spea autostrade | ingegneria europea

INTEGRAZIONI ISTRUTTORIA VIA

CDED 22: STUDIO PROPAGAZIONE RUMORE

SLURRYDOTTO

NODO STRADALE E AUTOSTRADALE DI GENOVA
ADEGUAMENTO DEL SISTEMA A7 – A10 – A12

PROGETTO DEFINITIVO

autostrade per l'italia

INDICE

1 PREMESSA 3

2 CARATTERISTICHE ACUSTICHE DELLO SLURRYDOTTO 4

2.1 Premessa 4

2.2 Determinazione delle frequenze proprie del condotto 5

2.3 Definizione della dimensione del corpo impattante 5

2.4 Determinazione degli spostamenti della parete sotto l'impatto 6

2.5 Determinazione dell'intensità acustica 6

3 VALUTAZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO 9

4 CONCLUSIONI 14

Allegati:

Allegato 1: Intensità acustica di funzionamento dello slurrydotto

Allegati 2:Simulazioni acustiche

1 PREMESSA

La Commissione tecnica VIA del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), nella nota DVA-2012-0002060 del 27/01/2012, ha richiesto di "*effettuare uno studio sulla propagazione del rumore nell'intorno della condotta dello slurrydotto, per il periodo del cantiere, con riferimento ai possibili recettori acustici presenti nell'area di interesse"* (punto 1.28).

Anche la Regione Liguria, nel Parere n. 270 del 25/10/2011 formulato dal Comitato tecnico Regionale per il territorio – Sezione per la Via (allegato alla DGR 1345 del 11/11/11), ha richiesto la valutazione del rumore indotto dall'esercizio dello slurrydotto. In particolare, ha segnalato "*l'esigenza di una specifica valutazione dell'impatto acustico sui possibili ricettori, da intendersi, questi ultimi, come quei fabbricati nei quali si svolgano attività produttive o comunque sia prevista una permanenza per periodi prolungati della giornata e per i quali valgono i limiti di legge stabiliti dalla zonizzazione acustica comunale. Per la tutela di tali ricettori dovranno essere adottati tutti gli accorgimenti e le misure di mitigazione da applicarsi alla sorgente acustica, preliminarmente alla richiesta di deroga comunale ai limiti di zona*" (punto 6.26).

La presente relazione è pertanto redatta in risposta al punto 1.28 della richiesta di integrazioni del MATTM, relativa al quadro di riferimento ambientale dello SIA, ed al punto 6.26 delle osservazioni della Regione Liguria.

Si precisa che, rispetto a quanto già riportato nello Studio di Impatto Ambientale, sono stati effettuati degli approfondimenti inerenti l'emissione acustica del sistema Slurrydotto ed è stata considerata la propagazione del rumore indotto sul territorio interessato, in riferimento alla pianificazione acustica comunale.

2 CARATTERISTICHE ACUSTICHE DELLO SLURRYDOTTO

2.1 Premessa

Per quanto concerne il trasporto del materiale di risulta dallo scavo delle gallerie attraverso lo “slurrydotto” e, in particolare, per quanto riguarda i relativi aspetti acustici, si osserva che in Italia la movimentazione dello smarino tramite un “vettore” fluido è una tecnologia innovativa e, allo stato attuale, non sono presenti situazioni analoghe a cui fare riferimento, così come non sono presenti dati di bibliografia significativi.

La stima delle emissioni acustiche per il sistema dello “slurrydotto” è stata effettuata, quindi, mediante un approccio modellistico di massima, cioè, basato su una analisi modale con codice di calcolo FEM (metodo degli elementi finiti, cfr. Allegato 1), tenendo conto di ipotesi di lavoro semplificative, ma comunque rappresentative e tendenti, ai fini di una maggiore cautela nei confronti della popolazione residente, ad un’approssimazione per eccesso del fenomeno.

Il modello considera che il materiale, convogliato e trascinato nel condotto, lo possa mettere in vibrazione percuotendo le sue pareti.

Lo studio si basa, pertanto, sull'assunzione che il suono (o rumore) emesso dallo slurrydotto sia dovuto alle vibrazioni del condotto stesso, secondo i suoi modi fondamentali, eccitati da forzanti esterne, rappresentate dalle percussioni dei corpi solidi, trasportati dal fluido in moto, contro le pareti del tubo. Lo spostamento locale della parete, ad opera dell'impatto, genera una variazione di energia con onde sinusoidali di spostamento.

Conoscendo lo spostamento impresso, si può risalire alla intensità sonora, come di seguito descritto. La procedura prevede i seguenti passaggi (cfr. Allegato 1):

- determinazione delle frequenze proprie del condotto;
- definizione della dimensione del corpo impattante;
- determinazione degli spostamenti della parete sotto l'impatto;
- determinazione dell’intensità acustica.

2.2 Determinazione delle frequenze proprie del condotto

La definizione delle prime (cinque) frequenze proprie del condotto si ottiene con una analisi modale su un modello FEM 3D della tubazione, schematizzata, in questo studio, con un tratto di sette tronchi da 12 metri, di cui quattro in leggera curva piana, per un totale di 84 metri di sviluppo di slurrydotto. Il modello si suppone vincolato agli spostamenti nelle flange.

Per il modello studiato si ricavano le frequenze sotto riportate (dal file di output del codice di calcolo - cfr. Allegato 1).

Tabella 1 – Frequenze di risonanza

	Frequenza		Periodo
N° Modo	rad/s	Hertz	s
1	1.2400E+02	1.9736E+01	5.0669E-02
2	1.2466E+02	1.9840E+01	5.0404E-02
3	1.2601E+02	2.0054E+01	4.9864E-02
4	1.2621E+02	2.0087E+01	4.9782E-02
5	1.2703E+02	2.0217E+01	4.9463E-02

È importante segnalare che queste frequenze sono riferite al tubo pieno, con densità del fluido di 1400 kg/m^3. Tale valore nasce da considerazioni mediate sulla composizione della mistura pompata nel condotto e confrontate con valori della letteratura tecnica nel campo.

2.3 Definizione della dimensione del corpo impattante

In base alle analisi effettuate sulla granulometria dello smarino prodotto da scavi meccanizzati già realizzati in altre realtà, si trova che la pezzatura massima è di 100 - 200 mm ed oscilla mediamente intorno al 10 %.

Tale pezzatura è quella di interesse per lo studio in oggetto; nel modello, cautelativamente, si è assunto 200 mm.

Pertanto, nel modello il corpo impattante è stato schematizzato come una sfera di diametro 200 mm e di materiale cemento di media durezza, che si ritiene compatibile, in termini di durezza, con le pezzature di materiale trasportato.

2.4 Determinazione degli spostamenti della parete sotto l'impatto

Il valore degli spostamenti è stato ottenuto con una analisi transiente su un modello FEM 3D, schematizzando un tronco di condotto lungo 12.000 mm (tratto normale di 12 metri tra le flange di estremità), al cui interno rotola un corpo di diametro 200 mm.

Le condizioni iniziali di analisi sono state impostate come segue:

- velocità x = 3.000 mm/s;
- velocità y = 2.000 mm/s;
- velocità z = -2.400 mm/s (equivalente alla velocità di caduta da 300 mm);
- posizione iniziale del corpo alla estremità libera del tubo ed ad una altezza dal suo fondo di circa 300 mm;
- tubo disposto in orizzontale.

Il tempo di analisi è stato di 4.15 secondi.

I risultati della analisi mostrano che il massimo valore di oscillazione della deformazione per impatto è pari a:

0.0019872 mm.

2.5 Determinazione dell'intensità acustica

L'intensità dell'onda (I) viene calcolata tramite la seguente formula:

$$I = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 a^2$$

in cui:

- ρ = la densità del mezzo in cui si propaga il suono;
- c = la velocità del suono nel mezzo;
- ω = la frequenza propria della vibrazione;
- a = lo spostamento prodotto dalla vibrazione nel mezzo.

Introducendo nella formula i valori relativi al caso in esame (cfr. Allegato 1), ossia:

- ρ = 1.2930 N s^2/m^4, densità dell'aria;
- c = 343 m/s, velocità del suono nell'aria;
- ω = 124 rad/s (ricavata dall'analisi modale eseguita sul tubo – cfr. Tabella 1);
- a = 0.0000019872 m (ricavato dall'analisi modale eseguita sul tubo – cfr. Paragrafo 2.4).

si ottiene l'intensità acustica del singolo impatto:

$$I = 0.000013464 \text{ watt/m}^2$$

Il livello di intensità acustica (L) è dato dalla seguente espressione:

$$L\,(db) = 10 \log_{10} \left(\frac{I_1}{I_0} \right)$$

in cui:

- I_1 = intensità acustica del suono, pari a 0.000013464 watt/m^2 (nel caso in esame - vedi calcoli sopra riportati);
- I_0 = intensità acustica di riferimento, pari a 10^{-12} watt/m^2 (la più bassa intensità acustica percettibile).

Introducendo tali valori nella formula, si ottiene il livello di intensità acustica del singolo impatto:

L = 71.29 db

Sulla base della pezzatura assunta nello studio e delle curve granulometriche prese come riferimento (cfr. Paragrafo 2.3), è stato calcolato il numero di corpi impattanti presenti all'interno del condotto (cfr. Allegato 1).

Per calcolare il livello di intensità acustica dello slurrydotto occorre effettuare delle ipotesi di contemporaneità degli urti delle masse presenti all'interno del condotto.

Se si assume che tutte le onde sonore siano in fase all'interno del condotto, ossia che tutti i corpi impattino contemporaneamente contro le pareti del tubo, si ottiene (cfr. Allegato 1):

L = 113.64 db

Tale ipotesi è chiaramente molto poco verosimile. Più realisticamente, si potrebbe ipotizzare una contemporaneità di impatto pari al 50% dei corpi trascinati. In questo caso (cfr. Allegato 1) si avrebbe il seguente valore del livello di intensità acustica:

L = 89.42 db

Si precisa che tale ipotesi e quindi il valore così calcolato risultano molto cautelativi. Nella realtà, infatti, il fenomeno è governato dalla totale aleatorietà della sequenza di impatti, sicuramente mai contemporanei, ma sequenziali con legge indeterminata; in tali condizioni, le onde procedono sfasate tra loro; alcune di esse potrebbero essere anche in opposizione di fase, il che comporterebbe, per tali condizioni, assenza di suono.

3 VALUTAZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO

In base a quanto sopra riportato, se si considera, in prima approssimazione, lo spazio di trasmissione del suono con caratteristiche di "campo libero", è lecito equiparare il livello di intensità ($L_{(I)}$) con quello di pressione acustica ($L_{(P)}$), ossia porre:

$$L_{(I)} \approx L_{(P)}$$

Inoltre, considerando le caratteristiche di bassa frequenza e, in particolare, di frequenza rappresentativa della soglia media di udibilità (20 hz), a favore di sicurezza non viene applicata la pesatura della curva "A" e si considera, quindi, che il livello di pressione costante in prossimità del condotto sia, appunto, di circa 90 decibel.

Dato che siamo in presenza di una sorgente lineare, l'attenuazione con la distanza può essere approssimata in ragione del logaritmo della distanza ottenendo il seguente schema di livelli acustici.

Tabella 2 – Valori di emissione del condotto

	Distanza in metri							
	10	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**150**	**200**
Livello dB	79,5	76,5	74,7	73,5	72,5	69,5	67,7	66,5

Così espressi, i sopra visti valori esprimono delle interferenze sul territorio potenzialmente critiche se considerate in riferimento ai limiti acustici della zonizzazione acustica comunale di Genova. Ciò, in quanto lo Slurrydotto risulta in funzione a ciclo continuo e, quindi, benché come detto la frequenza emessa sia rappresentativa della soglia media di udibilità (20 hz), le emissioni acustiche avvengono anche nel periodo notturno, periodo in cui la sensibilità della popolazione residente al fenomeno acustico risulta maggiore.

A tal proposito, la tubazione è stata progettata racchiusa da una struttura fono assorbente, tale da minimizzare gli effetti acustici negativi del suo funzionamento. Nel seguito si riporta

uno schema della sezione dello slurrydotto con la parete fono assorbente e le dimensioni significative della struttura.

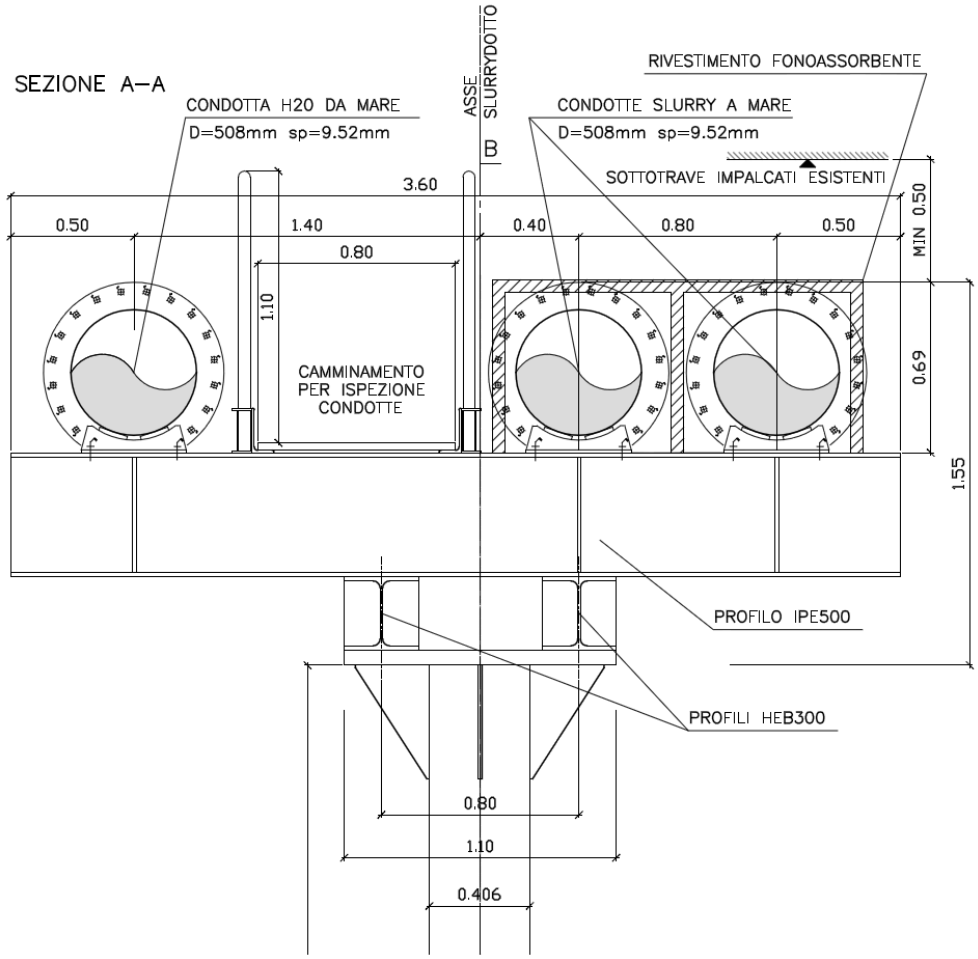


Figura 1 – Sezione rappresentativa del sistema "Slurrydotto"

Secondo tale schema, riprendendo le caratteristiche acustiche medie di isolamento delle pannellature fonoassorbenti normalmente in commercio, rispetto ai valori sopra riportati si può considerare un contributo di attenuazione di circa 25 decibel tale da evidenziare i seguenti valori alle distanze dall'asse condotto.

Tabella 3 – Valori di emissione del condotto con l'apporto della coibentazione acustica

	Distanza in metri							
	10	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**150**	**200**
Livello dB	54,5	51,5	49,7	48,5	47,5	44,5	42,7	41,5

La verifica di compatibilità acustica del sistema Slurrydotto, strutturato come sopra descritto, rispetto al territorio attraversato, viene effettuata rispetto alle classi di zonizzazione acustica comunale e, in particolare, ai limiti di emissione acustica, ovvero al livello di rumorosità prodotto dalla specifica sorgente disturbante, ossia dalla sorgente sonora selettivamente identificabile che costituisce la causa del potenziale inquinamento acustico, ed escludendo, quindi, il contributo delle altre sorgenti di rumore presenti.

L'analisi della citata zonizzazione acustica comunale ha evidenziato che gli ambiti territoriali attraversati dal condotto di cantiere sono caratterizzati prevalentemente dalle classi 4, 5 e 6. In questi ambiti i livelli di emissione sono quelli riportati nella tabella seguente.

Tabella 4 – Livelli di emissione per le classi 4, 5 e 6

	Livelli di emissione (DPCM 14/11/1997)	
Classe	**Periodo diurno**	**Periodo notturno**
4	60	50
5	65	55
6	65	65

Tali valori, in riferimento alla rumorosità emessa dal condotto, evidenziano la situazione maggiormente critica per le aree in classe 4 durante il periodo notturno, per distanze dal condotto inferiori a 30 metri.

Se si considera che il condotto è posizionato sulla sponda destra dell'alveo del Polcevera, si stima che sul lato opposto (sponda sinistra) non siano riscontrabili criticità acustiche in

quanto la dimensione stessa dell'alveo, che si frappone tra la sorgente acustica e gli eventuali ricettori, è ben al di sopra della distanza minima di 30 metri sopra richiamata.

Per tutte le aree in sponda destra del Polcevera, occorre osservare che il profilo di progetto dello Slurrydotto, tranne che per il tratto terminale (di poche centinaia di metri) di raccordo all'area di cantiere CI14, corre ad una quota inferiore al piano stradale, per permettere il sotto passo dei vari ponti stradali e pedonali presenti lungo il corso d'acqua, così come avviene oggi per le tubazioni già presenti (cfr. foto riportate in Allegato 2).

In tale conformazione, la sponda stessa del torrente costituisce una schermatura alla propagazione del rumore tale da mitigare sui ricettori presenti la trasmissione in linea diretta del rumore dello Slurrydotto. Questa situazione è stata schematizzata mediante l'utilizzo di un software di simulazione acustica che evidenzia l'effetto di schermo, sopra richiamato, della sponda del torrente; in particolare, sono state studiate 5 sezioni di calcolo in corrispondenza di aree rappresentative dell'intorno territoriale interessato.

In Allegato 2 sono riportate le simulazioni acustiche effettuate per le zone che assumono una maggiore sensibilità acustica e, cioè, quelle di tipo abitativo presenti lungo il torrente (ricadenti in classe IV di zonizzazione acustica) e quelle di tipo sensibile puntuale (ricadenti in classe I di zonizzazione acustica: edifici scolastici o ospedalieri). Le altre aree, ricadenti nelle classi V e VI di zonizzazione acustica, non si ritengono sensibili al fenomeno studiato in quanto rappresentative di aree prevalentemente o integralmente industriali.

In particolare, per quei casi in cui si osserva la presenza di aree in classe 1 (edifici particolarmente sensibili), si evidenzia che si trovano tutte oltre la distanza di 100 metri; sulla base di quanto sopra riportato (cfr. Tabella 3), tale distanza rappresenta la massima distanza di potenziale interferenza per aree in classe 1 (valore di emissione del condotto = 44,5 decibel, inferiore quindi al limite di emissione della zonizzazione acustica che è pari a 45 decibel).

In Allegato 2 si riportano le tavole con la sovrapposizione dell'asse dello Slurrydotto sulla zonizzazione acustica comunale di Genova, in modo tale da evidenziare le aree a diversa sensibilità acustica. In dette tavole sono indicate anche le sezioni su cui sono state effettuate le analisi di dettaglio, mediante apposito codice di calcolo; nello stesso allegato

sono anche riportate tali analisi, unitamente ad una rappresentazione fotografica dei diversi siti.

4 CONCLUSIONI

In sintesi, quindi, sulla base delle analisi acustiche condotte,

- mediante una analisi modale con codice di calcolo FEM,
- mediante software di simulazione acustica specifica e
- mediante algoritmi di calcolo,

si stima che lungo il percorso dello Slurrydotto le relative emissioni acustiche non inducano alterazioni significative del clima acustico oggi presente e che le stesse non superino i limiti acustici definiti dalla zonizzazione acustica comunale.

ALLEGATO 1

INTENSITÀ ACUSTICA DI FUNZIONAMENTO DELLO SLURRYDOTTO

DOTT. ING. GIOVANNI SUSSIO

SPEA - Autostrade - MILANO

PASSANTE DI GENOVA

IMPIANTO SMALTIMENTO SMARINO DA FRESA

INTENSITA' ACUSTICA DI FUNZIONAMENTO DELLO SLURRYDOTTO

DOCUMENTO: GS-05/12-ST-05/04/2012 Rev. 1

Emesso, il 05/04/2012

Revisione: 23/05/2012

Dott. Ing. Giovanni Sussio
Via Brofferio 3 - 10028 TROFARELLO TO
Tel 0116496090 - email: sussiogi@sussiogiovanni.191.it

1. GENERALITA'

Scopo dello studio, determinare in via progettuale preliminare l'intensità sonora prodotta dallo slurrydotto, durante il suo funzionamento.

Si vuole determinare una condizione realistica di rumorosità, che prenda in considerazione il quantitativo di materiale, che, convogliato e trascinato nel condotto, lo possa mettere in vibrazione percuotendo le sue pareti.

2. PROCEDURA

Lo studio si basa sull'assunzione che il suono (o rumore) emesso dal condotto è dovuto a vibrazioni dello stesso secondo i suoi modi fondamentali, eccitati da forzanti esterne. Nella fattispecie le forzanti sono le percussioni di corpi solidi, trasportati dal fluido in moto, contro le pareti del tubo. Lo spostamento locale della parete ad opera dell'impatto, genera una variazione di energia con onde sinusoidali di spostamento. Conoscendo lo spostamento impresso, si può risalire alla intensità sonora, con le formule che seguono.

La procedura, quindi, si sviluppa nei seguenti passaggi:

- determinazione delle frequenze proprie del condotto;
- dimensione del corpo impattante;
- determinazione degli spostamenti della parete sotto l'impatto;
- intensità degli impatti nell'unità di tempo;
- intensità acustica totale ipotizzata.

3. DETERMINAZIONE DELLE FREQUENZE PROPRIE DEL CONDOTTO.

La definizione delle prime frequenze proprie (prime cinque) del condotto, si ottiene con una analisi modale su un modello FEM 3D della tubazione, schematizzata, in questo studio, su un tratto di sette tronchi, di cui quattro in leggera curva piana, per un totale di 84 metri di sviluppo di slurrydotto. Il modello si suppone vincolato agli spostamenti nelle flangie.

Per il modello studiato si trovano le frequenze sotto riportate (dal file di output del codice di calcolo):

Frequencies

number	mode frequency (rad/sec)	circular frequency (Hertz)	period (sec)
1	1.2400E+02	1.9736E+01	5.0669E-02
2	1.2466E+02	1.9840E+01	5.0404E-02
3	1.2601E+02	2.0054E+01	4.9864E-02
4	1.2621E+02	2.0087E+01	4.9782E-02
5	1.2703E+02	2.0217E+01	4.9463E-02

E' importante segnalare che queste frequenze sono riferite al tubo pieno, con densità del fluido di 1400 kg/m^3 , quindi massa acciaio più massa acqua fangosa.

Il valore di 1400 kg/m^3, nasce da considerazioni mediate sulla composizione della mistura pompata nel condotto e confrontate con valori della letteratura tecnica nel campo.

I calcoli che seguono sono stati basati sulla prima frequenza propria, la fondamentale.

La figura 1 illustra il modello FEM 3D, schematizzato ad elementi finiti tipo "brick".

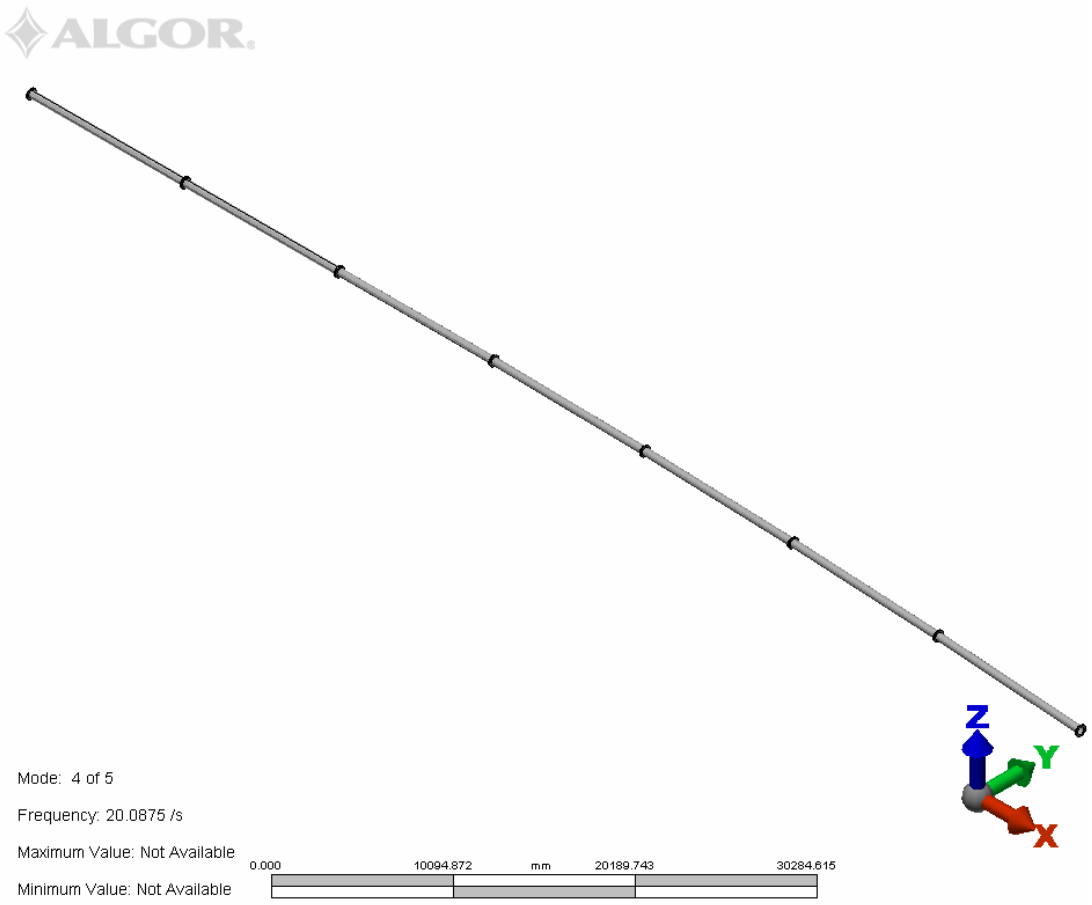


Figura 1 - Modello FEM 3D del condotto per l'analisi modale.

4. GRANULOMETRIA.

La pezzatura di interesse per lo studio, è quella superiore al diametro 100, per l'esattezza tra 100 e 200 mm. Nel modello si è assunto 200 mm.

Dalla documentazione di contorno, relativa ad alcune curve granulometriche tracciate sulla base di scavi meccanizzati già realizzati in altre realtà, si trova mediamente che la pezzatura massima di 100 ÷ 200 mm, oscilla mediamente intorno al 10 %.

Nel modello il corpo impattante è stato schematizzato come una sfera di diametro 200 mm e di materiale cemento di media durezza. Questa scelta è stata basata sulla biblioteca dei materiali contenuta nel codice di calcolo e che si ritiene compatibile, in termini di durezza, con le pezzature di materiale trasportato.

5. SIMULAZIONE DEGLI IMPATTI E DETERMINAZIONE DEGLI SPOSTAMENTI.

Lo studio degli impatti è stato ottenuto con una analisi transiente su un modello FEM 3D, costituito da un tronco di condotto lungo 12000 mm (tratto normale di 12 metri tra le flangie di estremità, al cui interno rotola un corpo di diametro 200 mm.

Le condizioni iniziali di analisi sono state impostate come segue:

- velocità x = 3000 mm/sec;
- velocità y = 2000 mm/sec:

- velocità z = -2400 mm/sec (equivalente alla velocità di caduta da 300 mm;
- posizione iniziale del corpo alla estremità libera del tubo ed ad una altezza dal suo fondo di circa 300 mm (da cui v = $\sqrt{2g\times300}$ = 2426 mm/sec);
- tubo disposto in orizzontale.

Il tempo di analisi è stato di 4.15 sec.

La figura 2 indica graficamente l'oscillazione di un nodo del modello tubo sotto l'azione degli impatti.

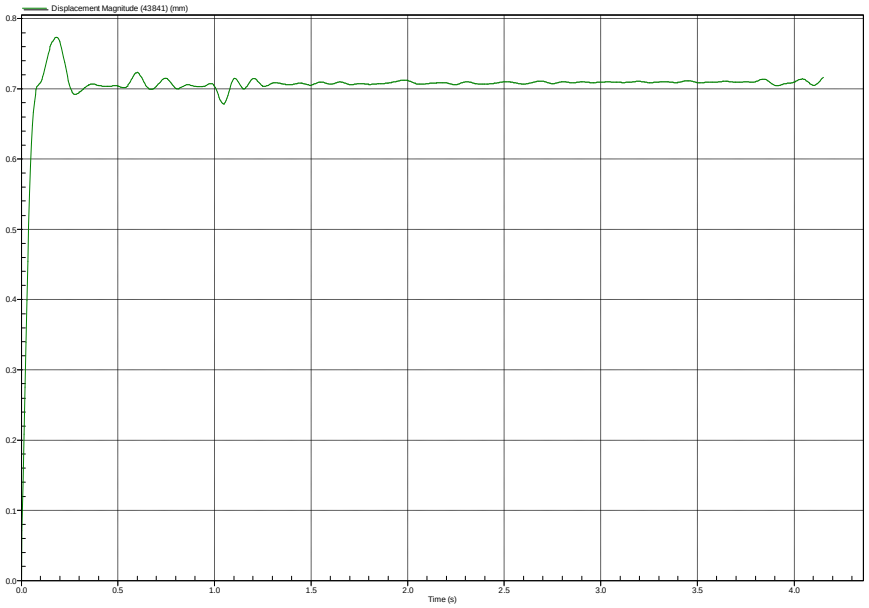


Figura 2

Attenzione: il primo ramo della curva rappresenta il raggiungimento della deformazione del tubo per peso proprio.

Analizzando in dettaglio i risultati della analisi, si rileva che il massimo valore di oscillazione della deformazione per impatto è pari a:

0.0019872 mm.

6. INTENSITA' DEGLI IMPATTI NELL'UNITA' DI TEMPO.

La valutazione si basa sulla curva granulometrica assunta al punto 4 e riportata alla portata del condotto nell'unità di tempo.

Quindi:

portata del condotto alla velocità di 3 m/sec:

diametro interno del condotto: Φ_i = 508-2×12.7 = 482.6 mm;

area della sezione di passaggio: $S = \pi \left(\frac{482.6}{2}\right)^2$: 182921 mm^2 ;

portata, alla velocità di 3 m/sec: Q = 0.183×3 = 0.549 m^3/sec;

volume del corpo rotolante: $V = \frac{4}{3}\ \pi\ r^3 = \frac{4}{3}\ \pi\ (0.1)^3 = 0.00419$ m^3 .

Assumendo dalla curva granulometrica una percentuale di corpi trascinati pari al 10% in volume, si otterrebbe un quantitativo in numero di pezzi dato da:

$$\frac{0.549}{0.00419} = 131$$

7. INTENSITA' ACUSTICA.

Esiste in questo calcolo l'indeterminazione nel computo della successione casuale degli impatti che generano una serie di onde sinusoidali, legate dalla:

$$a_1\cos\omega t + a_2\cos(\omega t+\varphi_1) + a_3\cos(\omega t+\varphi_2) + a_4\cos(\omega t+\varphi_3) + ...$$

$$.....+ a_{131}\cos(\omega t+\varphi_{130}),$$

la cui soluzione renderebbe il valore complessivo dello spostamento prodotto dalla vibrazione del tubo. Risulta che l'incognita aleatoria ed imprevedibile è costituita dagli angoli di fase φ, che determinano gli sfasamenti tra le onde del treno. La situazione peggiore ipotizzabile, difficilmente realizzabile ma non impossibile nel concetto di casualità di eventi è rappresentata dalla situazione per cui $\varphi = 0$, cioè tutte le onde siano in fase. In questo caso l'ampiezza dello spostamento vale:

$$\Sigma_1^{131} a\times\cos(\omega t) = 131\times a = 131\times\frac{0.0019872}{1000} = 0.000260323 \text{ m, per } \cos(\omega t) = 1.$$

L'intensità dell'onda è data da:

$$I = \frac{1}{2}\,\rho\, c\, \omega^2\, a^2\,,$$

dove:

ρ = la densità del mezzo in cui si propaga il suono;

c = la velocità del suono nel mezzo;

ω = la frequenza propria della vibrazione, in rad/sec, come risulta dal file di output (vedere punto 3) dell'analisi modale, restituito dal codice di calcolo;

a = lo spostamento prodotto dalla vibrazione nel mezzo, in mm, esso pure ricavato dall'analisi FEM.

Nel calcolo i valori da introdurre sono:

ρ = 1.2930 N sec^2/m^4, densità dell'aria;

c = 343 m/sec, la velocità del suono nell'aria;

ω ed a, valori ricavati dal file di output dell'analisi modale eseguita sul tubo, per la prima frequenza propria (fondamentale).

Segue:

$$I = \frac{1}{2}\times 1.2930\times 343\times 124^2\times(0.000260323)^2 = 0.23106 \text{ watt/m}^2;$$

Il livello di intensità acustica è dato dalla:

$$L\ (db) = 10\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right),$$

dove:

I = intensità acustica del suono, in watt/m^2;

I_0 = intensità acustica di riferimento, pari a 10^{-12} watt/m^2 (=la più bassa intensità acustica percettibile),

per cui segue il valore del livello di intensità acustica di progetto:

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{0.23106}{I_0} \right) = 113.64 \text{ db.}$$

Questo valore si raggiunge nella ipotesi di fase di tutte le onde sonore, cioè nella ipotesi che tutti i corpi impattino contemporaneamente contro le pareti del tubo.

Conviene allora calcolare l'intensità acustica del singolo impatto. Si ottiene:

a = 0.0019872 mm,

quindi:

$$I = \frac{1}{2} \times 1.2930 \times 343 \times 124^2 \times (0.0000019872)^2 = 0.000013464 \text{ watt/m}^2;$$

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{0.000013464}{I_0} \right) = 71.29 \text{ db.}$$

Più realisticamente si potrebbe ipotizzare una contemporaneità di impatto pari al 50% dei corpi trascinati. In questo caso si avrebbe:

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{65 \times 0.000013464}{I_0} \right) = 89.42 \text{ db.}$$

Il valore 65 deve intendersi dovuto a 131/2, essendo 131 il numero ipotetico di corpi impattanti (veder punto 6) derivanti dalla curva granulometrica di progetto, nel caso di 100 % di impatti, ricondotti alla ipotesi del 50 % di urti.

8. CONSIDERAZIONI FINALI.

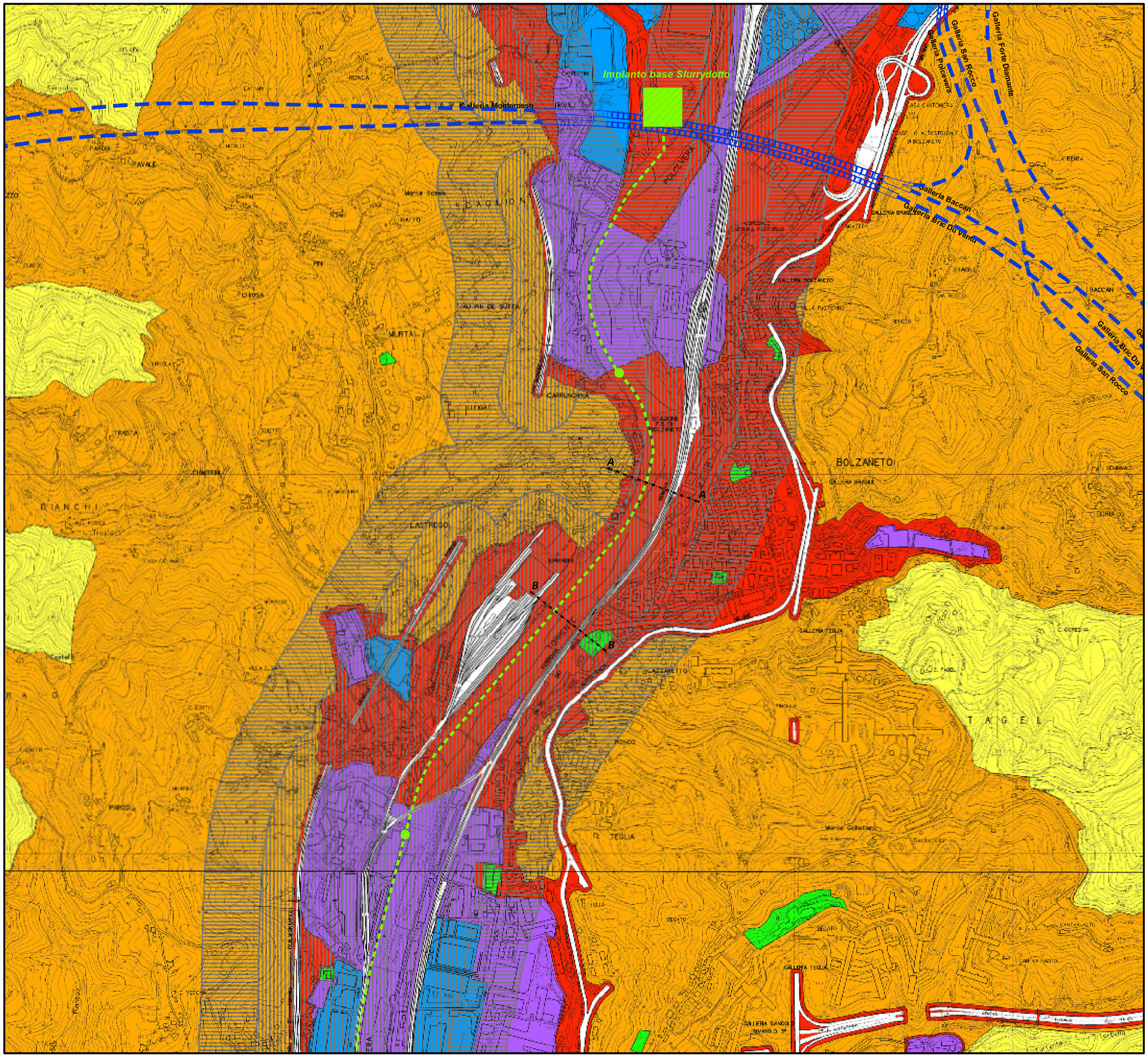
I valori trovati derivano da ipotesi assunte che in realtà devono essere considerate casi limite. Tutto il fenomeno è governato dalla totale aleatorietà della sequenza di impatti, sicuramente mai contemporanei, ma sequenziali con legge indeterminata. In queste condizioni le onde procedono sfasate tra loro, con non ultima possibilità che alcune siano addirittura in opposizione di fase, cosa che renderebbe per queste condizioni, assenza di suono.

Emesso, il 05/04/2012

Dott. Ing. Giovanni Sussio

ALLEGATO 2

SIMULAZIONI ACUSTICHE



Legenda

Piano di Classificazione Acustica Comunale di Genova

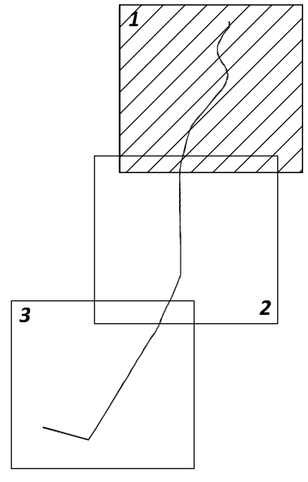
Suddivisione del territorio in classi acusticamente omogenee

- CLASSE 1
- CLASSE 2
- CLASSE 3
- CLASSE 4
- CLASSE 5
- CLASSE 6
- FASCIA A INFRASTRUTTURE FERROVIARIE
- FASCIA B INFRASTRUTTURE FERROVIARIE

Asse Percorso Slurrydotto

Stazione di rilancio

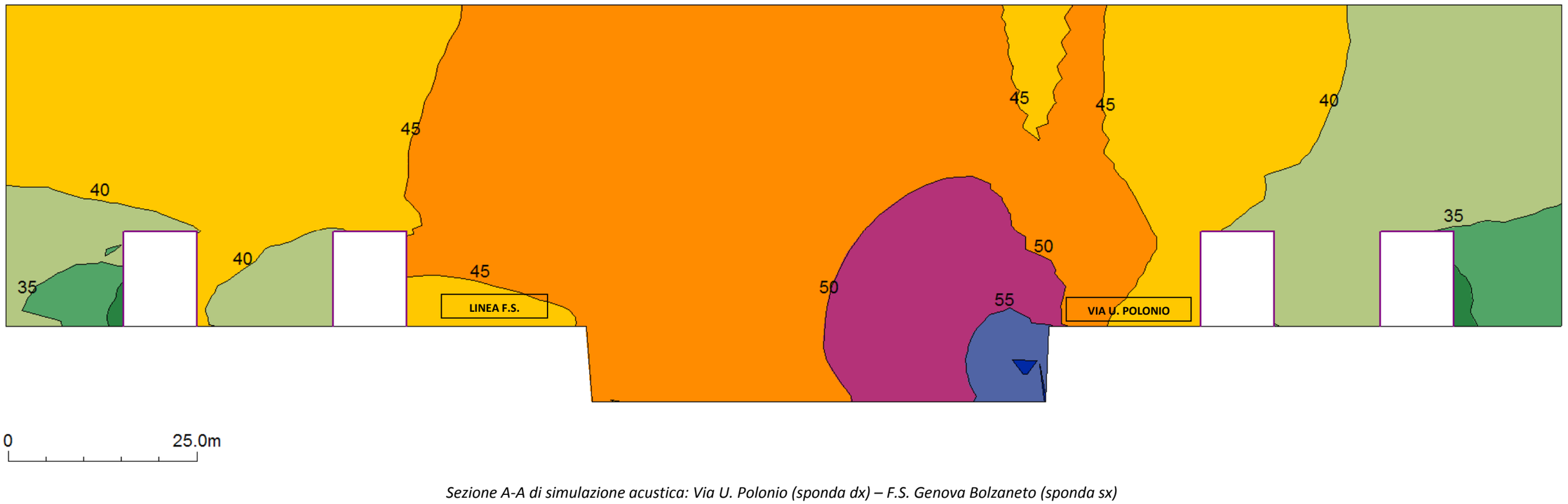
Sezione di modellazione acustica



ASPETTI AMBIENTALI DI CANTIERE - SLURRYDOTTO -

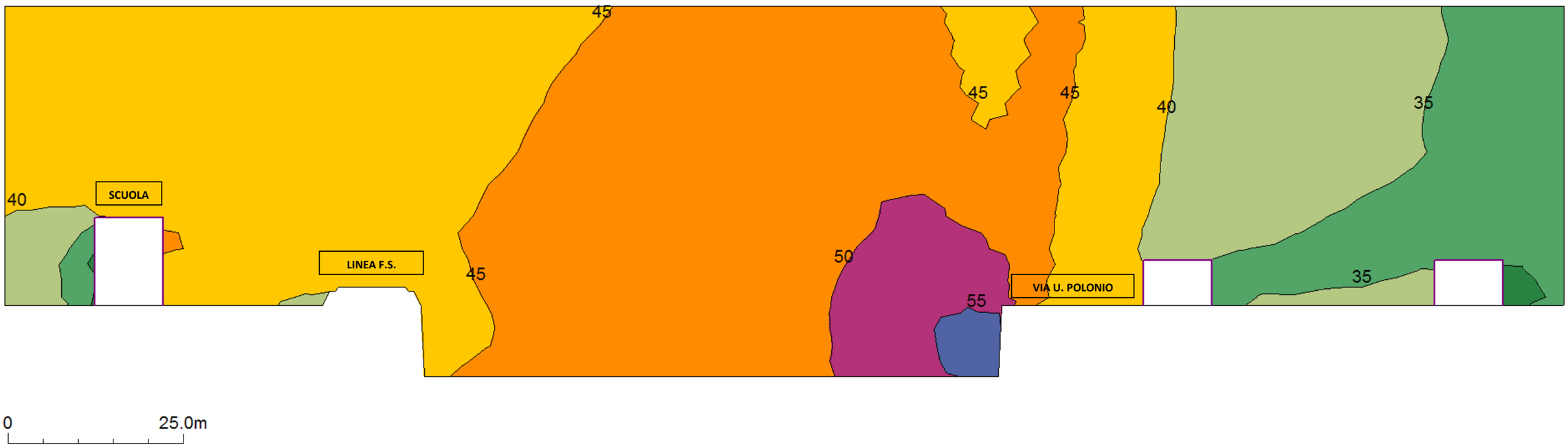
INDIVIDUAZIONE DELLE SEZIONI ACUSTICHE RAPPRESENTATIVE IN RIFERIMENTO AL PIANO DI CLASSIFICAZIONE ACUSTICA COMUNALE DI GENOVA

Scala 1:10.000



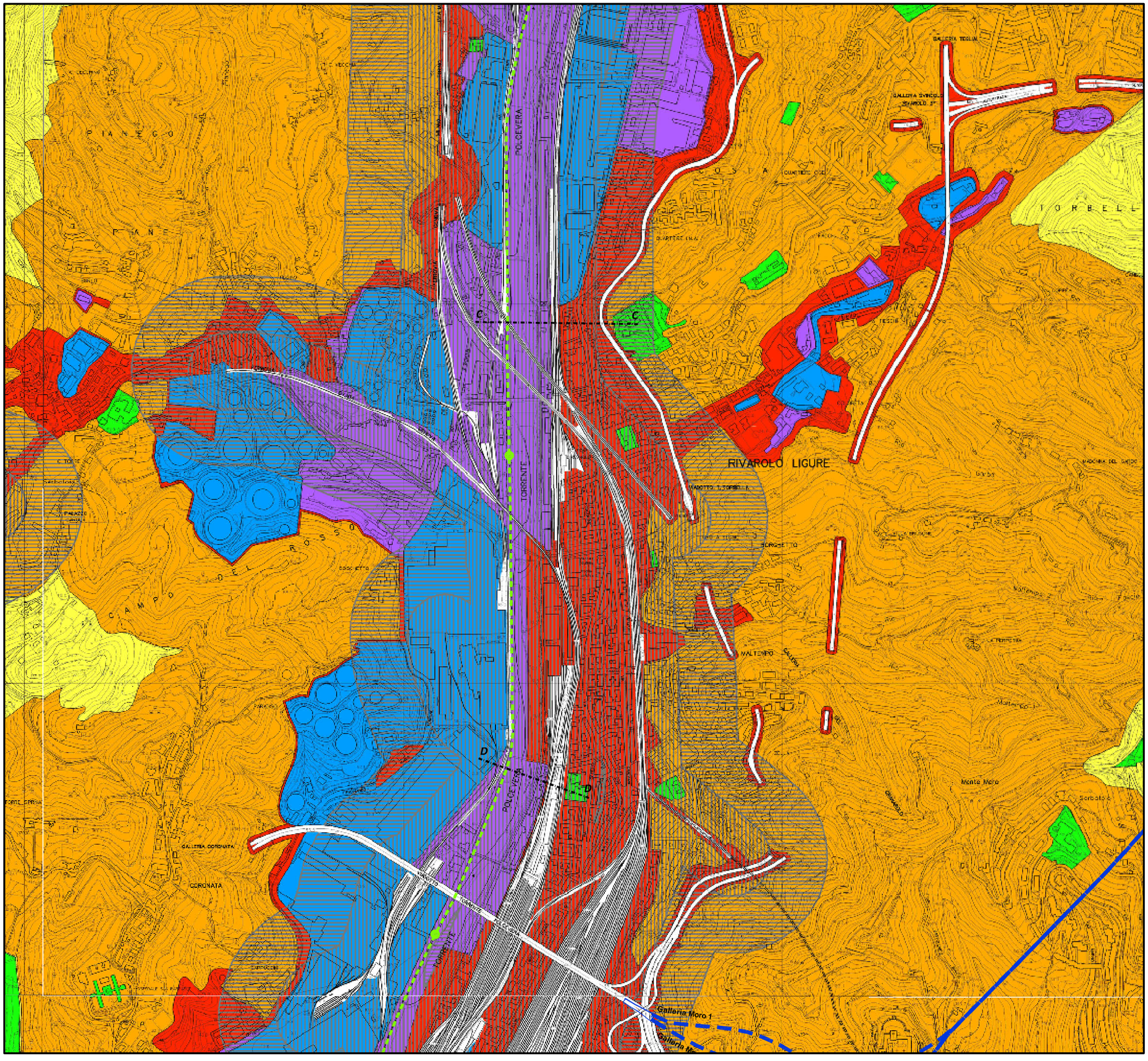
Sezione A-A di simulazione acustica: Via U. Polonio (sponda dx) – F.S. Genova Bolzaneto (sponda sx)

Foto Sezione A-A da Ponte S. Francesco verso sponda destra Polcevera



Sezione B-B di simulazione acustica: Via C. Reta – Scuola Materna Jolanda Bonfieni

Foto area Sezione B-B da sponda destra Polcevera (Via U. Polonio)



Legenda

Piano di Classificazione Acustica Comunale di Genova

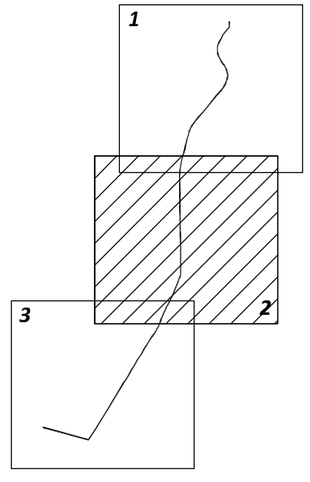
Suddivisione del territorio in classi acusticamente omogenee

- CLASSE 1
- CLASSE 2
- CLASSE 3
- CLASSE 4
- CLASSE 5
- CLASSE 6
- FASCIA A INFRASTRUTTURE FERROVIARIE
- FASCIA B INFRASTRUTTURE FERROVIARIE

Asse Percorso Slurrydotto

Stazione di rilancio

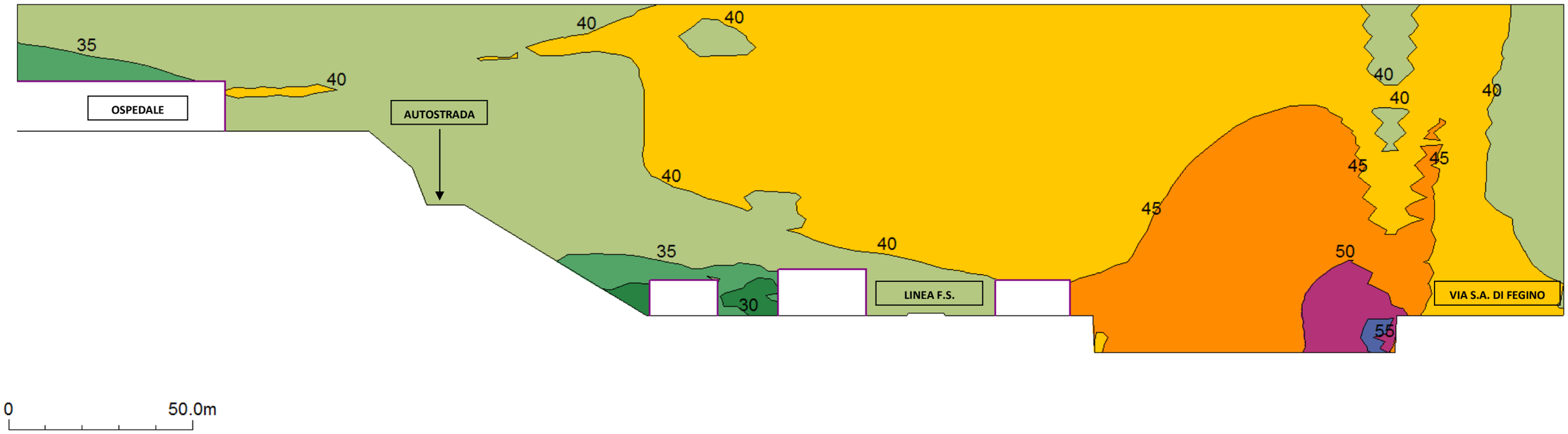
Sezione di modellazione acustica



ASPETTI AMBIENTALI DI CANTIERE - SLURRYDOTTO -

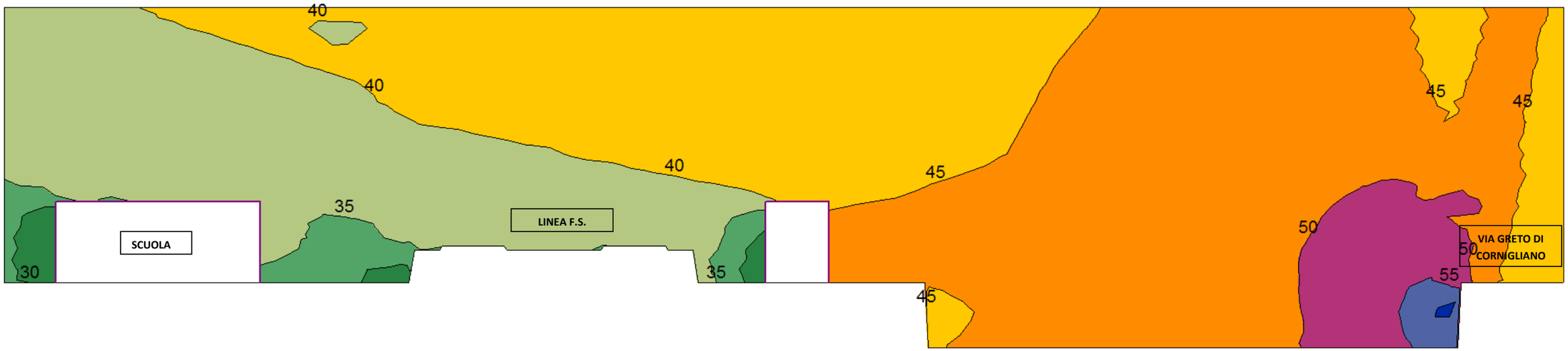
INDIVIDUAZIONE DELLE SEZIONI ACUSTICHE RAPPRESENTATIVE IN RIFERIMENTO AL PIANO DI CLASSIFICAZIONE ACUSTICA COMUNALE DI GENOVA

Scala 1:10.000



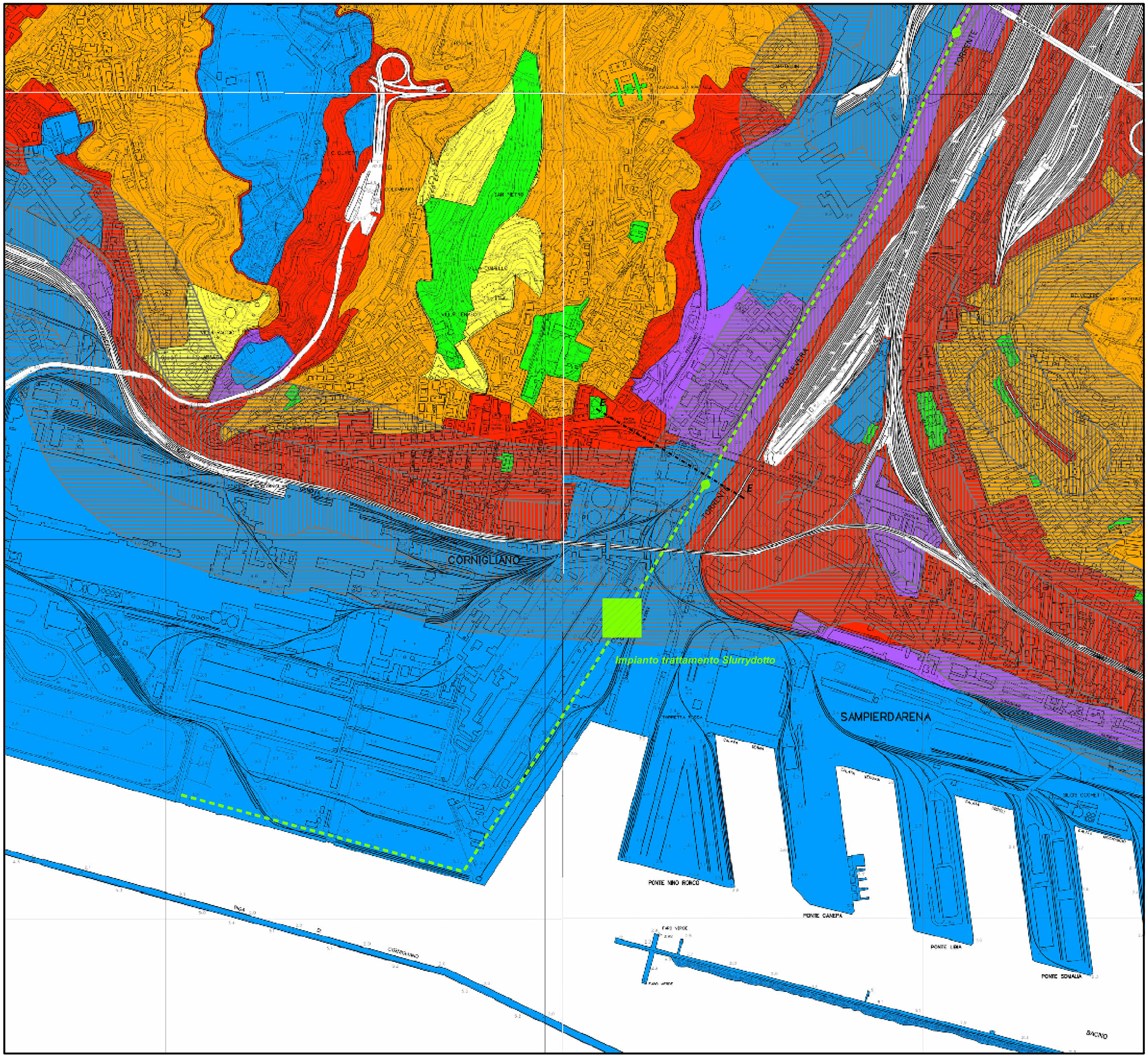
Sezione C-C di simulazione acustica: Via P. N. Cambiaso – Ospedale Celesio

Foto area Sezione C-C da sponda destra Polcevera (Via S. Ambrogio di Fegino)



Sezione D-D di simulazione acustica: Via Gaz – Istituto Comprensivo Certosa

Foto area Sezione D-D da sponda destra Polcevera (Via Greto di Cornigliano)



Legenda

Piano di Classificazione Acustica Comunale di Genova

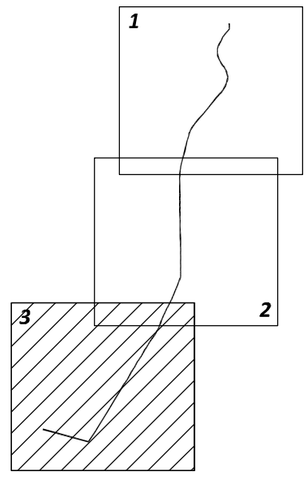
Suddivisione del territorio in classi acusticamente omogenee

- CLASSE 1
- CLASSE 2
- CLASSE 3
- CLASSE 4
- CLASSE 5
- CLASSE 6
- FASCIA A INFRASTRUTTURE FERROVIARIE
- FASCIA B INFRASTRUTTURE FERROVIARIE

Asse Percorso Slurrydotto

Stazione di rilancio

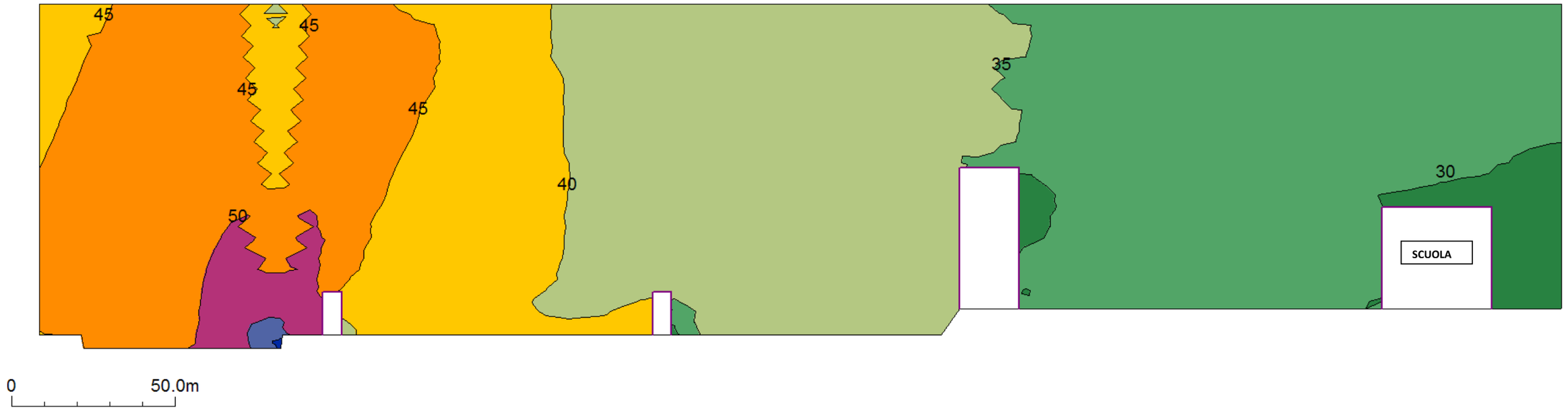
Sezione di modellazione acustica



ASPETTI AMBIENTALI DI CANTIERE - SLURRYDOTTO -

INDIVIDUAZIONE DELLE SEZIONI ACUSTICHE RAPPRESENTATIVE IN RIFERIMENTO AL PIANO DI CLASSIFICAZIONE ACUSTICA COMUNALE DI GENOVA

Scala 1:10.000



Sezione E-E di simulazione acustica: Via Cornigliano – Scuola Media Statale Volta-Gramsci

Foto aerea dell'area (Sezione E-E)