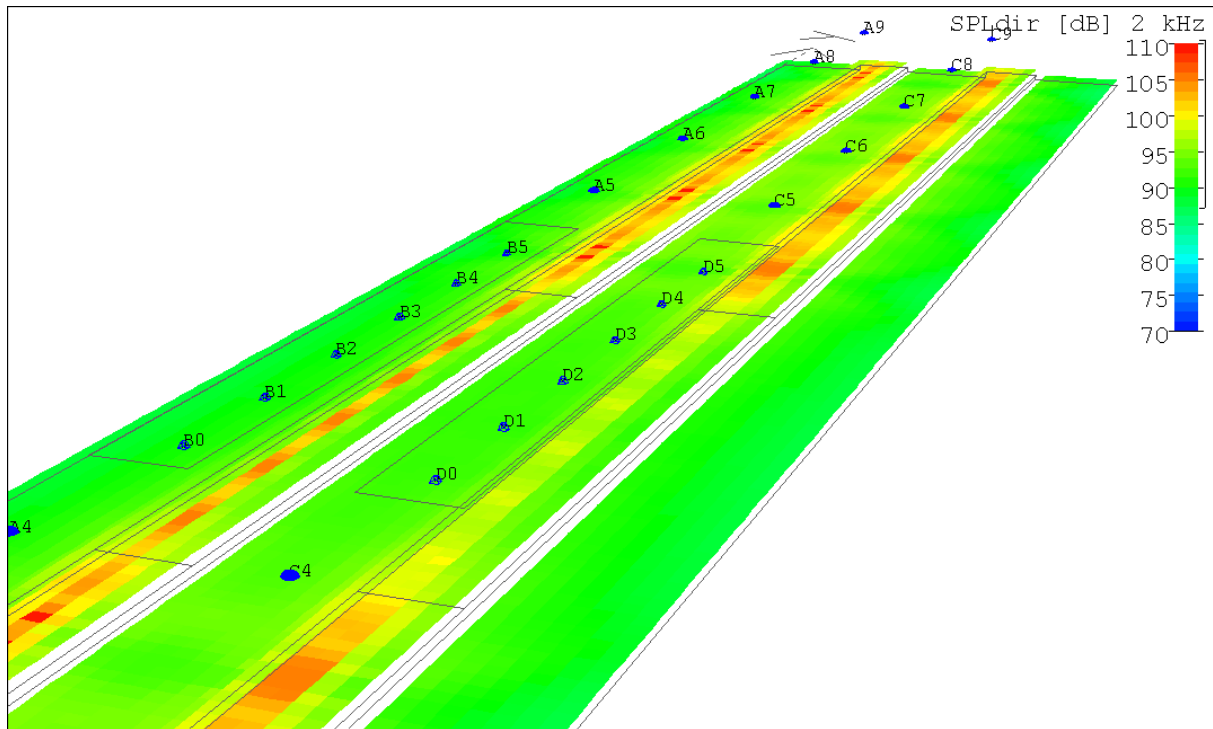


Stazione tipo 3- Pressione sonora SPL diretta a 1 kHz, vista 3D

SPLdir [dB] 2 kHz

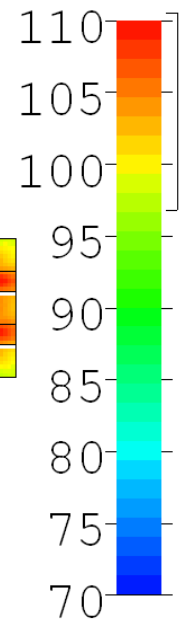
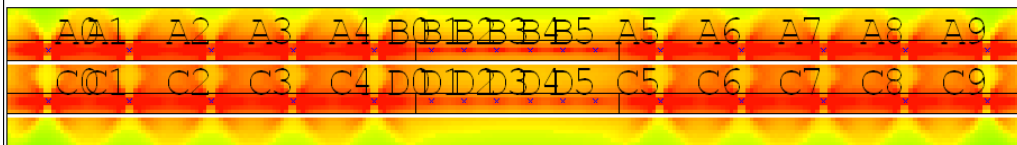


Stazione tipo 3- Pressione sonora SPL diretta a 2 KHz, vista dall'alto



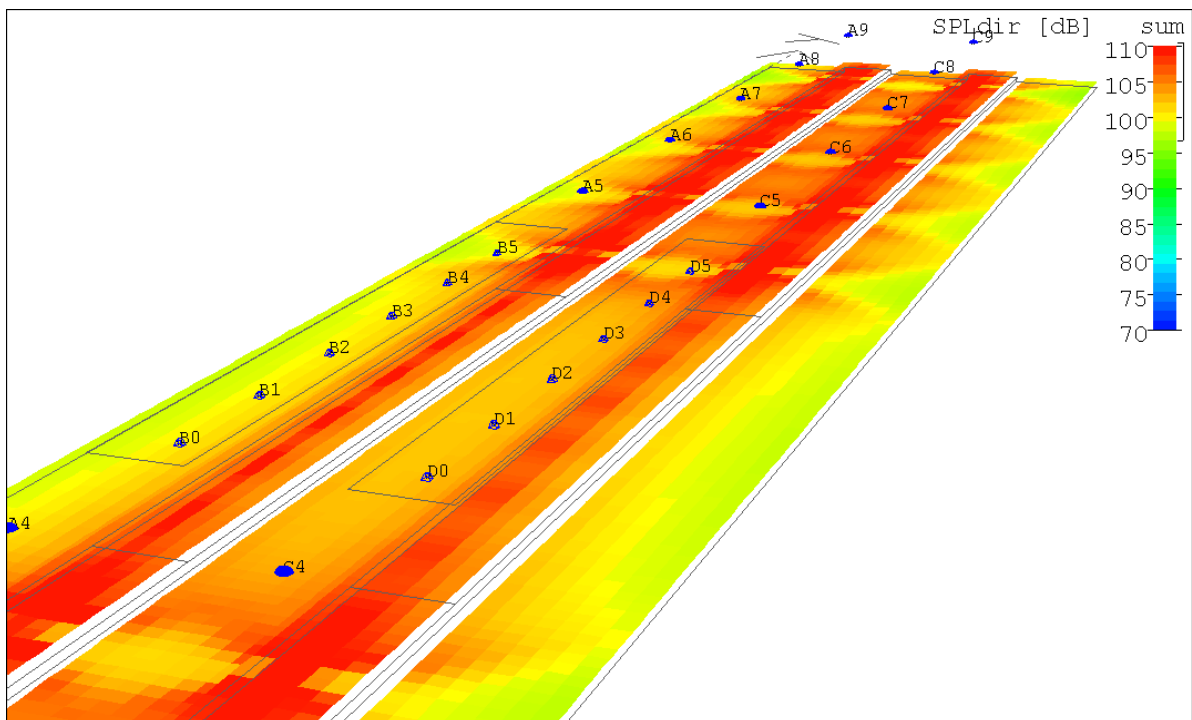
Stazione tipo 3- Pressione sonora SPL diretta a 2 kHz, vista 3D

SPLdir [dB] sum



(125-4k)

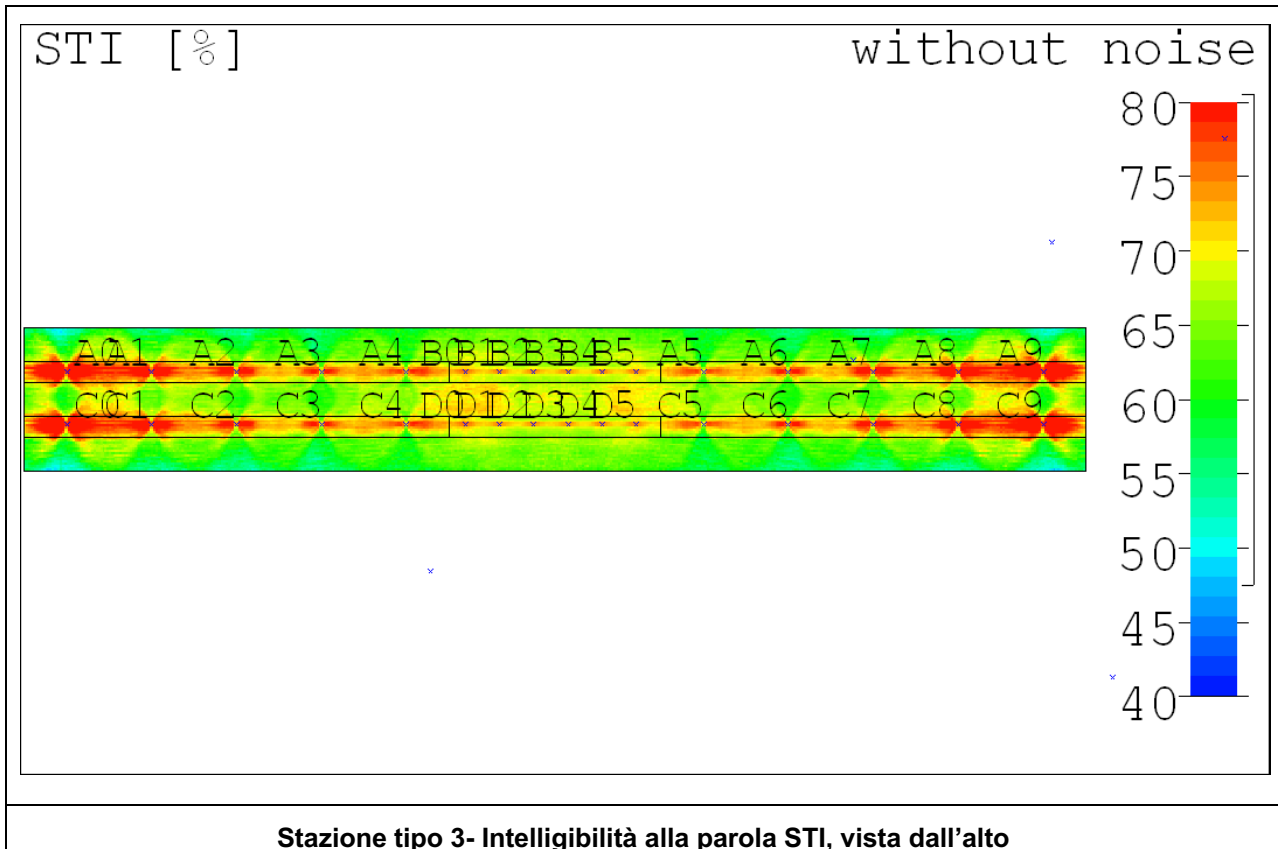
Stazione tipo 3- Pressione sonora SPL diretta a tutte le frequenze 125-4Khz, vista dall'alto



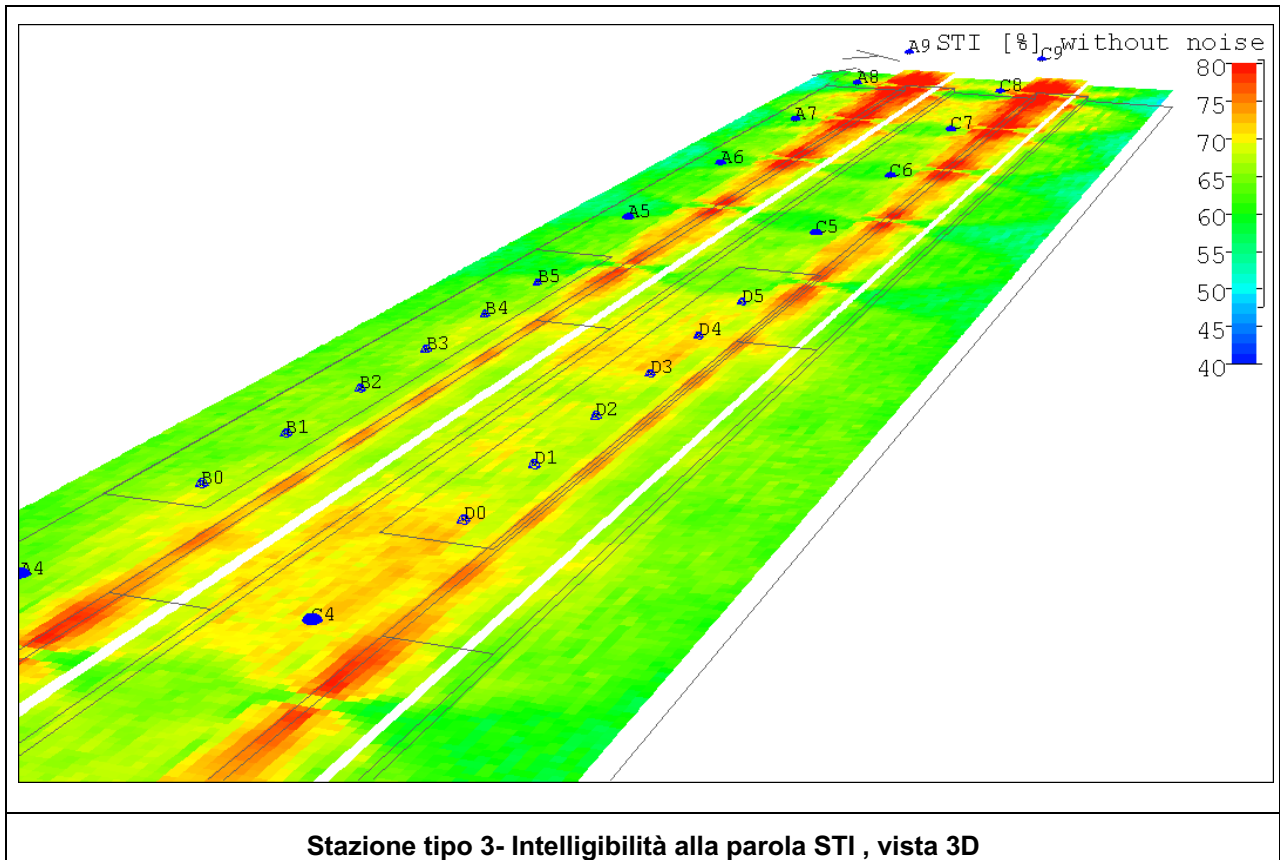
Stazione tipo 3- Pressione sonora SPL diretta a tutte le frequenze 125-4Khz, vista 3D

### 5.3.2 Stazione Tipo 3 - Intelligibilità

Le seguenti immagini riportano i valori d'intelligibilità stimate con i diffusori previsti dal progetto proposto. I valori risultano essere elevati; questo è dato dal fatto che siamo in ambiente aperto e che non l'ascoltatore riceve il suono diretto, in quanto il suono riflesso è praticamente pari a zero.







## 6 CONCLUSIONI

Nei precedenti capitoli sono state riportate le simulazioni di tre tipologie di stazione.

Nella realtà ogni stazione ha alcuni elementi che la differenziano dalle altre in particolare il numero e la lunghezza dei marciapiedi e delle pensiline.

Tuttavia è del tutto plausibile considerare che stazioni con marciapiedi più lunghi possano ottenere lo stesso risultato, ovviamente aumentando il numero dei diffusori mantenendo lo stesso passo d'installazione.

Nel caso di marciapiedi più corti vale lo stesso principio, riducendo il numero dei diffusori ma mantenendo lo stesso interasse tra un diffusore e l'altro.

Nel caso delle pensiline, ogni stazione ha tipologia e dimensioni di pensilina diverse.

Per quanto riguarda la lunghezza delle pensiline vale lo stesso principio dei marciapiedi, che risulta sufficiente aumentare o diminuire il numero dei diffusori a colonna, mantenendo l'interasse tra i diffusori, per ottenere lo stesso risultato. Le variazioni di altezza delle pensiline delle diverse stazioni sono piuttosto contenute (pochi decimetri), per cui questo parametro influenza in misura minimale nelle simulazioni.

In merito alla larghezza delle pensiline, esiste una stazione dove la pensilina risulta molto larga. In questo caso, nel progetto sono state previste due file di diffusori a colonna, per poter irradiare in modo uniforme su tutta la larghezza del marciapiede.