



CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19

S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001

Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

PROGETTO DEFINITIVO E STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

ATI:
TECHNITAL s.p.a. (mandataria)
S.I.S. Studio di Ingegneria Stradale s.r.l.
DELTA Ingegneria s.r.l.
INFRATEC s.r.l Consulting Engineering
PROGIN s.p.a.

I RESPONSABILI DI PROGETTO

Dott. Ing. M. Raccosta
Ordine Ing. Verona n° A1665
Prof. Ing. A. Bevilacqua
Ordine Ing. Palermo n° 4058
Dott. Ing. M. Carlino
Ordine Ing. Agrigento n° A628
Dott. Ing. N. Troccoli
Ordine Ing. Potenza n° 836
Dott. Ing. S. Esposito
Ordine Ing. Roma n° 20837

IL RESPONSABILE DEL SIA

Dott. Ing. Nicola D'Alessandro
Ordine degli Ingegneri di Agrigento n° A995

VISTO:IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Massimiliano Fidenzi

VISTO:IL RESPONSABILE DEL
SERVIZIO PROGETTAZIONE

Dott. Ing. Antonio Valente

DATA

PROTOCOLLO

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

RELAZIONE - PARTE IV

Componente Rumore e Vibrazioni

CODICE PROGETTO

LO407B D 0501

NOME FILE

IA30_AMB_RE04.DOC

REVISIONE

B

FOGLIO

DI

SCALA:

D

C

B

REVISIONE a seguito istruttoria ANAS 19/03/07

Aprile 2007

F. R. letto

F. Arciuli

C. Marro

A

EMISSIONE

Ottobre 2006

F. R. letto

F. Arciuli

C. Marro

REV.

DESCRIZIONE

DATA

VERIFICATO
RESP. TECNICO

CONTROLLATO
RESP. D'ITINERARIO

APPROVATO
RESP. DI SETTORE

1.	Premessa.....	3
2.	L'inquinamento acustico	4
2.1.	Definizioni	4
2.2.	Caratterizzazione del fenomeno fisico.....	6
2.2.1.	Definizione di sensazione sonora.....	6
2.2.2.	Il deciBel	7
2.2.3.	Classificazione del rumore	7
3.	La strumentazione per i rilievi fonometrici.....	9
3.1.	Il fonometro	9
3.2.	I parametri acustici	13
3.2.1.	Livello equivalente (Leq)	13
3.2.2.	Livelli statistici L1 - L5	13
3.2.3.	Livello statistico L10.....	14
3.2.4.	Livello statistico L50.....	14
3.2.5.	Livelli statistici L95 – L99	14
3.2.6.	Livello massimo Lmax.....	14
3.2.7.	Livello minimo Lmin	14
4.	Il modello SoundPlan e la norma ISO 9613	15
4.1.	Modello ISO 9613	15
4.2.	Il modello SoundPlan per la stima dei livelli sonori	16
5.	Normative di riferimento	18
5.1.	DPCM 1/3/1991	18
5.1.1.	Criterio differenziale	18
5.1.2.	Criterio assoluto.....	19
5.2.	Legge Quadro 26/10/1995	20
5.2.1.	Le competenze dello Stato.....	20
5.2.2.	Le competenze delle Regioni.....	21
5.2.3.	Le competenze delle Province	22
5.2.4.	Le competenze dei Comuni	22
5.2.5.	Disposizioni in materia di impatto acustico.....	23
5.3.	DPCM 14/11/1997.....	24
5.4.	DPR 30/3/2004	28
5.5.	DM 16/03/1998	32
6.	Caratterizzazione ante-operam.....	33
6.1.	Area di studio e limiti acustici	33
6.2.	Il censimento dei ricettori.....	33
6.3.	I rilievi fonometrici	34
6.3.1.	Il piano generale di monitoraggio	34
6.3.2.	Tabella sintetica finale della campagna di monitoraggio	34
6.3.3.	I rilievi spot.....	35
6.3.4.	I rilievi da 24 ore	37
6.3.5.	Il rilievo settimanale	38

6.4.	Flussi di traffico ante operam (anno 2006)	39
6.5.	La modellizzazione ante operam.....	41
6.5.1.	I parametri per la modellizzazione.....	41
6.5.2.	Risultati ante operam e confronto con i dati di monitoraggio	42
7.	Lo stato di progetto	44
7.1.	Il progetto della nuova SS 640	44
7.2.	Flussi di traffico post operam (anno 2011)	45
7.3.	La modellizzazione post operam.....	47
7.3.1.	I parametri per la modellizzazione.....	47
7.3.2.	Risultati post operam	47
8.	Misure di mitigazione	51
8.1.	Inserimento delle barriere nei punti critici	51
8.2.	La modellizzazione post mitigazione	51
8.3.	Tipologie di barriere proposte.....	52
8.4.	Sezioni acustiche	54
8.5.	Conclusioni	54
9.	Il rumore nella fase di cantierizzazione	56
9.1.	Premessa.....	56
9.2.	Macchinari funzionali alle lavorazioni	56
9.3.	Il disturbo indotto dalle attività di cantiere.....	58
9.3.1.	Il cantiere fisso.....	58
9.3.2.	Il cantiere mobile.....	58
9.3.3.	Il traffico dei mezzi di cantiere.....	58
9.4.	Risultati ed interventi di mitigazione	59
9.5.	Norme procedurali per l’abbattimento dei livelli sonori.....	61
10.	Vibrazioni	64
10.1.	Inquadramento normativo	66
10.2.	Ambito di influenza.....	67
10.3.	Sorgenti di vibrazioni già presenti.....	68
10.4.	Ricettori potenzialmente coinvolti	68
10.5.	Meccanismi di attenuazione dei terreni	71
10.6.	Caratterizzazione geolitologica	74
10.7.	Individuazione delle aree potenzialmente critiche	75
10.8.	Interventi di mitigazione	75
10.9.	Bibliografia	76

1. PREMESSA

Lo studio della componente rumore è stato articolato nei seguenti principali aspetti:

- aspetti generali del fenomeno fisico e grandezze caratteristiche;
- normativa di riferimento;
- metodologia di analisi;
- descrizione dello stato iniziale dell’ambiente;
- descrizione dell’intervento e della fase di esercizio dell’opera;
- misure di mitigazione e descrizione dello stato finale;
- problematiche indotte dalla fase di cantierizzazione.

La caratterizzazione ante – operam è stata supportata da una campagna di monitoraggio e di censimento dei ricettori.

Alla presente relazione sono allegati i seguenti elaborati cartografici:

Clima acustico attuale: livello diurno - planimetria in scala 1:5.000 (IA35AMBCT12 - CT22)

Clima acustico attuale: livello notturno - planimetria in scala 1:5.000 (IA35AMBCT23 – CT33)

Clima acustico stato di progetto: livello diurno - planimetria in scala 1:5.000 (IA35AMBCT34 – CT44)

Clima acustico stato di progetto: livello notturno- planimetria in scala 1:5.000 (IA35AMBCT45 – CT55)

Clima acustico stato post – mitigazione: livello diurno- planimetria in scala 1:5.000 (IA35AMBCT56 – CT58)

Clima acustico stato post – mitigazione: livello notturno- planimetria in scala 1:5.000 (IA35AMBCT59 – CT61)

Sezioni acustiche in scala 1:200 (IA35AMBCT62 – CT63)

Clima acustico in fase di cantiere in scala 1:2.000(IA35AMBCT64)

Campagna di monitoraggio acustico - IA30 AMB RE05.

2. L'INQUINAMENTO ACUSTICO

2.1. Definizioni

Vengono di seguito riportate le definizioni tecniche relative all'inquinamento acustico, così come sono espresse nelle normative di settore:

Inquinamento acustico: l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo ed alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento degli ecosistemi, dei beni materiali, dei monumenti, dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno o tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi.

Ambiente abitativo: ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati ad attività produttive per le quali resta ferma la disciplina specifica (D.lgs. 277/91), salvo per quanto concerne l'immissione di rumore da sorgenti sonore esterne a locali in cui si svolgono le attività produttive.

Sorgenti sonore fisse : gli impianti tecnici degli edifici e le altre installazioni unite agli immobili anche in via transitoria il cui uso produca emissioni sonore; le infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali, marittime, industriali, artigianali, commerciali ed agricole; i parcheggi; le aree adibite a stabilimenti di movimentazione merci; i depositi dei mezzi di trasporto di persone e merci, le aree adibite ad attività sportive e ricreative.

Sorgenti sonore mobili: tutte le sorgenti sonore non comprese al punto precedente.

Valori limite di emissione: il valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurata in prossimità della sorgente.

Tempo di riferimento diurno: intervallo compreso fra le 6:00 e le 22:00.

Tempo di riferimento notturno: intervallo compreso fra le 22:00 e le 6:00.

Valori limite di immissione: il valore massimo di rumore che può essere emesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno, misurato in prossimità dei ricettori.

Valori di attenzione: il valore di rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l'ambiente.

Valori di qualità: i valori di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla legge n° 447.

Livello di rumore residuo (Lr): è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato "A" che si rileva quando si escludono le specifiche sorgenti disturbanti. Esso deve essere misurato con le identiche modalità impiegate per la misura del rumore ambientale.

Livello di rumore ambientale (La): è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato “A” prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato tempo. Il rumore ambientale è costituito dall’insieme del rumore residuo e da quello prodotto dalle specifiche sorgenti disturbanti.

Livello differenziale di rumore: differenza tra il livello $leq(A)$ di rumore ambientale e quello del rumore residuo.

Infrastruttura stradale: l’insieme della superficie stradale, delle strutture e degli impianti di competenze dell’ente proprietario, concessionario o gestore necessari per garantire la funzionalità e la sicurezza della strada stessa.

Infrastruttura stradale esistente: quella effettivamente in esercizio o in corso di realizzazione o per la quale è stato approvato il progetto definitivo alla data di entrata in vigore del DPR 142/04.

Infrastruttura stradale di nuova realizzazione: quella in fase di progettazione alla data di entrata in vigore del DPR 142/04 e comunque non ricadente nel punto precedente.

Ampliamento in sede di infrastruttura stradale in esercizio: la costruzione di una o più corsie in affiancamento a quelle esistenti , ove destinate al traffico veicolare.

Affiancamento di infrastrutture stradali di nuova realizzazione a infrastrutture stradali esistenti: realizzazione di infrastrutture parallele a infrastrutture esistenti o confluenti, tra le quali non esistono aree intercluse non di pertinenza delle infrastrutture stradali stesse.

Confine stradale: limite della proprietà stradale quale risulta dagli atti di acquisizione o dalle fasce di esproprio del progetto approvato, in mancanza, il confine è costituito dal ciglio esterno del fosso di guardia o dalla cunetta, ove esistenti, o dal piede della scarpata se la strada è in rilevato o dal ciglio superiore della scarpata se la strada è in trincea, secondo quanto disposto dall’art.3 del decreto legislativo n° 285 del 1992 e successive modificazioni.

Variante: costruzione di nuovo tratto stradale in sostituzione di uno esistente, fuori sede, con uno sviluppo complessivo inferiore a 5 km per autostrade e strade extraurbane principali, 2 km per strade extraurbane secondarie e 1 km per le tratte autostradali di attraversamento urbano , le tangenziali e le strade urbane di scorrimento.

Ricettore: qualsiasi edificio adibito ad ambiente abitativo comprese le relative aree esterne di pertinenza, o ad attività lavorativa o ricreativa; aree naturalistiche vincolate, parchi pubblici ed aree esterne destinate ad attività ricreative ed allo svolgimento della vita sociale della collettività; aree territoriali edificabili già individuate dai piani regolatori generali e loro varianti generali vigenti al momento della presentazione dei progetti di massima relativi alle costruzioni delle infrastrutture.

Centro abitato: insieme di edifici , delimitato lungo le vie di accesso dagli appositi segnali di inizio e fine. Per insieme di edifici si intende un raggruppamento continuo, ancorché intervallato da strade, piazza, giardini o simili, costituito da non meno di venticinque fabbricati e da aree di uso pubblico con accessi veicolari o pedonali sulla strada.

Fascia di pertinenza: striscia di terreno misurata in proiezione orizzontale, per ciascun lato dell'infrastruttura a partire dal confine stradale, per la quale il DPR 142/04 stabilisce i limiti di immissione del rumore.

Il concetto di livello differenziale si applica solo ai valori di immissione e pertanto i valori limite di immissione sono distinti in :

- Valori limite assoluti, determinati con riferimento al livello equivalente di rumore ambientale;
- Valori limite differenziali, determinati con riferimento alla differenza tra il livello equivalente di rumore ambientale ed il rumore residuo.

2.2. Caratterizzazione del fenomeno fisico

2.2.1. Definizione di sensazione sonora

La sensazione sonora è provocata da una serie di variazioni di pressione atmosferica che si verificano con velocità sufficiente perché possano essere percepite dall'orecchio.

Il numero di variazioni di pressione in 1 secondo è detto frequenza del rumore e si misura in Hertz (Hz = n° di variazioni di pressione/s).

Nel caso dell'orecchio la superficie ricevente è il timpano costituito essenzialmente da una membrana, le cui vibrazioni vengono trasmesse al cervello che le traduce in "sensazione uditiva".

Affinché un suono possa essere udito dall'uomo bisogna che abbia due prerogative:

l'energia sonora deve avere un livello di intensità compreso tra un minimo, al quale si dà il nome di soglia di udibilità, ed un massimo, oltre il quale la troppa intensità sonora produce una sensazione dolorosa detta soglia del dolore;

la sua frequenza deve essere compresa fra due frequenze limite: quella inferiore pari a 16 Hz e quella superiore di 16.000 Hz. Oltre tali frequenze si hanno gli ultrasuoni, per i quali l'orecchio umano non è sensibile, mentre al di sotto dei 16 Hz non esiste suono udibile ma "infrasuoni" o vibrazioni meccaniche.

2.2.2. *Il deciBel*

Il comportamento dell'orecchio umano nei riguardi del suono non è lineare; infatti la sensazione sonora varia con la frequenza con cui il suono viene emesso e la variabilità dipende inoltre dal livello della pressione sonora. Si può affermare, anche se in maniera approssimativa, che l'orecchio umano è poco sensibile ai suoni di basse frequenze (inferiori a 200 Hz) e più sensibile ai suoni di frequenze medie (1.000 ÷ 4.000 Hz).

Il campo dinamico dell'udito umano è molto ampio; infatti il rapporto tra l'intensità sonora della soglia del dolore e l'intensità della soglia di udibilità è pari a 10¹⁴ :1. Quindi, per la valutazione dell'intensità sonora, poiché l'impiego di una scala così ampia non è facile e poiché l'orecchio umano non ha una risposta acustica lineare, è stata introdotta una scala logaritmica: la scala in deciBel (dB).

Il deciBel è definito come:

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

dove:

P = è il valore della pressione sonora, Pascal;

P₀ = è il valore di riferimento, convenzionalmente fissato a 20 µPa, ed è il valore più piccolo della pressione in grado di produrre, alla frequenza di 1.000 Hz, una sensazione sonora in un orecchio normale.

Un evento sonoro viene caratterizzato dallo spettro acustico, che costituisce l'insieme dei dati che rappresentano la distribuzione del livello di pressione acustica fra le diverse componenti sonore alle differenti frequenze. Si ricorre alla rappresentazione grafica, riportando in ascisse, in scala logaritmica, le frequenze delle singole componenti parziali della sorgente sonora, e in ordinate il livello di pressione acustica.

2.2.3. *Classificazione del rumore*

I rumori possono essere continui quando il fenomeno sonoro si prolunga nel tempo, discontinui se subisce interruzione. In funzione delle variazioni nel tempo del livello sonoro, il rumore può distinguersi in:

rumore stazionario: rumore che presenta fluttuazioni trascurabili durante il periodo di osservazione (< ± 2.5 dBA);

rumore non stazionario: rumore che presenta sensibili fluttuazioni durante il periodo di osservazione (> ± 2.5 dBA);

rumore fluttuante (non stazionario): rumore il cui livello varia in modo continuo durante il periodo di osservazione e non presenta carattere impulsivo;

rumore intermittente (non stazionario): rumore il cui livello diminuisce bruscamente fino a raggiungere il livello del rumore di fondo e questo più volte durante il periodo di osservazione;

rumore impulsivo (non stazionario): rumore consistente in uno o più impulsi di energia sonora, ogni impulso avendo una durata minore di circa 1 s.

3. LA STRUMENTAZIONE PER I RILIEVI FONOMETRICI

3.1. Il fonometro

La misura del rumore viene effettuata con uno strumento di precisione, le cui caratteristiche corrispondono a norme nazionali ed internazionali (in Italia le norme CEI 29/xx), chiamato fonometro. Il fonometro è lo strumento più utilizzato per la misura dell'ampiezza dei suoni in maniera obiettiva e riproducibile; il nome dello strumento non deve trarre in inganno, non si tratta infatti di un misuratore di Phon, che è l'unità di misura del livello della sonorità (loudness level), ma di un misuratore del livello di pressione sonora come spiega più efficacemente il suo nome in inglese: Sound Level Meter. Il fonometro può essere di due tipi, analogico o digitale; oggi si producono unicamente fonometri digitali, ma essendo questo tipo di strumenti affidabile nel tempo e costoso da sostituire è comune trovare ancora in uso strumentazione completamente analogica.

Ogni fonometro è composto da un microfono, un preamplificatore, un circuito di pesatura dove sono inserite delle curve di ponderazione definite da standard internazionali da applicare al segnale in ingresso, un filtro (od un banco di filtri nei fonometri più recenti e costosi) per dividere il segnale in bande di frequenza più o meno strette, un amplificatore, un rivelatore di valore efficace (RMS) cui fa capo un circuito contenente più costanti di tempo ed infine le uscite: una o più uscite propriamente dette, un circuito di memorizzazione ed un display alfanumerico. Dal punto di vista metrologico i fonometri devono attenersi a determinate normative, tra queste le principali sono la IEC 651-1979 (International Electrotechnical Commission), la IEC 804-1985 e la ANSI S1.4 -1983 (American National Standards Institute).

Queste stabiliscono differenti classi di precisione:

Classe 0: Strumenti da laboratorio

Classe 1: Strumenti di precisione (per misure in campo ed in laboratorio)

Classe 2: Strumenti idonei a misure in campo generiche

Classe 3: Strumenti per monitoraggio (esiste solo per IEC 651)

Il fonometro fornisce una misura oggettiva del valore delle variazioni di pressione acustica rispetto alla pressione ambientale indisturbata e non può valutare direttamente il grado di disturbo soggettivo di differenti rumori o dello stesso rumore rispetto a differenti osservatori.

Per far ciò si utilizza un circuito elettronico dove la sensibilità varia con la frequenza simulando il comportamento dell'orecchio umano normale: una curva di ponderazione. Esistono più curve di ponderazione stabilite dallo IEC, tre di esse, le curve A B C, riproducono le differenti risposte dell'orecchio a segnali di differente ampiezza: da 0 a 45 dB per la A, da 45 a 75 per la B, ed oltre 75 dB per la C. Dato che la loro applica-

zione modifica fortemente il segnale trasmesso, si può comprendere facilmente la grande difficoltà di applicazione che esse presentano.

Con gli anni e la necessità di far condurre misure di rumore anche a personale non particolarmente addestrato, due di esse, quelle relative ai segnali di ampiezza più elevata (B e C) sono cadute in disuso per cui ora si adoperava in ogni caso la sola curva A commettendo un errore di approssimazione crescente con il crescere del livello del segnale in ingresso, principalmente nelle basse frequenze.

Oltre a queste curve esistono anche la curva LIN, che è una curva “all pass” utilizzata quando non interessa conoscere il segnale udibile, ma quello effettivamente presente ove si effettua la misura; e la curva D che è stata creata con l'intento di riprodurre il fastidio delle persone per il rumore dei jet e viene utilizzata per misure di valutazione del rumore aeroportuale.

Il fonometro fornisce livelli della pressione sonora se utilizzato in posizione LIN, mentre fornisce livelli sonori se utilizzato con una curva di pesatura, nella fattispecie la curva A. Nella maggior parte dei casi il rumore inteso come segnale che si deve misurare non è costante, ma fluttuante. Al fine di misurarne il valore correttamente, le variazioni devono essere seguite il più fedelmente possibile; a tal fine occorre poter variare la risposta dello strumento.

Il rivelatore di RMS ha generalmente quattro costanti di tempo integrate il cui utilizzo è regolato dalle normative sulle modalità di misura:

- la costante SLOW (1 secondo) è la più adoperata, in quanto consentiva sugli strumenti con indicazione ad ago di riuscire a stabilire, interpretando le oscillazioni dello stesso, il valore del livello di uscita con minori ambiguità;

- la costante FAST (125 millisecondi), che sugli strumenti ad ago dava oscillazioni esagerate ed impediva sovente una lettura agevole, sui moderni fonometri integratori consente una maggiore precisione nell'analisi automatica del segnale, coincide con il tempo di integrazione dell'orecchio umano (di circa 100 millisecondi), fornendo così un'informazione dell'evolversi della sonorità secondo l'esperienza soggettiva.

- la costante IMPULSE ha la caratteristica di avere un tempo di salita estremamente rapido, (35 ms, il tempo tipico di uno sparo) ed un lungo decadimento, caratterizzato da una velocità di 3 dB/s per poter rappresentare l'effetto dei rumori impulsivi sull'orecchio umano che non è adeguatamente mostrato dalle costanti SLOW e FAST; questo avviene perché un suono di breve durata viene percepito a livello di sensazione sonora come più basso di uno, analogo come livello, ma di durata più lunga; pur essendo invece, più pericoloso non avendo il tempo l'organismo di approntare le necessarie difese interne.

- la costante PEAK (35 millisecondi) dà il valore massimo raggiunto dal segnale nel periodo di misura e lo mantiene memorizzato per una successiva lettura.

Essendo quella sonora una forma di energia, il suo potenziale nocivo non risiede solo nel suo livello, ma anche nella sua durata. In presenza di suoni variabili nel tempo, il

suono può essere campionato durante un periodo di tempo detto intervallo di campionamento, in maniera sistematica e continuativa. Dall'analisi di questi campioni effettuata in opportuni fonometri detti fonometri integratori si ottiene come risultato un valore unico che tiene conto di tutto ciò che è avvenuto dal punto di vista acustico durante l'intervallo di campionamento. Questo valore prende il nome di livello (acustico) continuo equivalente o Leq ed ha il medesimo contenuto di energia e conseguentemente il medesimo potenziale nocivo per l'udito del livello acustico fluttuante.

Il Leq viene utilizzato ogniqualvolta è necessario conoscere il livello di rumore in un determinato punto di misura: è diventato praticamente indispensabile per poter effettuare misure affidabili ed è definito dalla seguente formula:

$$Leq = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \left[\int_0^T \frac{P(t)^2}{P_0^2} dt \right]$$

Dove $P(t)$ è la pressione istantanea, P_0 è la pressione di riferimento ($20 \mu Pa$), T è il tempo di misura.

Un altro parametro generato dal circuito integratore è il SEL (livello di esposizione sonora), che è un parametro in grado di tenere conto oltre che della variabilità in livello di un segnale anche della sua durata temporale, permettendo così di confrontare fenomeni di durata diversa e con diversi livelli e di ottenerne una valutazione univoca della pericolosità.

Il SEL è definito dalla seguente formula:

$$SEL = 10 \log_{10} \frac{1}{T_0} \left[\int_0^T \frac{P(t)^2}{P_0^2} dt \right]$$

dove i termini hanno il medesimo significato di quelli dell'equazione precedente a parte T_0 che è il tempo standard pari ad un secondo.

Alcuni fonometri dispongono inoltre di un analizzatore statistico, che fornisce un'analisi statistica delle variazioni del livello sonoro. Questa appare come una serie, generalmente definibile dall'utente (almeno parzialmente), di valori indicati con L_n (livelli percentili), dove n è un numero da 1 a 99 indicante la percentuale temporale del periodo di misura durante la quale un determinato valore è stato superato: ad esempio avere un L_{50} pari a 75,4 dBA vuol dire che il valore 75,4 dBA è stato superato per il 50% del tempo di misura. I livelli percentili hanno importanza in quanto vengono utilizzati come indicatori di fenomeni acustici: ad esempio il percentile L_{10} viene utilizzato come indicatore del rumore da traffico ferroviario, in quanto è strettamente correlato con il livello equivalente generato dal traffico da tale sorgente, il percentile L_{50} viene utilizzato come indicatore del rumore da traffico veicolare, in quanto è analo-

gamente strettamente correlato con il livello equivalente generato dal traffico veicolare.

La strumentazione impiegata e le metodiche di misura rispettano i riferimenti di legge nazionali e gli standard nazionali (UNI) ed internazionali (norme EN, ISO), in particolare:

EN 60651-1994	Class 1 Sound Level Meters (CEI 29-1)
EN 60804-1994	Class 1 Integrating- Averaging Sound Level Meters
EN 61094/1-1994	Measurements microphones – Part 1
EN 61094/2-1993	Measurements microphones – Part 2
EN 61094/4-1995	Measurements microphones – Part 3
EN 61260-1995	Measurements microphones – Part 4
IEC 942-1988	Octave band and fractional octave band filters (CEI 29-4)
ISO 226-1987	Electroacoustics _ Sound Calibrators (CEI 29-14)
UNI 9884-1991	Acoustics – Normal equal – loudness level contours
DPCM 1/03/1991	Caratterizzazione acustica del territorio (rumore ambientale)
Legge 447/95	Legge quadro sull'inquinamento acustico
DPCM 14/11/1997	Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore
DM 16/03/1998	Tecniche di rilevamento dell'inquinamento acustico

Le metodiche di misura rispettano le prescrizioni di legge relative alle condizioni meteorologiche, alla calibrazione ed al rumore di fondo.

In particolare, per quanto riguarda le condizioni meteorologiche, le misure sono state eseguite tenendo conto dell'assenza di condizioni meteorologiche quali: gelo, suolo coperto da strato di neve, nevicata, pioggia persistente e velocità del vento superiore a 5 m/s; inoltre, sono stati evitati periodi caratterizzati da elevata instabilità atmosferica.

Per la calibrazione degli strumenti si è proceduto a calibrare il fonometro, all'inizio ed alla fine di ogni serie di misurazioni, con strumento di Classe 1, secondo le indicazioni del costruttore.

Tutte le misure effettuate sono state ritenute valide, in quanto i livelli di pressione sonora, rilevati con calibratore prima e dopo le misure, non hanno evidenziato variazioni maggiori di $\pm 0,1$ dBA.

3.2. I parametri acustici

3.2.1. Livello equivalente (Leq)

L'indicatore ambientale primario per la caratterizzazione acustica di un ricettore è fornito dal livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato "A" definito dalla relazione analitica:

$$L_{AEQ} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \left[\int_0^T \frac{P_A(t)^2}{P_0^2} dt \right]$$

dove:

$p_A(t)$: valore istantaneo della pressione sonora ponderata secondo la curva A (norma I.E.C. n. 651)

p_0 : valore della pressione sonora di riferimento assunta uguale a 20 micropascal in condizioni standard

T: intervallo di tempo di integrazione.

Il livello equivalente di rumore esprime il livello energetico medio della pressione sonora ponderata in curva A ed è utilizzato dal DPCM 1/3/1991 e dalle successive normative per la definizione dei limiti di accettabilità.

La scelta di tale indicatore di rumore, se da un lato è imposta dalla necessità di verificare il rispetto della normativa di settore vigente in Italia, ha comunque ampi riscontri negli studi di socio-acustica svolti a livello internazionale.

Il livello equivalente continuo di pressione sonora ponderato A, utilizzato come indicatore di riferimento è, per sua definizione, un parametro che non fornisce utili indicazioni sulla natura delle sorgenti sonore responsabili del clima acustico. I valori di livello equivalente che il rilevamento fornisce devono quindi poter essere interpretati con altri indicatori sensibili alle caratteristiche delle sorgenti di rumore.

Gli indicatori che possono consentire la valutazione e l'interpretazione dei rilievi di rumore sono i livelli percentili, i livelli minimo e massimo, la "time history" in dB(A) fast, la distribuzione statistica dei valori della "time history", lo spettro di frequenza.

3.2.2. Livelli statistici L1 - L5

Gli indici percentili L1 ed L5 connotano gli eventi di rumore ad alto contenuto energetico (livelli di picco): valori di L5 nel periodo notturno maggiori di 70÷80 dB(A) rappresentano un indicatore di disturbo sul sonno da incrociare con la verifica dei Lmax rilevati in dB(A)Fast.

3.2.3. *Livello statistico L10*

In presenza di sorgenti quasi-gaussiane quali alti flussi di traffico, L10 assume valori di qualche decibel più alti dei relativi valori di Leq. Questa differenza diminuisce in presenza di eventi ad alto contenuto energetico verificabili dal decorso storico dei Lmax e, in tali casi, Leq può diventare più alto di L10.

L'indice percentile L10 è utilizzato nella definizione dell'indicatore “clima acustico”, espresso dalla differenza tra L10 e L90 e rappresenta la variabilità degli eventi di rumore rilevati. Generalmente è utilizzato come indicatore del rumore da traffico ferroviario.

3.2.4. *Livello statistico L50*

L50 è utilizzabile come indice di valutazione della tipologia emissiva delle sorgenti: se la sorgente risulta alquanto costante, l'indice L50 tende al valore di Leq rispetto al quale si mantiene alcuni deciBel più basso. Il percentile L50 è utilizzato spesso come indicatore del rumore da traffico veicolare.

3.2.5. *Livelli statistici L95 – L99*

I livelli statistici L95 e L99 sono rappresentativi del rumore di fondo dell'area in cui è localizzata la stazione di monitoraggio e consentono di valutare il livello delle sorgenti fisse che emettono con modalità stazionarie. La differenza L95-Lmin aumenta all'aumentare della fluttuazione della sorgente.

3.2.6. *Livello massimo Lmax*

Il livello massimo Lmax connota gli eventi di rumore a massimo contenuto energetico quali il passaggio di moto, di autoambulanze, una sirena, ecc.

Lmax è il migliore descrittore del disturbo e delle alterazioni delle fasi del sonno, e di tutte le condizioni di esposizione dove conta di più il numero degli eventi ad alto contenuto energetico rispetto alla “dose” (fasi di apprendimento, disturbo alle attività didattiche, attività che richiedono concentrazione, ecc.).

3.2.7. *Livello minimo Lmin*

Il livello minimo Lmin connota la soglia di rumorosità di un'area, permettendo di valutare la necessità di tenere conto o meno degli effetti sul clima acustico della introduzione di una sorgente di bassa potenza sonora ecc.

4. IL MODELLO SOUNDPLAN E LA NORMA ISO 9613

4.1. Modello ISO 9613

La norma internazionale 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"; la norma ISO 9613 permette, in aggiunta, il calcolo dei livelli sonori equivalenti "sul lungo periodo" tramite una correzione forfettaria.

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 ISO non si addentra nella definizione delle sorgenti, ma specifica unicamente criteri per la riduzione di sorgenti di vario tipo a sorgenti puntiformi.

In particolare, viene specificato come sia possibile utilizzare una sorgente puntiforme solo qualora sia rispettato il seguente criterio:

$$d > 2 H_{\max}$$

dove d è la distanza reciproca fra la sorgente e l'ipotetico ricevitore, mentre H_{\max} è la dimensione maggiore della sorgente.

L'equazione che permette di determinare il livello sonoro $L_{AT}(DW)$ in condizioni favorevoli alla propagazione in ogni punto ricevitore è la seguente:

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

dove L_w è la potenza sonora della sorgente (espressa in bande di frequenza di ottava) generata dalla generica sorgente puntiforme, D_c è la correzione per la direttività della sorgente e A l'attenuazione dovuti ai diversi fenomeni fisici di cui sopra, espressa da:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$$

con:

A_{div} attenuazione per la divergenza geometrica,

A_{atm} attenuazione per l'assorbimento atmosferico,

A_{gr} l'attenuazione per effetto del terreno,

A_{bar} l'attenuazione di barriere,

A_{misc} l'attenuazione dovuta agli altri effetti non compresi in quelli precedenti.

La condizione di propagazione ottimale, corrispondente alle condizioni di “sottovento” e/o di moderata inversione termica (tipica del periodo notturno), è definita dalla ISO 1996-2 nel modo seguente:

- direzione del vento compresa entro un angolo di $\pm 45^\circ$ rispetto alla direzione individuata dalla retta che congiunge il centro della sorgente sonora dominante alla regione dove è situato il ricevitore, con il vento che spira dalla sorgente verso il ricevitore;
- velocità del vento compresa fra 1 e 5 m/s, misurata ad una altezza dal suolo compresa fra 3 e 11 m.

4.2. Il modello SoundPlan per la stima dei livelli sonori

La stima dei livelli sonori è stata eseguita utilizzando il modello SoundPlan (versione 6.2). SoundPlan appartiene a quella classe di modelli previsionali sofisticati, basati sulla tecnica del Ray Tracing, che permettono di simulare la propagazione del rumore in situazioni di sorgente ed orografia complesse.

La peculiarità del modello SoundPlan si basa sul metodo di calcolo per “raggi” (Metodologia ray-tracing). Il sistema di calcolo fa dipartire dal ricevitore una serie di raggi, ciascuno dei quali analizza la geometria della sorgente e quella del territorio, le riflessioni e la presenza di schermi. Studiando il metodo con maggior dettaglio, si vede che ad ogni raggio che parte dal ricevitore viene associata una porzione di territorio e così, via via, viene coperto l'intero territorio.

Quando un raggio incontra la sorgente, il modello calcola automaticamente il livello prodotto della parte intercettata. Pertanto, sorgenti lineari come strade e ferrovie vengono discretizzate in tanti singoli punti sorgente, ciascuno dei quali fornisce un contributo. La somma dei contributi associati ai vari raggi va quindi a costituire il livello di rumore prodotto dall'intera sorgente sul ricevitore.

Quando un raggio incontra una superficie riflettente come la facciata di un edificio, il modello calcola le riflessioni multiple. A tal proposito l'operatore può stabilire il numero di riflessioni massimo che deve essere calcolato ovvero la soglia di attenuazione al di sotto della quale il calcolo deve essere interrotto.

Questa metodologia di calcolo consente quindi una particolare accuratezza nella valutazione della geometria del sito e risulta quindi molto preciso ed efficace in campo urbano, dove l'elevata densità di edifici, specie se di altezza elevata, genera riflessioni multiple che producono un innalzamento dei livelli sonori.

La possibilità di inserire i dati sulla morfologia dei territori, sui ricettori e sulle infrastrutture esistenti ed in progetto mediante cartografia tridimensionale consente di schematizzare i luoghi in maniera più che mai realistica e dettagliata. Ciò a maggior ragione se si considera che, oltre alla conformazione morfologica, è possibile associare ad elementi naturali ed antropici, specifici comportamenti acustici.

Il modello prevede, infatti, l'inserimento di appositi coefficienti che tengono conto delle caratteristiche più o meno riflettenti delle facciate dei fabbricati o l'assorbimento dovuto alla presenza di aree boschive.

Le informazioni che il modello SoundPlan deve avere per poter fornire le previsioni dei livelli equivalenti sono molte e riguardano le sorgenti sonore, la propagazione delle onde e in ultimo i ricettori. E' quindi necessario fornire al programma la topografia dell'area oggetto di studio, comprensiva non solo delle informazioni riguardanti il terreno e gli ostacoli che possono influenzare la propagazione del rumore, ma anche delle caratteristiche di linee stradali e ferroviarie e naturalmente della disposizione e dimensioni degli edifici. Questi ultimi oltre ad essere ostacoli alla propagazione del rumore, sono spesso i bersagli dello studio.

Nonostante sia possibile caricare la geometria di base tramite file autocad (formato dxf), questa fase è particolarmente laboriosa perché necessita di informazioni dettagliate riguardanti ciascun elemento che compone l'area oggetto della simulazione. Ad esempio, nel caso di edifici, il programma richiede l'altezza del piano terra e dei piani successivi, il numero dei piani, la quota di ogni vertice che costituisce il poligono di base (sia la quota del terreno in quel punto che l'eventuale altezza dell'edificio rispetto al terreno) e le perdite dovute alla riflessione per ciascuna facciata. Il programma permette di calcolare i livelli sonori dovuti a diversi tipi di sorgenti industriali, ferroviarie e stradali.

Ogni modello scelto per i vari tipi di sorgenti presenta algoritmi propri per il calcolo dell'effetto del suolo, dell'assorbimento e degli altri fenomeni coinvolti.

Per quanto riguarda il traffico stradale il riferimento è costituito dal modello tedesco RLS-90, ormai riconosciuto come standard a livello internazionale.

La stima del livello sonoro tiene conto della composizione del traffico, del numero e della velocità dei veicoli, della tipologia dell'asfalto e della pendenza della strada. L'elevato quantitativo di informazioni iniziali unito alla precisione impostata in fase di elaborazione dei dati permettono di ottenere risultati di grande precisione, che diventano però onerosi in termini di risorse di calcolo.

E' quindi determinante una buona schematizzazione a livello di dati input, in modo da non appesantire eccessivamente la fase di calcolo, mantenendo però una soddisfacente precisione nei risultati.

5. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

5.1. DPCM 1/3/1991

Il DPCM 1/3/91 si proponeva di stabilire i limiti di accettabilità di livelli di rumore validi su tutto il territorio nazionale, quali misure immediate ed urgenti di salvaguardia della qualità ambientale e della esposizione urbana al rumore. Tale decreto si collocava come primo punto di riferimento per il problema dell'inquinamento acustico, in attesa dell'approvazione di una legge quadro e dei relativi decreti attuativi.

Con l'approvazione della legge quadro 447/95 tale decreto è stato di fatto parzialmente abrogato, ma alcune definizioni sono state riprese dai provvedimenti successivi e restano pertanto valide.

I limiti ammissibili in ambiente esterno vengono stabiliti sulla base del piano di zonizzazione acustica redatto dai Comuni che, utilizzando indicatori di natura urbanistica (densità di popolazione, presenza di attività produttive, presenza di infrastrutture di trasporto, ecc.), suddividono il proprio territorio in zone diversamente "sensibili". A tali zone, caratterizzate in termini descrittivi nella Tabella 5.1 del DPCM (ripresa nella Tabella A del DPCM 14/11/97) sono associati dei valori di livello di rumore limite diurno e notturno espressi in termini di livello equivalente continuo misurato con curva di ponderazione A (ripresi nella Tabella C del DPCM 14/11/97), corretto per tenere conto della eventuale presenza di componenti impulsive o componenti tonali. Tale valore è definito livello di rumore ambientale corretto, mentre il livello di fondo in assenza della specifica sorgente è detto livello di rumore residuo.

L'accettabilità del rumore si basa sul rispetto di due criteri distinti: il criterio differenziale e quello assoluto.

5.1.1. *Criterio differenziale*

E' riferito agli ambienti confinati, per il quale la differenza tra livello di rumore ambientale corretto e livello di rumore residuo non deve superare 5 dBA nel periodo diurno (ore 6:00 ÷ 22:00) e 3 dBA nel periodo notturno (ore 22:00 ÷ 6:00). Le misure si intendono effettuate all'interno del locale disturbato a finestre aperte. Il rumore ambientale non deve comunque superare i valori di 60 dBA nel periodo diurno e 45 dBA nel periodo notturno a finestre chiuse. Il rumore ambientale è sempre accettabile se, a finestre chiuse, non si superano i valori di 40 dBA di giorno e 30 dBA di notte.

Non si applica alle infrastrutture lineari di trasporto.

5.1.2. Criterio assoluto

E' riferito agli ambienti esterni, per il quale è necessario verificare che il livello di rumore ambientale corretto non superi i limiti assoluti stabiliti in funzione della destinazione d'uso del territorio e della fascia oraria.

In attesa del completamento della zonizzazione dei territori comunali interessati, si applicano per le sorgenti sonore fisse i limiti di accettabilità riportati in Tabella 5.2, dove:

con zona territoriale omogenea «A» si fa riferimento alle parti del territorio interessate da agglomerati urbani che rivestono carattere storico, artistico o di particolare pregio ambientale (D.M. 1444/68);

con zona territoriale omogenea «B» si fa riferimento alle parti del territorio totalmente o parzialmente edificate diverse dalle zone A, considerando parzialmente edificate le zone in cui la superficie coperta degli edifici esistenti non sia inferiore al 12,5 % - un ottavo - della superficie fondiaria della zona e nelle quali la densità territoriale sia superiore a 1,5 m³/m² (D.M. 1444/68).

Classi di destinazione d'uso del territorio		Tempi di riferimento	
		Diurno (6.00 - 22.00)	Notturmo (22.00 - 6.00)
I	Aree particolarmente protette	50	40
II	Aree prevalentemente residenziali	55	45
III	Aree di tipo misto	60	50
IV	Aree di intensa attività umana	65	55
V	Aree prevalentemente industriali	70	60
VI	Aree esclusivamente industriali	70	70

Tabella 5.1 - Valori limiti massimi del livello sonoro equivalente (in dBA) relativi alle classi di destinazione d'uso del territorio in presenza di zonizzazione (DPCM 1/3/1991)

Classi di destinazione d'uso del territorio	Tempi di riferimento	
	Diurno (6.00 - 22.00)	Notturno (22.00 - 6.00)
Tutto il territorio nazionale	70	60
Zona A (ex D.M. 1444/68)	65	55
Zona B (ex D.M. 1444/68)	60	50
Zona esclusivamente industriale	70	70

Tabella 5.2 - Valori limite di accettabilità in dBA (DPCM 1/3/1991, articolo 6)

5.2. Legge Quadro 26/10/1995

La legge quadro sull'inquinamento acustico n° 447 del 26/10/1995 sta effettivamente entrando nella sua piena operatività con la progressiva emanazione dei regolamenti attuativi. Si tratta di una legge quadro, ossia di una legge che affronta in termini esaurienti un singolo argomento esaurendolo completamente, pur senza volersi addentrare nei particolari giuridici.

Stabilisce in primo luogo le competenze dei vari organi della pubblica amministrazione (Stato, Regioni, Comuni), delinea la figura del tecnico competente, affronta il problema del trasporto pubblico e privato, da sempre escluso dalle varie legislazioni succedutesi negli anni.

Il primo articolo, brevissimo illustra le finalità della legge:

“La presente legge stabilisce i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico, ai sensi e per gli effetti dell'articolo 117 della Costituzione”.

Con il secondo si affrontano le definizioni legate alla materia: sono citate solamente quelle nuove o modificate, per le altre si rimanda al DPCM 1/3/1991; è inoltre presente un riferimento al decreto legislativo n° 277 del 1991, il quale regola, tra le altre cose, l'esposizione al rumore in ambiente di lavoro.

Infine si fissa la figura del tecnico competente, si dispone la creazione di albi regionali e si fissa il principio della separazione delle attività: chi effettua i controlli non può anche svolgere le attività sulle quali deve essere effettuato il controllo.

5.2.1. Le competenze dello Stato

Fra le competenze centrali un ruolo propulsivo è assegnato al Ministero dell'Ambiente, in raccordo con altri Ministeri tramite lo strumento del “concerto”.

L'articolo 3 espone le competenze dello Stato, tra cui:

- la determinazione dei valori definiti nell'articolo 2;

- la definizione della normativa tecnica e della sua applicazione per quanto riguarda i nuovi prodotti;
- la determinazione delle tecniche di rilevamento del rumore;
- il coordinamento dell'attività di ricerca;
- la determinazione dei requisiti acustici delle sorgenti sonore e dei requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti;
- l'indicazione dei criteri per la progettazione, l'esecuzione e la ristrutturazione delle costruzioni edilizie e delle infrastrutture dei trasporti;
- la determinazione dei requisiti dei sistemi di allarme ed antifurto;
- la determinazione dei requisiti acustici delle sorgenti sonore nei luoghi di pubblico intrattenimento;
- l'adozione di piani pluriennali per il contenimento delle emissioni sonore prodotte per lo svolgimento di servizi pubblici essenziali;
- la determinazione dei criteri di misurazione del rumore emesso da aeromobili e imbarcazioni;
- la determinazione dei criteri per la classificazione degli aeroporti, l'adozione di misure per il controllo e la riduzione del rumore, l'individuazione delle aree di rispetto urbanistico, la progettazione e la gestione dei sistemi di monitoraggio.

5.2.2. *Le competenze delle Regioni*

La legge quadro attribuisce alle Regioni una competenza legislativa in materia: le normative regionali devono essere finalizzate a dettare criteri generali e a specificare modalità necessarie per l'esercizio dell'attività amministrativa. In tal modo si può procedere alla stesura delle zonizzazioni acustiche del territorio e delle analisi previsionali di impatto acustico per le aree a rischio.

L'articolo 4 imponeva alle Regioni entro il termine di un anno (30 dicembre 1996) di definire con legge:

- i criteri con cui i Comuni procedono alla classificazione del proprio territorio prevedendo piani di risanamento nel caso di non omogeneità tra aree confinanti di comuni limitrofi e poteri sostitutivi in caso di inerzia o conflitto tra gli stessi prevedendo inoltre scadenze e sanzioni;
- le modalità di controllo del rispetto della normativa per la tutela dall'inquinamento acustico all'atto del rilascio di concessioni edilizie e licenze relative a nuovi impianti ed infrastrutture relativi ad attività produttive, sportive, ricreative e "postazioni di servizi commerciali polifunzionali";
- i criteri per l'introduzione, da parte dei Comuni il cui territorio presenti un rilevante interesse paesaggistico-ambientale e turistico, di valori inferiori a quelli validi su tutto il territorio nazionale;

- le modalità di rilascio delle autorizzazioni comunali per lo svolgimento di attività o manifestazioni temporanee in luogo pubblico o aperto al pubblico qualora queste prevedano macchinari od impianti rumorosi;
- le competenze delle province;
- l'organizzazione nell'ambito del territorio regionale dei servizi di controllo;
- i criteri da seguire per la stesura della documentazione di impatto acustico relativa alla realizzazione, modifica o al potenziamento delle opere che ne abbisognano (elencate all'articolo 8);
- i criteri per la identificazione delle priorità temporali degli interventi di bonifica acustica del territorio;
- la stesura di un piano regionale triennale di intervento per la bonifica dall'inquinamento acustico.

Attualmente non tutte le Regioni hanno pubblicato le leggi regionali previste.

5.2.3. *Le competenze delle Province*

Sono di competenza delle Province (articolo 5):

- funzioni amministrative previste dalla legge per l'ordinamento delle autonomie locali;
- funzioni eventualmente loro affidate dalle Regioni;
- funzioni di controllo e vigilanza tramite l'agenzia regionale.

5.2.4. *Le competenze dei Comuni*

Ai Comuni è stato attribuito il ruolo di ente di riferimento per la prevenzione e il risanamento dell'inquinamento acustico. In base all'articolo 6 sono di competenza dei Comuni, secondo le leggi statali e regionali e i rispettivi statuti:

- la classificazione del territorio comunale;
- l'adozione dei piani di risanamento di cui all'articolo 7;
- il controllo del rispetto della normativa per la tutela dall'inquinamento acustico all'atto del rilascio di concessioni edilizie e licenze relative a nuovi impianti ed infrastrutture relativi ad attività produttive, sportive, ricreative e "postazioni di servizi commerciali polifunzionali";
- l'adozione di regolamenti per l'attuazione della disciplina statale e regionale per la tutela dall'inquinamento acustico;
- la rilevazione ed il controllo delle emissioni sonore prodotte dai veicoli;
- le autorizzazioni comunali per lo svolgimento di attività o manifestazioni temporanee in luogo pubblico o aperto al pubblico qualora queste prevedano macchinari od impianti rumorosi.

Inoltre entro un anno i Comuni devono adeguare i regolamenti locali di igiene e sanità o di polizia municipale con particolare riferimento al controllo, al contenimento ed all'abbattimento delle emissioni sonore derivanti dalla circolazione degli autoveicoli.

I Comuni il cui territorio presenti un rilevante interesse paesaggistico-ambientale e turistico hanno facoltà di introdurre valori inferiori a quelli validi su tutto il territorio nazionale.

Sono fatte salve le azioni espletate dai Comuni ai sensi del DPCM 1/3/1991 prima della data di entrata in vigore della presente legge, così come gli interventi di risanamento eseguiti dalle imprese; qualora questi ultimi risultassero inadeguati rispetto ai limiti previsti dalla classificazione del territorio comunale viene concesso il tempo necessario per l'adeguamento.

La zonizzazione del territorio comunale è senza dubbio l'adempimento di maggior rilievo tra quelli previsti, e costituisce la condizione di base per tutti gli adempimenti successivi. I valori limite introdotti dal DPCM 14/11/97, per esempio, sono applicabili esclusivamente in presenza della classificazione del territorio comunale.

5.2.5. *Disposizioni in materia di impatto acustico*

I progetti sottoposti a valutazione dell'impatto ambientale devono essere redatti in conformità alle esigenze di tutela dall'inquinamento acustico delle popolazioni interessate.

Su richiesta dei Comuni i soggetti titolari dei progetti o delle opere devono predisporre una documentazione di impatto acustico relativa alla realizzazione, alla modifica o al potenziamento di:

- aeroporti, aviosuperfici, eliporti;
- autostrade, strade extraurbane principali e secondarie, strade urbane di scorrimento e di quartiere, strade locali;
- discoteche;
- circoli privati e pubblici esercizi ove sono installati macchinari o impianti rumorosi;
- impianti sportivi e ricreativi,
- ferrovie ed altri sistemi di trasporto collettivo su rotaia,

È fatto obbligo di produrre una valutazione previsionale del clima acustico delle aree interessate alla realizzazione delle seguenti tipologie di insediamenti:

- scuole ed asili nido;
- ospedali;
- case di cura e di riposo;
- parchi pubblici urbani ed extraurbani;

- nuovi insediamenti residenziali prossimi alle opere di cui alla lista precedente.

Le domande per il rilascio di concessioni edilizie e licenze relative a nuovi impianti ed infrastrutture relativi ad attività produttive, sportive, ricreative e “postazioni di servizi commerciali polifunzionali” devono contenere una documentazione di previsione di impatto acustico.

La domanda di licenza o autorizzazione all’esercizio di attività di cui al punto precedente che si prevede che possano produrre valori di emissione superiori a quelli considerati accettabili dalla presente legge deve contenere l’indicazione delle misure previste per ridurre o eliminare le emissioni sonore causate dall’attività o dagli impianti; la relativa documentazione deve essere inviata all’ufficio competente per l’ambiente del Comune ai fini del rilascio del relativo nullaosta.

5.3. DPCM 14/11/1997

Il DPCM 14/11/97 «Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore», pubblicato sulla G.U. n° 280 del 1/12/97, in attuazione alla Legge Quadro 447/1995 (art. 3, comma 1, lettera a), definisce per ogni classe di destinazione d’uso del territorio (riportate dettagliatamente in Tabella 5.3):

- Valori limite di emissione;
- Valori limite di immissione;
- Valori di attenzione;
- Valori di qualità.

<p>CLASSE I</p> <p>Aree particolarmente protette</p> <p>Rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo e allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.</p>
<p>CLASSE II</p> <p>Aree destinate ad uso prevalentemente residenziale</p> <p>Rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali ed artigianali</p>
<p>CLASSE III</p> <p>Aree di tipo misto</p> <p>Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale e di attraversamento, con media densità di popolazione con presenza di attività commerciali, uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici</p>
<p>CLASSE IV</p> <p>Aree di intensa attività umana</p> <p>Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali e uffici, con presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; le aree portuali; le aree con limitata presenza di piccole industrie.</p>
<p>CLASSE V</p> <p>Aree prevalentemente industriali</p> <p>Rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.</p>
<p>CLASSE VI</p> <p>Aree esclusivamente industriali</p> <p>Rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi</p>

Tabella 5.3 - Classi di zonizzazione acustica del territorio

Con riferimento alle varie classi di destinazione d'uso vengono individuati i **valori limite di emissione** (Tabella 5.4), che fissano il valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della sorgente stessa.

I valori limite si applicano a tutte le aree del territorio circostanti la sorgente di rumore secondo le rispettive zone, non viene specificato l'ambito spaziale di applicabilità del limite essendo evidentemente correlato alla magnitudo della fonte di emissione e alla tipologia di territorio circostante. I rilevamenti e le verifiche sono effettuate in corrispondenza degli spazi utilizzati da persone e comunità.

I limiti indicati non sono applicabili alle fasce di pertinenza delle infrastrutture di trasporto in corrispondenza delle quali è compito dei Decreti Attuativi fornire indicazioni.

Classe di destinazione d'uso del territorio	Tempi di riferimento	
	Diurno (6.00 - 22.00)	Notturmo (22.00 - 6.00)
I: aree particolarmente protette	45	35
II: aree prevalentemente residenziali	50	40
III: aree di tipo misto	55	45
IV: aree di intensa attività umana	60	50
V: aree prevalentemente industriali	65	55
VI: aree esclusivamente industriali	65	65

Tabella 5.4 - Valori limite di emissione in dBA

Per ogni classe di destinazione d'uso del territorio vengono individuati i **valori limite di immissione** (Tabella 5.5), cioè il valore massimo assoluto di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente esterno, misurato in prossimità del ricettore.

Nel caso di infrastrutture stradali, ferroviarie, marittime, aeroportuali e di tutte le altre sorgenti regolate da Regolamenti di Esecuzione di cui all'articolo 11 della legge quadro 447/95, i limiti non si applicano all'interno delle rispettive fasce di pertinenza. All'esterno delle fasce di rispetto tali sorgenti concorrono viceversa al raggiungimento dei limiti assoluti di rumore.

Classe di destinazione d'uso del territorio	Tempi di riferimento	
	Diurno (6.00 - 22.00)	Notturmo (22.00 - 6.00)
I: aree particolarmente protette	50	40
II: aree prevalentemente residenziali	55	45
III: aree di tipo misto	60	50
IV: aree di intensa attività umana	65	55
V: aree prevalentemente industriali	70	60
VI: aree esclusivamente industriali	70	70

Tabella 5.5 - Valori limite di immissione in dBA

I **valori limite differenziali di immissione** sono determinati con riferimento alla differenza tra il livello equivalente di rumore ambientale ed il rumore residuo e vengono fissati all'interno degli ambienti abitativi in ragione di:

- 5 dB per il periodo diurno (6.00 - 22.00);
- 3 dB per il periodo notturno (22.00 - 6.00).

Il rumore ambientale è il livello equivalente continuo di pressione sonora ponderato A prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato tempo. In pratica è costituito dall'insieme del rumore residuo e da quello prodotto dalla specifica sorgente disturbante.

Il rumore residuo è il livello equivalente continuo di pressione sonora ponderato A che si rileva quando si escludono le specifiche sorgenti disturbanti.

Tali valori non si applicano:

- nelle aree classificate nella classe VI;
- se il rumore ambientale a finestre aperte sia inferiore a 50 dBA di giorno e 40 dBA di notte;
- se il rumore ambientale a finestre chiuse sia inferiore a 35 dBA di giorno e 25 dBA di notte;
- al rumore da infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali e marittime;
- al rumore da attività da attività e comportamenti non connessi con esigenze produttive, commerciali e professionali;
- al rumore da servizi e impianti fissi dell'edificio adibiti ad uso comune, limitatamente al disturbo provocato all'interno dello stesso.

I **valori di attenzione** rappresentano il livello di rumore che segnala la presenza di un potenziale di rischio per la salute umana o per l'ambiente:

- se riferiti a 1 ora sono uguali ai valori di immissione aumentati di 10 dBA per il giorno e di 5 dBA per la notte;
- se relativi all'intero tempo di riferimento sono uguali ai valori di immissione.

I valori di attenzione non si applicano alle fasce territoriali di pertinenza delle infrastrutture stradali, ferroviarie, marittime e aeroportuali.

Con riferimento alle varie classi di destinazione d'uso vengono infine individuati i **valori di qualità** (Tabella 5.6). Essi rappresentano i livelli di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla Legge Quadro.

Classe di destinazione d'uso del territorio	Tempi di riferimento	
	Diurno (6.00 - 22.00)	Notturmo (22.00 - 6.00)
I: aree particolarmente protette	47	37
II: aree prevalentemente residenziali	52	42
III: aree di tipo misto	57	47
IV: aree di intensa attività umana	62	52
V: aree prevalentemente industriali	67	57
VI: aree esclusivamente industriali	70	70

Tabella 5.6 - Valori di qualità in dBA

5.4. DPR 30/3/2004

Il presente decreto stabilisce le norme per la prevenzione ed il contenimento dell'inquinamento da rumore avente origine dall'esercizio delle infrastrutture stradali.

Le disposizioni di cui al presente decreto si applicano:
a) alle infrastrutture esistenti, al loro ampliamento in sede e alle nuove infrastrutture in affiancamento a quelle esistenti, alle loro varianti;
b) alle infrastrutture di nuova realizzazione.

A ciascuna infrastruttura stradale, sia essa di tipo A, B, C, D, E oppure F (Tabella 5.7), è assegnata una fascia territoriale di pertinenza acustica ed una classificazione di tipo amministrativo (Tabella 5.8).

Tipo di strada	Caratteristiche
A – Autostrada	Strada extraurbana o urbana a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia, eventuale banchina pavimentata a sinistra e corsia di emergenza o banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso e di accessi privati, dotata di recinzione e di sistemi di assistenza all'utente lungo l'intero tracciato, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore e contraddistinta da appositi segnali di inizio e fine. Deve essere attrezzata con apposite aree di servizio ed aree di parcheggio, entrambe con accessi dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione.
B – Extraurbana principale	Strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia e banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso, con accessi alle proprietà laterali coordinati, contraddistinta dagli appositi segnali di inizio e fine, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore; per eventuali altre categorie di utenti devono essere previsti opportuni spazi. Deve essere attrezzata con apposite aree di servizio, che comprendano spazi per la sosta, con accessi dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione.
C – Extraurbana secondaria	Strada ad unica carreggiata con almeno una corsia per senso di marcia e banchine.
D – Strada urbana di scorrimento	Strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico, ciascuna con almeno due corsie di marcia, ed una eventuale corsia riservata ai mezzi pubblici, banchina pavimentata a destra e marciapiedi, con le eventuali intersezioni a raso semaforizzate; per la sosta sono previste apposite aree o fasce laterali esterne alla carreggiata, entrambe con immissioni ed uscite concentrate.

E – Strada urbana di quartiere	Strada ad unica carreggiata con almeno due corsie, banchine pavimentate e marciapiedi; per la sosta sono previste aree attrezzate con apposita corsia di manovra, esterna alla carreggiata.
F – Strada locale	Strada urbana od extraurbana opportunamente sistemata (...) non facente parte degli altri tipi di strade.
<i>F bis – Itinerario ciclopedonale</i>	<i>Strada locale, urbana, extraurbana o vicinale, destinata prevalentemente alla percorrenza pedonale e ciclabile e caratterizzata da una sicurezza intrinseca a tutela dell'utenza debole della strada.</i>
<i>Strada di servizio</i>	<i>Strada affiancata ad una strada principale (autostrada, strada extraurbana principale, strada urbana di scorrimento) avente la funzione di consentire la sosta ed il raggruppamento degli accessi dalle proprietà laterali alla strada principale e viceversa, nonché il movimento e le manovre dei veicoli non ammessi sulla strada principale stessa.</i>

Tabella 5.7 – Tipi di strada e loro caratteristiche

B, C ed F	Strade STATALI	a) Costituiscono le grandi direttrici del traffico nazionale; b) congiungono la rete viabile principale dello Stato con quelle degli Stati limitrofi; c) congiungono tra loro i capoluoghi di regione ovvero i capoluoghi di provincia situati in regioni diverse, ovvero costituiscono diretti ed importanti collegamenti tra strade statali; d) allacciano alla rete delle strade statali i porti marittimi, gli aeroporti, i centri di particolare importanza industriale, turistica e climatica; e) servono traffici interregionali o presentano particolare interesse per l'economia di vaste zone del territorio nazionale.
	Strade REGIONALI	Allacciano i capoluoghi di provincia della stessa regione tra loro o con il capoluogo di regione ovvero allacciano i capoluoghi di provincia o i comuni con la rete statale se ciò sia particolarmente rilevante per ragioni di carattere industriale, commerciale, agricolo, turistico e climatico.
	Strade PROVINCIALI	Allacciano al capoluogo di provincia capoluoghi dei singoli comuni della rispettiva provincia o più capoluoghi di comuni tra loro ovvero quando allacciano alla rete statale o regionale i capoluoghi di comune, se ciò sia particolarmente rilevante per ragioni di carattere industriale, commerciale, agricolo, turistico e climatico.
	Strade COMUNALI	Congiungono il capoluogo del comune con le sue frazioni o le frazioni fra loro, ovvero congiungono il

		capoluogo con la stazione ferroviaria, tranviaria o automobilistica, con un aeroporto o porto marittimo, lacuale o fluviale, con interporti o nodi di scambio intermodale o con le località che sono sede di essenziali servizi interessanti la collettività comunale. Ai fini del presente codice, le strade «vicinali» sono assimilate alle strade comunali.
D, E ed F	Strade COMUNALI	Sono sempre comunali quando siano situate nell'interno dei centri abitati, eccettuati i tratti interni di strade statali, regionali o provinciali che attraversano centri abitati con popolazione non superiore a diecimila abitanti.

Tabella 5.8 – Classificazione amministrativa, in riferimento ai collegamenti svolti

Per strade esistenti o ampliamenti/modifiche alle stesse sono previste due zone acustiche, denominate “A” e “B”, rispettivamente in prossimità dell’infrastruttura stessa e più lontana da essa (Tabella 5.9); per strade di nuova realizzazione, invece, si ha un’unica zona (Tabella 5.10).

Tabella 5.9 – Fasce di pertinenza acustiche e valori limite di immissione di **strade esistenti ed assimilabili** (ampliamenti, affiancamenti, varianti)

Tipo di strada (secondo Codice della Strada)	Ampiezza fascia pertinenza acustica (metri)	Scuole, Ospedali, Case di cura e di riposo		Altri Recettori	
		Diurno (dBA)	Nott. (dBA)	Diurno (dBA)	Nott. (dBA)
A – Autostrada	100 (A)	50	40	70	60
	150 (B)			65	55
B – Extraurbana principale	100 (A)	50	40	70	60
	150 (B)			65	55
C – Extraurbana secondaria Ca → a carreggiate separate e IV CNR1980 Cb → tutte le altre	100 (A)	50	40	70	60
	150 (B)			65	55
	100 (A)	50	40	70	60
	50 (B)			65	55
D – Strada urbana di scorrimento Da → a carreggiate separate e interquartiere Db → tutte le altre	100	50	40	70	60
	100	50	40	65	55
E – Strada urbana di quartiere	30	Definiti dai Comuni, nel rispetto della tabella C DPCM 14/11/1997 e della zonizzazione acustica (Legge Quadro)			
F – Strada locale	30				

Tabella 5.10 – Fasce di pertinenza acustiche e valori limite di immissione di **strade di nuova realizzazione**

A – Autostrada	250	50	40	65	55
B – Extraurbana principale	250	50	40	65	55
C – Extraurbana secondaria Ca → a carreggiate separate e IV CNR1980 Cb → tutte le altre	250	50	40	65	55
	150	50	40	65	55
D – Strada urbana di scorrimento	100	50	40	65	55
E – Strada urbana di quartiere	30	Definiti dai Comuni, nel rispetto della tabella C DPCM 14/11/1997 e della zonizzazione acustica (Legge Quadro)			
F – Strada locale	30				

Qualora i valori limite per le infrastrutture ed i valori limite al di fuori delle fasce di pertinenza (DPCM 14/11/1997) non siano conseguibili tecnicamente, allora si deve procedere ad interventi diretti sul ricettore; devono essere rispettati i seguenti limiti di Tabella 5.11 (valutati al centro della stanza, all'altezza di 1,5 m dal pavimento e a finestre chiuse):

Ricettore	Periodo	Leq (dBA)
Ospedali	Notturmo	35
Ricettori abitativi	Notturmo	40
Scuole	Diurno	45

Tabella 5.11 – Limiti di immissione per i ricettori sensibili

Per i recettori inclusi nelle fasce di pertinenza acustica (Tabelle 5.9 e 5.10) devono essere individuate ed adottate opere di mitigazione alla sorgente, lungo la via di propagazione del rumore e direttamente sul ricettore, per ridurre l'inquinamento acustico prodotto dall'esercizio dell'infrastruttura, con le migliori tecnologie disponibili, tenuto conto delle implicazioni di carattere tecnico-economico. Tali interventi sono da attuarsi sulla base di linee guida predisposte dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, di concerto con i Ministeri della salute e delle infrastrutture e dei trasporti.

Con il presente decreto si stabiliscono inoltre gli interventi acustici a carico del titolare della concessione edilizia o del permesso di costruire l'infrastruttura (se rilasciata dopo l'entrata in vigore del decreto stesso), la verifica dei limiti di emissione degli autoveicoli (secondo l'articolo 8 del decreto 285/1992) ai fini dell'omologazione acustica e l'organizzazione di attività di monitoraggio per il rilevamento dell'inquinamento da rumore (secondo l'articolo 227 del decreto 285/1992).

5.5. DM 16/03/1998

Con il decreto 16/03/1998 si individuano le specifiche tecniche riguardanti gli strumenti di misura e le tecniche di misura, nonché vengono fornite una serie di definizioni. Si forniscono anche le modalità di restituzione dei dati. I risultati dei rilevamenti devono essere trascritti in un rapporto che contenga almeno i seguenti dati:

- a) data, luogo, ora del rilevamento e descrizione delle condizioni meteorologiche, velocità e direzione del vento;
- b) tempo di riferimento, di osservazione e di misura;
- c) catena di misura completa, precisando la strumentazione impiegata e relativo grado di precisione, e del certificato di verifica della taratura;
- d) i livelli di rumore rilevati;
- e) classe di destinazione d'uso alla quale appartiene il luogo di misura;
- f) le conclusioni;
- g) modello, tipo, dinamica e risposta in frequenza nel caso di utilizzo di un sistema di registrazione o riproduzione;
- h) elenco nominativo degli osservatori che hanno presenziato alla misurazione;
- i) identificativo e firma leggibile del tecnico competente che ha eseguito le misure.

Vengono inoltre forniti i criteri e le modalità di misura dell'inquinamento acustico in ambienti abitativi, per il traffico ferroviario e stradale (allegati B e C del decreto).

6. CARATTERIZZAZIONE ANTE-OPERAM

6.1. Area di studio e limiti acustici

L'area di intervento interessa il territorio di cinque Comuni: Canicattì, Serradifalco, San Cataldo, Caltanissetta ed Enna. Alla data odierna non sono stati ancora redatti i Piani di zonizzazione acustica dei Comuni sopra elencati; si può pertanto procedere ad una classificazione sulla base del DPCM 01/03/91.

L'infrastruttura stradale si inserisce in un contesto prettamente agricolo (fa eccezione la periferia di Caltanissetta), all'interno del quale non esistono zone di particolare pregio. I limiti normativi di riferimento sono perciò quelli validi per “tutto il territorio nazionale”. Essi sono pari a 70 dBA di giorno e 60 dBA di notte, in termini di livello equivalente.

Sulla base del DPR 30/3/2004 l'infrastruttura stradale è classificata quale extraurbana principale (categoria “B”); la strada è classificabile come “infrastruttura stradale esistente”, cui sono apportate ampliamenti e modifiche. Sono pertanto da attribuire fasce di pertinenza con ampiezza complessiva pari a 250 metri per lato, suddivise in due sottofasce pari a 100 metri (più vicina alla sede stradale) e 150 metri (più lontana). I rispettivi limiti sono 70 dBA e 65 dBA di giorno e 60 dBA e 55 dBA di notte.

All'esterno di tali fasce sono da considerarsi i limiti di 70 dBA diurni e 60 dBA notturni, come espresso sopra.

6.2. Il censimento dei ricettori

Il territorio interessato dal progetto è stato preventivamente indagato, al fine di comprendere quali fossero i ricettori direttamente coinvolti dall'infrastruttura per la componente rumore.

Attraverso apposito censimento sono stati individuati 374 ricettori; suddivisi in tre tipologie ricettive: la prima residenziale, la seconda industriale/commerciale e la terza di tipo rurale. Alcune strutture, segnalate come costruzioni rurali, si presentano in realtà fatiscenti e completamente abbandonate. Non sono presenti ricettori sensibili nella fascia acustica considerata.

I ricettori censiti sono stati quindi considerati nella fase ante operam, in modo tale da valutare l'impatto acustico attuale della SS 640 e quello futuro. Così facendo è stato possibile seguire l'evoluzione del clima acustico presso le facciate di volta in volta più esposte.

6.3. I rilievi fonometrici

6.3.1. Il piano generale di monitoraggio

Il monitoraggio acustico ante operam della SS 640 è stato articolato su 11 postazioni di misura, 8 dedicate a rilievi spot di 15', 2 per rilievi da 24 ore e 1 per un rilievo settimanale continuo.

I punti di misura sono stati scelti in modo tale da coprire il tracciato in modo armonico e funzionale, tenendo conto delle zone di inizio e fine tratta, delle zone di svincolo, delle sovrapposizioni fra l'attuale tracciato e quello di progetto, della topografia intorno ai ricettori scelti.

La campagna è stata effettuata nei mesi di Aprile e Maggio 2006, secondo normativa (DM 16/03/98).

Per ciascuna postazione è stata realizzata una scheda anagrafica con le coordinate relative al posizionamento del fonometro, con uno stralcio cartografico ed una foto satellitare per l'inquadramento del ricettore considerato e con una documentazione fotografica del rilievo. I dati fonometrici sono stati quindi organizzati sulla base del tipo di rilievo effettuato. I risultati della campagna sono riportati nell'elaborato IA30 AMB RE05 - Campagna di monitoraggio acustico).

6.3.2. Tabella sintetica finale della campagna di monitoraggio

La tabella finale dei rilievi è la seguente (Tabella 6.1):

Postazione	Tipo Rilievo	Ricettore	Km
P1	Spot	22	45+000
P2	Spot	44	50+300
P3	Spot	75	52+900
P4	24 ore	120	54+500
P5	Spot	220	57+500
P6	Settimanale	224	57+600
P7	Spot	245	58+200
P8	24 ore	300	64+500
P9	Spot	305	65+200
P10	Spot	342	66+700
P11	Spot	363	69+750

Tabella 6.1 – Tabella finale dei rilievi

La scelta è stata giustificata dall'analisi degli elaborati (planimetrie dei ricettori e schede di censimento dei ricettori)

6.3.3. I rilievi spot

I **rilievi spot** sono stati 6 per ognuna delle 8 postazioni di misura: l'insieme di questi rilievi su singola postazione sarà definita di seguito come “serie”. Per ogni ricettore sono state effettuate due serie per un totale di 12 rilievi a postazione. All'interno dei due tempi di riferimento (TR giorno e TR notte) sono stati scelti 6 tempi di osservazione (8.00 – 10.00, 11.30 – 13.30, 15.30 – 17.30, 18.00 – 20.00, 21.00 – 23.00 e 23.00 – 1.00): ogni postazione è stata monitorata tramite un rilievo con tempo di misura di 15' per ogni tempo di osservazione. La prima serie di misure è stata conclusa nei giorni feriali 18-19-20/04/2006, mentre la seconda serie è stata conclusa nei giorni feriali 9-10-11/05/2006.

Un prospetto dei rilievi spot è stato qui di seguito riportato (Tabella 6.2).

TR Diurno				TR Notturmo	
6.00 – 22.00				22.00 – 6.00	
Tempi di osservazione					
8.00 – 10.00	11.30 – 13.30	15.30 – 17.30	18.00 – 20.00	21.00 – 23.00	23.00 – 1.00
Tempi di misura					
8.00 – 8.15	11.30 – 11.45	15.30 – 15.45	18.00 – 18.15	21.00 – 21.15	23.00 – 23.15
8.30 – 8.45	12.00 – 12.15	16.00 – 16.15	18.30 – 18.45	21.30 – 21.45	23.30 – 23.45
9.00 – 9.15	12.30 – 12.45	16.30 – 16.45	19.00 – 19.15	22.00 – 22.15	23.55 – 00.10
9.30 – 9.45	13.00 – 13.15	17.00 – 17.15	19.30 – 19.45	22.30 – 22.45	00.30 – 00.45

Tabella 6.2 – Prospetto dei rilievi spot

Ogni misura è stata acquisita con uno short Leq di 1 secondo, i dati sono poi stati organizzati per tutto il tempo di misura considerato. All'interno del Report Fonometrico sono segnalati anche i flussi di traffico che hanno generato i livelli rilevati.

Si riporta sinteticamente il valore di Leq nella tabella sottostante (Tabella 6.3):

Punto P1	Data	Tempo di Misura	Leq (dBA)	Data	Tempo di Misura	Leq (dBA)
Ricettore 22	19/04/06	8.00 – 8.15	65.2	11/05/06	8.00 – 8.15	67.2
	19/04/06	11.30 – 11.45	66.5	10/05/06	11.30 – 11.45	64.8
	18/04/06	15.30 – 15.45	65.6	10/05/06	15.30 – 15.45	65.2
	19/04/06	18.00 – 18.15	65.8	10/05/06	18.00 – 18.15	66.5
	19/04/06	21.00 – 21.15	61.5	09/05/06	21.00 – 21.15	60.3
	19/04/06	23.00 – 23.15	58.7	09/05/06	23.00 – 23.15	58.2

Punto P2	Data	Tempo di Misura	Leq (dBA)	Data	Tempo di Misura	Leq (dBA)
Ricettore 44	19/04/06	8.30 – 8.45	59.5	11/05/06	8.30 – 8.45	58.6
	19/04/06	12.00 – 12.15	59.9	10/05/06	12.00 – 12.15	59.3
	18/04/06	16.00 – 16.15	60.0	10/05/06	16.00 – 16.15	59.4
	19/04/06	18.30 – 18.45	58.5	10/05/06	18.30 – 18.45	58.7
	19/04/06	21.30 – 21.45	50.5	09/05/06	21.30 – 21.45	53.8
	19/04/06	23.30 – 23.45	50.5	09/05/06	23.30 – 23.45	52.3
Punto P3	Data	Tempo di Misura	Leq (dBA)	Data	Tempo di Misura	Leq (dBA)
Ricettore 75	19/04/06	9.00 – 9.15	59.4	11/05/06	9.00 – 9.15	61.4
	19/04/06	12.30 – 12.45	58.9	10/05/06	12.30 – 12.45	61.0
	18/04/06	16.30 – 16.45	59.0	10/05/06	16.30 – 16.45	60.0
	19/04/06	19.00 – 19.15	57.2	10/05/06	19.00 – 19.15	58.3
	19/04/06	22.00 – 22.15	53.5	09/05/06	22.00 – 22.15	52.4
	19/04/06	23.55 – 00.10	49.8	09/05/06	23.55 – 00.10	50.4
Punto P5	Data	Tempo di Misura	Leq (dBA)	Data	Tempo di Misura	Leq (dBA)
Ricettore 220	19/04/06	9.30 – 9.45	66.1	11/05/06	9.30 – 9.45	66.2
	19/04/06	13.00 – 13.15	64.6	10/05/06	13.00 – 13.15	66.1
	18/04/06	17.00 – 17.15	65.0	10/05/06	17.00 – 17.15	64.5
	19/04/06	19.30 – 19.45	62.6	10/05/06	19.30 – 19.45	63.2
	19/04/06	22.30 – 22.45	57.9	09/05/06	22.30 – 22.45	55.1
	19/04/06	00.30 – 00.45	56.2	09/05/06	00.30 – 00.45	55.0
Punto P7	Data	Tempo di Misura	Leq (dBA)	Data	Tempo di Misura	Leq (dBA)
Ricettore 245	20/04/06	8.00 – 8.15	64.9	09/05/06	8.00 – 8.15	68.0
	20/04/06	11.30 – 11.45	66.5	09/05/06	11.30 – 11.45	66.3
	20/04/06	15.30 – 15.45	66.2	09/05/06	15.30 – 15.45	66.7
	20/04/06	18.00 – 18.15	66.9	09/05/06	18.00 – 18.15	68.0
	20/04/06	21.00 – 21.15	63.7	08/05/06	21.00 – 21.15	65.7
	20/04/06	23.00 – 23.15	60.1	08/05/06	23.00 – 23.15	60.4

Punto P9	Data	Tempo di Misura	Leq (dBA)	Data	Tempo di Misura	Leq (dBA)
Ricettore 305	20/04/06	8.30 – 8.45	54.6	09/05/06	8.30 – 8.45	53.4
	20/04/06	12.00 – 12.15	53.6	09/05/06	12.00 – 12.15	54.5
	20/04/06	16.00 – 16.15	54.6	09/05/06	16.00 – 16.15	53.6
	20/04/06	18.30 – 18.45	54.3	09/05/06	18.30 – 18.45	58.6
	20/04/06	21.30 – 21.45	49.8	08/05/06	21.30 – 21.45	49.3
	20/04/06	23.30 – 23.45	54.7	08/05/06	23.30 – 23.45	45.5
Punto P10	Data	Tempo di Misura	Leq (dBA)	Data	Tempo di Misura	Leq (dBA)
Ricettore 342	20/04/06	9.00 – 9.15	63.6	09/05/06	9.00 – 9.15	64.0
	20/04/06	12.30 – 12.45	63.9	09/05/06	12.30 – 12.45	63.4
	20/04/06	16.30 – 16.45	63.3	09/05/06	16.30 – 16.45	63.8
	20/04/06	19.00 – 19.15	64.1	09/05/06	19.00 – 19.15	63.6
	20/04/06	22.00 – 22.15	56.9	08/05/06	22.00 – 22.15	60.7
	20/04/06	23.55 – 00.10	58.2	08/05/06	23.55 – 00.10	58.9
Punto P11	Data	Tempo di Misura	Leq (dBA)	Data	Tempo di Misura	Leq (dBA)
Ricettore 363	20/04/06	9.30 – 9.45	55.3	09/05/06	9.30 – 9.45	55.9
	20/04/06	13.00 – 13.15	56.8	09/05/06	13.00 – 13.15	58.9
	20/04/06	17.00 – 17.15	58.0	09/05/06	17.00 – 17.15	58.3
	20/04/06	19.30 – 19.45	58.3	09/05/06	19.30 – 19.45	59.3
	20/04/06	22.30 – 22.45	51.8	08/05/06	22.30 – 22.45	53.2
	20/04/06	00.30 – 00.45	51.0	08/05/06	00.30 – 00.45	50.2

Tabella 6.3 – Quadro riassuntivo dei rilievi spot

6.3.4. I rilievi da 24 ore

I rilievi da 24 ore sono stati effettuati in un giorno feriale (inizio 11/05/2006) ed in un giorno festivo (inizio 13/05/2006), al fine di valutare la variabilità del flusso veicolare nei due casi. Ogni misura è stata acquisita con uno short Leq di 1 minuto, i dati sono poi stati organizzati con cadenza oraria fino a coprire le 24 ore

Di seguito si riportano i prospetti sintetici relativi alle due misure (Tabella 6.4):

Punto P4	Ora inizio	21.00	22.00	23.00	0.00	1.00	2.00
Ricettore 120	Durata	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00

(Misura 24h)	Leq:	52.1 dBA	50.7 dBA	51.6 dBA	48.8 dBA	46.9 dBA	45.9 dBA
	Ora inizio	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
	Durata	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00
	Leq:	45.7 dBA	52.4 dBA	55.1 dBA	57.7 dBA	57.5 dBA	59.8 dBA
	Ora inizio	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00
	Durata	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00
	Leq:	58.1 dBA	57.5 dBA	57.4 dBA	57.3 dBA	57.4 dBA	57.4 dBA
	Ora inizio	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
	Durata	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00
	Leq:	57.7 dBA	56.8 dBA	56.4 dBA	56.1 dBA	55.6 dBA	54.1 dBA
Punto P8	Ora inizio	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00
Ricettore 300	Durata	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00
(Misura 24h)	Leq:	50.1 dBA	49.1 dBA	49.6 dBA	49.2 dBA	49.0 dBA	51.0 dBA
	Ora inizio	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00
	Durata	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00
	Leq:	53.4 dBA	52.0 dBA	54.3 dBA	55.5 dBA	54.6 dBA	52.2 dBA
	Ora inizio	22.00	23.00	00.00	1.00	2.00	3.00
	Durata	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00
	Leq:	51.6 dBA	53.2 dBA	49.4 dBA	47.2 dBA	45.5 dBA	43.5 dBA
	Ora inizio	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00
	Durata	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00
	Leq:	43.6 dBA	50.4 dBA	51.6 dBA	54.2 dBA	56.9 dBA	55.6 dBA

Tabella 6.4 – Quadro riassuntivo dei rilievi da 24 ore

6.3.5. Il rilievo settimanale

Il **rilievo settimanale** ha avuto inizio il giorno 5/04/2006 per concludersi il giorno 12/04/2006. La scelta del ricettore (casa cantoniera ANAS al km 57+600), scaturita da motivi logistici quali la necessità di un allaccio alla rete elettrica e di un controllo continuo dello strumento, si è resa necessaria per la totale impossibilità di accesso ai ricettori residenziali presenti in quella zona. Come per i rilievi da 24 ore, ogni misura è stata acquisita con uno short Leq di 1 minuto, riportando poi i dati con cadenza oraria fino a coprire tutto il periodo settimanale.

Un prospetto sintetico riporta tutti i Leq orari della settimana (Punto P6 - Ricettore 224 – Tabella 6.5):

orario		mercoledì	giovedì	venerdì	sabato	domenica	lunedì	martedì	mercoledì
0.00	1.00		51.3 dBA	54.9 dBA	54.6 dBA	57.3 dBA	51.0 dBA	52.9 dBA	55.6 dBA
1.00	2.00		49.3 dBA	51.3 dBA	54.2 dBA	56.5 dBA	62.0 dBA	50.7 dBA	59.4 dBA
2.00	3.00		51.4 dBA	50.0 dBA	53.4 dBA	53.2 dBA	56.9 dBA	51.1 dBA	63.4 dBA
3.00	4.00		52.8 dBA	53.5 dBA	52.6 dBA	50.7 dBA	55.4 dBA	52.2 dBA	63.1 dBA
4.00	5.00		56.1 dBA	56.8 dBA	54.2 dBA	50.5 dBA	59.7 dBA	57.4 dBA	60.2 dBA
5.00	6.00		60.1 dBA	59.9 dBA	56.2 dBA	60.0 dBA	62.6 dBA	60.4 dBA	60.3 dBA
6.00	7.00		62.6 dBA	61.9 dBA	60.4 dBA	60.6 dBA	63.4 dBA	62.9 dBA	63.7 dBA
7.00	8.00		63.5 dBA	62.8 dBA	62.0 dBA	63.6 dBA	63.6 dBA	63.2 dBA	
8.00	9.00		62.8 dBA	62.8 dBA	62.0 dBA	61.9 dBA	63.0 dBA	62.0 dBA	
9.00	10.00	66.0 dBA	64.2 dBA	62.3 dBA	62.9 dBA	64.2 dBA	62.4 dBA	62.9 dBA	
10.00	11.00	63.5 dBA	63.1 dBA	62.5 dBA	64.6 dBA	62.4 dBA	62.7 dBA	62.1 dBA	
11.00	12.00	62.2 dBA	63.0 dBA	61.9 dBA	61.0 dBA	64.3 dBA	63.5 dBA	62.6 dBA	
12.00	13.00	63.0 dBA	62.1 dBA	62.1 dBA	60.9 dBA	62.2 dBA	63.2 dBA	64.0 dBA	
13.00	14.00	62.9 dBA	62.0 dBA	62.3 dBA	60.7 dBA	62.3 dBA	62.6 dBA	61.6 dBA	
14.00	15.00	62.7 dBA	62.5 dBA	62.2 dBA	60.1 dBA	63.4 dBA	62.6 dBA	63.5 dBA	
15.00	16.00	62.3 dBA	61.9 dBA	62.2 dBA	59.1 dBA	62.3 dBA	62.5 dBA	61.9 dBA	
16.00	17.00	63.1 dBA	62.3 dBA	62.2 dBA	59.0 dBA	62.5 dBA	62.1 dBA	62.4 dBA	
17.00	18.00	62.7 dBA	61.7 dBA	65.7 dBA	59.6 dBA	60.9 dBA	61.8 dBA	62.1 dBA	
18.00	19.00	61.3 dBA	61.0 dBA	62.5 dBA	58.8 dBA	61.3 dBA	61.2 dBA	61.3 dBA	
19.00	20.00	60.4 dBA	59.9 dBA	60.2 dBA	58.6 dBA	64.1 dBA	60.7 dBA	64.9 dBA	
20.00	21.00	59.4 dBA	58.3 dBA	59.2 dBA	59.3 dBA	60.0 dBA	60.0 dBA	64.6 dBA	
21.00	22.00	56.4 dBA	56.3 dBA	56.6 dBA	57.8 dBA	58.0 dBA	55.8 dBA	61.2 dBA	
22.00	23.00	55.0 dBA	54.8 dBA	55.7 dBA	55.9 dBA	56.8 dBA	55.1 dBA	59.4 dBA	
23.00	0.00	54.7 dBA	57.4 dBA	55.8 dBA	56.3 dBA	54.9 dBA	54.8 dBA	58.5 dBA	

Tabella 6.5 – Prospetto sintetico della misura settimanale

6.4. Flussi di traffico ante operam (anno 2006)

Lo studio del traffico per la situazione ante operam è stato acquisito relativamente all'anno 2006. La strada in esame è costituita da due corsie di 3,5 m, con banchine di 1,5 m, per una larghezza complessiva della piattaforma di 10 m. La caratterizzazione dei flussi di traffico passa attraverso la definizione non solo dell'asse stradale oggetto di studio, ma anche della disposizione degli svincoli e della viabilità delle strade che in essi confluiscono. Nel tracciato ante operam si possono segnalare 6 svincoli significativi, ossia di importanza tale da variare la numerosità dei veicoli in transito. Tali svincoli sono stati identificati con la chilometrica presso la quale si trovano. Nello schema

segunte sono indicati i flussi TGM nei tratti compresi fra questi svincoli, con i livelli di emissione prodotti dal modello di calcolo SoundPlan (Tabella 6.6):

	LmE day	LmE night	TGM	% notte	%pesanti gior- no	%pesanti notte
	dBA	dBA	Veic./24ore			
SS 640 fino svincolo km 46+100	66,3	57,4	11002	6	7	7
SS 640 fino svincolo km 56+200	67,1	58,2	13171	6	7	7
SS 640 fino svincolo km 59+000	68,6	59,7	18720	6	7	7
SS 640 fino svincolo km 61+400	68,1	59,1	16383	6	7	7
SS 640 fino svincolo km 65+200	66,2	57,2	10637	6	7	7
SS 640 fino svincolo km 72+500	65,7	56,8	9516	6	7	7
SS 640 fino a fine tratta	68,2	59,3	16758	6	7	7

Tabella 6.6 – Flussi TGM per la SS 640

Si è considerata una percentuale nel periodo notturno (dalle ore 22.00 alle ore 6.00) pari al 6%. Per ciascun periodo di riferimento la percentuale dei mezzi pesanti è stata posta pari al 7%. La velocità considerata è stata di 90 km/h per i mezzi leggeri e di 70 km/h per i mezzi pesanti, con fondo stradale in asfalto di buona qualità.

Al fine di completare il clima acustico in modo esaustivo, sono state considerate anche le strade che confluiscono negli svincoli per la porzione di territorio oggetto dello studio acustico (viabilità secondaria). La percentuale nel periodo notturno è stata considerata ancora pari al 6%, con una percentuale di mezzi pesanti pari al 7% per tutti e due i periodi di riferimento. La velocità considerata è di 70 km/h per i mezzi leggeri e 50 km/h per i mezzi pesanti: ci si trova infatti entro i primi 250 m in uscita dagli svincoli.

I dati relativi alla viabilità secondaria, interferente con la SS 640 per la situazione ante operam, sono riportati nella seguente tabella (Tabella 6.7):

	LmE day	LmE night	TGM	% notte	%pesanti giorno	%pesanti notte
	dBA	dBA	Veic./24ore			
da svinc. km 46+100 verso Serradifalco	55,5	46,5	1500	6	7	7
da svinc. km 56+200 verso San Cataldo	63,5	54,6	9707	6	7	7
da svinc. km 59+000 verso zona industr.	67,7	58,8	15157	6	7	7
da svinc. km 61+400 verso San Cataldo 1	67,1	58,1	13045	6	7	7
da svinc. km 61+400 verso San Cataldo 2	64,1	55,2	6588	6	7	7

da svinc. km 65+200 verso S. Caterina	56,7	47,7	2000	6	7	7
da svinc. km 65+200 verso Caltan. Nord	56,7	46,7	2000	6	7	7
da svinc. km 72+500 in direzione sud	64,5	55,6	7240	6	7	7

Tabella 6.7 – Viabilità secondaria ante operam

Nota: per le caratteristiche di scorrimento rilevate, alla strada in uscita in direzione sud, presso lo svincolo al km 72+500, sono state assegnate le velocità della SS 640.

Per quanto riguarda gli svincoli, essi sono stati considerati nel loro sviluppo plano-altimetrico. I flussi ad essi relativi sono stati ricavati dagli studi di traffico per fasce di flussi (entro i 1000 veicoli/24ore, dai 1000 ai 2000 e così via), tenendo conto dei tratti in entrata ed uscita sia per la SS 640 che per la viabilità secondaria. La velocità sugli svincoli è stata considerata pari a 50 km/h sia per i mezzi leggeri che per quelli pesanti.

6.5. La modellizzazione ante operam

6.5.1. I parametri per la modellizzazione

La simulazione ante operam è stata impostata tenendo conto della tipologia del sito, dell'altimetria, della rete viaria e dei flussi relativi all'anno 2006.

La viabilità comprende sia l'asse principale dell'attuale SS 640 (una carreggiata con due corsie, una per senso di marcia), sia le strade che in essa confluiscono: in tal modo si ha un quadro esaustivo del clima acustico della zona.

Per quanto attiene l'attuale sede della SS 640, si è prestata attenzione ai tratti in viadotto ed in galleria: è presente una sola galleria, che è stata rappresentata "spegnendo" la sorgente in corrispondenza del suo sviluppo, mentre risultano più numerosi i viadotti che sono rappresentati da una quota superiore rispetto all'altezza del suolo.

I ricettori sono stati importati tenendo conto della destinazione d'uso e dell'altezza: sono stati riscontrati edifici da un piano (piano terra) a tre piani (piano terra + due piani fuori terra). In base alla planimetria ed all'altezza i ricettori sono stati collocati sulla topografia, ricostruita tramite triangolazioni con punti quota e curve di livello. Ciascun piano è stato considerato di altezza pari a 3 metri.

Come output dal modello sono state ottenute le mappe di rumore ed i livelli in facciata sui ricettori.

Le mappe di rumore sono state calcolate alla quota di 2 metri dal suolo, tenendo conto della volumetria dei ricettori e della topografia. La maglia di calcolo è stata impostata con un lato di 20 metri. La propagazione del rumore è stata rappresentata tramite curve isolivello, con un passo di 5 dBA.

I livelli in facciata sono stati calcolati per ogni ricettore sulla facciata più esposta, per ogni piano a 1,5 metri di altezza dal piano di calpestio e al centro della facciata.

Sono state prodotte undici mappe per ciascun periodo di riferimento (diurno e notturno), in scala 1:5000 (elaborati IA35AMBCT12 – 33). I livelli sui piani di ciascun ricettore sono riportati nella tabella in allegato.

6.5.2. Risultati ante operam e confronto con i dati di monitoraggio

I ricettori che risultano più impattati si trovano tutti in prossimità dell'infrastruttura e nei tratti per i quali i flussi sono più intensi; particolarmente critica è la situazione fra il km 54+000 e il km 55+000, prima dell'imbocco del viadotto Favarella. Nella tabella seguente (Tabella 6.8) si riportano i piani dei ricettori presso i quali il livello diurno supera i 65 dBA:

Ricettore	Piano	Esposizione	Limite	Limite	Livello	Livello	Superam.	Superam.
		facciata	diurno	notturno	diurno	notturno	diurno	notturno
		considerata	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
ricettore 109	1	N	70	60	66,2	57,2	---	---
ricettore 109	2	N	70	60	67,3	58,4	---	---
ricettore 109	3	N	70	60	67,6	58,6	---	---
ricettore 116	1	S	70	60	69,7	60,8	---	0,8
ricettore 120c_2	1	N	70	60	72,5	63,6	2,5	3,6
ricettore 212	1	SE	70	60	65,7	56,8	---	---
ricettore 212	2	SE	70	60	66,9	58,0	---	---
ricettore 212	3	SE	70	60	67,5	58,5	---	---
ricettore 224	1	SW	70	60	70,1	61,2	0,1	1,2
ricettore 225	1	O	70	60	69,6	60,6	---	0,6
ricettore 236	1	N	70	60	65,0	56,0	---	---
ricettore 236	2	N	70	60	66,3	57,4	---	---
ricettore 236a	2	N	70	60	65,8	56,9	---	---
ricettore 237	1	N	70	60	65,2	56,3	---	---
ricettore 237	2	N	70	60	66,7	57,8	---	---
ricettore 257	2	S	70	60	65,1	56,1	---	---
ricettore 271	2	E	70	60	65,8	56,9	---	---
ricettore 280	1	N	70	60	67,4	58,5	---	---
ricettore 300	2	SE	70	60	65,9	57,0	---	---
ricettore 303	1	SE	70	60	68,9	60,0	---	---
ricettore 328a	1	S	70	60	67,1	58,2	---	---
ricettore 360	1	NO	70	60	65,6	56,6	---	---
ricettore 73	3	N	70	60	65,1	56,2	---	---
ricettore 73bis	1	S	70	60	73,2	64,2	3,2	4,2
ricettore 75	2	S	70	60	67,0	58,1	---	---
ricettore 84	3	S	70	60	65,3	56,3	---	---
ricettore 88a	2	S	70	60	65,7	56,7	---	---

Tabella 6.8 – Ricettori con livello diurno superiore a 65 dBA

Risulta una sostanziale corrispondenza fra i dati dei rilievi e i valori dei livelli ottenuti dalla simulazione ante operam. In particolare presso i ricettori 44, 120, 220, 224, 245 lo scarto è pressochè trascurabile. Per altri ricettori, come per esempio il 342, lo scarto, pur significativo, va letto alla luce del contesto. Per esempio, in taluni tratti la simulazione tiene conto di una velocità di punta pari a 90 km/h per i mezzi leggeri e a 70 km/h per i mezzi pesanti. Nella realtà le velocità possono essere superiori, oppure possono presentarsi situazioni in cui il fondo stradale può essere dissestato per un tratto. Al contrario, quando i valori rilevati risultano minori di quelli in uscita dal modello, è ragionevole presupporre che si può essere in presenza di elementi “assorbenti” a loro volta difficilmente preventivabili nella simulazione.

Nel dettaglio risulta quanto segue:

- Il ricettore 44 ha fatto registrare mediamente da 58 a 60 dBA nel periodo diurno e da 50 a 52 nel periodo notturno (da modello 57 e 48 dBA).
- Il ricettore 220 ha fatto registrare mediamente da 63 a 66 dBA nel periodo diurno e intorno a 55 dBA nel periodo notturno (da modello 63 e 54 dBA).
- Il ricettore 245 ha fatto registrare mediamente da 65 a 68 dBA nel periodo diurno e intorno a 60 dBA nel periodo notturno (da modello 64 e 55 dBA).
- Il ricettore 120 (rilievo da 24 ore) ha fatto registrare mediamente circa 58 dBA nel periodo diurno e intorno a 53 dBA nel periodo notturno (da modello 60 e 54 dBA).

I livelli presso il ricettore 224 si mantengono sempre alti, sia per il periodo di riferimento diurno che per quello notturno, con una variabilità settimanale propria delle strade di grande scorrimento.

Da un confronto fra i risultati del monitoraggio e la simulazione si può ritenere che il modello approssimi al meglio il clima acustico della zona in oggetto.

7. LO STATO DI PROGETTO

7.1. Il progetto della nuova SS 640

La strada di progetto segue in linea di massima lo sviluppo della strada attuale per i tratti iniziale e finale, discostandosene nella parte centrale.

Il progetto relativo al tratto in esame parte dal km 44 della vecchia infrastruttura fino al km 74. Per il tracciato di progetto si considera come km 0+000 il km 44+000 del vecchio tracciato (si sviluppa quindi fino al km 28+000). Nella trattazione si farà riferimento alle vecchie chilometriche per la parte ante operam e alle chilometriche di progetto per la fase post operam e post mitigazione.

Si evidenzia che per quanto attiene la presenza di tratti in galleria, in corrispondenza delle quali l'impatto acustico è nullo, lungo il nuovo tracciato sono previste 8 gallerie (dal km 2+700 fino al km 2+982, dal km 9+731 fino al km 10+016, dal km 10+279 al km 11+020, dal km 11+572 al km 11+759, dal km 12+900 fino al km 16+930, dal km 17+420 fino al km 17+650, dal km 18+440 al km 18+750, dal km 25+820 fino al km 26+000).

In riferimento al DPR 30/3/2004, si assume che la strada attuale è da considerarsi come strada extraurbana secondaria, trattandosi di una strada ad unica carreggiata con una corsia per senso di marcia e banchine, l'infrastruttura di progetto strada extraurbana principale (categoria "B" del DPR 30/3/2004).

Il progetto, come già detto, prevede sia ampliamenti dell'attuale sede stradale, sia la realizzazione di tratti dell'infrastruttura ex novo.

Il DPR 30/3/2004 (art. 1, lettera h), definisce "Strada di nuova realizzazione" *ciascun tratto che esuli dall'asse dell'attuale tracciato per una lunghezza superiore a 2 km, mentre fa rientrare nella categoria di "Strade esistenti e assimilabili" gli ampliamenti in sede, affiancamenti e varianti.* In particolare per le strade *extraurbane secondarie* definisce con il termine variante "*un nuovo tratto stradale in sostituzione di uno esistente, fuori sede, con uno sviluppo complessivo inferiore a 2 km*".

Nel caso specifico dell'opera in esame si è considerato prevalentemente la categoria di *strada esistente ed assimilabile (con ampliamenti in sede, affiancamenti e varianti)*, ad eccezione dei due tratti dal km 46+750 al km 49+500 e dal km 54+500 al km 67+000, per i quali si è considerato di trattare la strada come di *nuova realizzazione*.

Per *strade di nuova realizzazione* la normativa prevede un'unica fascia delimitata a 250 m da ciascun bordo stradale, entro la quale valgono i limiti di 65 dBA nel periodo diurno e 55 dBA in quello notturno (Campagna di monitoraggio acustico-previsto dall'articolo 3, comma 1/Tabella 1).

Per *strade esistenti* le due fasce di pertinenza di 250 m per lato sono state suddivise in due sottofasce, la prima di 100 m più vicina alla strada e la seconda più lontana di 150 m. I limiti acustici sono rispettivamente di 70 dBA e 65 dBA nel periodo diurno e

di 60 dBA e 55 dBA nel periodo notturno (Campagna di monitoraggio acustico - previsto dall'articolo 3, comma 1/Tabella 2)..

Come da normativa è stata quindi considerata una fascia acustica entro 250 m da ciascun bordo stradale, fissando però l'attenzione sulla presenza di ricettori sensibili fino ad una distanza di 500 m da ciascun bordo stradale (con limiti di 50 dBA per il periodo di riferimento diurno e 40 dBA per quello notturno). Tali ricettori sensibili non sono stati comunque rilevati.

7.2. Flussi di traffico post operam (anno 2011)

Lo studio del traffico per la situazione post operam è stato acquisito relativamente all'anno 2011. Per la tipologia di strada in progetto sono interdette le intersezioni a raso e gli accessi sono dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione. Gli svincoli presenti nella situazione ante operam sono stati conformati nel progetto per rispondere a tali esigenze, taluni sono stati eliminati (come quello al km 61+400, dove il tracciato si porta in galleria), altri sono stati collocati in modo tale da ottenere adeguati raggi di curvatura per la categoria di strada in oggetto. Per esempio, lo svincolo al km 59+000 resterà di servizio per la viabilità secondaria, mentre la SS 640 si servirà di un altro svincolo. La nuova infrastruttura sarà a due carreggiate separate, con due corsie di 3,75 m per senso di marcia ed una banchina di 1,75 m. I flussi fanno riferimento a ciascuna delle due carreggiate, l'una in direzione Caltanissetta, l'altra in direzione Agrigento (Tabella 7.1):

	LmE day	LmE night	TGM	% notte	%pesanti giorno	%pesanti notte
	dBA	dBA	Veic./24ore			
SS 640 fino svinc. km 1+300 – dir. CALT	64,2	53,1	6707	3,8	7	7
SS 640 fino svinc. km 1+300 – dir. AGR	63,0	52,0	5120	3,8	7	7
SS 640 fino svinc. km 7+700 – dir. CALT	64,8	53,7	7686	3,8	7	7
SS 640 fino svinc. km 7+700 – dir. AGR	64,2	53,1	6711	3,8	7	7
SS 640 fino svinc. km 12+500 – dir. CALT	63,8	52,7	6112	3,8	7	7
SS 640 fino svinc. km 12+500 – dir. AGR	63,5	52,4	5779	3,8	7	7
SS 640 fino svinc. km 19+300 – dir. CALT	63,7	54,0	6016	5,1	7	7
SS 640 fino svinc. km 19+300 – dir. AGR	61,3	51,9	3470	5,7	7	7
SS 640 fino svinc. km 26+300 – dir. CALT	64,2	54,4	6391	5	7	7
SS 640 fino svinc. km 26+300 – dir. AGR	63,3	53,5	5257	4,9	7	7
SS 640 fino a fine tratta – dir. CALT	65,4	54,4	8947	3,8	7	7
SS 640 fino a fine tratta – dir. AGR	65,5	54,5	9067	3,8	7	7

Tabella 7.1 – Dati TGM per la nuova SS 640

Si è considerata una percentuale nel periodo notturno variabile fra il 3,8 e il 5,7%. Per ciascun periodo di riferimento la percentuale dei mezzi pesanti è stata posta pari al 7%. La velocità considerata è stata di 90 km/h per i mezzi leggeri e di 70 km/h per i mezzi pesanti, con un fondo in asfalto di buona qualità.

Per quanto concerne la viabilità secondaria, la percentuale nel periodo notturno è stata considerata variabile fra il 3,7 al 4,9%, con una percentuale di mezzi pesanti pari al 7% per tutti e due i periodi di riferimento. La velocità considerata è ancora di 70 km/h per i mezzi leggeri e 50 km/h per i mezzi pesanti, alla luce della considerazione fatta per la situazione ante operam.

I dati relativi alla viabilità secondaria, interferente con la SS 640 per la situazione post operam, sono riportati nella seguente tabella (Tabella 7.2):

	LmE day	LmE night	TGM	% notte	%pesanti giorno	%pesanti notte
	dBa	dBa	Veic./24ore			
da svinc. km 1+300 verso Serradifalco	54,5	43,6	1556	3,9	7	7
da svinc. km 7+700 strada di raccordo	51,1	41	724	3,8	7	7
da svinc. km 12+500 verso S. Cataldo	57,3	46,7	7617	4,2	7	7
da svinc. km 12+500 verso zona industr.	65,2	55,3	14147	4,9	7	7
da svinc. km 19+300 verso S. Caterina	57,4	46,2	2294	3,7	7	7
da svinc. km 19+300 verso Caltan. Nord	57	45,9	2135	3,7	7	7
da svinc. km 19+300 vecchio tracciato	60,8	49,8	3038	3,8	7	7
da svinc. km 26+300 uscita da SS 640	57,8	46,8	3364	3,8	7	7
da svinc. km 26+300 entrata in SS 640	56,4	45,4	2417	3,8	7	7
strada verso San Cataldo 1 (*)	65,4	54,9	14591	4,3	7	7
strada verso San Cataldo 2 (*)	63,7	53,3	10000	4,3	7	7

Tabella 7.2 – Viabilità secondaria post operam

Nota: la viabilità verso San Cataldo, indicata nella tabella sopra con il simbolo (*), consiste in due strade per le quali non si prevede un accesso diretto sulla SS 640. Per la loro collocazione e per i flussi esse rappresentano tuttavia un contributo essenziale per il clima acustico della zona presa in considerazione.

Come nella situazione ante operam, anche per il post operam le zone di svincolo sono state considerate nel loro sviluppo plano-altimetrico, attribuendo i flussi per fasce di numerosità. Sono stati inoltre considerati i flussi entranti ed uscenti dalla SS 640 e dalla viabilità secondaria. La velocità è stata impostata pari a 50 km/h sia per i mezzi leggeri che per i pesanti.

7.3. La modellizzazione post operam

7.3.1. I parametri per la modellizzazione

Le modalità di impostazione del modello nella situazione post operam sono del tutto simili a quelle dell’ante operam. La strada di progetto si sviluppa stavolta su due carreggiate separate, con due corsie per senso di marcia. Il tracciato prevede otto gallerie, in corrispondenza delle quali la sorgente strada non è stata considerata. I flussi in ingresso sono relativi all’anno 2011 (ipotesi alta).

La ricostruzione della topografia è stata fatta con triangolazioni con curve di livello e punti quota.

I dati di output sono gli stessi per il modello ante operam. Si precisa che le facciate scelte per il calcolo dei livelli presso i ricettori sono sempre quelle più esposte rispetto alla SS 640. In funzione dello sviluppo della strada, alcuni ricettori possono essere esposti in modo diverso nel passaggio dall’ante operam al post operam: in questa situazione la facciata scelta è comunque quella più critica rispetto alla sorgente.

Anche in questo caso sono state prodotte undici mappe per ciascun periodo di riferimento (diurno e notturno) in scala 1:5000 (elaborati IA35AMBCT34-55). I livelli sui piani di ciascun ricettore sono riportati in tabella in allegato.

7.3.2. Risultati post operam

Si riportano di seguito (Tabella 7.3) i risultati sulle facciate con i livelli più elevati: si sono presi in considerazione i ricettori con un livello diurno superiore a 65 dBA (nella fascia il cui limite è 70 dBA) e a 60 dBA (nella fascia in cui il limite è 65 dBA). Sono evidenziati i ricettori presso i quali non sono rispettati i limiti normativi:

Ricettore	Piano	Esposizione facciata considerata	Limite diurno (dBA)	Limite notturno (dBA)	Livello diurno previsto (dBA)	Livello notturno previsto (dBA)	Superamento diurno (dBA)	Superamento notturno (dBA)
ricettore 105	1	NO	70	60	65,7	54,7	---	---
ricettore 105	2	NO	70	60	66,9	55,8	---	---

ricettore 109	1	N	70	60	67,8	56,8	---	---
ricettore 109	2	N	70	60	68,4	57,4	---	---
ricettore 109	3	N	70	60	68,5	57,4	---	---
ricettore 115	2	SE	70	60	66,1	55,0	---	---
ricettore 115a	2	S	70	60	65,1	54,1	---	---
ricettore 116	1	S	70	60	71,2	60,2	1,2	0,2
ricettore 120 c1	1	S	70	60	65,0	54,0	---	---
ricettore 134	2	NO	65	55	60,0	48,9	---	---
ricettore 134	3	NO	65	55	60,2	49,2	---	---
ricettore 145	1	NO	65	55	60,5	49,4	---	---
ricettore 145	2	NO	65	55	60,6	49,6	---	---
ricettore 145	3	NO	65	55	60,8	49,7	---	---
ricettore 146	1	N	65	55	64,1	53,0	---	---
ricettore 147	1	S	65	55	61,9	50,8	---	---
ricettore 147	2	S	65	55	62,1	51,0	---	---
ricettore 147a	2	S	65	55	60,9	49,8	---	---
ricettore 148	1	S	65	55	64,3	53,2	---	---
ricettore 148	2	S	65	55	64,9	54,1	---	---
ricettore 148a	1	S	65	55	64,5	53,4	---	---
ricettore 148a	2	S	65	55	64,5	53,4	---	---
ricettore 175	2	NO	65	55	61,0	49,9	---	---
ricettore 180	1	E	65	55	65,0	53,9	0,0	---
ricettore 182	1	SE	65	55	62,8	51,8	---	---
ricettore 182	2	SE	65	55	64,2	53,1	---	---
ricettore 184	2	SE	65	55	60,5	49,5	---	---
ricettore 186	1	SE	65	55	60,1	49,1	---	---
ricettore 186	2	SE	65	55	60,9	49,9	---	---
ricettore 186	3	SE	65	55	61,8	50,8	---	---
ricettore 188	1	SE	65	55	60,9	49,9	---	---
ricettore 188	2	SE	65	55	61,8	50,7	---	---
ricettore 188	3	SE	65	55	62,7	51,7	---	---
ricettore 206	1	O	65	55	60,0	49,1	---	---
ricettore 206	2	O	65	55	61,1	50,1	---	---
ricettore 206	3	O	65	55	62,2	51,3	---	---
ricettore 212	1	SE	65	55	61,9	51,5	---	---
ricettore 212	2	SE	65	55	62,9	52,5	---	---
ricettore 212	3	SE	65	55	63,7	53,3	---	---
ricettore 214	1	O	65	55	60,8	50,1	---	---
ricettore 214	2	O	65	55	62,2	51,5	---	---
ricettore 217	1	NO	65	55	66,2	55,4	1,2	0,4
ricettore 217a	1	O	65	55	66,3	55,4	1,3	0,4
ricettore 220	1	O	65	55	64,5	53,6	---	---
ricettore 220	2	O	65	55	65,1	54,2	0,1	---
ricettore 221	1	O	65	55	61,0	50,1	---	---
ricettore 221	2	O	65	55	61,9	50,9	---	---
ricettore 221	3	O	65	55	62,8	51,8	---	---
ricettore 222	3	O	65	55	60,5	49,5	---	---
ricettore 224	1	SW	65	55	64,3	53,3	---	---

ricettore 225	1	O	65	55	70,8	59,9	5,8	4,9
ricettore 235	1	O	65	55	62,8	52,3	---	---
ricettore 235	2	O	65	55	63,3	52,8	---	---
ricettore 236	2	O	65	55	62,8	52,8	---	---
ricettore 236a	2	O	65	55	62,1	52,1	---	---
ricettore 237	2	O	65	55	62,7	52,7	---	---
ricettore 238	1	O	65	55	62,7	52,2	---	---
ricettore 239	1	O	65	55	62,8	53,0	---	---
ricettore 239	2	O	65	55	63,8	53,9	---	---
ricettore 239	3	O	65	55	64,7	54,8	---	---
ricettore 25	2	SE	70	60	65,1	54,1	---	---
ricettore 250	1	O	65	55	69,5	59,7	4,5	4,7
ricettore 251	1	S	65	55	62,0	52,3	---	---
ricettore 257	1	S	65	55	64,2	54,1	---	---
ricettore 257	2	S	65	55	64,9	54,8	---	---
ricettore 258	1	S	65	55	60,5	50,5	---	---
ricettore 258	2	S	65	55	61,2	51,1	---	---
ricettore 258	3	S	65	55	61,9	51,9	---	---
ricettore 280	1	N	65	55	62,2	51,2	---	---
ricettore 287	1	SE	65	55	64,8	55,1	---	0,1
ricettore 303	1	SW	65	55	60,6	49,6	---	---
ricettore 308	1	NO	65	55	64,5	54,7	---	---
ricettore 308	2	NO	65	55	64,9	54,9	---	---
ricettore 308a	2	NO	65	55	61,2	51,4	---	---
ricettore 308c	1	NO	65	55	61,4	51,6	---	---
ricettore 308c	2	NO	65	55	62,7	52,8	---	---
ricettore 309	2	S	65	55	60,9	51,1	---	---
ricettore 309a	1	SE	65	55	60,3	50,5	---	---
ricettore 309a	2	SE	65	55	61,5	51,6	---	---
ricettore 310	1	N	65	55	61,0	51,2	---	---
ricettore 310a	1	N	65	55	62,4	52,6	---	---
ricettore 310b	1	N	65	55	62,4	52,6	---	---
ricettore 311	1	SE	65	55	66,4	56,6	1,4	1,6
ricettore 313	1	E	65	55	71,4	61,6	6,4	6,6
ricettore 323	1	S	65	55	60,7	50,9	---	---
ricettore 324	2	S	65	55	60,4	50,6	---	---
ricettore 328	1	S	65	55	62,5	52,8	---	---
ricettore 328a	1	S	65	55	62,7	52,8	---	---
ricettore 338	1	NO	65	55	63,3	53,4	---	---
ricettore 338a	1	NO	65	55	63,3	53,4	---	---
ricettore 356	1	SE	70	60	70,8	60,9	0,8	0,9
ricettore 360	1	NO	70	60	65,4	55,6	---	---
ricettore 361a	1	NO	70	60	68,0	58,2	---	---
ricettore 364	1	NO	70	60	65,2	55,4	---	---
ricettore 364	2	NO	70	60	66,2	56,4	---	---
ricettore 51	1	NO	70	60	65,9	54,9	---	---
ricettore 51	2	NO	70	60	66,7	55,7	---	---
ricettore 51	3	NO	70	60	67,0	56,0	---	---

ricettore 51a	1	NO	70	60	65,0	54,0	---	---
ricettore 51a	2	NO	70	60	66,3	55,3	---	---
ricettore 51a	3	NO	70	60	66,8	55,8	---	---
ricettore 73	2	N	70	60	66,1	55,1	---	---
ricettore 73	3	N	70	60	66,7	55,7	---	---
ricettore 73bis	1	S	70	60	71,2	60,2	1,2	0,2
ricettore 75	2	S	70	60	66,3	55,2	---	---
ricettore 77	3	N	70	60	65,3	54,3	---	---

Tabella 7.3 – Livelli critici da simulazione post operam

Presso i ricettori evidenziati in rosa si ha un superamento dei limiti di legge; tuttavia si tratta di ruderi o unità rurali dismesse, destinate comunque all’abbattimento (cfr. capitolo 8, paragrafo 8.1).

8. MISURE DI MITIGAZIONE

8.1. Inserimento delle barriere nei punti critici

Le barriere acustiche saranno collocate con un duplice obiettivo. In primo luogo hanno lo scopo essenziale di abbattere i livelli nei punti in cui si è avuto superamento dei limiti di legge. In seconda battuta esse sono poste a protezione dei nuclei residenziali nella zona periferica di Caltanissetta (sulla base di particolari destinazioni : in tal modo i livelli risulteranno più bassi, anche se comunque a norma già prima dell'intervento. La finalità è quella di conseguire dei livelli di qualità adeguati al contesto abitativo considerato.

L'analisi dei livelli in facciata per la situazione post operam riporta 12 ricettori con livelli oltre i limiti normativi. Tuttavia per 7 di essi (73bis, 116, 225, 250, 287, 311 e 313) si tratta di piccole unità rurali non residenziali per le quali è previsto l'abbattimento. Le rimanenti 5 unità ricettive risultano essere i ricettore 180, 217, 217a, 220, e 356.

Il ricettore 116 si trova in un contesto più urbanizzato, all'inizio della periferia di Caltanissetta; la valutazione del clima acustico ha perciò riguardato non il singolo ricettore, ma tutta la zona nella quale ricade. (zona F secondo il PRG, destinata all'attività sportiva e ricreativa) I ricettori 180, 217, 217a, 220 e 250 si trovano nei pressi della zona di svincolo intorno al km 12+500. Il ricettore 356 si trova al contrario all'interno di un contesto agricolo, pertanto l'intervento è risultato più circoscritto.

8.2. La modellizzazione post mitigazione

Dalla situazione post operam è stato effettuato il posizionamento delle barriere, tenendo conto di macromoduli di 50 metri, con altezza costante pari a 3 metri. In totale le barriere risultano essere 9. L'esatta collocazione delle barriere è riportata nella tabella seguente (Tabella 8.1):

Progressiva	Lato Strada	Lunghezza Barriera	Altezza	Superficie	Ricettori critici
(km)	(Dx - Sx)	(m)	(m)	(mq)	
8+390	Sx	350	3	1050	
8+820	Sx	150	3	450	
9+140	Sx	500	3	1500	
8+750	Dx	900	3	2700	
11+750	Sx	650	3	1950	180
11+750	Dx	600	3	1800	217,217a,220
12+720	Sx	150	3	450	
12+660	Dx	200	3	600	
22+440	Sx	300	3	900	356
		Totale: 3800			

Tabella 8.1 – Ubicazione delle barriere acustiche

I suddetti interventi previsti sono riportati negli elaborati relativi alla fase di post mitigazione IA35AMBCT56-61.

Si intende per lato destro la carreggiata in direzione di Caltanissetta e per lato sinistro quella in direzione di Agrigento. Restano definiti tutti gli altri parametri di modellizzazione impostati nel post operam.

8.3. Tipologie di barriere proposte

Per continuità con il progetto del tratto già progettato della SS 640, ricadente in Provincia di Agrigento, la scelta degli interventi di mitigazione è ricaduta su barriere trasparenti. In particolare sono previste barriere in acciaio ricurvo e metacrilato (PMMA). Le lastre sono antiriflesso, di colore verde marino. Il PMMA e i policarbonati sono realizzati per colata diretta e non per estrusione, garantendo così un maggior peso molecolare e assenza di distorsioni ottiche. Sono inoltre inattaccabili dai gas di scarico, alghe, funghi e microrganismi.

Le dimensioni sono state determinate in funzione del passo della struttura di supporto, del fonoisolamento e della resistenza meccanica richiesta. Per un'altezza costante di 3 metri, l'interasse fra i montanti è pari a 2 metri per un singolo modulo elementare (si ricorda che è stata fatta una suddivisione in macromoduli da 50 metri per la composizione delle barriere). Ogni 2 metri lineari sono disposte due sagome anticollisione per volatili, una posta nell'angolo superiore e l'altra nell'angolo inferiore diametralmente opposta alla prima.

Il potere fonoisolante è riportato nel diagramma seguente (Figura 8.2):

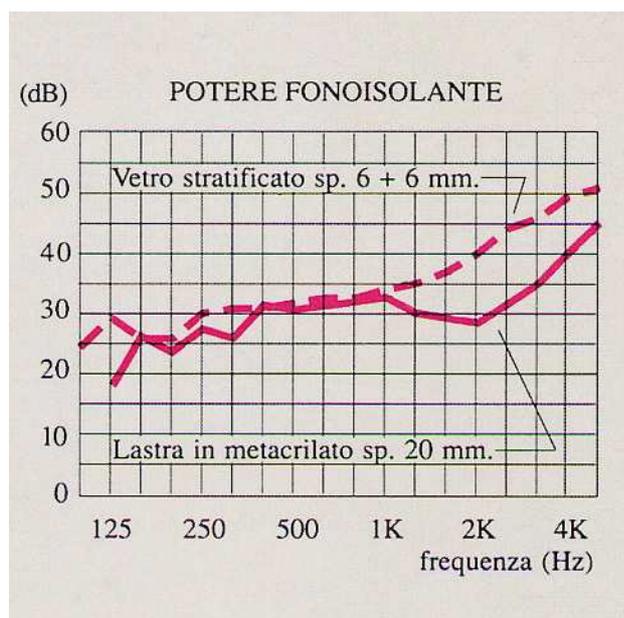


Figura 8.2 – Potere fonoisolante della barriera considerata

La seguente immagine (Figura 8.3) mostra la barriera in oggetto. Si riporta anche un disegno tipologico con le dimensioni considerate (Figura 8.4).



Figura 8.3 – Barriera installata

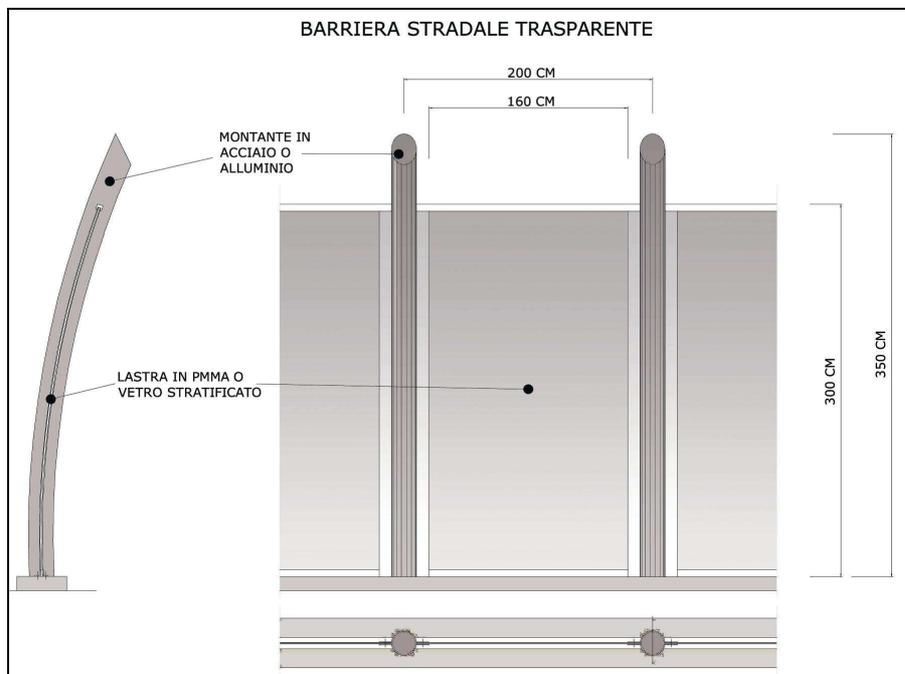


Figura 8.4 – Disegno tipologico con dimensioni

8.4. Sezioni acustiche

Al fine di valutare l'efficienza degli interventi proposti, sono state effettuate due sezioni acustiche presso il ricettore 83 e presso il ricettore 116. I profili verticali riguardano la fase ante operam, la fase post operam e la fase post mitigazione. La scelta è stata effettuata sulla base di situazioni di criticità sia per lo stato dell'arte, sia per la fase progettuale. Le sezioni sono in scala 1:200 per il ricettore 116 (elaborato IA35AMBCT62) e 1:400 per il ricettore 83 (elaborato IA35AMBCT63).

L'installazione della barriera permette di abbattere i livelli presso le facciate dei ricettori, deviando le curve isofoniche verso l'alto.

8.5. Conclusioni

L'introduzione delle barriere nella situazione post operam consente di ottenere il conseguimento dei livelli normativi nei punti dove si aveva il superamento.

Nella disposizione delle barriere si è privilegiata la parte urbanizzata, non tenendo conto di ricettori troppo isolati o delle zone rurali o industriali. Chiaramente gli interventi sono stati posti obbligatoriamente nei punti per i quali è stato registrato il superamento dei limiti di legge.

Si è prestata attenzione anche alle zone destinate allo sviluppo urbano secondo il vigente PRG. Tuttavia le aree ricadenti nella zona C (espansione urbana) ed attraversate dalla SS640 si trovano nella parte di tracciato che si sviluppa all'interno della galleria naturale di Caltanissetta. Ne consegue che non sono acusticamente influenzate dall'infrastruttura.

Particolarmente efficace risulta essere l'effetto della barriera presso il ricettore 250 e per tutta la zona intorno, essendo una situazione particolarmente critica per la presenza dello svincolo al km 12+500.

Si riporta una tabella semplificata delle mitigazioni apportate sui ricettori con superamenti dei limiti normativi (Tabella 8.5):

Ricettore	Piano	Esposizione facciata considerata	Limite diurno (dBA)	Limite notturno (dBA)	Livello diurno previsto (dBA)	Livello notturno previsto (dBA)	Superamento diurno (dBA)	Superamento notturno (dBA)	Livello mitigato diurno (dBA)	Livello mitigato notturno (dBA)	Mitigazione diurna (dBA)	Mitigazione notturna (dBA)
<i>ricettore 116</i>	1	S	70	60	71,2	60,2	1,2	0,2	66,7	55,6	4,5	4,6
<i>ricettore 180</i>	1	E	65	55	65,0	53,9	0,0	---	61,6	50,5	3,4	3,4
<i>ricettore 217</i>	1	NO	65	55	66,2	55,4	1,2	0,4	62,6	52,0	3,6	3,4
<i>ricettore 217a</i>	1	O	65	55	66,3	55,4	1,3	0,4	62,8	52,1	3,5	3,3
<i>ricettore 220</i>	2	O	65	55	65,1	54,2	0,1	---	63,1	52,2	2,0	2,0
<i>ricettore 250</i>	1	O	65	55	69,5	59,7	4,5	4,7	60,8	50,7	8,7	9,0
<i>ricettore 356</i>	1	SE	70	60	70,8	60,9	0,8	0,9	68,4	58,6	2,4	2,3

Tabella 8.5 – Mitigazioni apportate ai ricettori con superamento dei limiti normativi

9. IL RUMORE NELLA FASE DI CANTIERIZZAZIONE

9.1. Premessa

La cantierizzazione della SS 640 si articola in cinque aree di cantiere fisse ed in quattro aree di cantiere adibite alla costruzione di due gallerie (in località Papazzo e Caltanissetta). Si tratta di cantieri industriali con impianti e depositi di materiali necessari alla costruzione delle opere, con alloggiamento delle maestranze, uffici e servizi logistici.

Ad ogni cantiere fisso è associato il relativo numero di macchinari e di addetti.

L'intero tracciato è interessato da quattro zone operative che lo comprendono completamente. All'interno di una singola zona operativa possono essere presenti più cantieri fissi, generalmente posti in prossimità delle zone di svincolo.

Il cantiere mobile si sposta lungo il tracciato nel corso d'opera ed utilizza i macchinari e i materiali alloggiati nei cantieri fissi, a seconda della tipologia di opera prevista per il tratto in lavorazione (viadotto, rilevato, trincea e galleria).

In ciascuno dei cantieri mobili le lavorazioni vengono portate a termine attraverso le seguenti quattro fasi successive:

- Fase 1: preparazione del terreno
- Fase 2: scavo
- Fase 3: messa in opera dei servizi stradali
- Fase 4: pavimentazione

Il numero e la tipologia di macchinari utilizzati sono funzione della lunghezza del tracciato e del tipo di opera che si intende costruire.

La costruzione di rilevati e trincee comprende le operazioni di scavo di sbancamento, la formazione del sottofondo e il modellamento del piano stradale; i tratti in viadotto ed in galleria artificiale prevedono le operazioni di scavo, la costruzione delle fondazioni e di tutte le strutture in cemento armato.

9.2. Macchinari funzionali alle lavorazioni

Le emissioni sonore associate all'attività di cantiere presentano un elevato grado di incertezza, essendo funzione della marca dei macchinari, del loro stato di usura, del tipo di lavorazione effettuata e dalle modalità operative in generale.

Nella tabella 1 sono riportati il numero di macchine operatrici in funzione per la realizzazione di ciascuna delle quattro fasi considerate, le dimensioni considerate sono relative ai modelli citati nella tabella 2 e hanno lo scopo di dare un'informazione spaziale del possibile ingombro dei macchinari.

Macchina	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Autocarro	2	5	2	4
Autobetoniera	-	-	2	1
Pompa cls	-	-	3	2
Autogru	-	-	2	-
Bulldozer	1	-	-	1
Escavatore	1	7	1	2
Pala	3	3	-	-
Rullo	-	-	1	1
Motorgrader	-	-	1	-
Vibrofinitrice	-	-	-	2
Trivella	-	1	-	-

Tabella 1: numero di automezzi impiegati per ogni singola fase (cantiere 3)

Macchina	Dimensioni			Emissioni sonore (dBA)	Modello di riferimento
	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Altezza (m)		
Autocarro	10,5	5,4	4,5	78 – 82,1	Caterpillar 777 F
Autobetoniera	6,4	2,4	4	84 – 92,8	Fiori DB 400 S
Pompa cls	7	2	3	84 – 89	Putzmeister BSA 1400 hp
Autogru	20	3	4	81 – 86	Vernazza LTM 1300
Bulldozer	5	2,5	2,5	88 – 93,2	Caterpillar D5
Escavatore	6,3	3,5	3,6	83 – 92,2	Caterpillar 385 C L
Pala	8	3	3,5	88 – 94,6	Caterpillar 994 F
Rullo	5,7	2,3	3	85 – 90,5	Hamm 3412 HT
Motorgrader	8,9	2,5	3,2	85 – 90,5	Volvo G930
Vibrofinitrice	6,7	2,5	3	75 – 86,9	Marini MF 491 C
Trivella	5	4,3	3	90 – 95	IMT AF 220

Tabella 2: dimensioni caratteristiche ed emissioni sonore delle macchine di cantiere

I valori di emissione sonora sono riportati con un intervallo di variabilità: tali valori rappresentano dati di letteratura riguardanti l'attività di cantiere. Nel modello sono stati riportati i valori maggiori, in modo da garantire una situazione di sicurezza.

9.3. Il disturbo indotto dalle attività di cantiere

Per la definizione del livello di disturbo indotto dalle attività di cantiere sono state considerate le seguenti situazioni:

- potenziale livello di disturbo indotto dal cantiere fisso (di base, posto in prossimità degli svincoli)
- potenziale livello di disturbo indotto dal cantiere mobile (per la realizzazione del tracciato viario)
- potenziale livello di disturbo indotto dal traffico dei mezzi di cantiere sulla viabilità esistente

9.3.1. Il cantiere fisso

Lo studio del livello di rumorosità indotto dai cantieri fissi è stato effettuato in considerazione di quelle situazioni in cui si rileva la presenza di ricettori.

Una situazione significativa è rappresentata dal cantiere n. 3, in prossimità del quale si riscontra la presenza di ricettori a prevalente destinazione residenziale (nn. 265, 223, 257, 266). Si evidenzia che i cantieri nn. 1, 2, 4 e 5 si attestano in ambiti con assenza di ricettori. Qualche sporadico ricettore a destinazione residenziale si riscontra in prossimità dei cantieri di imbocco galleria n. 1, 2 e 3.

Noto il numero di macchine operatrici previste all'interno del cantiere n. 3, è stata effettuata la simulazione considerando le fasi di allestimento del cantiere e di movimentazione mezzi e macchinari. Nella tabella 1 sono riportate le macchine operatrici realmente utilizzate, in relazione allo sviluppo del tracciato.

9.3.2. Il cantiere mobile

Per la simulazione di un cantiere mobile è stata considerata la fase di scavo, essendo essa la più critica. Il cantiere in questione è stato posto presso il km 54+000 dell'attuale tracciato, in un tratto per il quale sono previsti interventi di adeguamento. I ricettori interessati sono il 105, 105a, 106, 107 e 109. Lo scopo del presente studio è quello di ipotizzare una situazione tipologica valida per tutti i ricettori aventi una distanza critica come quella individuata nel caso di cui sopra.

9.3.3. Il traffico dei mezzi di cantiere

Il transito dei mezzi di cantiere avviene principalmente sulla attuale SS 640. I volumi in gioco, riguardanti sia il traffico dei mezzi pesanti che di quelli leggeri, non incidono in maniera significativa sugli attuali volumi di traffico stimati lungo l'itinerario esistente.

Pertanto non si determina una situazione di disturbo acustica diversa da quella considerata nella caratterizzazione ante operam.

9.4. Risultati ed interventi di mitigazione

Le curve isolivello dell'area di studio considerata risultano essere funzione del tipo di lavorazione. Tuttavia i livelli acustici generati dal cantiere si mantengono sempre intorno ai 65 – 70 dBA fino ad una distanza di 40 – 60 m dal perimetro dell'area di cantiere.

Per il cantiere fisso è stata simulata l'installazione di barriere acustiche di altezza pari a 3 metri per la zona operativa esposta a sud ovest; in tal modo è stato possibile riscontrare un abbattimento intorno ai 5 dBA. La barriera è stata posta solo sul perimetro sud ovest, in modo tale da affrontare un discorso tipologico, che meglio si adatta ad uno studio per la fase di cantierizzazione.

Per il cantiere mobile la barriera è stata posta sui lati dell'area di cantiere paralleli alla strada e in parte sul lato opposto alla lavorazione, lasciando il passaggio per la viabilità ordinaria e per la movimentazione dei macchinari. La barriera lungo il lato nord del perimetro di cantiere è stata posta per valutare il decadimento dei livelli sonori ottenuto con tale intervento: l'isofonica a 65 dBA si avvicina sensibilmente al confine dell'area. L'abbattimento presso i ricettori 105 e 105a risulta essere intorno ai 5 dBA. L'altezza è stata impostata a 3 metri.

I limiti acustici della zona del tracciato non sono ancora stati regolarizzati secondo una zonizzazione acustica, come da legge quadro. Trattandosi di un ambito prettamente rurale, i limiti sono pertanto di 70 dBA per il giorno e 60 dBA per la notte.

Il superamento del limite diurno (considerato che i cantieri saranno funzionanti solo durante tale periodo di riferimento) avviene pertanto presso i ricettori che distano meno di 50 metri dal confine del cantiere.

Si riportano di seguito i ricettori presso i quali il cantiere mobile deve essere provvisto delle barriere fonoassorbenti. La distinzione è stata fatta per zone operative ed è stato riportato il lato della strada dove il ricettore viene a trovarsi. Per ogni cantiere mobile di ciascuna zona operativa va prevista in questi casi la schermatura presso i lati paralleli al percorso stradale, per tutta la lunghezza del cantiere.

Zona Operativa	Ricett. Lato Sinistro	Ricett. Lato Destro
<i>Km 0-7800</i>	<i>8</i>	<i>26</i>
	<i>22</i>	<i>36</i>
	<i>22A</i>	<i>32</i>
	<i>21</i>	<i>37</i>
	<i>24</i>	<i>48A</i>
	<i>25</i>	<i>51</i>
	<i>30</i>	<i>51A</i>

	29	51B
	55	/
	75	73
	80	73A
	83	74
	84	77
	103	105
	88	105A
	88A	106
	110	109
	110A	111
	116	120
	115	121
	115A	147
	120	147A
	148	175
Km 7800-12700	148A	175A
	174	221
	180	220
	181	217
	182	217A
	184	214
	186	250
	187	239
	188	243
	224	/
	212	/
	257	/
	252	/
	251	/
	/	/
Km 12700-19200	328	338
	/	338A
	327	307
	325	306
	323	308
	324	310
	309	360
Km 19200-28082	349	360A
	350	347
	355	361
	356	351A
	363	364
	/	372

In tali situazioni, per ovviare a questi incrementi di rumore, si può procedere alla messa in opera di barriere fonoassorbenti provvisorie, montate su appositi basamenti in calcestruzzo tipo New Jersey. Si può pensare a pannelli monolitici costituiti da una parte strutturale centrale in cemento con rivestimento in fibra di legno mineralizzata, aventi dimensioni standard (lunghezza di 4000 mm e larghezza di 600 mm) e con possibilità di sovrapposizione sino all'altezza desiderata.

Nelle figure 1 e 2 è riportata la stessa situazione in assenza ed in presenza di barriera fonoassorbente (presso l'area di cantiere 3, nella fase di scavo): si può notare che la facciata più esposta presso il ricettore 223 C, ad una distanza di 30 metri dalla perimetrazione dell'area di cantiere, subisce un decremento dei livelli sonori pari a circa 5 dBA, passando dai 65 dBA ai 60 dBA.

Nonostante il limite normativo sia di 70 dBA, è consigliabile l'uso delle barriere anche per livelli indotti superiori ai 65 dBA, ossia per distanze dal cantiere inferiori ai 50 metri.

I risultati sono stati riportati sia per il cantiere fisso (area di cantiere 3) che per quello mobile, considerando come sorgenti sia le macchine operatrici che l'attuale infrastruttura (elaborato IA35AMBCT64, in scala 1:2.000, mappatura a 2 metri dal suolo).

9.5. Norme procedurali per l'abbattimento dei livelli sonori

L'utilizzo di una barriera fonoassorbente presso i ricettori più impattati dall'attività di cantiere non deve rimanere l'unico intervento volto alla diminuzione dei livelli generati dalle lavorazioni. Esistono delle norme procedurali e tecniche a complemento.

La scelta delle macchine operatrici assume un ruolo fondamentale. La selezione va effettuata in conformità alle direttive della Comunità Europea ed ai successivi recepimenti nazionali. In particolare si ricorda la direttiva 2000/14/CE (8 maggio 2000) riguardante "il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri concernenti l'emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto", recepita dal nostro paese con il DL 4 settembre 2002 n° 262.

La direttiva si pone come obiettivo il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relativamente alle norme sull'emissione acustica, le procedure di valutazione della conformità, la marcatura, la documentazione tecnica per quanto riguarda l'emissione acustica ambientale di macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto. Emanata per la libera circolazione nel mercato di suddette macchine, essa vuole armonizzare le prescrizioni acustiche e contemporaneamente tutelare la salute dei cittadini e dell'ambiente. Al fine di ottenere questo risultato, tutte le macchine devono essere portate ai livelli acustici generati dalle macchine più silenziose presenti in commercio. Il fabbricante è tenuto a garantire la conformità e ad apporre su ciascuna macchina la marcatura CE e l'indicazione del livello sonoro garantito. Sono escluse tutte le macchine destinate al trasporto di merci o passeggeri o quelle costruite per fini militari o di polizia o per i servizi di emergenza.

Sono da preferirsi macchine per la movimentazione della terra su gomma, piuttosto che quelle cingolate. Se possibile si deve provvedere all'installazione di silenziatori sugli scarichi. La manutenzione delle parti di giuntura è di particolare importanza, in modo tale da evitare i fenomeni di attrito. I percorsi stradali all'interno dell'area di cantiere devono poi essere costantemente controllati, al fine di evitare la formazione di buche, particolarmente importanti da un punto di vista acustico nel passaggio dei mezzi pesanti. Nel punto di installazione di una macchina fissa si può pensare ad una schermatura con fabbricati insonorizzanti.

L'ubicazione dei ricettori è fondamentale per la disposizione e l'orientamento degli impianti; è preferibile, all'interno dell'area di cantiere, una collocazione delle macchine di minima interferenza con gli insediamenti abitativi.

Per le attività di cantiere, classificabili come temporanee, la normativa prevede infine la possibilità di chiedere autorizzazioni in deroga ai limiti di legge per lo svolgimento dell'attività alle pubbliche amministrazioni. Nel caso in cui tutte le disposizioni prese non abbassassero i livelli al di sotto di 70 dBA, si renderebbe allora necessario presentare una richiesta per tale autorizzazione, con una spiegazione dettagliata del cantiere e degli interventi comunque effettuati.

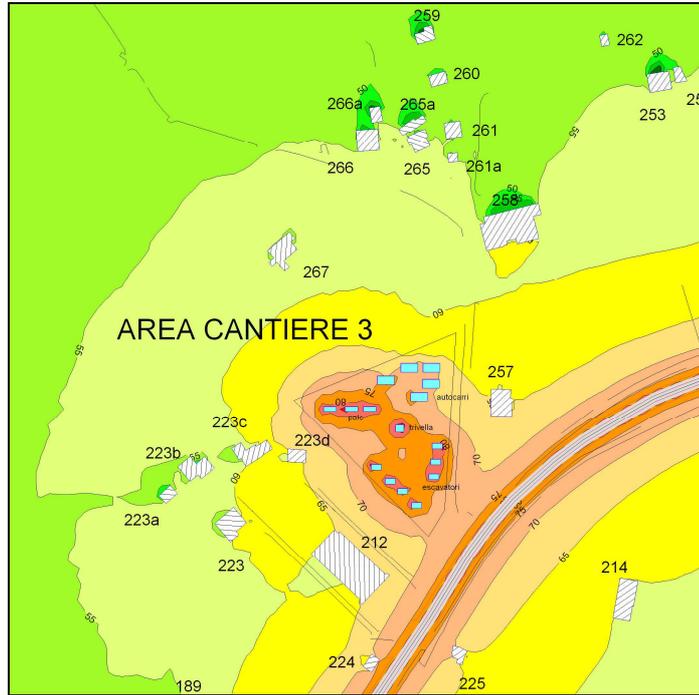


Figura 1: Livelli sonori generati dall'attività di cantiere

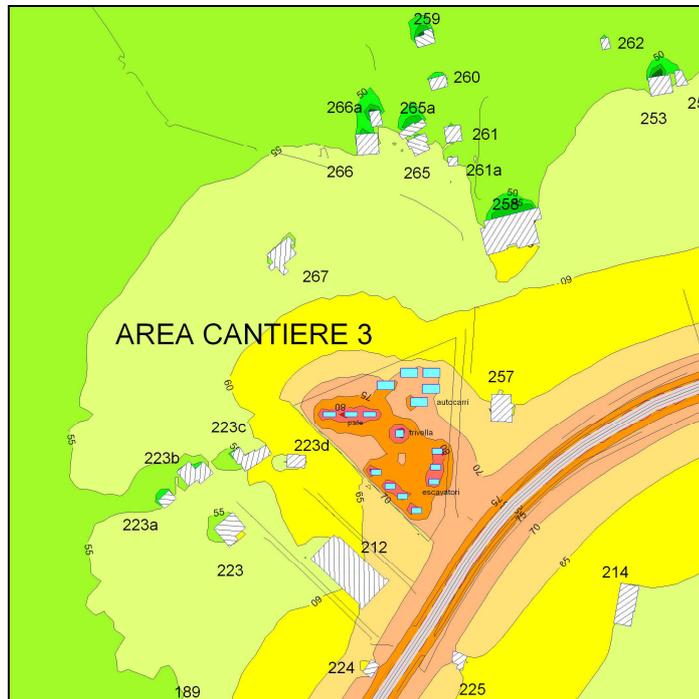


Figura 2: Intervento di mitigazione: barriera acustica lungo il lato sud ovest

10. VIBRAZIONI

La valutazione del fenomeno vibratorio non può prescindere da una preliminare definizione degli effetti che le vibrazioni determinano sull'ambiente. Tali effetti sono sostanzialmente di tre tipi:

- effetti sulle attività produttive (interferenza con il funzionamento di strumenti o l'esecuzione di lavori di precisione);
- effetti di disturbo sulle persone;
- effetti sulle strutture edilizie (lesioni ai rivestimenti, alle murature, alle strutture, etc.).

Ciascuna tipologia di effetti si manifesta per i livelli di sollecitazione vibratoria notevolmente differenziati ed è oggetto di specifici riferimenti normativi.

Dal punto di vista fisico una vibrazione meccanica è un fenomeno ondulatorio, generalmente di bassa frequenza, che si propaga attraverso un mezzo solido. Le vibrazioni generate dai veicoli stradali e dai convogli ferroviari sono composte da una moltitudine di elementi lineari, ognuna caratterizzata da distinte proprietà di ampiezza, frequenza e angolo di fase. Le frequenze dominanti delle vibrazioni trasmesse si situano normalmente nella gamma $1 \text{ Hz} < f < 150 \text{ Hz}$. Le caratteristiche spettrali dei segnali dipendono dal filtraggio operato dai diversi mezzi di propagazione (infrastruttura, terreno, fondazione e struttura dell'edificio), che tendono a trasferire l'energia vibratoria in corrispondenza delle proprie frequenze naturali. Le vibrazioni elementari con frequenza superiore a 150 Hz vengono generalmente filtrate durante la trasmissione nel suolo e, d'altro canto, i manufatti non reagiscono normalmente a frequenze di eccitazione inferiori a 1 Hz. La maggior parte delle normative di settore si riferiscono a vibrazioni comprese nell'intervallo di frequenza 1 – 80 Hz. L'intervallo delle frequenze di vibrazione presenta una certa sovrapposizione con la gamma delle frequenze udibili (convenzionalmente limitato dalla soglia inferiore di 20 Hz), fatto che giustifica il possibile verificarsi, in ambienti interni, di rumore di bassa frequenza originato da vibrazioni strutturali – definito come “rumore trasmesso per via solida”, che si sovrappone per via dell'effetto vibratorio vero e proprio, sia al rumore trasmesso per via aerea, generalmente caratterizzato da frequenze più elevate.

I fattori che determinano la risposta dell'individuo, a cui fanno riferimento le normative illustrate nel successivo paragrafo, sono essenzialmente i seguenti:

- l'andamento temporale del fenomeno vibratorio: la vibrazione può essere considerata sostanzialmente costante quando il livello (rilevato con costante di tempo slow – 1 s) varia nel tempo in un intervallo di ampiezza inferiore a 5 dB, non costante quando la variazione supera i 5 dB, o impulsiva quando è costituita da eventi di breve durata caratterizzati da un rapido innalzamento del livello;
- la direzione di propagazione della vibrazione, riferita alla postura del soggetto esposto, indicando convenzionalmente come asse Z quello passante per il cocchige e la testa, asse X quello passante per la schiena ed il petto e asse Y quello passante per le due spalle;
- la gamma di frequenze rilevanti. In campo edilizio l'intervallo normalmente considerato è compreso tra 1 e 80 Hz.

La definizione di criteri che consentano di misurare e valutare gli effetti soggettivi delle vibrazioni costituisce un problema di notevole complessità, trattato da numerose normative a livello nazionale ed internazionale che sono tuttora in evoluzione. Gli studi svolti in questo campo indicano che la sensibilità soggettiva alle vibrazioni varia con la frequenza, secondo leggi diverse e secondo la direzione considerata:

- per vibrazioni nella direzione dell'asse Z (verticale) il corpo sia in posizione eretta sia seduta, ha il massimo di sensibilità in termini di accelerazione nel campo di frequenza 4 – 8 Hz;
- per vibrazioni sugli assi X e Y (orizzontali) esiste un massimo di sensibilità nell'intervallo di frequenza 1 – 2 Hz;
- la tolleranza a vibrazioni orizzontali è minore sotto i 5 Hz rispetto a quella per le vibrazioni sull'asse Z, ma è più grande (di circa 10dB) per frequenze maggiori;
- la sensibilità per quanto concerne la posizione è maggiore per quanto riguarda la posizione soprattutto alle frequenze più basse;
- per soggetti in posizione eretta esiste un minimo di sensibilità a 1,7 Hz e un massimo tra 6 e 15 Hz.

L'estensione della fascia spaziale nella quale l'impatto da vibrazioni risulta avvertibile è limitata, essendo tipicamente dell'ordine di alcune decine o al massimo di poche centinaia di metri in funzione delle caratteristiche del terreno. In generale il problema delle vibrazioni è particolarmente significativo per le infrastrutture ferroviarie, a causa del peso elevato dei convogli e delle specifiche modalità di interazione tra ruota e rotaia. Nel caso del traffico stradale, negli edifici prossimi a strade ed autostrade con flussi di traffico pesante significativi, possono registrarsi livelli di accelerazione prossimi ai limiti UNI 9614, soprattutto in presenza di pavimentazioni in cattivo stato di manutenzione, giunti, condotte interrato passanti al di sotto della carreggiata.

Le vibrazioni ed il rumore a bassa frequenza possono determinare effetti sulle persone, sugli edifici e sulle attività economiche. Gli effetti sulle persone, classificabili come "annoyance", dipendono dall'intensità e frequenza dell'evento disturbante dal tipo dell'attività svolta. L'annoyance deriva dalla combinazione di effetti che coinvolgono la percezione uditiva e la percezione tattile delle vibrazioni. Le normative di settore defi-

niscono limiti ai livelli di accelerazione in funzione della categoria di edificio tali da contenere entro un campo di accettabilità gli effetti sulla comunità.

La continua tendenza in alcuni settori dell'industria e della ricerca a perfezionare e rendere più precisa la strumentazione ha determinato l'estendersi di situazioni di elevata sensibilità alle vibrazioni. Ad esempio, il funzionamento di microscopi ottici ed elettronici può essere disturbato da livelli di vibrazione inferiori alla soglia di percezione umana. In alcune situazioni come, ad esempio, in presenza di caratteristiche di estrema suscettività della strutturale odi elevati e prolungati livelli di sollecitazione dinamica, le vibrazioni possono causare danni agli edifici. E' comunque generalmente riconosciuto che i livelli di vibrazioni in grado di determinare danni alle strutture degli edifici sono più alti di quelli normalmente tollerati dalle persone.

10.1. Inquadramento normativo

Per lo studio del fenomeno vibratorio si individuano numerose norme tecniche, emanate a livello nazionale ed internazionale, che costituiscono un riferimento fondamentale per la valutazione del disturbo e/o del rischio di danno strutturale in edifici interessati da fenomeni di vibrazione. Si ricorda che ad oggi non esiste in Italia una legge quadro sull'inquinamento da vibrazioni che fissa i limiti della componente sul territorio, per cui si utilizzano per le valutazioni dei potenziali impatti, i valori segnalati dalle norme internazionali ISO o da quelle nazionali DIN, UNI, etc.

I principali riferimenti normativi sono:

- Norma ISO 2631/1 Stima dell'esposizione degli individui a vibrazioni globali del corpo – parte 1: Specifiche generali
- Norma ISO 2631/2 Stima dell'esposizione degli individui a vibrazioni globali del corpo – parte 2: Vibrazioni continue ed impulsive negli edifici (da 1 a 80 Hz)
- Norma UNI 9670 Risposta degli individui alle vibrazioni – Apparecchiatura di misura
- Norma UNI 9614 Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo
- Norma ISO 4866 Vibrazioni meccaniche ed impulsi – Vibrazioni degli edifici – Guida per la misura delle vibrazioni e valutazioni degli effetti sugli edifici
- Norma UNI 9916 Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici
- ANSI S3.29 Guide to the evaluation of human exposure to vibration in buildings
- BS 6472 Evaluation of human exposure to vibration in buildings
- DIN 4150 Structural vibration in buildings

Per quanto riguarda il disturbo alle persone, uno dei principali riferimenti è rappresentato dalla norma ISO 2631 parte 1 e 2. A questa norma ISO fa inoltre riferimento, seppur con alcune non trascurabili differenze, la norma UNI 9614 “Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo”. In quest’ultima norma viene definito il metodo di misura delle vibrazioni di livello costante e non costante immesse negli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi. I locali o gli edifici sono classificati a seconda della loro destinazione d’uso in: aree critiche, abitazioni, uffici, fabbriche. Diversa sensibilità è attribuita alle abitazioni nel periodo diurno dalle ore 7.00 alle 22.00 e nel periodo notturno definito dalle ore 22.00 alle 7.00.

I danni agli edifici determinati dalle vibrazioni vengono trattati dalla UNI 9916, norma in sostanziale accordo con i contenuti tecnici della ISO 4866. La norma UNI 9916 fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii allo scopo di permettere anche la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica. Altro scopo della norma è quello di ottenere dati comparabili sulle caratteristiche delle vibrazioni rilevate in tempi diversi su uno stesso edificio, o su edifici diversi a parità di sorgente di eccitazione, nonché di fornire criteri di valutazione delle vibrazioni medesime. L’Appendice A della UNI 9916 contiene una guida semplificata per la classificazione degli edifici secondo la loro probabile reazione alle vibrazioni meccaniche trasmesse attraverso il terreno.

10.2. Ambito di influenza

Un aspetto importante da considerare è la definizione dell’area entro cui stimare le potenziali interferenze. Nel caso di una infrastruttura a carattere lineare, quale quella in oggetto, l’area di studio si configura solitamente come un corridoio del quale occorre definire la larghezza. Questa ultima viene determinata in maniera tale da comprendere l’area all’interno della quale si prevede che l’impatto dell’opera sia apprezzabile, tenendo conto delle caratteristiche morfologiche e urbanistiche del territorio e della tipologia dell’opera. La larghezza del corridoio può non essere costante lungo l’intero sviluppo dell’infrastruttura.

I fattori che concorrono a determinare l’estensione dell’area di studio sono riassumibili in quelli sottoelencati:

- spettro di eccitazione delle sorgenti;
- tipologia dei ricettori esistenti o previsti dai programmi di urbanizzazione;
- condizioni di propagazione delle vibrazioni determinate dalla geolitologia, dalle caratteristiche geotecniche, dal livello di profondità della falda acquifera.

Nel caso in esame per quanto riguarda l’esercizio dell’infrastruttura è possibile considerare una fascia di 30 m (CNR – Studi di impatto ambientale nel settore dei trasporti). Per quanto riguarda i cantieri l’ambito di influenza si configura come un’areale posto all’intorno dell’impianto.

10.3. Sorgenti di vibrazioni già presenti

Nel corridoio in cui si prevede di realizzare l'infrastruttura non si identificano sorgenti di vibrazioni a carattere industriale significative. E' presente la linea ferroviaria Agrigento – Caltanissetta che tra la progr. 6+500 e 12+300 circa è sita nelle vicinanze del tracciato di progetto; la linea ferroviaria viene attraversata dal tracciato di progetto (tratto in variante) all'altezza della progr. 17+900 circa. La ferrovia si attesta nuovamente in prossimità del tracciato di progetto tra la progr. 23+000 e la progr. 26+000.

10.4. Ricettori potenzialmente coinvolti

Con riferimento all'indagine condotta nel corso dell'analisi della componente rumore si individuano i ricettori presenti all'interno dell'ambito di influenza del tracciato e degli impianti di cantiere.

Per i dettagli si rimanda all'elaborato "Schede censimento dei ricettori" (IA35AMBSC01).

N. RICETTORE	TIPOLOGIA	TIPOLOGIA CO-STRUTTIVA	N. PIANI	NOTE
8	rurale	muratura	1	
22	rurale	muratura	1	
21	produttivo	c.a.	2	
24	rurale	muratura	1	
30	magazzino	muratura	1	
29	produttivo	c.a.	1	
36	residenziale	c.a.	1	
32	residenziale	muratura	2	
37	magazzino	muratura	1	
44	produttivo	c.a.	2	
48	commercio	c.a.	2	
51	produttivo	muratura	1	
65	magazzino	acciaio	1	
72	residenziale	c.a.	1	
75	residenziale	c.a.	2	
73	produttivo	c.a.	2	
74	rurale	c.a.	2	
77	produttivo	c.a.	1	
80	rurale	muratura	2	
84	commercio	c.a.	3	
88	residenziale			
103	rurale	muratura	1	
105	rurale	muratura	2	
107	residenziale	c.a.	3	
109	commercio	muratura	2	
111	residenziale	c.a.	3	
110	stazione di servizio		1	
116	rurale	muratura	1	
115	commercio	c.a.	3	
120	residenziale	c.a.	3	
120A	rurale	muratura	2	
120B	rurale	muratura	2	
120C	altro	baracche		
124	residenziale	c.a.	4	
127	residenziale	c.a.	2	
130	produttivo	prefabbricato	1	
148	rurale	muratura	2/3	
147	rurale	muratura	2	

146	residenziale	c.a.	1	
205 bis	residenziale	c.a.	2	
169	residenziale	muratura	1	
169 bis	residenziale	c.a.	1	
174	residenziale		2	
175	residenziale		2	
180	residenziale	c.a.	1	
182	residenziale	c.a.	2	
186	residenziale	c.a.	3	
188	residenziale	c.a.	3	
220	residenziale	c.a.	2	
217	magazzino	muratura	1	
224	casetta ANAS	c.a.	1	
214	residenziale	muratura	2	
223	residenziale	c.a.	2	
212	commercio	c.a.	2	
257	residenziale	c.a.	2	vicino cantiere 3
259	rurale	c.a.	2	vicino cantiere 3
260	rurale	c.a.	1	vicino cantiere 3
261	rurale	c.a.	1	vicino cantiere 3
265	residenziale	c.a.	2	vicino cantiere 3
266	rurale	muratura	2	vicino cantiere 3
258	commercio	c.a.	2	vicino cantiere 3
214	residenziale	muratura	2	
250	rurale	c.a.	1	
239	commercio	c.a.	2	
255	serra	-	-	
256	residenziale (gruppo)	-	2/3	
269	residenziale	c.a.	2	
270	residenziale	c.a.	2	
286	rurale	muratura	2	
282	rurale	muratura	1	
281	rurale	muratura	1	
277	rurale	muratura	2	
276	rurale	muratura	1	
296	residenziale	muratura	1	
297	residenziale	muratura	2	
298	residenziale	c.a.	2	
295	residenziale	c.a.	1	
328	rurale	muratura	1	

327	rurale	muratura	1	
308	rurale	muratura	2	
323	rudere	-	-	
324	rurale	muratura	1	
326	rurale	muratura	1	vicino cantiere 4
309	rurale	muratura	2	
360	rurale	muratura	1	
347	residenziale	c.a.	1	

10.5. Meccanismi di attenuazione dei terreni

Le vibrazioni possono provocare danni alle costruzioni ed ai manufatti in generale sia per la loro propagazione alle strutture, attraverso i terreni, sia per gli assestamenti del terreno e quindi per eventuali suoi cedimenti. Questo ultimo effetto è spesso il più pericoloso quando si è in presenza di terreni a bassa densità e particolarmente nel caso delle terre sciolte incoerenti quali sabbie e ghiaie. La presenza dell'acqua aggrava il fenomeno. Poiché gli assestamenti diminuiscono allontanandosi dalla sorgente delle vibrazioni, i cedimenti prodotti lungo una costruzione non sono uniformi e portano a inclinazioni e danni alle sovrastrutture.

La modellazione del comportamento del terreno, alla presenza di una sollecitazione dinamica, è un problema estremamente complesso sia per la scelta dei parametri rappresentativi del terreno inteso come continuo, granulare e multifase, e per la conoscenza sommaria delle caratteristiche spettrali dell'eccitazione.

Considerando il terreno come continuo elastico ed omogeneo, la sollecitazione dinamica determina in generale onde di compressione e onde di taglio. Tale situazione si può verificare prendendo come esempio terreni approssimativamente isotropi ed omogenei continui ed illimitati con una sorgente profonda come, ad esempio, una linea metropolitana in galleria oppure una tratta ferroviaria in trincea profonda. Dove sono presenti particolari condizioni al contorno (superficie libera, mezzo con estensione limitata, ecc) il fenomeno si complica poiché sono generate altri due tipi di onda dette di superficie che si formano all'interfaccia tra due mezzi non omogenei e quindi anche sulle superfici libere. Queste due onde sono chiamate di Rayleigh e di Love. Nelle modellazioni prendono però rilevanza solo le onde di Rayleigh in quanto sono confinate in uno spessore pari alla lunghezza d'onda, si smorzano molto lentamente e di conseguenza sono avvertite a distanze più grandi. Inoltre, da esperienze di letteratura, si è riscontrato che le onde di tipo Rayleigh rappresentano una cospicua quota parte del fenomeno vibratorio soprattutto indotto dal transito di convogli ferroviari.

Le onde di taglio e di Rayleigh hanno una velocità di 30-300m/s nel terreno e fino a 1000m/s nella roccia. Le onde di compressione hanno una velocità di 2,5-4 volte superiori alle onde di taglio e di Rayleigh.

La vibrazione, durante la propagazione attraverso il terreno, subisce un'attenuazione.

Il livello di vibrazione in corrispondenza di un ricevitore posto alla distanza “x” dalla sorgente è pari al livello alla distanza di riferimento “x₀” diminuito della somma delle attenuazioni che si verificano nel terreno tra “x₀” e “x”:

$$L(x) = L(x_0) + \sum_i A_i$$

Il livello di base $L(x_0)$ è generalmente ricavato da misure sperimentali svolte in adiacenza alla sorgente.

L’attenuazione delle vibrazioni è caratterizzata da tre componenti primarie:

l’attenuazione geometrica, che dipende dal tipo di sorgente (lineare, puntuale) e dal tipo di onda;

l’attenuazione dovuta all’assorbimento del terreno;

l’attenuazione dovuta alla presenza di discontinuità nel terreno (presenza di strati sub-verticali con caratteristiche smorzanti, di microfessurazioni, di faglie, di cavità per l’impiantistica sotto la sede stradale, ecc).

Le vibrazioni vengono poi attenuate e/o amplificate durante la propagazione nelle strutture edilizie.

L’attenuazione geometrica si esprime come:

$$A_g = 20 \log_{10} [x / (x - x_0)]^\eta$$

dove:

η = coefficiente di attenuazione geometrica

x = distanza dall’asse (di generazione della vibrazione)

x₀ = distanza di riferimento

poiché il termine η dipende dal tipo di onda, la sua scelta deve essere fatta in relazione alle specifiche condizioni al contorno. Se si considerano i tre tipi di onde descritti prima, (Rayleigh, taglio e compressione) il fattore η assume valore 0,5 per le onde di superficie, mentre per le onde di volume vale 2 in prossimità della superficie ed 1 in profondità.

Nel caso di sorgente lineare η assume valore nullo per le onde di superficie e valore 1,5 per le onde di compressione.

L’attenuazione dovuta all’assorbimento del terreno si esprime nella forma:

$$A_t = 4,34 \frac{\omega \eta}{C} (x - x_0)$$

dove:

x = distanza dall'asse della sorgente

ω = pulsazione in rad/s

η = coefficiente di assorbimento del terreno

C = velocità di propagazione dell'onda nel terreno

La velocità di propagazione dell'onda C dovrebbe intendersi come la velocità delle onde di volume (quindi di compressione-dilatazione) nel mezzo continuo, che ha la seguente espressione:

$$C_v = C_l \sqrt{\frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

dove $C_l = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ è la velocità longitudinale dell'onda, ed è uguale alla velocità dell'onda di volume (C_v) nell'ipotesi che il modulo di Poisson ν sia nullo.

Analizzando le formule precedenti si osserva che la velocità dell'onda di volume presenta una forte variabilità rispetto al coefficiente di Poisson. Poiché quest'ultimo parametro presenta un alto grado di incertezza per i diversi tipi di terreno, nei calcoli si preferisce utilizzare la velocità longitudinale accettando l'errore che ne deriva.

I parametri relativi alle onde di taglio e superficiali tipo Rayleigh si ricavano con approssimazione dividendo per un fattore variabile tra 2,5 e 4 i valori citati nella seguente tabella relativi ad onde di compressione per alcuni tipi di terreno.

Tab 1 Parametri meccanici per le principali categorie geolitologiche

Tipo di terreno	C (m/s)	h	ρ (g/cm ³)
Roccia	3500	0.01	2.65
Sabbia, ghiaia, ciottoli	600	0.10	1.60
Limi, argille	1500	0.50(*)	1.70

* = vista la notevole incertezza è consigliabile assumere un valore più conservativo: $\eta = 0.1-0.2$

L'attenuazione per presenza di discontinuità nel terreno prende in considerazione la perdita di energia vibrazionale dovuta ai cambiamenti delle proprietà del terreno lungo il percorso di propagazione. Se assumiamo che le onde di compressione si trasferiscano da un solido 1 ad un solido 2 e che si propagano su un piano normale a quello di separazione, l'attenuazione che ne conseguirà sarà:

$$A_d = 20 \log_{10} \left[\frac{1}{2} \left(1 + \frac{\rho_1 C_1}{\rho_2 C_2} \right) \right]$$

L'equazione è valida a condizione che lo spessore dei due strati risulti di molte volte superiore alla lunghezza d'onda incidente. La precedente formula può essere utile solamente quando si conoscano in modo approfondito le caratteristiche geolitologiche dei terreni interessati e qualora il fenomeno vibratorio sia governato da onde di volume (es. ricettore situato a livello del suolo direttamente al di sopra di una tratta in galleria).

10.6. Caratterizzazione geolitologica

Il tracciato, in tutto il suo sviluppo, copre un'area di grande estensione che ricade in un orizzonte geologico complesso che abbraccia formazioni caratterizzate dalla presenza della Serie Evaporitica Messiniana che poggia sul complesso plastico argilloso e precede stratigraficamente i depositi pelagici trasgressivi, per un arco temporale che va dal Miocene al Pleistocene.

L'area presenta nel suo complesso assetti morfologici vari derivanti dalle locali condizioni topografiche e strutturali e dalle caratteristiche tecniche dei materiali affioranti, rappresentati da un *complesso plastico* (argille – *formazione pre-evaporitica*), un *complesso clastico* (ghiaie, sabbie e limi - *formazione quaternaria*) ed un *complesso rigido* (calcari, gessi, calcari-marnosi, calcareniti e conglomerati- *formazione post-evaporitica*).

Da un punto di vista geologico generale ci si trova di fronte ad una sequenza stratigrafica che include termini di varia natura e, di conseguenza, dal comportamento geomeccanico differenziato.

Sono di seguito elencate le principali geolitologie maggiormente presenti in zona, desunte dallo studio geologico, al quale si rimanda per ulteriori approfondimenti di dettaglio.

R/TV - Materiali di copertura o di riporto, rilevati stradali

DT – Detriti di falda

ALF/ALG - Depositi alluvionali

MA/TB – marne argillose – marne calcaree - trubi

FORMAZIONE MARNOSO – ARENACEA

S/SA - sabbie e sabbie argillose

G/AG - Serie Gessoso-Solfifera

FB - Complesso Argillo–marnoso basale – LA/AMT/AMP

CL- calcari e calcari marnosi

calciruditi e calcareniti

TN - Terre nere

(M)T – Tripoli – (marne tripolacee)

10.7. Individuazione delle aree potenzialmente critiche

Come più dettagliatamente indicato nei paragrafi precedenti, le potenziali interferenze indotte dal traffico veicolare possono essere considerate nulle quando il manto stradale è in buone condizioni e non sono presenti numerose cavità per i sottoservizi. E' stata comunque effettuata l'individuazione delle aree potenzialmente critiche al fenomeno vibratorio tenendo anche in considerazione la fase di cantiere.

Considerando le tipologie di progetto, il posizionamento e la tipologia dei cantieri, la litologia presente e, soprattutto, la tipologia dei ricettori, sono state individuate tre situazioni che potrebbero risultare critiche. Queste ultime saranno oggetto di specifico monitoraggio che prenderà in considerazione le fasi ante – operam, in corso d'opera e post- operam; per i dettagli relativi alle metodiche di monitoraggio si rimanda al Progetto di Monitoraggio Ambientale

La prima situazione interessa l'intorno dello svincolo di Caltanissetta sud, nella contrada Cialagra (km 12+600 circa) in cui saranno presenti due cantieri. Uno è identificabile come Cantiere n°3 della superficie di 6600m², l'altro è localizzato all'imbocco sud della galleria S. Elia esteso per 4200m².

In quest'area sono presenti numerosi ricettori residenziali; la formazione geologica presente è costituita da sabbie e sabbie argillose da considerarsi terreni prevalentemente incoerenti ed eventualmente suscettibili di costipazione per vibrazione.

Il secondo caso è costituito dalla realizzazione della galleria S. Elia prevista sotto il centro abitato di Caltanissetta. La galleria sarà scavata quasi interamente all'interno della Formazione dei Trubi, costituita da calcari marnosi e marne calcaree. Al di sopra poggia la Formazione Marnoso-Arenacea costituita da calcareniti, sabbie, sabbie argillose, argille ed argille marnose.

Con i litotipi presenti si può ipotizzare un'attenuazione delle vibrazioni indotte dallo scavo della galleria al piano campagna. Risulta anche influente, ad attenuare le vibrazioni, la profondità dello scavo stesso che si aggira intorno ai 120m circa.

L'ultima situazione potenzialmente critica, è rappresentata dalla realizzazione della galleria naturale in corrispondenza della chilometrica km 17+500 circa. Tale galleria attraversa una cresta argillosa costituita da argille grigio-azzurro tortoniane e marne argillose con cristalli di gesso e livelli conglomeratici. La presenza di ricettori a destinazione residenziale sulla cresta e l'esigua profondità dello scavo, circa 20m, fanno presupporre la possibilità di innesco di vibrazioni.

10.8. Interventi di mitigazione

Le misure di mitigazione dell'impatto da vibrazioni riguardano generalmente la sorgente e, più raramente i percorsi di propagazione o il ricettore. Gli interventi sulla sor-

gente mirano a ridurre l'entità delle vibrazioni emesse o ad aumentare l'attenuazione delle medesime nell'accoppiamento sorgente – substrato; gli interventi sul mezzo di propagazione o sul ricettore mirano ad aumentare l'attenuazione del livello vibratorio trasmesso.

Nel caso di una infrastruttura viaria tra i sistemi in grado di attenuare il disturbo provocato dalle vibrazioni assume sicuramente un ruolo rilevante il controllo della regolarità della pavimentazione. Negli edifici prossimi a strade ed autostrade con flussi di traffico pesante significativi possono, infatti, registrarsi livelli di accelerazione prossimi ai limiti UNI 9614, soprattutto in presenza di pavimentazioni in cattivo stato di manutenzione, giunti, condotte interrato passanti al di sotto della carreggiata.

Sono applicati alcuni metodi di mitigazione che consistono nell'introdurre modifiche strutturali alla pavimentazione o elementi schermanti adiacenti ad essa, quali:

- irrigidimento della pavimentazione tramite sostituzione dello strato di conglomerato bituminoso con uno strato di conglomerato cementizio;
- irrigidimento della pavimentazione tramite sostituzione dello strato in stabilizzato granulometrico con uno strato di materiale legato a cemento;
- inserimento di una trincea in conglomerato cementizio a fianco della pavimentazione.

Nel caso di sorgenti fisse (come ad esempio le attrezzature o gli impianti fissi di cantiere) il problema consiste nella corretta progettazione e realizzazione del supporto della macchina o impianto che genera le vibrazioni. Tale aspetto è generalmente curato direttamente dal costruttore della macchina o dell'impianto.

10.9. Bibliografia

CNR – Progetto finalizzato trasporti 2. Studio di impatto ambientale nel settore dei trasporti. Ministero dell'ambiente ed della tutela del territorio.

Ceravolo R., Masoero M. La valutazione dell'impatto ambientale da vibrazioni ferroviarie, Ingegneria ferroviaria, anno 49 n. 1-2

Al – Hunaidi M.O., Rainer J.H. Remedial measures for traffic induced vibrations at a residential site. Canadian acoustics, vol 19 n 2, 1991

Domenichini L., Crispino M., D'Apuzzo M., Ferro R. Vibrazioni indotte dal traffico stradale. XXIII Convegno nazionale stradale, Quaderni AIPCR

Woods R.D. Screening of surface waves in soils. J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, vol 94 n. SM4