

**APPENDICE L**

**PREVISIONE IMPATTO ACUSTICO DELLA FABBRICA VIROLE  
(DOC. NO. 10-689-H17, REV. 0, SETTEMBRE 2012)**





# **REC S.r.l.**

## **Milano, Italia**

---

**Impianto Idroelettrico  
di Regolazione sul Bacino di  
Campolattaro (BN)**

Previsione Impatto  
Acustico  
Fabbrica Virole





# REC S.r.l. Milano, Italia

**Impianto Idroelettrico  
di Regolazione sul Bacino di  
Campolattaro (BN)**

**Previsione Impatto  
Acustico  
Fabbrica Virole**

Preparato da	Firma	Data
Attilio Binotti		28 Settembre 2012
Francesca Tortello	<u>Francesca Tortello</u>	28 Settembre 2012
Controllato da	Firma	Data
Chiara Valentini	<u>Chiara Valentini</u>	28 Settembre 2012
Marco Compagnino	<u>Marco Compagnino</u>	28 Settembre 2012
Approvato da	Firma	Data
Claudio Mordini	<u>Claudio Mordini</u>	28 Settembre 2012
Sottoscritto da	Firma	Data
Roberto Carpaneto	<u>R.S.C.S.</u>	28 Settembre 2012

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Sottoscritto da	Data
0	Prima Emissione	Binotti/FRT	CHV/MCO	CSM	RC	Settembre 2012



**INDICE**

	<u>Pagina</u>
<b>ELENCO DELLE TABELLE</b>	<b>II</b>
<b>ELENCO DELLE FIGURE</b>	<b>II</b>
<b>ELENCO DELLE FIGURE ALLEGATE</b>	<b>II</b>
<b>1 INTRODUZIONE</b>	<b>1</b>
<b>2 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO</b>	<b>2</b>
<b>3 CARATTERISTICHE DEL CANTIERE</b>	<b>4</b>
<b>4 RIFERIMENTI NORMATIVI E LIMITI ACUSTICI</b>	<b>5</b>
<b>5 CARATTERIZZAZIONE DEL CLIMA ACUSTICO</b>	<b>8</b>
<b>6 CARATTERIZZAZIONE DELLO SCENARIO DI PROPAGAZIONE</b>	<b>10</b>
<b>7 STIMA DELL'IMPATTO ACUSTICO</b>	<b>11</b>
<b>8 CONDIZIONI DI VALIDITA' DELLA SIMULAZIONE D'IMPATTO ACUSTICO</b>	<b>15</b>
<b>RIFERIMENTI</b>	
<b>APPENDICE A: DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO E CRITERI DI VALIDAZIONE</b>	

## **ELENCO DELLE TABELLE**

<b><u>Tabella No.</u></b>	<b><u>Pagina</u></b>
Tabella 4.1: Limiti Vigenti ai Ricettori	6
Tabella 5.1: Clima Acustico Ante-Operam e Limiti di Zona, Periodo Diurno	8
Tabella 7.1: Calcolo Potenza Sonora Capannone Virole - Dati Utilizzati nel Calcolo	12
Tabella 7.2: Emissioni Sonore del Cantiere Fabbricazione Virole	12
Tabella 7.3: Clima Acustico Futuro durante le Attività di Cantierizzazione	13
Tabella 7.4: Emissioni Sonore Cantiere Virole e Confronto con i Limiti di Emissione in Ambiente Esterno	13
Tabella 7.5: Clima Acustico in Fase di Cantierizzazione e Confronto con i Limiti di Immissione	13

## **ELENCO DELLE FIGURE**

<b><u>Figura No.</u></b>	<b><u>Pagina</u></b>
Figura 2.1: Inquadramento Territoriale	2
Figura 3.1: Impianto Fabbricazione Virole	4
Figura 4.1: Stralcio Zonizzazione Acustica	6

## **ELENCO DELLE FIGURE ALLEGATE**

<b><u>Figura No.</u></b>	
Figura 7.1	Mapa delle Isofone



**RAPPORTO  
PREVISIONE IMPATTO ACUSTICO  
FABBRICA VIROLE  
IMPIANTO IDROELETTRICO DI REGOLAZIONE SUL BACINO DI  
CAMPOLATTARO (BN)**

**1 INTRODUZIONE**

Scopo della presente relazione è aggiornare la valutazione di impatto acustico della Fabbrica Virole riportato nello Studio di Impatto Ambientale dell'Impianto Idroelettrico di Regolazione sul Bacino di Campolattaro (BN) presentato nel Maggio 2011, partendo dallo studio previsionale del rumore presente all'interno della Fabbrica, così come richiesto nell'ambito delle richieste di integrazione presentate in procedura.

## 2 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO

L'area di studio si trova a circa 3 km a Nord-Ovest dell'abitato di Pontelandolfo, in prossimità del Borgo Spaccamontagna. Il territorio circostante presenta le caratteristiche morfologiche e climatiche tipiche dell'area appenninica meridionale contraddistinta da una successione di falde di altezza differente, intervallate da falsipiani. In prossimità del sito, individuato per l'area di cantierizzazione, sono assenti agglomerati abitativi di rilievo e ricettori sensibili, sono presenti alcuni insediamenti abitativi costituiti da piccoli borghi rurali, il più vicino dei quali si trova a circa 100 m a Nord-Ovest del futuro cantiere.

Il cantiere per la Fabbricazione delle Virole è ubicato su un falsopiano in prossimità del Borgo Spaccamontagna.

Nella figura seguente si riporta l'inquadratura territoriale dell'area di studio adiacente il cantiere delle virole con l'individuazione del ricettore individuato in prossimità del cantiere (3a), costituito da un gruppo di case sito in Borgo Spaccamontagna.



**Figura 2.1: Inquadratura Territoriale**

Di seguito si riportano alcuni dati dell'area di interesse:

- Superficie: Collinare, 750 m s.l.m. circa;
- Destinazione d'uso: il ricettore 3a si trova su una porzione di territorio classificata come "Zona Ar – Conservazione dei nuclei e dei complessi rurali di valore storico e ambientale", le aree adiacenti ricadono in "Zona EO – Agricola ordinaria".
- Zonizzazione acustica: il ricettore 3a è ubicato in Classe II; le aree adiacenti in Classe III (si veda la seguente Figura 3.1).

<b>Confine Nord</b>	Il sito confina con delle aree collinari. A circa 100 m a Nord-Ovest si trova Borgo Spaccamontagna.
<b>Confine Est</b>	Il cantiere confina ad Est con delle aree collinari in parte coltivate. A circa 800 m ad Est si trova Borgo Marziello.
<b>Confine Sud</b>	L'area di cantierizzazione confina con delle aree collinari in parte coltivate. A circa 3 km si trova l'abitato di Pontelandolfo.
<b>Confine Ovest</b>	Il sito confina con un'area collinare.

Le principali sorgenti acustiche presenti nell'area sono le seguenti:

- attività agricole;
- rumori antropici;
- rumori naturali.

### **3 CARATTERISTICHE DEL CANTIERE**

Il Cantiere “Fabbrica Virole”, che opererà solamente in periodo diurno, consisterà in un’area di circa 12,200 m<sup>2</sup> attrezzata con un capannone per calandratura, sabbiatura, saldatura e verniciatura.

L’area, dotata di carroponte per le movimentazioni, servirà per lo stoccaggio temporaneo delle virole e sarà pavimentata con micro stabilizzato, così come le superfici coperte dei capannoni.

Di seguito si riporta l’immagine di un impianto di fabbricazione virole, analogo a quello che sarà installato nell’area di studio.



**Figura 3.1: Impianto Fabbricazione Virole**

## 4 RIFERIMENTI NORMATIVI E LIMITI ACUSTICI

L'art. 8 comma 1 della "Legge quadro sull'inquinamento acustico" 26 Ottobre 1995 No. 447 prescrive che i progetti sottoposti a Valutazione di Impatto Ambientale, ai sensi dell'art. 6 della Legge 8 Luglio 1986 No. 349, siano redatti in conformità alle esigenze di tutela dall'inquinamento acustico delle popolazioni interessate.

Il comma 4 del suddetto articolo prescrive che le domande per il rilascio di concessioni edilizie, licenze ed autorizzazioni all'esercizio, relative a nuovi impianti ed infrastrutture adibite ad attività produttive, debbano contenere una documentazione di previsione d'impatto acustico resa sulla base dei criteri stabiliti dalla Regione.

La Regione Campania non ha ancora legiferato su tale materia; nella redazione del presente documento si farà pertanto riferimento alla normativa nazionale.

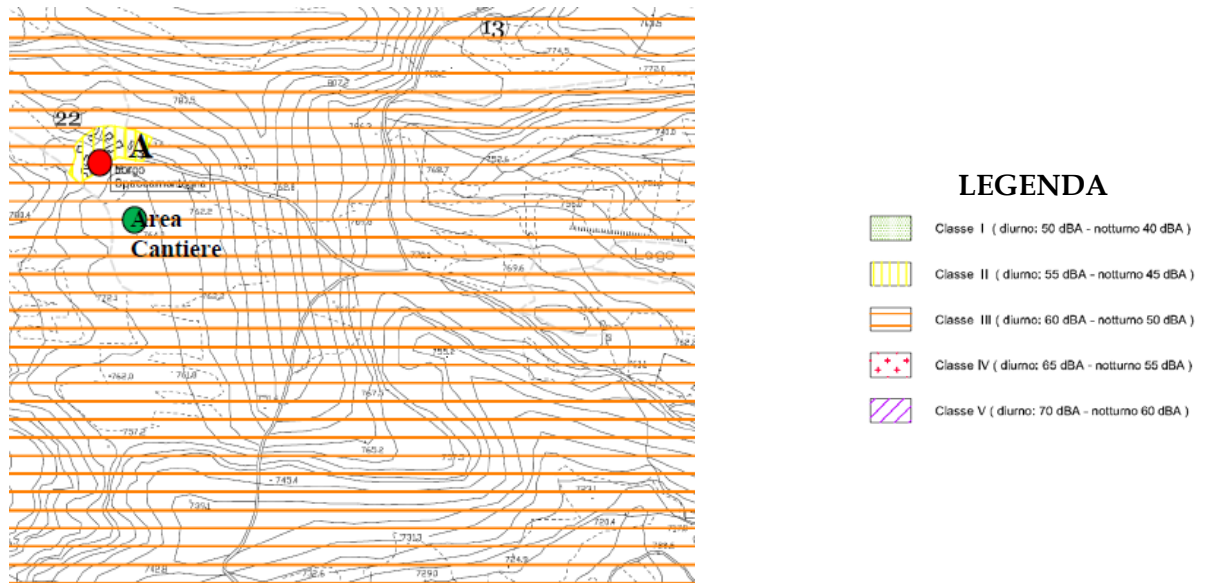
Il comma 6 dell'art. 8 della Legge 447/95 recita che la domanda di licenza o di autorizzazione all'esercizio di attività che si prevede possano produrre valori di emissione superiori a quelli determinati ai sensi dell'art. 3 comma 1, lettera a), della Legge 447 (valori limite d'emissione, valori limite d'immissione assoluti e differenziali), contenga l'indicazione delle misure previste per ridurre o eliminare le emissioni sonore causate dall'attività o dagli impianti che superino tali limiti.

La Legge 447/95 assegna ai comuni la competenza del controllo e del rispetto della normativa per la tutela dall'inquinamento acustico secondo quanto previsto dall'art. 6 comma 1 lettera d) e lettera g). L'art. 6, comma 1, lettera a), della stessa legge e prescrive che l'Amministrazione Comunale appronti un piano di zonizzazione acustica che fissi limiti di emissione ed immissione per ogni area del territorio, secondo quanto previsto dal DPCM 14 Novembre 1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore".

Le aree abitative e quelle frequentate da comunità o persone più vicine all'area di studio sono site nel territorio del Comune di Pontelandolfo, che ha adottato la zonizzazione acustica, secondo quanto previsto dall'Art. 6, Comma 1, Lettera a, della Legge 26 Ottobre 1995 No. 447 "Legge quadro sull'inquinamento acustico".

Nella figura seguente si riporta lo stralcio della zonizzazione acustica adottata.

- il ricettore 3a (punto di misura A) è ubicato in Classe II "Aree prevalentemente residenziali";
- le aree adiacenti ricadono in Classe III "Aree di tipo misto".



**Figura 4.1: Stralcio Zonizzazione Acustica**

Nella seguente tabella si riportano i limiti vigenti applicabili ai ricettori.

**Tabella 4.1: Limiti Vigenti ai Ricettori**

Ricettore	Punto di Misura	Classe	Limiti di Immissione		Limiti di Emissione	
			Periodo Diurno	Periodo Notturno	Periodo Diurno	Periodo Notturno
3a	A	II	55	45	50	40

Limiti Previsti dal Criterio Differenziale

Il cantiere di fabbricazione delle virole è da considerarsi soggetta ai limiti d'immissione in ambiente abitativo previsti dal criterio differenziale (DPCM 14 Novembre 1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore"): la differenza massima tra la rumorosità ambientale e quella residua non deve superare i 5 dB nel periodo diurno ed i 3 dB in quello notturno.

Il criterio differenziale non si applica in assenza di ambienti abitativi, all'interno delle aree esclusivamente industriali e nei seguenti casi, poiché ogni effetto del rumore è da ritenersi trascurabile:

- se il rumore misurato a finestre aperte sia inferiore a 50 dB(A) durante il periodo diurno e 40 dB(A) durante il periodo notturno;
- se il livello del rumore ambientale misurato a finestre chiuse sia inferiore a 35 dB(A) durante il periodo diurno e 25 dB(A) durante il periodo notturno.

I limiti differenziali riguardano gli ambienti abitativi interni, ma per ragioni di accessibilità la verifica della rumorosità ante operam, rappresentativa del rumore residuo, è stata eseguita all'esterno degli edifici abitativi più esposti alla rumorosità del cantiere.

I limiti differenziali sono stati stabiliti eseguendo una campagna di misure del rumore ante operam nel mese di Novembre 2010 (si rimanda alla relazione del monitoraggio del clima

acustico riportato integralmente in Appendice C del Rapporto D'Appolonia No. 10-689-H3, Rev.0, Aprile 2011) e sono indicati nella successiva Tabella 5.1.

## 5 CARATTERIZZAZIONE DEL CLIMA ACUSTICO

L'indagine in ambiente esterno, ante operam, ha interessato le aree abitative e quelle frequentate da comunità o persone più vicine all'area di cantierizzazione. I rilievi acustici sono stati eseguiti nella posizione accessibile in corrispondenza del ricettore 3a (punto di misura A).



Nella tabella seguente sono riportati i valori del clima acustico ante operam e i limiti acustici a cui il cantiere è soggetto (si veda la relazione di monitoraggio acustico del Settembre 2012 riportata in Appendice P al Rapporto D'Appolonia No. 10-689-H16, Rev.0, Settembre 2012). Si evidenzia che nelle schede di misura riportate nell'Allegato A di tale relazione di monitoraggio sono indicati il Tempo di Osservazione (T.O.), il Tempo di Riferimento (T.R.) ed il Tempo di Misura (T.M.), tutti pari a 16 ore per il periodo diurno ed 8 ore per quello notturno.

Come già anticipato il cantiere opererà nelle sole ore diurne, pertanto si riportano i valori delle misure e dei limiti di riferimento del solo periodo diurno.

**Tabella 5.1: Clima Acustico Ante-Operam e Limiti di Zona, Periodo Diurno**

Ricettore	P.to di Misura	Classe	Clima Acustico $L_{Aeq}$ Arrotondato a 0,5 dB e corretto	Limiti Immissione dB(A)	Limiti Emissione dB(A)	Limiti immissione in Ambiente Abitativo (Criterio Differenziale) dB(A)
<b>PERIODO DIURNO (06.00 – 22.00)</b>						
3a	A	II	51.0	55	50	56



L'analisi dell'andamento nel tempo del livello sonoro istantaneo rivela la presenza di una rumorosità caratterizzata principalmente dalle attività agricole, dai rumori antropici e naturali.

Il valore dei limiti differenziali è stato ottenuto sommando ai valori  $L_{Aeq}$  diurni, ante operam, 5 dB.

Si evidenzia che i limiti di emissione sono i più restrittivi per l'area di cantiere.

## **6 CARATTERIZZAZIONE DELLO SCENARIO DI PROPAGAZIONE**

Lo scenario di propagazione è stato inserito nel modello di calcolo.

Le altezze e le caratteristiche degli edifici presenti nell'area di studio sono state rilevate dai disegni di progetto e durante i sopralluoghi eseguiti.

Sono state considerate le proprietà acustiche delle superfici presenti nella porzione di territorio considerata.

Nel calcolo di previsione sono stati introdotti i valori meteo-climatici di riferimento: temperatura di 15° e umidità del 50%.

## 7 STIMA DELL'IMPATTO ACUSTICO

Le attività di costruzione delle virole si svolgono all'interno del relativo fabbricato e consistono nelle seguenti fasi: calandratura, sabbiatura, saldatura e verniciatura.

Per stimare l'impatto acustico ai ricettori si è utilizzato il programma di modellizzazione Soundplan. Il programma inizialmente è stato implementato per calcolare la rumorosità all'interno della fabbrica viroletenendo in considerazione:

- la norma VDI 3760 "Computation and measurement of sound propagation in workrooms";
- le caratteristiche di rumorosità delle sorgenti sonore interne alla struttura (si veda la successiva Tabella 7.1);
- le caratteristiche di fonoassorbimento con cui è realizzato l'edificio,

Le simulazioni condotte hanno permesso di quantificare il livello di pressione sonora medio alle pareti interne del fabbricato, pari a 96 dB(A). È necessario sottolineare come tale livello derivi dall'ipotesi ampiamente conservativa di marcia contemporanea di tutte le sorgenti sonore per l'intero periodo diurno (6-22) e non sia pertanto indicativo dei reali valori di pressione che saranno verificati nell'ambiente lavorativo: il fine ultimo delle simulazioni condotte è infatti la stima dell'impatto al ricettore esterno all'area di cantiere, per la quale è buona norma tenere in considerazione ipotesi conservative sia a livello di sorgenti sonore, sia di condizioni di propagazione acustica (come meglio specificato nel seguito).

Una volta calcolato quanto sopra, è stata quantificata la rumorosità trasmessa all'esterno dell'edificio, con riferimento alle caratteristiche di fonoisolamento della pennellatura con cui sarà realizzato l'edificio: il potere fonoisolante delle pareti del capannone è stato considerato pari a  $R_w = 40$ dB, corrispondente a pannelli metallici sandwich di spessore 100 mm tipo REPI G 40 S3 (o similare) o ad una parete intonacata in mattoni di spessore 15 cm. Anche per il tetto si è considerato un potere fonoisolante pari ad  $R_w=40$ . Dall'implementazione del modello è stato quindi calcolato il livello di pressione sonora medio ad 1 metro all'esterno delle pareti e del tetto dell'edificio, pari a 59.2 dB(A): noto tale valore, è stata quantificata, grazie alla seguente formula, la potenza acustica del capannone virole, considerato come una sorgente superficiale estesa:

$$L_w = L_p + 10 \cdot \log\left(\frac{S}{S_0}\right)$$

dove:

- $L_w$  è il livello di potenza sonora in dB(A);
- $L_p$  è il livello di pressione sonora medio in dB(A) ad un metro dalla sorgente, pari a 59.2 dB(A);
- $S$  è la superficie totale del capannone calcolata ad un metro dalla sorgente, pari a circa 7,000 m<sup>2</sup>. Si noti che, a seguito di modifiche dimensionali del capannone, tale superficie è attualmente inferiore rispetto a quella considerata nei calcoli a supporto della valutazione acustica presentata nel SIA dell'Aprile 2011 e pari a circa 13,500 m<sup>2</sup>;
- $S_0=1$  m<sup>2</sup>.

La potenza  $L_w$  trasmessa all'esterno dell'edificio risulta pari a 97.7 dB(A).

Nella seguente tabella sono riassunti i principali dati sopra menzionati utilizzati per la quantificazione del livello di potenza sonora del capannone.

**Tabella 7.1: Calcolo Potenza Sonora Capannone Virole - Dati Utilizzati nel Calcolo**

Sorgenti sonore	$L_{pi}$ - Singola sorgente	$L_w$ - Singola sorgente
Saldatrici (6 in funzione contemporaneamente)	88.2 dBA	99.2 dBA
Torcia ArcAir (1 in funzione)	105.0 dBA	116.0 dBA
Molatrici manuali (2 in funzione contemporaneamente)	104.1 dBA	115.1 dBA
<b><math>L_w</math> totale sorgenti interne all'edificio</b>	<b>118.7 dB(A)</b>	
<b>Fonoassorbimento Pareti <math>\alpha</math></b>	<b>0.6</b>	
<b>Livello di pressione medio interno alle pareti dell'edificio</b>	<b>96.0 dB(A)</b>	
<b>Attenuazione partizioni verticali e orizzontali</b>	$IL_{pnn}$	
Potere fonoisolante di facciate e copertura	$R_w=40$ dB(A)	
<b>Rumorosità trasmessa all'esterno</b>	$L_{pe}$	
Livello di pressione medio ad 1 metro all'esterno delle pareti e del tetto	59.2 dB(A)	
<b>Potenza Sonora dell'Edificio</b>	<b>97.7 dB(A)</b>	

Sulla base dei dati acustici riportati in tabella è stato condotto il calcolo dei livelli di pressione sonora nell'area di studio attorno al capannone stesso. Nello studio d'impatto acustico è stata considerata l'ipotesi più conservativa di avere presenza in tutte le direzioni di condizioni di sottovento presso il ricettore.

In tutti casi ove si sia presentata la scelta tra due o più possibilità, si è preferita l'opzione più prudente. La somma di ipotesi favorevoli alla propagazione delle emissioni del cantiere consente un ragionevole margine di sicurezza riguardo l'accuratezza associabile alla previsione dei livelli sonori.

Per valutare l'impatto acustico, le caratteristiche della sorgente (posizione, livello di potenza acustica, dimensione del fronte di emissione, sua eventuale direttività) e quelle dello scenario di propagazione (caratteristiche degli edifici, orografia del territorio, attenuazione dovuta al terreno) sono state implementate nel programma di simulazione acustica ambientale SoundPLAN 7.0 (vedi Appendice A), conforme alla norma ISO 9613-2. Il programma ha permesso il calcolo dell'andamento del fronte sonoro a 4 m di altezza sull'intera area presa in considerazione. La scelta di prevedere la rumorosità a tale altezza consente di verificare i livelli di rumorosità nei luoghi frequentati da comunità o persone.

Il **primo step** è stato:

- simulare le emissioni del cantiere al ricettore, indipendentemente dai livelli di rumorosità attualmente presenti nell'area.

**Tabella 7.2: Emissioni Sonore del Cantiere Fabbricazione Virole**

Ricettore	Punto di Misura	Emissioni Cantiere
<b>Periodo diurno</b>		
3a	A	45.2

Il **secondo step** è stato:

- calcolare il clima acustico futuro presente durante le attività di cantierizzazione, sommando logaritmicamente al clima acustico ante operam le emissioni sonore della fabbrica virole simulate (si veda la precedente tabella).

**Tabella 7.3: Clima Acustico Futuro durante le Attività di Cantierizzazione**

Ricettore	Punto di Misura	$L_{Aeq}$ Clima acustico <i>ante operam</i>	Emissioni Cantiere	Clima acustico in fase di cantiere
<b>Periodo diurno</b>				
3a	A	51	45.2	52,0

In Figura 7.1 sono illustrate le isofone delle emissioni sonore durante la fabbricazione delle virole.

Nella successiva tabella si riportano le emissioni del cantiere simulate ed il confronto con i limiti di emissione vigenti.

**Tabella 7.4: Emissioni Sonore Cantiere Virole e Confronto con i Limiti di Emissione in Ambiente Esterno**

Ricettore	P.to di Misura	Classe	Emissioni Cantiere	Limiti di Emissione Periodo Diurno	Superamento Limiti di Emissione
<b>Periodo diurno</b>					
3a	A	II	45.2	50	-4.8

Nella successiva tabella il clima acustico durante le attività di cantierizzazione è confrontato con i limiti d'immissione in ambiente esterno e in ambiente abitativo.

**Tabella 7.5: Clima Acustico in Fase di Cantierizzazione e Confronto con i Limiti di Immissione**

Ricettore	P.to di Misura	Classe	Periodo diurno				
			Clima acustico Fase di cantiere	Limite Immissione Ambiente esterno	Superamento Limite Immissione Ambiente esterno	Limite Ambiente Abitativo (Criterio differenziale)	Superamento Limite in Ambiente Abitativo
3a	A	II	52	55	-3	56	-4

I limiti differenziali riguardano gli ambienti abitativi interni, ma per ragioni cautelative la verifica è stata eseguita all'esterno delle abitazioni, si accetta l'assunto che il livello del rumore ambientale e del rumore residuo, diminuiscano in pari misura quando le rispettive onde sonore entrano negli ambienti confinati.

L'esame dei risultati della previsione d'impatto acustico consente le seguenti valutazioni:

- le attività di cantierizzazione rispettano i limiti di emissione (si veda la Tabella 7.4);

<sup>1</sup>Una ricerca dell'Università di Napoli condotta su 65 appartamenti ha stabilito che il valore delle immissioni ad un metro dalla facciata dell'edificio supera il valore delle immissioni all'interno del locale a finestre aperte di 4-8 dB.

- la rumorosità ai ricettori, durante le opere di cantierizzazione, rispetta i limiti di zona vigenti e i limiti determinati dall'applicazione del criterio differenziale, (si veda la Tabella 7.5).

Si noti in ogni caso che durante lo svolgimento delle opere di cantierizzazione sono previsti dei rilevamenti fonometrici, al fine di monitorare l'effettiva rumorosità generata dal cantiere.

## **8 CONDIZIONI DI VALIDITA' DELLA SIMULAZIONE D'IMPATTO ACUSTICO**

Le previsioni riportate nei precedenti paragrafi mantengono la loro validità qualora i dati relativi alla rumorosità emessa durante le opere di cantierizzazione, le caratteristiche degli insediamenti circostanti e le componenti del rumore residuo mantengano la configurazione e le caratteristiche ipotizzate. Il margine d'errore è quello previsto dalla norma ISO 9613-2 e dipende dall'approssimazione dei dati di pressione acustica relativi alle macchine.

FRT/CHV/MCO/CSM/RC:mcs





**APPENDICE A  
DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO  
E CRITERI DI VALIDAZIONE**



Il programma utilizzato per i calcoli di previsione della rumorosità delle opere di cantierizzazione prevede l'uso del metodo di ray tracing. Con questo metodo si contraddistingue una sorgente puntiforme attraverso l'utilizzo di un numero finito di raggi sonori emessi dalla stessa, orientati secondo una determinata traccia lungo il cammino di propagazione.

Il campo acustico, risultante dalla scansione della superficie considerata, dipende dalle riflessioni con gli ostacoli incontrati lungo il cammino, in modo analogo alla propagazione dell'ottica geometrica.

Ogni raggio porta con se una parte dell'energia acustica della sorgente sonora. L'energia di partenza viene perduta lungo il percorso per effetto dell'assorbimento delle superfici di riflessione, per divergenza geometrica e per assorbimento atmosferico. Nei punti considerati, di interesse per il calcolo previsionale il campo acustico sarà il risultato della somma delle energie acustiche degli  $n$  raggi che giungono al ricevitore determinando i livelli immessi in corrispondenza dei recettori scelti come rappresentativi.

Non potendo calcolare con esattezza la differenza di livello tra l'esterno e l'interno di un'abitazione, a finestre aperte, si effettua un'approssimazione, considerando che il rumore residuo attuale e le immissioni dell'impianto diminuiscano in pari misura entrando negli edifici.

La valutazione del criterio differenziale si effettua quindi in posizioni collocate all'esterno della facciata delle abitazioni in corrispondenza del punto in cui è stato eseguito il monitoraggio acustico.

Il modello matematico soggiacente al programma di simulazione si riferisce alle normative internazionali sulla attenuazione del suono nell'ambiente esterno (ISO 9613).

Queste norme propongono un metodo per il calcolo dell'attenuazione del suono durante la propagazione nell'ambiente esterno per prevedere i livelli di rumore ambientale nelle diverse posizioni lontane dalle sorgenti e per tipologia di sorgente acustica.

Lo scopo di tale metodologia è la determinazione del **livello continuo equivalente ponderato A** della pressione sonora come descritto nelle ISO 1996/1-2-3 per condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione del suono da sorgenti di potenza nota.

Le condizioni sono per propagazione sottovento, come specificato dalla ISO 1996/2 (par 5.4.3.3)

Le formule che sono utilizzate nel calcolo per la previsione sono da considerarsi valide per la determinazione dell'attenuazione del suono prodotto da sorgenti puntiformi e, con opportune modifiche, per sorgenti lineari e areiche.

Le sorgenti di rumore più estese devono essere rappresentate da un insieme di sezioni ognuna con una certa potenza sonora e direttività.

Un gruppo di sorgenti puntiformi può essere descritto da una sorgente puntiforme equivalente situata nel mezzo del gruppo nel caso in cui:

- la sorgente abbia approssimativamente la stessa intensità ed altezza rispetto al terreno;
- la sorgente si trovi nelle stesse condizioni di propagazione verso il punto di ricezione;
- la distanza fra il punto rappresentativo e il ricevitore ( $d$ ) sia maggiore del doppio del diametro massimo dell'area della sorgente ( $D$ ):  $d > 2D$ .

Se la distanza  $d$  è minore o se le condizioni di propagazione per i diversi punti della sorgente sono diverse la sorgente totale deve essere suddivisa nei suoi punti componenti.

### Metodo di calcolo

Il **livello medio di pressione sonora** al ricevitore in condizioni di sottovento viene calcolato per ogni sorgente puntiforme (specifiche IEC 255) con:

$$L_{downwind} = L_{WD} - A$$

$L_{WD}$  è il livello effettivo di potenza sonora nella direzione di propagazione

$L_{downwind}$  è definito come:

$$L_{downwind} = 10 \log \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt$$

dove  $A$  è l'attenuazione durante la propagazione ed è composta dai seguenti contributi:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{ground} + A_{refl} + A_{screen} + A_{misc}$$

dove:

$A_{div}$  = Attenuazione dovuta alla divergenza geometrica

$A_{atm}$  = Attenuazione dovuta all'assorbimento dell'aria

$A_{ground}$  = Attenuazione dovuta all'effetto del suolo

$A_{screen}$  = Attenuazione causata da effetti schermanti

$A_{refl}$  = Attenuazione dovuta a riflessioni da parte di ostacoli

$A_{misc}$  = Attenuazione dovuta ad altri effetti

La ponderazione  $A$  può essere applicata singolarmente ad ognuno dei suddetti contributi oppure in un secondo momento alla somma fatta per ogni banda di ottava.

Il livello continuo equivalente è il risultato della somma dei singoli livelli di pressione che sono stati ottenuti per ogni sorgente in ogni banda di frequenza (quando richiesta).

Il livello effettivo di potenza sonora nella direzione di propagazione  $L_{WD}$  è dato dal livello di potenza in condizioni di campo libero  $L_w$  più un termine che tiene conto della direttività di una sorgente.  $DC$  quantifica la variazione dell'irraggiamento verso più direzioni, di una sorgente direzionale in confronto alla medesima non-direzionale.

$$L_{WD} = L_w + DC$$

Per una sorgente puntiforme non direzionale il contributo di  $DC$  è uguale a 0 dB. La correzione  $DC$  è data dall'indice di direttività della sorgente  $DI$  più un indice  $K_0$  che tiene conto dell'emissione in un determinato angolo solido.

Per una sorgente con radiazione sferica in uno spazio libero  $K_0 = 0$  dB, quando la sorgente è vicina ad una superficie riflettente che non è il terreno  $K_0 = 3$  dB, quando la sorgente è di fronte a due piani riflettenti perpendicolari, uno dei quali è il terreno  $K_0 = 3$  dB, se nessuno dei due è il terreno  $K_0 = 6$  dB, con sorgente di fronte a tre piani perpendicolari, uno dei quali è il terreno  $K_0 = 6$  dB, con sorgente di fronte a tre piani riflettenti, nessuno dei quali è il terreno  $K_0 = 9$  dB.

Il termine di **attenuazione per divergenza** geometrica è valutabile teoricamente:

$$A_{div} = 20 \log (d/d_0) + 11$$

dove  $d$  è la distanza fra la sorgente e il ricevitore in metri e  $d_0$  è la distanza di riferimento pari a 1 m.

**L'assorbimento dell'aria** è definito come:

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

dove  $d$  è la distanza di propagazione espressa in metri;  $\alpha$  è il coefficiente di attenuazione atmosferica in dB/km.

Il coefficiente di attenuazione atmosferica dipende principalmente dalla frequenza del suono, dalla temperatura ambientale e dall'umidità relativa dell'aria e solo in misura minore dalla pressione atmosferica

**L'attenuazione dovuta all'effetto suolo** consegue dall'interferenza fra il suono riflesso dal terreno e il suono che si propaga imperturbato direttamente dalla sorgente al ricevitore. Per questo metodo di calcolo la superficie del terreno fra la sorgente e il ricevitore dovrà essere piatta, orizzontale o con una pendenza costante.

Distinguiamo tre principali regioni di propagazione: la regione della sorgente, la regione del ricevitore e quella intermedia.

Ciascuna di queste zone può essere descritta con un fattore legato alle specifiche caratteristiche di riflessione.

Il metodo per il calcolo delle attenuazioni del terreno può far uso di una formula più semplificata, legata semplicemente alla distanza  $d$  ricevitore-sorgente e all'altezza media dal suolo del cammino di propagazione  $h_m$ :

$$A_{ground} = 4,8 - (2 h_m / d)(17 + (300/d))$$

Il termine di **attenuazione per riflessione** si riferisce a quelle superfici più o meno verticali, come le facciate degli edifici, che determinano un aumento del livello di pressione sonora al ricevitore. Le riflessioni determinate dal terreno non vengono prese in considerazione.

Un termine importante utilizzato nelle metodologie di calcolo previsionale è **l'attenuazione dovuta alla presenza di ostacoli** (schermo, barriera o dossi poco profondi).

La barriera deve essere considerata una superficie chiusa e continua senza interruzioni. La sua dimensione orizzontale perpendicolare alla linea sorgente-ricevitore deve essere maggiore della lunghezza d'onda  $\lambda$  alla frequenza di centro banda per la banda d'ottava considerata.

Per gli standard a disposizione l'attenuazione dovuta all'effetto schermante sarà data dalla insertion loss ovvero dalla differenza fra i livelli di pressione misurati al ricevitore in una specifica posizione con e senza la barriera.

Vengono tenuti in considerazione gli effetti di diffrazione dei bordi della barriera. (barriere spesse). Quando si è in presenza di più di due schermi si scelgono i due schermi più efficaci e si trascurano gli altri.

Il termine di **attenuazione mista** terrà conto dei diversi contributi dovuti a molteplici effetti:

- attenuazione dovuta a propagazione attraverso fogliame;
- attenuazione dovuta alla presenza di un insediamento industriale (diffrazione dovuta ai diversi edifici o installazioni presenti);
- attenuazione dovuta alla propagazione attraverso un insediamento urbano (effetto schermante o riflettente delle case).

### **CRITERI DI VALIDAZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO**

Il software di simulazione SOUNDPLAN 7.0 è basato sul modello di propagazione acustica in ambiente esterno ISO 9613-2:1996.

Negli anni passati sono stati messi a punto norme relative ai modelli di propagazione acustica da più Paesi europei.

Ora, se da un lato è di grande importanza che il modello sia il più possibile fedele alla situazione reale, è altrettanto importante, ai fini dell'applicazione delle leggi vigenti, che esso sia in qualche misura "normalizzato", ossia basato su algoritmi di provata validità e testati attraverso vari confronti. Molti Paesi, proprio allo scopo di ridurre i margini di incertezza (a volte anche consistenti) legati all'applicazione di algoritmi diversi e talvolta non sufficientemente validati, hanno messo a punto norme tecniche o linee guida che stabiliscono le regole matematiche fondamentali di un modello.

Tale obiettivo è ritenuto di grande importanza per più motivi:

- ridurre i margini di variabilità nei risultati;
- semplificare il lavoro dei professionisti, che dovendo "applicare" in termini ingegneristici i principi dell'acustica devono trovare "strumenti di lavoro" sufficientemente pratici;
- offrire modelli di calcolo validi per il particolare contesto nazionale.

Per ridurre ulteriormente i possibili "difetti" di implementazione software di tali linee guida, alcuni Paesi hanno messo a punto da tempo dei test ufficiali a cui possono sottoporsi tali software per una validazione.

L'Italia non ha definito delle proprie norme relative ai modelli di calcolo e dei test ufficiali a cui possono sottoporsi i software per una validazione.

Si è quindi impiegato per la previsione dell'impatto acustico SOUNDPLAN, uno dei software più diffusi e performanti e utilizzato il modulo basato sul modello stabilito dalla norma internazionale ISO 9613-2:1996.

La norma ISO 9613 è dedicata alla modellizzazione della propagazione acustica nell'ambiente esterno, ma non fa riferimento alcuno a sorgenti specifiche di rumore (traffico, rumore industriale...), anche se è invece esplicita nel dichiarare che non si applica al rumore aereo (durante il volo dei velivoli) e al rumore generato da esplosioni di vario tipo.

E' dunque una norma di tipo ingegneristico rivolta alla previsione dei livelli sonori sul territorio, che prende origine da una esigenza nata dalla norma ISO 1996 del 1987, che

richiedeva la valutazione del livello equivalente ponderato “A” in condizioni meteorologiche “favorevoli alla propagazione del suono”<sup>2</sup>.

La prima parte della norma (ISO 9613-1:1993) tratta esclusivamente il problema del calcolo dell'assorbimento acustico atmosferico, mentre la seconda parte (ISO 9613-2:1996) tratta in modo complessivo il calcolo dell'attenuazione acustica dovuta a tutti i fenomeni fisici di rilevanza più comune, ossia:

- la divergenza geometrica;
- l'assorbimento atmosferico;
- l'effetto del terreno;
- le riflessioni da parte di superfici di vario genere;
- l'effetto schermante di ostacoli;
- l'effetto della vegetazione e di altre tipiche presenze (case, siti industriali).

La norma stabilisce l'incertezza associata alla previsione: a questo proposito la ISO ipotizza che, in condizioni favorevoli di propagazione (sottovento, DW<sup>1</sup>) e tralasciando l'incertezza con cui si può determinare la potenza sonora della sorgente sonora, nonché problemi di riflessioni o schermature, l'accuratezza associabile alla previsione di livelli sonori globali sia quella presentata nella tabella sottostante.

<b>Altezza media di ricevitore e sorgente [m]</b>	<b>Distanza [m] 0 &lt; d &lt; 100</b>	<b>Distanza [m] 100 &lt; d &lt; 1000</b>
0 < h < 5	± 3 dB	± 3 dB
5 < h < 30	± 1 dB	± 3 dB

La validazione del software è stata effettuata utilizzando una speciale modalità, contenuta nel programma, che consente la verifica del funzionamento secondo test.

Vi sono rappresentati dei casi con morfologia dei luoghi e sorgente sonora determinati, nei quali il livello sonoro simulato è indicato già dal modello.

Sul proprio computer, inseriti i dati standardizzati, si calcolano i valori del livello sonoro al recettore.

La simulazione effettuata ha fornito esattamente i valori previsti.

Si è quindi considerato svolto con esito positivo il processo di validazione.

---

<sup>2</sup> E' noto che le condizioni favorevoli alla propagazione del suono sono assimilabili a condizioni di “sottovento” (downwind, DW) e di inversione termica.

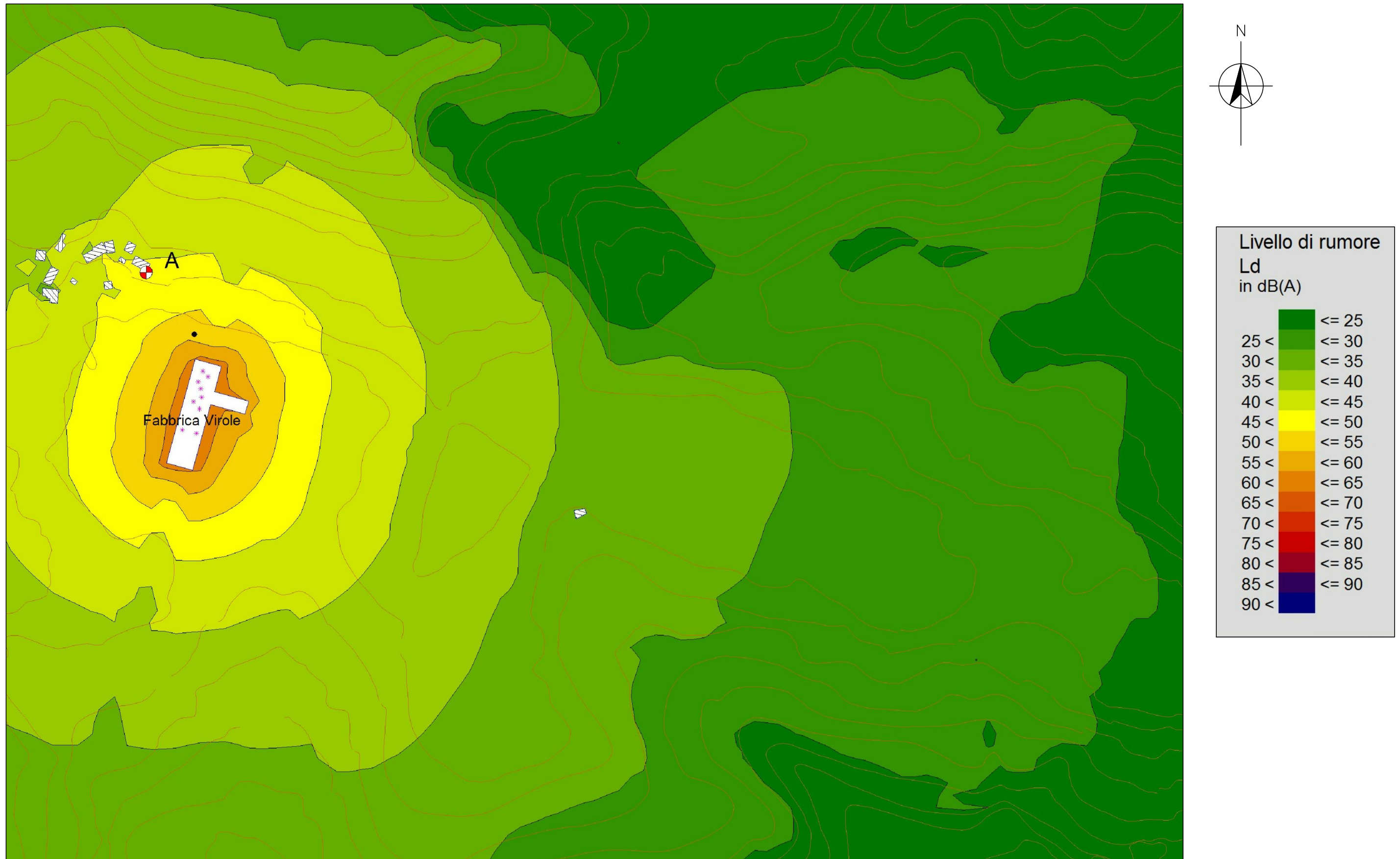


FIGURA 7.1

MAPPA DELLE ISOFONE

SCALA

