

DATI COPERTINA E PREMESSA DEL PROGETTO

UNI1611355

UNI 11160

Lingua

Italiana

Titolo Italiano

Acustica - Linee guida per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo di sistemi antirumore per infrastrutture stradali

Titolo Inglese

Acoustics - Guidelines for designing, executing and testing road traffic noise reducing devices

Commissione Tecnica

Organo Competente

UNI/CT 002/GL 06 - Sistemi schermanti (misto Acustica e vibrazioni/Costruzioni stradali ed opere civili delle infrastrutture)

Coautore

Sommario

La norma specifica i requisiti per la progettazione, esecuzione e collaudo di sistemi antirumore per infrastrutture stradali

I destinatari di questo documento sono invitati a presentare, insieme ai loro commenti, la notifica di eventuali diritti di brevetto di cui sono a conoscenza e a fornire la relativa documentazione.

Questo testo NON è una norma UNI, ma è un progetto di norma sottoposto alla fase di inchiesta pubblica, da utilizzare solo ed esclusivamente per fini informativi e per la formulazione di commenti. Il processo di elaborazione delle norme UNI prevede che i progetti vengano sottoposti all'inchiesta pubblica per raccogliere i commenti degli operatori: la norma UNI definitiva potrebbe quindi presentare differenze -anche sostanziali- rispetto al documento messo in inchiesta.

Questo documento perde qualsiasi valore al termine dell'inchiesta pubblica, cioè il:

2024-12-23

UNI non è responsabile delle conseguenze che possono derivare dall'uso improprio del testo dei progetti in inchiesta pubblica.

Relazioni Nazionali

La presente norma sostituisce la UNI 11160:2005.

Relazioni Internazionali

Premessa

La presente norma è stata elaborata sotto la competenza della Commissione Tecnica UNI Acustica e vibrazioni

© UNI - Milano. Riproduzione vietata.

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopie, microfilm o altro, senza il consenso scritto di UNI.

0 Introduzione

I sistemi antirumore oggetto della presente norma ricadono nell'ambito del Regolamento Europeo UE 305/2011 sui Prodotti da Costruzione (CPR) che prevede l'applicazione della marcatura CE secondo la UNI EN 14388.

Il produttore effettua le prove di tipo presso un laboratorio notificato, i controlli in produzione secondo le procedure di qualità aziendale e applica la marcatura CE secondo la UNI EN 14388. La UNI/TR 11338 fornisce indicazioni utili a livello nazionale per la redazione della dichiarazione di prestazione (DoP) e le modalità di effettuazione dei controlli in produzione.

La presente norma riguarda gli aspetti inerenti all'utilizzo del prodotto nelle fasi di progettazione, realizzazione dell'opera fino al collaudo, manutenzione e ciclo di fine vita.

A supporto delle attività progettuali sono affrontati gli aspetti relativi alla documentazione tecnica da produrre in questa fase.

Fermo restando i vincoli e le indicazioni legislative di tipo generale in tema di appalti pubblici, la presente norma fornisce indicazioni per predisporre gli elaborati progettuali specifici dei sistemi antirumore, aspetti acustici, strutturali, di sicurezza e di inserimento paesaggistico.

L'elenco degli elaborati progettuali da predisporre per definire in modo compiuto l'intervento antirumore da realizzare costituisce un riferimento per gli enti competenti impegnati nelle verifiche e nei controlli ad eseguire nella fase di valutazione tecnico amministrativa preliminare alla procedura di gara d'appalto.

Relativamente alle prestazioni dei sistemi antirumore la presente norma distingue tra i requisiti prestazioni intrinsechi, quelli relativi al prodotto fornito, ed estrinsechi, quelli relativi al sistema installato in un contesto specifico.

Per i requisiti prestazionali intrinsechi, da valutare secondo la UNI EN 14388, la presente norma fornisce indicazioni sui valori minimi da raggiungere e validi per la maggior parte degli interventi da realizzare. Sono un utile riferimento per i progettisti e per gli enti gestori nella definizione dei capitoli speciali di appalto.

Per i requisiti prestazionali estrinsechi il rimando è alla legislazione nazionale cogente in materia di obiettivi di bonifica acustica, e di requisiti strutturali e di sicurezza delle opere.

La presente norma fornisce indicazioni sui requisiti prescrizionali delle tipologie di prodotto e materiali di impiego comune per la realizzazione dei sistemi antirumore e delle opere di fondazione. Il rispetto di questi requisiti è a garanzia della durabilità delle prestazioni.

Relativamente alla fase realizzativa dell'opera, la presente norma fornisce indicazioni sui controlli da eseguire sui prodotti forniti in cantiere e sulle opere di fondazione al fine di assicurare il rispetto degli obblighi contrattuali e il raggiungimento degli obiettivi di progetto.

Le indicazioni sui controlli sono anche riferite alla fase di collaudo e accettazione finale del sistema installato.

Al fine di favorire, nella realizzazione di opere pubbliche, la scelta di materiali, prodotti e soluzioni costruttive a basso impatto ambientale, nella presente norma sono fornite indicazioni sulle modalità di



UNI1611355

valutazione della prestazione dei sistemi antirumore in termini di sostenibilità ambientale valutata sull'intero ciclo di vita.

Rispetto alla versione precedente della norma è stato ristretto lo scopo solamente alle applicazioni stradali, mentre le applicazioni ferroviarie non sono trattate.

Rispetto alla versione precedente per le applicazioni stradali il presente documento è aggiornato con riferimento:

- alle novità legislative in merito alla progettazione di opere pubbliche;
- agli aggiornamenti normativi relativi alla norma prodotto europea;
- alle novità tecniche subentrate relativamente ai prodotti impiegati ed alle relative caratteristiche tecniche.

1 Scopo e campo di applicazione

La presente norma si applica ai sistemi antirumore installati in margine alle infrastrutture stradali: barriere antirumore, rivestimento fonoassorbente di muri di trincea o pareti di galleria, copertura acustica parziale o totale della sede stradale.

La presente norma si applica inoltre alle barriere integrate di sicurezza e antirumore per quanto concerne i requisiti acustici e strutturali. Non si applica invece agli aspetti relativi alla sicurezza dei veicoli in svio, trattati in altri documenti normativi.

Sono esclusi dal campo di applicazione della presente norma gli aspetti specifici dei sistemi antirumore installati in margine alle infrastrutture ferroviarie. Sono altresì esclusi dal campo di applicazione altri sistemi di mitigazione del rumore, quali pavimentazioni stradali a bassa rumorosità e infissi ad alto isolamento acustico.

2 Riferimenti normativi

La presente norma rimanda, mediante riferimenti datati e non datati, a disposizioni contenute in altre pubblicazioni. Tali riferimenti normativi sono citati nei punti appropriati del testo e sono di seguito elencati. Per quanto riguarda i riferimenti datati, successive modifiche o revisioni apportate a dette pubblicazioni valgono unicamente se introdotte nella presente norma come aggiornamento o revisione. Per i riferimenti non datati vale l'ultima edizione della pubblicazione alla quale si fa riferimento (compresi gli aggiornamenti).

UNI 6065	Elastomeri - Prove su gomma vulcanizzata e termoplastica - Prova di trazione
UNI 6484	Prodotti di fibre di vetro per isolamento termico e acustico - Determinazione del diametro medio delle fibre mediante microscopio
UNI 6485	Prodotti di fibre di vetro per isolamento termico e acustico - Feltri resinati e pannelli - Determinazione della densità apparente
UNI 6543	Prodotti di fibre di vetro per isolamento termico e acustico - Feltri, resinati, pannelli, coppelle - Determinazione dell'igroscopicità
UNI 7697	Criteri di sicurezza nelle applicazioni vetrarie
UNI 9714	Pannelli a base di legno - Pannelli di lana di legno - Tipi, caratteristiche e prove
UNI 11022	Acustica - Misurazione dell'efficacia acustica dei sistemi antirumore (<i>insertion loss</i>), per infrastrutture di trasporto, installati in ambiente esterno
UNI 11143	Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti
UNI EN 350	Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno - Prove e classificazione della durabilità agli agenti biologici del legno e dei materiali a base di legno
UNI EN 351-1	Durabilità del legno e dei materiali a base di legno - Legno massiccio trattato con i preservanti - Parte 1: Classificazione di penetrazione e ritenzione del preservante
UNI EN 410	Vetro per edilizia - Determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate

UNI EN 572-1	Vetro per edilizia - Prodotti a base di vetro di silicato sodo-calcico - Parte 1: Definizione e proprietà generali fisiche e meccaniche
UNI EN 572-2	Vetro per edilizia - Prodotti a base di vetro di silicato sodo-calcico - Parte 2: Vetro float
UNI EN 573-1	Alluminio e leghe di alluminio - Composizione chimica e forma dei prodotti semilavorati - Parte 1: Sistema di designazione numerica
UNI EN 673	Vetro per edilizia - Determinazione della trasmittanza termica (valore U) - Metodo di calcolo
UNI EN 772-13	Metodi di prova per elementi di muratura - Parte 13: Determinazione della massa volumica a secco assoluta e della massa volumica a secco apparente degli elementi di muratura (ad eccezione della pietra naturale)
UNI EN 824	Isolanti termici per edilizia - Determinazione della ortogonalità
UNI EN 1090-2	Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Parte 2: Requisiti tecnici per strutture di acciaio
UNI EN 1194	Strutture di legno - Legno lamellare incollato - Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici
UNI EN 1317-1	Barriere di sicurezza stradali - Parte 1: Terminologia e criteri generali per i metodi di prova
UNI EN 1317-2	Barriere di sicurezza stradali - Parte 2: Classi di prestazione, criteri di accettazione delle prove d'urto e metodi di prova per le barriere di sicurezza
UNI EN 1317-5	Barriere di sicurezza stradali -
UNI EN 1604	Isolanti termici per edilizia - Determinazione della stabilità dimensionale in condizioni specificate di umidità e di temperatura
UNI EN 1793-1	Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica - Parte 1: Caratteristiche intrinseche di assorbimento acustico
UNI EN 1793-2	Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica - Parte 2: Caratteristiche intrinseche di isolamento acustico per via aerea
UNI EN 1793-3	Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica - Parte 3: Spettro normalizzato del rumore da traffico
UNI EN 1793-5	Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica - Parte 5: Caratteristiche intrinseche - Valori in situ della riflessione sonora in condizioni di campo sonoro diretto
UNI EN 1794-1	Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Prestazioni non acustiche - Parte 1: Prestazioni meccaniche e requisiti di stabilità
UNI EN 1794-2	Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Prestazioni non acustiche - Parte 2: Requisiti generali di sicurezza e ambientali

UNI EN 1991-1-4	Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento
UNI EN 3665	Serie aerospaziale - Metodi di prova per pitture e vernici - Prova di resistenza alla corrosione filiforme su leghe di alluminio
UNI EN 10025	Prodotti laminati a caldo di acciai non legati per impieghi strutturali - Condizioni tecniche di fornitura
UNI EN 10143	Lamiere sottili e nastri di acciaio con rivestimento metallico applicato per immersione a caldo in continuo - Tolleranze dimensionali e di forma
UNI EN 10346	Prodotti piani di acciaio rivestiti per immersione a caldo in continuo - Condizioni tecniche di fornitura.
UNI EN 12150-1	Vetro per edilizia - Vetro di silicato sodo-calcico di sicurezza temprato termicamente - Parte 1: Definizione e descrizione
UNI EN 12371	Metodo di prova per pietre naturali - Determinazione della resistenza al gelo
UNI EN 12390-1	Prova sul calcestruzzo indurito - Parte 1: Forma, dimensioni ed altri requisiti per provini e per casseforme
UNI EN 13055	Aggregati leggeri
UNI EN 13162	Isolanti termici per edilizia - Prodotti di lana minerale ottenuti in fabbrica - Specificazione
UNI EN 13501-1	Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione - Parte 1: Classificazione in base ai risultati delle prove di reazione al fuoco
UNI EN 14080	Strutture di legno - Legno lamellare incollato e legno massiccio incollato - Requisiti
UNI EN 14179-1	Vetro per edilizia - Vetro di sicurezza di silicato sodo calcico temprato termicamente e sottoposto a "heat soak test" - Parte 1: Definizione e descrizione
UNI EN 14179-2	Vetro per edilizia - Vetro di sicurezza di silicato sodo calcico temprato termicamente e sottoposto a "heat soak test" - Parte 2: Valutazione della conformità/Norma di prodotto
UNI EN 14388	Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Specifiche
UNI EN 14389	Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Procedure di valutazione delle prestazioni a lungo termine
UNI EN 15804	Sostenibilità delle costruzioni - Dichiarazioni ambientali di prodotto - Regole quadro di sviluppo per categoria di prodotto
UNI EN 17383	Dispositivi per la riduzione del rumore del traffico stradale - Sostenibilità: Dichiarazione degli indicatori chiave di prestazione (KPI)
UNI EN 20898-7	Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento - Parte 7: Prova di torsione e coppia minima di rottura per viti con diametro nominale da 1 mm a 10 mm
UNI EN ISO 62:2008	Materie plastiche - Determinazione dell'assorbimento d'acqua
UNI EN ISO 178	Materie plastiche - Determinazione delle proprietà a flessione

UNI EN ISO 179-1	Materie plastiche - Determinazione delle caratteristiche all'urto Charpy - Parte 1: Prova d'urto non strumentato
UNI EN ISO 180	Materie plastiche - Determinazione della resistenza all'urto Izod
UNI EN ISO 306:2023	Materie plastiche - Materiali termoplastici - Determinazione della temperatura di rammollimento Vicat
UNI EN ISO 527-2	Materie plastiche - Determinazione delle caratteristiche a trazione - Parte 2: Condizioni di prova per materie plastiche per stampaggio ed estrusione
UNI EN ISO 527-4	Materie plastiche - Determinazione delle caratteristiche a trazione - Parte 4: Condizioni di prova per i compositi plastici rinforzati con fibre, isotropi ed ortotropi
UNI EN ISO 868	Materie plastiche ed ebanite - Determinazione della durezza per penetrazione di un durometro (durezza Shore)
UNI EN ISO 898-2	Elementi di collegamento - Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio al carbonio e acciaio legato - Parte 2: Dadi con classi di resistenza specificate
UNI EN ISO 1183-1	Materie plastiche - Metodi per la determinazione della massa volumica delle materie plastiche non alveolari - Parte 1: Metodo ad immersione, metodo del picnometro in mezzo liquido e metodo per titolazione
UNI EN ISO 1183-2	Materie plastiche - Metodi per la determinazione della massa volumica delle materie plastiche non alveolari - Parte 2: Metodo della colonna a gradiente di massa volumica
UNI EN ISO 1461	Rivestimenti di zincatura per immersione a caldo su prodotti finiti ferrosi e articoli di acciaio - Specificazioni e metodi di prova
UNI EN ISO 1798	Materiali polimerici cellulari flessibili - Determinazione della resistenza a trazione e dell'allungamento a rottura
UNI EN ISO 2360	Rivestimenti non conduttori su metalli di base non magnetici - Misurazione dello spessore del rivestimento - Metodo delle correnti indotte sensibili a variazione di ampiezza
UNI EN ISO 2409	Prodotti vernicianti - Prova di quadrettatura
UNI EN ISO 2813	Prodotti vernicianti - Determinazione della brillantezza speculare di film di pittura non metallizzata a 20°, 60° e 85°
UNI EN ISO 2815	Pitture e vernici - Determinazione della durezza con il metodo di penetrazione Buchholz
UNI EN ISO 3386-1	Materiali polimerici cellulari flessibili - Determinazione delle caratteristiche sforzo-deformazione in compressione - Parte 1: Materiali a bassa massa volumica
UNI EN ISO 3386-2	Materiali polimerici cellulari flessibili - Determinazione delle caratteristiche sforzo-deformazione in compressione - Parte 2: Materiali ad alta massa volumica
UNI EN ISO 4892-2:2021	Materie plastiche - Metodi di esposizione a sorgenti di luce di laboratorio - Parte 2: Sorgenti all'arco di xeno

UNI EN ISO 6270-1	Pitture e vernici - Determinazione della resistenza all'umidità - Parte 1: Condensa continua
UNI EN ISO 6272-2	Pitture e vernici - Prove di deformazione rapida (resistenza all'urto) - Parte 2: Prova della caduta di un peso con punzone a superficie ridotta
UNI EN ISO 7823-1	Materie plastiche - Lastre di polimetilmacrilato - Tipi, dimensioni e caratteristiche - Parte 1: Lastre colate
UNI EN ISO 7823-2	Materie plastiche - Lastre di polimetilmacrilato - Tipi, dimensioni e caratteristiche - Parte 2: Lastre estruse calandrate
UNI EN ISO 11963	Materie plastiche - Lastre di policarbonato - Tipi, dimensioni e caratteristiche
UNI EN ISO 12543-1	Vetro per edilizia - Vetro stratificato e vetro stratificato di sicurezza - Parte 1: Definizioni e descrizione delle parti componenti
UNI EN ISO 12543-2	Vetro per edilizia - Vetro stratificato e vetro stratificato di sicurezza - Parte 2: Vetro stratificato di sicurezza
UNI EN ISO 12543-3	Vetro per edilizia - Vetro stratificato e vetro stratificato di sicurezza - Parte 3: Vetro stratificato
UNI EN ISO 12543-4	Vetro per edilizia - Vetro stratificato e vetro stratificato di sicurezza - Parte 4: Metodi di prova per la durabilità
UNI EN ISO 12543-5	Vetro per edilizia - Vetro stratificato e vetro stratificato di sicurezza - Parte 5: Dimensioni e finitura dei bordi
UNI EN ISO 12543-6	Vetro per edilizia - Vetro stratificato e vetro stratificato di sicurezza - Parte 6: Aspetto
UNI EN ISO 13468-1	Materie plastiche - Determinazione della trasmittanza luminosa totale di materiali trasparenti - Parte 1: Strumento a raggio singolo
UNI EN ISO 29468	Isolanti termici per edilizia - Determinazione della planarità
UNI EN ISO 29766	Isolanti termici per edilizia - Determinazione della resistenza a trazione parallela alle facce
UNI CEN/TS 1793-4	Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica - Parte 4: Caratteristiche intrinseche - Valori in situ della diffrazione sonora
UNI ISO 188	Gomma vulcanizzata o termoplastica - Prove di invecchiamento accelerato e di resistenza al calore
UNI ISO 9227	Prove di corrosione in atmosfere artificiali - Prove in nebbia salina
prEN 14990	Precast concrete products - Road traffic noise reducing devices and barriers - Requirements and test methods
CEI EN 60721-3-4	Classificazione delle condizioni ambientali - Parte 3: Classificazione dei gruppi di parametri ambientali e loro severità - Sezione 4: Uso in posizione fissa in luoghi non protetti dalle intemperie

3 Termini e definizioni

Ai fini della presente norma si applicano i termini e le definizioni seguenti.

3.1

barriera antirumore

Sistema per la riduzione del rumore che si interpone sul percorso di propagazione diretta per via aerea del suono dalla sorgente sonora al ricevitore.

Nota È caratterizzata da proprietà acustiche intrinseche di fonoisolamento e (per alcune tipologie) di fonoassorbimento misurabili.

3.2

barriera verde

Tipologia di barriera antirumore costituita da terreno eventualmente abbinato a strutture di rinforzo o sostenuto da strutture di contenimento o portanti.

Nota Il terreno consente la posa di tappeto erboso o essenze verdi. Le proprietà acustiche intrinseche sono dipendenti dalle attività di manutenzione del verde e della stabilità del terreno.

3.3

biomuro

Barriera verde costituita da una struttura portante prefabbricata in acciaio o calcestruzzo, riempita da terreno avente lo scopo di fornire supporto alla vegetazione.

3.4

efficienza acustica di un sistema antirumore, *insertion loss, IL*

Differenza, in decibel, tra i valori del livello continuo equivalente di pressione sonora misurati in una specifica posizione ricevente prima e dopo l'installazione del sistema antirumore, a condizione che la sorgente sonora, il profilo e le condizioni del terreno, gli eventuali ostacoli alla propagazione sonora, le superfici riflettenti presenti e le condizioni meteorologiche non siano cambiati.

Nota La ponderazione in frequenza o l'ampiezza di banda di frequenza eventualmente applicate sono sempre indicate. Per esempio: insertion loss in scala di ponderazione A, IL_A .

3.5

livello continuo equivalente di pressione sonora, $L_{eq,T}$

Livello di pressione sonora, espresso in decibel, di un suono continuo e stazionario che, nell'intervallo temporale di misura, ha lo stesso valore efficace di pressione sonora del suono in esame il cui livello di pressione sonora può variare nel tempo. Esso è dato dalla seguente relazione:

$$L_{\text{eq,T}} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right] \text{dB} \quad (1)$$

dove:

t_1 e t_2 sono gli istanti di inizio e fine dell'intervallo temporale di misura T , espressi in secondi:

$$T = t_2 - t_1$$

$p(t)$ è il valore istantaneo della pressione sonora, in Pa;

p_0 è il valore di riferimento della pressione sonora, uguale a 20 μPa .

Nota 1 La ponderazione in frequenza o l'ampiezza di banda di frequenza eventualmente applicate sono sempre indicate.

Per esempio: livello continuo equivalente di pressione sonora in scala di ponderazione A, $L_{\text{Aeq,T}}$.

Nota 2 Nel seguito il livello continuo equivalente di pressione sonora, per brevità è anche denominato "livello equivalente".

Nota 3 Il DM 16 marzo 1998 definisce il "livello di rumore ambientale (L_A)" come un livello equivalente ponderato A soggetto a specifiche condizioni:

- è prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato tempo, con l'esclusione degli eventi sonori singolarmente identificabili di natura eccezionale rispetto al valore ambientale della zona;
- è il livello che si confronta con i limiti massimi di esposizione:
 - 1) nel caso dei limiti differenziali, è riferito al tempo di misura;
 - 2) nel caso di limiti assoluti è riferito al tempo di riferimento, diurno o notturno;
- Il livello di rumore ambientale non è dunque idoneo alla valutazione dell'*insertion loss*.

3.6

paesaggio

Insieme degli aspetti percepibili sensorialmente del mondo fisico circostante, arricchito dai valori che su di esso proiettano i vari soggetti percipienti; in pratica è dato dall'insieme degli elementi che formano le composizioni visibili, dai beni culturali (antropici o ambientali), e dalle relazioni che li legano.

3.7

rilevato in terra rinforzata

Barriera verde costituita da terreno abbinato a elementi di varia natura, forma e dimensione capaci di assorbire sforzi di trazione in modo da garantire la stabilità del rilevato avente paramento esterno con pendenze superiori a quelle caratteristiche del solo terreno.

3.8

rivestimento fonoassorbente

Sistema per la riduzione del rumore che si applica su un muro o altra struttura al fine di ridurre l'ammontare del suono riflesso.

3.9**sistema antirumore**

Insieme di dispositivi che concorrono alla riduzione del rumore che si propaga per via aerea dalla sorgente sonora al ricevitore.

Nota Sono considerati sistemi antirumore le barriere antirumore, i rivestimenti fonoassorbenti dei muri di trincea o delle pareti di galleria e le coperture acustiche parziali o totali della strada.

3.10**sorgente principale**

Infrastruttura stradale per cui si progetta, realizza o collauda il sistema antirumore in esame.

3.11**sorgente concorsuale**

Sorgente sonora la cui emissione di rumore contribuisce, con quella della sorgente principale, alla rumorosità globale nella posizione ricevente.

Nota Il DM 29 novembre 2000 indica i criteri secondo cui la sorgente concorsuale deve o meno essere presa in esame.

3.12**terrapieno naturale**

Barriera verde nella quale il terreno costituente il rilevato svolge la funzione di struttura portante.

4 Progettazione

4.1 Generalità

La progettazione dei sistemi antirumore si articola, in linea generale, nelle seguenti sezioni:

- la progettazione acustica, che tiene conto delle peculiarità dell'infrastruttura, dell'ambiente di propagazione e dei ricettori;
- la progettazione strutturale, che tiene conto delle verifiche statiche e dinamiche delle opere;
- la valutazione dell'inserimento paesaggistico dell'opera e la motivazione tecnica e ambientale delle scelte effettuate.

In conformità alla legislazione vigente¹, il progetto deve essere redatto secondo due progressivi livelli di definizione: il progetto di fattibilità tecnico economica e il progetto esecutivo.

¹ Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore il Decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36 "Codice dei contratti pubblici".

Nota 1 La progettazione acustica, per quanto riguarda le attività e gli interventi previsti dalla legislazione, è firmata da un tecnico competente in acustica ambientale secondo quanto previsto dalla legislazione vigente², ferma restando la necessaria integrazione con le altre prestazioni specialistiche a firma dei tecnici rispettivamente competenti e la supervisione del progettista responsabile secondo la legislazione vigente³.

Nota 2 La progettazione strutturale, per quanto riguarda le attività e gli interventi previsti dalla legge, è firmata da un professionista abilitato a firmare relazioni di calcolo strutturale analoghe a quelle richieste per il sistema antirumore in esame, ferma restando la necessaria integrazione con le altre prestazioni specialistiche a firma dei tecnici rispettivamente competenti e la supervisione del progettista responsabile secondo la legislazione vigente³.

Il committente può inoltre richiedere al progettista referenze specifiche o il possesso di certificazioni rilasciate da organismi autorizzati. Quando il progettista è una società questa è tenuta dalla legislazione vigente⁴, a disporre di almeno una persona incaricata alla direzione tecnica, che sia ingegnere o architetto o laureato in una disciplina tecnica attinente all'attività prevalente svolta dalla società, abilitato all'esercizio della professione da almeno 10 anni nonché iscritto, al momento dell'assunzione dell'incarico, al relativo albo professionale previsto dai vigenti ordinamenti e deve provvedere a tenere aggiornata l'Autorità dei Lavori Pubblici sull'organigramma della propria struttura di progetto.

4.2 Progetto di fattibilità tecnico economica (PFTE)

4.2.1 Generalità

Il progetto di fattibilità tecnico economica (PFTE) si pone a valle dello studio di valutazione di impatto acustico e di individuazione di aree da bonificare, sviluppa e integra tutte le indagini e gli studi necessari a identificare gli obiettivi e le tecniche di mitigazione applicabili, definendone gli aspetti dimensionali, tipologici, funzionali e le specifiche prestazionali.

Il PFTE contiene tutti gli elementi necessari per il rilascio delle autorizzazioni e approvazioni previste, e consente ove necessario l'avvio della procedura espropriativa. Consente inoltre una valutazione del costo dell'intervento.

Il PFTE deve conformarsi alle norme tecniche e disposizioni legislative in materia ambientale, urbanistica, di tutela dei beni culturali e paesaggistici, nonché di tutela della salute e della sicurezza delle costruzioni. La progettazione deve essere volta, inoltre, ad assicurare il rispetto di tutti i vincoli esistenti, con particolare riguardo a quelli ambientali, paesaggistici, idrogeologici, sismici, archeologici e forestali.

Per quanto relativo alla parte acustica, essa contiene il completo inquadramento dell'intervento di mitigazione a un livello di approfondimento tale da non produrre significative differenze di tecniche e di costo nella successiva fase di progetto esecutivo.

Il PFTE fissa le caratteristiche architettoniche e strutturali del sistema antirumore, individuando le specifiche di progetto cui fare riferimento nella progettazione esecutiva. Sono stabiliti in modo conclusivo gli elementi e i parametri di seguito specificati:

² Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore l'articolo 2, comma 6, della legge 447/95, integrata dal Decreto legislativo 17 febbraio 2017 n. 42 "Disposizioni in materia di armonizzazione della normativa nazionale in materia di inquinamento acustico).

³ Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore l'articolo 8, comma 1, sezione II, dell'Allegato I.7 del Decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36 "Codice dei contratti pubblici".

⁴ Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore all'articolo 36, parte V del Decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36 "Codice dei contratti pubblici".

- la tipologia del sistema antirumore;
- la lunghezza, l'altezza, la forma ed i materiali del manufatto e/o delle sue parti (comprese eventuali essenze vegetative);
- lo sviluppo piano-altimetrico, tipologie fondazionali e strutturali;
- il prospetto del sistema antirumore con identificazione dei materiali, dei colori e del design, compreso il posizionamento di eventuali vie di fuga;
- i livelli di pressione sonora ai ricettori interessati dall'intervento, *ante-operam* e *post-operam*;
- la valutazione dell'efficienza acustica del sistema antirumore ai ricettori, compresa l'identificazione dei punti di riferimento e riceventi per la verifica *in situ*;
- le caratteristiche acustiche minime dei materiali (fonoassorbenza, fonoisolamento);
- gli eventuali dispositivi aggiunti o i componenti tecnologici (per esempio moduli fotovoltaici, impianti di irrigazione);
- il computo e la valutazione economica dell'intervento.

Il PFTE in relazione alla tipologia di intervento è, in linea generale, fatti salvi i requisiti previsti dalla legislazione vigente⁵, costituito dai seguenti elaborati:

- relazione generale;
- relazioni tecniche specialistiche di natura ambientale, paesaggistica, archeologica, ove necessarie;
- relazione acustica;
- relazione geologica e geotecnica, idrologica e idraulica;
- calcoli delle strutture e degli impianti;
- inserimento paesaggistico del sistema antirumore;
- relazione di sostenibilità dell'opera;
- disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici;
- piano di sicurezza e di coordinamento, prime indicazioni;
- piano preliminare di manutenzione dell'opera;
- piano particolare di esproprio;
- cronoprogramma;
- stima sommaria dell'intervento e delle espropriazioni.

⁵ Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore l'allegato I.7 del Decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36 "Codice dei contratti pubblici".

4.2.2 Relazione generale

La relazione illustra e compendia le parti acustiche, civile/geotecnica e paesaggistica, rendendo conto delle ragioni che hanno condotto alla soluzione prescelta. La relazione generale contiene:

- la descrizione dell'intervento da realizzare;
- l'illustrazione delle ragioni che hanno condotto alla soluzione prescelta sotto il profilo localizzativo e funzionale;
- l'esposizione della fattibilità dell'intervento, documentata attraverso l'esito degli accertamenti in ordine agli eventuali vincoli di natura storica, artistica, archeologica, paesaggistica o di qualsiasi altra natura interferenti sulle aree interessate;
- l'accertamento in ordine alle interferenze dell'intervento da realizzare, con opere preesistenti o servizi e impianti presenti lungo il tracciato e proposta di risoluzione delle interferenze stesse e stima dei prevedibili oneri;
- l'accertamento in ordine alla disponibilità delle aree da utilizzare, alle relative modalità di acquisizione, ai prevedibili oneri;
- gli indirizzi per la redazione del progetto esecutivo;
- il cronoprogramma delle fasi attuative con l'indicazione anche dei tempi massimi di svolgimento delle varie attività di progettazione, approvazione, affidamento, esecuzione e collaudo;
- le indicazioni necessarie per garantire l'accessibilità, l'utilizzo e la manutenzione delle opere, degli impianti e dei servizi esistenti.

La relazione dà chiara e precisa nozione di quelle circostanze che non possono risultare dai disegni e che hanno influenza sulla scelta e sulla riuscita del progetto.

4.2.3 Relazioni tecniche specialistiche di natura ambientale, paesaggistica, archeologica

Nell'ambito della progettazione, anche in relazione all'acquisizione dei necessari pareri amministrativi, deve essere condotta l'analisi degli strumenti di pianificazione. Essa è rivolta a documentare i rapporti esistenti tra le opere in progetto e gli atti della pianificazione e programmazione territoriale e del sistema dei vincoli con particolare riguardo a:

- pianificazione di settore;
- sistema dei vincoli e pianificazione territoriale;
- pianificazione urbanistica.

Deve quindi essere condotta una verifica di compatibilità degli interventi con le prescrizioni di eventuali piani paesaggistici, territoriali e urbanistici sia di carattere generale che settoriale.

Devono in seguito essere svolti studi e approfondimenti per consentire la verifica della compatibilità paesaggistica dell'opera, qualora le opere interessino aree sottoposte a tutela secondo la legislazione vigente⁶.

⁶ Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore il Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio" e successive modifiche e/o integrazioni.

In relazione alla presenza di tali interferenze, l'opera deve acquisire specifica autorizzazione paesaggistica, avente la finalità di accertare la compatibilità fra l'interesse paesaggistico tutelato e l'intervento in progetto.

Inoltre, specifici studi per l'inserimento formale e cromatico dei manufatti nel contesto paesaggistico e per la valutazione sulle ricadute strutturali e funzionali nell'ecosistema forniscono le indicazioni per una progettazione coerente con il contesto paesaggistico-ambientale.

Devono inoltre essere rilevati i rapporti delle opere con gli elementi di tutela ambientale, con particolare riferimento alle aree protette e agli elementi della Rete Natura 2000, quali i Siti di Importanza Comunitaria (SIC) e le Zone Speciali di Conservazione (ZPS).

Sono sottoposti a valutazione di incidenza tutti i progetti di interventi che possono avere incidenze significative sui siti di Rete Natura 2000 come da legislazione vigente⁷.

Devono quindi essere valutati, caso per caso, l'interferenza diretta o indiretta con gli elementi di Tutela ambientale sopraesposti e, tenendo in considerazione la tipologia d'opera in progetto e le fasi realizzative del progetto, se necessario, gli eventuali effetti isolati, interattivi e cumulativi dovuti all'opera in progetto.

La legislazione vigente allo scopo di verificare la sussistenza dell'interesse archeologico prevede la redazione di uno studio per progetti di opere pubbliche o di interesse pubblico che comportino mutamenti nell'aspetto esteriore o nello stato dei luoghi e movimentazioni di terreno, anche nel caso di ripristino dell'assetto preesistente in ragione dell'impatto che esse potrebbero determinare su beni o contesti di interesse archeologico.

Sono esclusi dal procedimento di verifica preventiva dell'interesse archeologico (VPIA) i progetti relativi a lavori concernenti opere pubbliche o di interesse pubblico che non comportino mutamenti nell'aspetto esteriore o nello stato dei luoghi oppure movimentazioni di terreno, nuove edificazioni o scavi a quote diverse da quelle già impegnate da manufatti esistenti, nel cui ambito si interviene.

A titolo non esaustivo si può non redigere la VPIA nei seguenti casi:

- l'opera in progetto interessa il rilevato autostradale la cui precedente realizzazione ha avuto una forte incidenza sull'assetto geomorfologico e litostratigrafico delle aree su cui posa e di quelle poste nel suo immediato intorno;
- l'opera in progetto prevede l'infissione di palancole con una lunghezza tale da non interessare gli strati profondi poiché fondate al di sopra del rilevato autostradale esistente;
- le aree in progetto sono già state oggetto di VPIA, indagini preliminari e successiva assistenza di cui si possiedono gli estremi di consegna in soprintendenza;
- le aree in progetto sono già state oggetto di scavi in estensione di cui si possiedono gli estremi di consegna in soprintendenza e/o già pubblicati sui quaderni della stessa.

La progettazione è assoggettata al procedimento di verifica preventiva dell'interesse archeologico e/o paleontologico solo per le lavorazioni che comportano movimentazioni di terreno a quote diverse da quelle già impegnate da manufatti esistenti.

Qualora la stazione appaltante ritenga non sussistano i presupposti per la sottomissione del progetto alla VPIA, la trasmissione del progetto in fase di elaborazione può essere corredata da una dichiarazione

⁷ Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore articolo 6, comma 3, della Direttiva 92/43/CEE del Consiglio del 21 maggio 1992 relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche

sostitutiva, sottoscritta dal RUP, che attesti motivatamente l'esclusione delle opere in progetto dalla VPIA, o la loro non assoggettabilità al codice dei contratti.

4.2.4 Relazione acustica

La relazione acustica è una trattazione tecnica che contiene lo studio e gli approfondimenti relativi agli aspetti acustici con particolare indicazione dei requisiti e delle prestazioni che l'intervento si prefigge di raggiungere.

L'elaborato deve fornire la caratterizzazione del clima acustico *ante e post-operam* attraverso la localizzazione degli ambiti di applicazione indicati nella legislazione vigente⁸, la descrizione della campagna di monitoraggio effettuata e la stima dei livelli di pressione sonora ai ricettori, eventualmente eseguita con l'ausilio di strumenti previsionali. Tale relazione deve identificare gli obiettivi e le tecniche di mitigazione applicabili, esaminando la fattibilità degli interventi e dimensionando geometricamente le opere.

La relazione acustica costituisce l'elaborato di riferimento dello studio e deve contenere:

1. la descrizione dell'intervento in progetto;
2. i riferimenti alle leggi nazionali, regionali e comunali (riferendo in particolare la classificazione acustica del territorio) e alle norme tecniche di riferimento;
3. l'inquadramento del territorio interessato dalla realizzazione dell'opera infrastrutturale, che comprende:
 - l'indicazione del corridoio acustico progettuale secondo quanto definito dalla legislazione vigente⁹;
 - la rappresentazione, ubicazione e tipologia di ricettori distinti tra sensibili (scuole, ospedali, case di cura e di riposo), edifici abitativi ed edifici adibiti ad altri usi;
 - l'indicazione delle fasce di pertinenza delle infrastrutture stradali e/o ferroviarie presenti nell'area di studio, evidenziando le zone di sovrapposizione di sorgenti principali e concorsuali;
 - la rappresentazione delle aree di espansione desunte dagli strumenti urbanistici vigenti (Piani Regolatori Comunali);
4. la caratterizzazione acustica delle sorgenti di rumore, sia principale sia concorsuali, effettuata attraverso:
 - la descrizione dei siti prescelti per le misure e la giustificazione dei criteri di scelta;
 - la localizzazione dei punti di misura;
 - la descrizione delle caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata per il rilievo delle emissioni e/o immissioni sonore; per ogni sito di misura deve essere riportato l'esito della calibrazione della strumentazione eseguita prima e dopo il rilievo fonometrico; i

⁸ Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore la Legge 26 ottobre 1995, n. 447 "Legge quadro sull'inquinamento acustico" e i relativi decreti attuativi.

⁹ Alla data di pubblicazione della presente norma sono in vigore gli articoli 4 e 5 del Decreto del Presidente della Repubblica 30 marzo 2004, n. 142 "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare".

risultati del monitoraggio devono inoltre essere accompagnati da una copia dei certificati di taratura rilasciati dai centri SIT riconosciuti;

- l'analisi e l'elaborazione dei dati rilevati, completa di relazione di commento;
5. la caratterizzazione acustica del territorio, in condizioni *ante* e *post-operam*, effettuata tramite:
- attribuzione dei limiti del rumore di pertinenza per i vari ricettori, tenendo conto della destinazione d'uso degli edifici, della loro collocazione all'interno delle fasce di pertinenza acustica e dei criteri di concorsualità;
 - stima dei livelli di esposizioni in corrispondenza dei ricettori censiti;
6. la descrizione dei modelli previsionali di propagazione acustica per la stima dei livelli di rumore ai ricettori, nelle condizioni *ante* e *post-operam*, e delle procedure applicate per la taratura dei modelli. Devono in particolare essere specificati (vedere anche la serie UNI 11143):
- i dati progettuali di base;
 - i dati immessi nel modello di simulazione, ovvero la descrizione delle banche dati su cui operano i modelli, esplicitando tutte le ipotesi assunte come base per la modellizzazione o il calcolo acustici;
 - gli algoritmi utilizzati;
 - le metodologie di taratura adottate e il conseguente grado di accuratezza del modello;
 - i dati di uscita riportati come livelli ai ricettori in forma tabellare e di mappe acustiche;
 - l'analisi dei risultati delle simulazioni;
 - il confronto con i limiti di legge;
7. la tipologia, la localizzazione e il dimensionamento degli interventi di mitigazione. All'interno della relazione devono essere riepilogate, con tabelle sintetiche, le seguenti informazioni:
- posizione del sistema antirumore, individuata dalle coordinate geografiche e dalle progressive chilometriche di inizio e fine;
 - specificazione del lato dell'infrastruttura su cui è prevista l'installazione, altezza, lunghezza e superficie;
 - spessore e tipologia di materiale ipotizzato in fase di simulazione (fonoisolante, fonoassorbente, misto fonoisolante/fonoassorbente);
 - posizione in sezione in relazione all'infrastruttura in esame;
 - ricettori su cui è necessario un intervento mitigativo e tipologia di intervento previsto.

A supporto della relazione tecnica possono essere predisposti degli allegati, per esempio:

1. Allegato 1 "Rilievo dei dati fonometrici, condizioni meteorologiche e di traffico", contenente:
 - rapporto di misura fonometrica della sorgente principale e delle eventuali concorsuali;
 - rapporto di misura dei dati di traffico della sorgente principale e delle eventuali concorsuali;
 - rapporto di misura dei dati meteo;

2. Allegato 2 "Output del modello di simulazione: risultati di calcolo ed elenco degli interventi di mitigazione", contenente:
 - tabella di presentazione dei risultati di calcolo ante e post operam;
 - scheda interventi di mitigazione (scheda di dettaglio e scheda di riepilogo);
3. Allegato 3 "Rappresentazione dello stato attuale dei luoghi: corridoio di indagine, identificazione delle sorgenti principali e concorsuali, classificazione degli edifici e punti di misura", un elaborato (planimetria) con l'indicazione di:
 - destinazione d'uso degli edifici;
 - numero identificativo dell'edificio;
 - identificazione delle sorgenti principali e concorsuali;
 - edifici interessati dalla concorsualità geometrica di una o più sorgenti concorrenti;
 - edifici interessati dalla concorsualità significativa;
 - sede sorgente concorsuale;
 - fasce di pertinenza acustica della sorgente principale e delle concorsuali;
 - punti di monitoraggio;
 - fasce di studio;
 - elementi significativi della morfologia del terreno.
4. Allegato 4 "Analisi del clima acustico ante operam" (con traffico proiettato ad un orizzonte temporale di almeno 10 anni), un elaborato (planimetria) con l'indicazione di:
 - destinazione d'uso degli edifici;
 - numero identificativo dell'edificio;
 - superamento dei limiti normativi in facciata o mappatura delle curve di isolivello diurne e notturne a 4 m dal p.c.;
 - superamento dei limiti normativi all'interno degli ambienti;
 - ambito di studio;
 - fasce di pertinenza;
 - elementi significativi della morfologia del terreno e dell'infrastruttura (incluse eventuali barriere antirumore esistenti).
5. Allegato 5 "Analisi del clima acustico post operam", con un traffico proiettato a un orizzonte temporale di almeno 10 anni e l'individuazione degli interventi di mitigazione. Esso è un elaborato (planimetria) con l'indicazione di:
 - destinazione d'uso degli edifici;
 - numero identificativo dell'edificio;
 - superamento dei limiti normativi in facciata o mappatura delle curve di isolivello diurne e notturne a 4 m dal p.c.;
 - superamento dei limiti normativi all'interno degli ambienti;

- ambito di studio;
 - fasce di pertinenza;
 - interventi di mitigazione;
 - elementi significativi della morfologia del terreno e dell'infrastruttura (incluse eventuali barriere antirumore esistenti);
6. Allegato 6 “Schede di censimento dei ricettori sensibili e dei ricettori con livelli acustici non conformi al limite di legge” con l'indicazione, oltre al Comune di appartenenza, di:
- codice del ricettore;
 - documentazione fotografica;
 - progressiva chilometrica;
 - distanza dall'infrastruttura;
 - altezza del piano di campagna (pc) dal piano strada;
 - destinazione d'uso (per i ricettori sensibili quali scuole ed ospedali specificare il nome);
 - materiali prevalenti costituenti la facciata;
 - ambiente di propagazione;
 - stato di conservazione dell'edificio;
 - stato di conservazione degli infissi;
 - stima eventuali interventi diretti (m² di finestra);
7. Allegato 7 “Mappe di efficacia della mitigazione in periodo diurno e notturno”, un elaborato (planimetria) con l'indicazione di:
- destinazione d'uso degli edifici;
 - numero identificativo dell'edificio;
 - opere esistenti e fasce di studio;
 - interventi di mitigazione;
 - fasce di pertinenza acustica della sorgente principale e delle concorsuali;
 - elementi significativi della morfologia del terreno;
 - isolivello rappresentativo la differenza in dB tra ante e post mitigazione a 4 metri dal p.c.;
8. Allegato 8 “Sezioni di calcolo verticale con livelli di rumore ai vari piani o curve isofoniche”, un elaborato (sezione) con evidenza di:
- stralcio planimetrico che evidenzia la traccia della/e sezione/i, edifici e interventi;
 - livelli di rumore ante e post mitigazione su sezione verticale;
 - numero identificativo dell'edificio;
 - interventi di mitigazioni.

4.2.5 Relazioni geologica, geotecnica, idrologica e idraulica

La relazione geologica comprende, sulla base di specifiche indagini geologiche, l'identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura e dei caratteri fisici del sottosuolo. Essa definisce il modello geologico-tecnico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, litotecnici e fisici nonché il conseguente livello di pericolosità geologica e il comportamento in assenza e in presenza delle opere.

La relazione geotecnica definisce, alla luce di specifiche indagini geotecniche, il comportamento meccanico del volume di terreno influenzato, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che a sua volta influenza il comportamento del manufatto stesso. Illustra inoltre i calcoli geotecnici per gli aspetti che si riferiscono al rapporto del manufatto con il terreno.

Le relazioni idrologica e idraulica riguardano lo studio delle acque meteoriche, superficiali e sotterranee. Gli studi devono indicare le fonti dalle quali provengono gli elementi elaborati e i procedimenti usati nell'elaborazione per dedurre le grandezze di interesse.

4.2.6 Relazione tecnica afferenti agli aspetti strutturali e impiantistici

Il PFTE riporta tutti gli elementi di dimensionamento preliminare di natura concettuale e, ove necessario, anche quantitativa delle soluzioni tipologiche determinate.

Nel PFTE sono determinate tutte le soluzioni individuate eseguendo le verifiche preliminari dei principali componenti strutturali. Queste possono differire tra loro non solo per sistema di mitigazione acustica scelto ma anche in funzione del sistema statico adottato (sia in elevazione sia in fondazione), delle predisposizioni di sicurezza stradale, del sistema di smaltimento acque meteoriche e in generale delle caratteristiche del supporto. In particolare, il necessario approfondimento delle caratteristiche geologico-geotecniche e idrologico-idrauliche permette, per ogni tipologia di mitigazione adottata, di individuare il miglior sistema per le fondazioni e per il drenaggio delle acque.

Le relative relazioni di calcolo accertano la rispondenza ai requisiti prestazionali di tutte le sezioni tipologiche proposte in ogni loro parte. Se l'intervento avviene su manufatti esistenti, il progetto è integrato dalle opportune valutazioni finalizzate a garantire la compatibilità dell'installazione con i livelli di sicurezza previsti dai disposti normativi in vigore. Tali valutazioni non possono prescindere dalla conoscenza dello stato di fatto della struttura conoscenza dello stato attuale di consistenza, di funzionalità e di conservazione dell'opera, comprese anche eventuali problematiche pregresse e interventi già precedentemente eseguiti.

In particolare, devono essere descritte anche le tipologie di ancoraggi di base delle barriere acustiche, accertandone la compatibilità rispetto alla geometria della fondazione.

In caso di ostacoli ricorrenti, quali pali di illuminazione, vie di fuga, ecc., sono determinate le relative soluzioni progettuali.

Nelle planimetrie devono essere indicati i campi di applicazione delle varie sezioni tipo.

La scala può variare da 1:50 a 1:100.

I calcoli preliminari delle strutture e degli impianti devono consentirne il dimensionamento.

Nel PFTE devono essere presenti le seguenti relazioni:

1. relazione di calcolo delle strutture in elevazione - sezioni tipologiche;
2. relazione di calcolo delle fondazioni - sezioni tipologiche;
3. sezioni tipo - carpenterie delle strutture di elevazione e fondazione.

Le relazioni sulle strutture descrivono le tipologie strutturali e gli schemi e modelli di calcolo. In zona sismica, queste relazioni definiscono l'azione sismica tenendo anche conto delle condizioni stratigrafiche e topografiche, coerentemente con i risultati delle indagini e delle elaborazioni riportate nella relazione geotecnica. Definiscono altresì i criteri di verifica da adottare per soddisfare i requisiti di sicurezza previsti dalla normativa tecnica vigente, per la costruzione delle nuove opere o per gli interventi sulle opere esistenti. Per tali ultimi interventi la relazione sulle strutture è integrata da una specifica relazione inerente alla conoscenza dello stato di fatto delle opere interessate e alle indagini e alle prove effettuate che consenta di valutare la sicurezza del manufatto anche in relazione allo stato di eventuali dissesti.

4.2.7 Relazione di sostenibilità dell'opera

La relazione di sostenibilità dell'opera, declinata nei contenuti in ragione della specifica tipologia di intervento infrastrutturale, contiene, in linea generale:

1. la descrizione degli obiettivi primari dell'opera in termini di risultati per le comunità e i territori interessati, attraverso la definizione dei benefici a lungo termine, minimizzando, al contempo, gli impatti negativi;
2. l'individuazione dei principali portatori di interessi e l'indicazione degli strumenti di coinvolgimento dei portatori d'interesse da utilizzare nella fase di progettazione, autorizzazione e realizzazione dell'opera;
3. la verifica degli eventuali contributi significativi ad almeno uno o più dei seguenti obiettivi ambientali, come definiti nella legislazione vigente¹⁰, tenendo in conto il ciclo di vita dell'opera:
 - mitigazione dei cambiamenti climatici;
 - adattamento ai cambiamenti climatici;
 - uso sostenibile e protezione delle acque e delle risorse marine;
 - transizione verso un'economia circolare;
 - prevenzione e riduzione dell'inquinamento;
 - protezione e ripristino della biodiversità e degli ecosistemi;
4. l'asseverazione del rispetto del principio di "non arrecare un danno significativo" ("Do No Significant Harm" - DNSH), come definito dalla legislazione vigente¹¹;
5. una stima della Carbon Footprint dell'opera in relazione al ciclo di vita e il contributo al raggiungimento degli obiettivi climatici;
6. la definizione dei materiali da costruzione e l'identificazione dei processi che favoriscono il riutilizzo di materia prima e seconda riducendo gli impatti in termini di rifiuti generati;

¹⁰ Alla data di pubblicazione della presente norma sono in vigore il Regolamento (UE) 2020/852 del Parlamento europeo e del Consiglio del 18 giugno 2020 relativo all'istituzione di un quadro che favorisce gli investimenti sostenibili e recante modifica del regolamento (UE) 2019/2088, e il Regolamento (UE) 2021/241 del Parlamento europeo e del Consiglio del 12 febbraio 2021 che istituisce il dispositivo per la ripresa e la resilienza.

¹¹ Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore Regolamento 2020/852 del Parlamento europeo e del Consiglio del 18 giugno 2020 relativo all'istituzione di un quadro che favorisce gli investimenti sostenibili e recante modifica del regolamento (UE) 2019/2088.

7. la definizione delle misure per ridurre le quantità degli approvvigionamenti esterni (riutilizzo interno all'opera) e delle opzioni di modalità di trasporto più sostenibili dei materiali verso/dal sito di produzione al cantiere;
8. l'utilizzo di soluzioni tecnologiche innovative.

4.2.8 Relazione di inserimento paesaggistico

La relazione di inserimento paesaggistico è una relazione tecnica finalizzata principalmente alla caratterizzazione e all'analisi della componente paesaggio, intendendo con tale termine l'insieme degli aspetti percepibili del mondo fisico che circonda l'intervento in esame, arricchito dai valori che su di esso vengono proiettati dai vari soggetti percipienti, con riferimento sia agli aspetti storici, culturali, naturalistici, che agli aspetti legati alla percezione visiva. Lo scopo dello studio è l'individuazione delle modifiche introdotte dalle azioni di progetto in rapporto alla qualità dell'ambiente e la susseguente minimizzazione degli impatti.

La minimizzazione dell'impatto visivo di un sistema antirumore deve essere ottenuta mediante uno studio architettonico specifico, seguendo criteri distinti di:

- mascheramento, ovvero integrazione del sistema antirumore con elementi caratteristici del contesto;
- personalizzazione, ovvero caratterizzazione del sistema antirumore come elemento architettonico indipendente (nella forma, nella geometria e nei materiali).

L'inserimento dell'opera deve essere valutato su due distinti livelli:

- punto di vista degli utilizzatori dell'infrastruttura di trasporto (dinamico);
- punto di vista dei ricettori protetti dall'intervento (statico).

La relazione deve illustrare la motivazione delle scelte adottate in merito a:

- inserimento nel paesaggio;
- interferenza visiva per gli utilizzatori dell'infrastruttura;
- compatibilità ambientale dei materiali da utilizzare;
- modalità di mantenimento dell'aspetto nel tempo;
- durata in relazione alla situazione ambientale.

Nella relazione devono essere specificate le caratteristiche generali dell'opera, a livello di ingombri, colori, materiali e geometria.

È prevista la stesura dei seguenti elaborati:

- studio dei materiali e cromatico, mediante prospetti, ricostruzioni visuali (rendering) o simulazioni al computer con diversi punti di vista (utilizzatore dell'infrastruttura, ricettore);
- planimetria scala 1:2000 con identificazione degli elementi caratteristici (storico-paesaggistici) e delle visuali libere che si intendono salvaguardare.

4.2.9 Disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici del PFTE

Il disciplinare descrittivo e prestazionale precisa, sulla base delle specifiche tecniche, tutti i contenuti prestazionali tecnici degli elementi previsti nel progetto.

Per prestazioni si intendono:

- le prestazioni acustiche dei componenti e del sistema antirumore;
- le prestazioni strutturali dei componenti e del sistema antirumore;
- le prestazioni di durabilità acustica e non acustica dei componenti e del sistema antirumore.

Il disciplinare contiene poi la descrizione, anche sotto il profilo estetico, delle caratteristiche, della forma e delle principali dimensioni dell'intervento, dei materiali e dei componenti previsti nel progetto.

Il disciplinare contiene, inoltre, l'individuazione dei punti di collaudo dei componenti e del sistema antirumore.

4.2.10 Piano particellare di esproprio

Il piano particellare degli espropri, degli asservimenti e delle interferenze con i servizi è redatto in base alle mappe catastali aggiornate, e comprende anche le espropriazioni e gli asservimenti necessari per gli attraversamenti e le deviazioni di strade e di corsi d'acqua.

Il piano particellare è in scala 1:2000.

Sulle mappe catastali sono altresì indicate le eventuali zone di rispetto o da sottoporre a vincolo in relazione a specifiche legislative o regolamentari o a esigenze connesse alla categoria dell'intervento.

Il piano è corredata dall'elenco delle persone o società che in catasto risultano proprietarie degli immobili da espropriare, asservire o occupare temporaneamente ed è corredata dell'indicazione di tutti i dati catastali nonché delle superfici interessate.

Per ogni persona o società deve essere inoltre indicata l'indennità presunta di espropriazione e di occupazione temporanea determinata in base alla legislazione vigente, previo, occorrendo, apposito sopralluogo.

4.2.11 Stima dell'intervento e delle espropriazioni

La stima dell'intervento consiste nel computo metrico estimativo, redatto applicando alle quantità delle lavorazioni i prezzi unitari dedotti dai prezziari della stazione appaltante o dai listini correnti nell'area interessata.

La valutazione economica del sistema antirumore deve considerare la variabilità delle tipologie in relazione alle diverse esigenze architettoniche e prestazionali corredate da idonea certificazione. Pertanto, detta valutazione deve essere riferita ai prezzi correnti di mercato.

Per eventuali voci mancanti, il relativo prezzo viene determinato applicando alle quantità di materiali, mano d'opera, noli e trasporti necessari per la realizzazione delle quantità unitarie di ogni voce, i rispettivi prezzi elementari dedotti da listini ufficiali o dai listini delle locali camere di commercio oppure, in difetto, dai prezzi correnti di mercato.

Al valore così determinato devono essere aggiunti i costi previsti dalla legislazione vigente¹².

¹² Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore all'articolo 36, parte V del Decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36 "Codice dei contratti pubblici".

4.2.12 Elaborati grafici del PFTE

Gli elaborati grafici, redatti in scala e debitamente quotati, descrivono le principali caratteristiche dell'intervento da realizzare e sono costituiti da:

1. una corografia in scala adeguata in cui sono indicate la localizzazione dell'intervento da realizzare e le eventuali altre localizzazioni esaminate;
2. uno stralcio documentale degli strumenti di pianificazione territoriale e di tutela ambientale e paesaggistica, nonché degli strumenti urbanistici generali e attuativi vigenti, sui quali sono indicate la localizzazione dell'intervento da realizzare e le eventuali altre localizzazioni esaminate;
3. le planimetrie con le indicazioni delle curve di livello in scala adeguata, sulle quali sono riportate le opere in progetto, l'ubicazione, la tipologia e l'estensione degli interventi, comprensiva dell'altezza minima dei moduli in progetto;
4. gli elaborati relativi alle indagini e agli studi preliminari, in scala adeguata alle dimensioni dell'opera in progettazione, per esempio:
 - planimetria con ubicazione delle indagini eseguite;
 - carte geologica, geomorfologica e idrogeologica, con la localizzazione dell'intervento, estese a un ambito territoriale significativo;
 - sezioni geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche, con localizzazione dell'intervento, illustranti gli assetti litostrutturali, geomorfologici e idrogeologici;
 - carta del reticolo idrografico;
 - carta della potenzialità archeologica;
 - carta dei vincoli ordinati e sovraordinati, in scala adeguata e con la localizzazione dell'intervento;
 - planimetria delle interferenze;
 - planimetrie catastali;
 - planimetria ubicativa dei siti di cave attive, degli impianti di recupero, dei siti di deposito temporaneo e delle discariche autorizzate e in esercizio da utilizzare per il conferimento dei rifiuti derivanti dalla realizzazione dell'intervento;
5. gli schemi grafici e sezioni-tipo nel numero, nell'articolazione e nelle scale necessarie a permettere l'individuazione di massima di tutte le caratteristiche geometriche, spaziali, tipologiche, funzionali e tecnologiche delle opere da realizzare, integrati da tabelle relative ai parametri da rispettare.

4.3 Progettazione esecutiva

4.3.1 Relazione generale

Il progetto esecutivo costituisce l'ingegnerizzazione di tutte le lavorazioni e, pertanto, definisce compiutamente e in ogni particolare architettonico, strutturale e impiantistico l'intervento da realizzare. Restano esclusi soltanto i piani operativi di cantiere, i piani di approvvigionamenti, nonché i calcoli e i grafici relativi alle opere provvisionali. Il progetto è redatto in base alle indicazioni raccolte nel PFTE nonché alle prescrizioni dettate in sede di rilascio della concessione edilizia o di accertamento di conformità urbanistica, o di conferenza di servizi o di pronuncia di compatibilità ambientale ovvero il provvedimento di esclusione delle procedure, ove previsti.

La relazione generale del progetto esecutivo descrive in dettaglio, anche attraverso specifici riferimenti agli elaborati grafici e alle prescrizioni del capitolato speciale d'appalto, i criteri utilizzati per le scelte progettuali esecutive, per i particolari costruttivi e per il conseguimento e la verifica dei prescritti livelli di sicurezza e qualitativi.

La relazione generale contiene l'illustrazione dei criteri seguiti e delle scelte effettuate per trasferire sul piano contrattuale e sul piano costruttivo le soluzioni spaziali, tipologiche, funzionali, architettoniche e tecnologiche previste dal PFTE approvato. La relazione contiene inoltre la descrizione delle indagini, rilievi e ricerche effettuati al fine di ridurre in corso di esecuzione la possibilità di imprevisti.

Tra gli elaborati grafici esecutivi, rappresentati in scala pari ad almeno il doppio delle scale individuate nel PFTE, devono esservi quelli riguardanti:

- i lavori da eseguire;
- le modalità esecutive di dettaglio, che descrivono e commentano le fasi costruttive con particolare riguardo alle soggezioni e ai vincoli esterni che possono condizionarne la realizzazione. In particolare, viene valutato se l'ingombro dei macchinari utilizzati per la realizzazione della struttura è compatibile con i vincoli esterni;
- i particolari costruttivi che rappresentano le modalità di costruzione, montaggio e assemblaggio del sistema antirumore, con particolare dettaglio alla progettazione (pannelli, montanti, guarnizioni, bulloni, ecc.) e in corrispondenza dei punti singolari (pannelli con porte di sicurezza, barriere in corrispondenza di opere d'arte, ecc.);
- i particolari significativi delle opere edili necessarie alla realizzazione del sistema antirumore.

4.3.2 Relazione acustica e relativi elaborati grafici

La relazione tecnica acustica del progetto esecutivo verifica ed eventualmente aggiorna la relazione acustica del PFTE, illustrando i criteri utilizzati per le scelte progettuali esecutive e le modalità di presentazione e approvazione dei componenti da utilizzare (criteri di accettazione) secondo le prescrizioni del capitolato d'appalto. Devono inoltre essere previste indagini, rilievi e ricerche per trasferire sul piano costruttivo le soluzioni spaziali, tipologiche, funzionali, architettoniche e tecnologiche previste dal PFTE approvato.

Gli elaborati grafici esecutivi sono costituiti da:

- lo sviluppo di tutti gli elaborati grafici del PFTE;
- le caratteristiche dimensionali, prestazionali e di assemblaggio dei componenti, le eventuali variazioni delle quali rispetto al PFTE hanno comportato una revisione del progetto acustico;
- le modalità di collaudo del sistema antirumore, secondo le disposizioni prescritte dal capitolato d'appalto, tramite la verifica dell'efficienza acustica del sistema antirumore (*insertion loss*, vedere UNI 11022) e delle prestazioni in opera dei manufatti impiegati.

4.3.3 Relazioni geologica, geotecnica, idrologica e idraulica

Le relazioni geologica, geotecnica, idrologica e idraulica illustrano nel dettaglio le soluzioni adottate, sulla base dei contenuti del PFTE.

4.3.4 Relazione di calcolo delle strutture

La relazione di calcolo delle strutture deve consentire il dimensionamento e la verifica delle prestazioni di tutti i componenti strutturali in ogni loro aspetto, sia generale che particolare.

La progettazione esecutiva sia delle strutture che degli impianti deve valutare le condizioni più gravose previste tra quelle di esercizio e quelle costruttive. Deve inoltre essere condotta in maniera unitaria con tutte le opere civili nuove ed esistenti al fine di dimostrarne la piena compatibilità.

La relazione di calcolo deve contenere almeno:

- l'indicazione delle norme di riferimento;
- la descrizione della struttura;
- la specifica della qualità e delle caratteristiche meccaniche dei materiali e delle modalità esecutive qualora necessarie;
- la descrizione dei criteri di analisi modellazione e verifica adottati;
- l'analisi dei carichi con relative combinazioni;
- l'eventuale codice di calcolo impiegato;
- la sintesi dei risultati (per esempio, diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione e deformazione);
- il rispetto delle verifiche per gli stati limite considerati.

Devono essere giustificate, da un punto di vista tecnico-economico, le scelte progettuali adottate, e devono essere descritte le tecniche di realizzazione e le fasi costruttive.

In riferimento alle verifiche devono essere indicate una o più sezioni, in modo che siano rappresentative del progetto e/o della condizione più sfavorevole. Per ciascuna sezione sono indicati gli allineamenti rispetto al rilievo. Per i tratti a raso e rilevato deve essere fornito lo schema geotecnico completo di spessore dei terreni, le caratteristiche del terreno e la posizione della falda. Particolare attenzione deve essere rivolta al dimensionamento degli ancoraggi delle barriere alle strutture di supporto. A tal riguardo, inoltre, gli elaborati grafici di dettaglio degli attacchi devono riportare tutti gli accorgimenti esecutivi che assicurino la corretta posa e manutenibilità.

Nel caso in cui l'intervento interessi anche manufatti esistenti, il progetto deve contenere le opportune valutazioni e verifiche circa gli effetti arrecati alle opere interessate. Tali valutazioni non possono prescindere da un adeguato processo di conoscenza della struttura nello stato di fatto basato su rilievi visivi, analisi storico-critica, documentazione di progetto e di collaudo originario nonché dalle indagini e rilievi *in situ* sulle strutture e sui materiali.

4.3.5 Pianta delle fondazioni

L'elaborato rappresenta l'ubicazione e la planimetria delle fondazioni dei sistemi antirumore progettati. Nella pianta sono individuate anche le interferenze con il reticolo idrografico e con i servizi.

L'elaborato individua inoltre l'entità, la geometria e il posizionamento degli scavi di fondazione e descrive graficamente tutte le caratteristiche necessarie alla definizione delle fondazioni dei sistemi antirumore progettati. In particolare, esso contiene:

- pianta e sezioni delle fondazioni con le relative dimensioni;
- coordinate di tracciamento delle fondazioni, nel sistema di riferimento adottato;
- eventuali interferenze con i sottoservizi;

- eventuali opere di consolidamento;
- geometria degli scavi;
- pendenza delle scarpate degli scavi.

4.3.6 Carpenteria delle fondazioni

L'elaborato contiene la definizione delle caratteristiche, delle dimensioni degli elementi e dei particolari delle fondazioni dei sistemi antirumore.

L'elaborato contiene anche l'indicazione delle quote di intradosso ed estradosso dei cordoli di fondazione e intradosso del magrone.

4.3.7 Armature delle fondazioni

L'elaborato contiene tutte le indicazioni necessarie alla definizione delle armature da impiegare, per la realizzazione delle fondazioni dei sistemi antirumore progettati.

L'elaborato contiene anche la descrizione di tutte le armature, con indicazione delle lunghezze totali e parziali e della posizione delle sezioni, il posizionamento delle eventuali saldature e l'indicazione delle caratteristiche della saldatura, l'indicazione del coprifero.

4.3.8 Piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti

Il piano di manutenzione è il documento complementare al progetto esecutivo che prevede, pianifica e programma, tenendo conto degli elaborati progettuali esecutivi effettivamente realizzati, l'attività di manutenzione dell'intervento al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità ed estetiche, l'efficienza e il valore economico.

Il piano di manutenzione fornisce le indicazioni necessarie a garantire la protezione delle opere da atti di vandalismo (graffiti, imbrattamento, ecc.), sia in fase di produzione degli elementi constitutivi sia durante la vita di servizio dei manufatti.

Il piano di manutenzione assume contenuto differenziato in relazione all'importanza e alla specificità dell'intervento, ed è costituito dai seguenti documenti operativi:

1. il manuale d'uso, che comprende:
 - la collocazione nell'intervento delle parti menzionate;
 - la rappresentazione grafica;
 - la descrizione;
 - le modalità di uso corretto;
2. il manuale di manutenzione, che si riferisce alla manutenzione delle parti più importanti del bene e in particolare degli impianti tecnologici. Esso fornisce, in relazione alle diverse unità tecnologiche, alle caratteristiche dei materiali o dei componenti interessati, le indicazioni necessarie per la corretta manutenzione nonché per il ricorso ai centri di assistenza o di servizio. Il manuale di manutenzione contiene le seguenti informazioni:
 - la collocazione nell'intervento delle parti menzionate;

- la rappresentazione grafica;
 - la descrizione delle risorse necessarie per l'intervento manutentivo;
 - il livello minimo delle prestazioni;
 - le anomalie riscontrabili;
 - le manutenzioni eseguibili direttamente dall'utilizzatore;
 - le manutenzioni da eseguire a cura di personale specializzato;
3. il programma di manutenzione, che prevede un sistema di controlli e di interventi da eseguire, a cadenze temporalmente o altrimenti prefissate, al fine di una corretta gestione del bene e delle sue parti nel corso degli anni. Esso si articola secondo i tre sottoprogrammi:
- il sottoprogramma delle prestazioni, che prende in considerazione, per classe di requisito, le prestazioni fornite dal bene e dalle sue parti nel corso del suo ciclo di vita;
 - il sottoprogramma dei controlli, che definisce il programma delle verifiche e dei controlli al fine di rilevare il livello prestazionale (qualitativo e quantitativo) nei successivi momenti della vita del bene, individuando la dinamica della caduta delle prestazioni aventi come estremi il valore di collaudo e quello minimo di norma;
 - il sottoprogramma degli interventi di manutenzione, che riporta in ordine temporale i differenti interventi di manutenzione, al fine di fornire le informazioni per una corretta conservazione del bene.

Al termine della realizzazione dell'intervento, la direzione lavori controlla e verifica la validità del manuale d'uso, del manuale di manutenzione e del programma di manutenzione, redatti in fase di progettazione, e ne cura gli eventuali aggiornamenti resisi necessari a causa dei problemi emersi durante l'esecuzione dei lavori.

4.3.9 Piani di sicurezza e di coordinamento

I piani di sicurezza e di coordinamento sono i documenti complementari al progetto esecutivo che prevedono l'organizzazione delle lavorazioni atte a prevenire o ridurre i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori. La loro redazione comporta, con riferimento alle varie tipologie di lavorazioni, l'individuazione, l'analisi e la valutazione dei rischi intrinseci al particolare procedimento di lavorazione connessi a congestione di aree di lavorazioni e dipendenti da sovrapposizione di fasi di lavorazioni.

I piani sono costituiti da una relazione tecnica contenente:

- le coordinate e la descrizione dell'intervento e delle fasi del procedimento attuativo;
- l'individuazione delle caratteristiche delle attività lavorative con la specificazione di quelle critiche;
- la stima della durata delle lavorazioni;
- le individuazioni, l'analisi e la valutazione dei rischi in rapporto alla morfologia del sito, alla pianificazione e programmazione delle lavorazioni, alla presenza contemporanea di più soggetti prestatori d'opera, all'utilizzo di sostanze pericolose e ad ogni altro elemento utile a valutare oggettivamente i rischi per i lavoratori.

I piani sono integrati da un disciplinare contenente le prescrizioni operative atte a garantire il rispetto della legislazione cogente in materia di prevenzione degli infortuni e di tutela della salute dei lavoratori

e da tutte le informazioni relative alla gestione del cantiere. Tale disciplinare comprende la stima dei costi per dare attuazione alle prescrizioni in esso contenute.

4.3.10 Cronoprogramma

Il progetto esecutivo è corredata dal cronoprogramma delle lavorazioni, redatto al fine di stabilire in via convenzionale, nel caso di lavori compensati a prezzo chiuso, l'importo degli stessi da eseguire per ogni anno intero decorrente dalla data della consegna.

Nel calcolo del tempo contrattuale si deve tenere conto della prevedibile incidenza dei giorni di andamento stagionale sfavorevole.

4.3.11 Elenco dei prezzi unitari

Si adotta l'elenco prezzi unitari riportato nel PFTE, eventualmente integrato con i prezzi aggiornati redatti con le medesime modalità.

4.3.12 Computo metrico estimativo definitivo e quadro economico

Il computo metrico estimativo del progetto esecutivo costituisce l'integrazione e l'aggiornamento della stima sommaria dei lavori redatta in sede di PFTE e viene redatto applicando alle quantità delle lavorazioni, dedotte dagli elaborati grafici del progetto esecutivo, i prezzi dell'elenco di cui al punto 4.3.11.

Nel quadro economico confluiscono le somme previste per l'acquisizione o l'espropriazione di aree o immobili, come da piano particolare allegato al progetto e le voci previste dalla legislazione vigente¹³.

4.3.13 Schema di contratto e capitolato speciale d'appalto

Lo schema di contratto contiene, per quanto non disciplinato dal capitolato generale d'appalto, le clausole dirette a regolare il rapporto tra stazione appaltante e impresa, in relazione alle caratteristiche dell'intervento.

5 CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI DEI SISTEMI E DEI COMPONENTI ANTIRUMORE

5.1 Generalità

Le caratteristiche prestazionali dei sistemi antirumore sono distinte in estrinseche e intrinseche.

Le caratteristiche prestazionali estrinseche governano la progettazione del sistema antirumore inserito in un contesto specifico. Riguardano gli aspetti:

- acustici: calcolo dell'efficacia in termini di perdita per inserzione o abbattimento di rumore ai ricettori;

¹³ Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore all'articolo 36, parte V del Decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36 "Codice dei contratti pubblici".

- strutturali: calcolo della resistenza ai carichi (peso proprio, vento, neve, azioni dinamiche dei veicoli in transito);
- di sicurezza: verifica degli effetti della barriera sulla sicurezza della circolazione stradale e delle aree esterne (conseguenze in caso di impatto di veicoli in svio, di ostacolo alla visibilità e di incendio);
- di durabilità: individuazione della vita utile del sistema barriera e delle azioni manutentive necessarie per garantirla;
- di sostenibilità ambientale: analisi degli impatti ambientali della barriera sull'intero ciclo di vita.

Le caratteristiche prestazionali estrinseche riguardano il sistema antirumore nel suo complesso e tra esse sono comprese le opere di fondazione o i sistemi di collegamento a strutture esistenti.

Le caratteristiche prestazionali intrinseche riguardano il prodotto utilizzato per la realizzazione dell'intervento antirumore. Possono riferirsi al singolo componente (per esempio al pannello antirumore) o al sistema barriera nei casi in cui si considera l'interazione tra i componenti di tipo acustico e strutturale. Le caratteristiche prestazionali riguardano gli aspetti relativi all'immissione sul mercato del prodotto con la verifica della costanza della prestazione e l'apposizione del marchio CE secondo la UNI EN 14388. Le indicazioni di supporto per l'effettuazione delle prove di laboratorio e dei controlli in fase di produzione sono illustrate nella UNI/TR 11338.

La presente norma fornisce dei valori soglia o indicazioni per le singole caratteristiche prestazionali intrinseche che costituiscono un riferimento per i progetti e per la stesura dei capitolati di fornitura delle barriere antirumore.

5.2 Prestazione acustica

Per il dimensionamento acustico delle barriere antirumore valgono i limiti massimi di immissione acustica distinti per fascia oraria diurna e notturna e fissati per i ricettori collocati in prossimità dell'infrastruttura stradale come indicato dalla legislazione vigente¹⁴.

I limiti di riferimento sono distinti per infrastrutture esistenti e di nuova realizzazione. Il rispetto dei limiti deve essere verificato all'interno e all'esterno della fascia di pertinenza acustica e in ambiente abitativo.

I limiti in ambiente esterno devono essere verificati in facciata degli edifici, a 1 m dalla stessa, in corrispondenza dei punti di maggiore esposizione. I livelli di rumore riscontrati devono essere riferiti al solo rumore prodotto dalle infrastrutture stradali. L'individuazione dei punti di controllo della mitigazione acustica effettua secondo la UNI 11022.

I rilievi acustici devono tenere in conto l'evoluzione settimanale del fenomeno acustico. L'esecuzione dei rilievi acustici deve essere condotta secondo la legislazione vigente¹⁵.

¹⁴ Le disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a tutela della salute pubblica, sono individuate dal Decreto del Presidente della Repubblica 30 marzo 2004, n. 142 "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare", che fissa i limiti per ogni categoria stradale, deliberati dal Consiglio dei ministri, in seguito alla proposta del Ministro dell'ambiente e della Sicurezza Energetica, di concerto con il Ministro della salute e con il Ministro delle infrastrutture e dei trasporti; in tal senso i limiti indicati possono rappresentare il riferimento per dirimere questioni legali.

¹⁵ Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore il Decreto del Ministero dell'Ambiente 16 marzo 1998 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico", con particolare rilevanza l'allegato c.2.

Il progetto acustico comporta l'impiego di modelli di simulazione numerica tarati sui risultati dei monitoraggi acustici effettuati. I modelli di simulazione restituiscono i livelli di rumorosità ambientale presso i ricettori in assenza e in presenza dell'intervento antirumore progettato e consentono di verificare il rispetto dei limiti di legge.

Il modello di simulazione consente il dimensionamento della collocazione spaziale e della geometria dell'intervento antirumore (nel caso della barriera antirumore, la sua collocazione rispetto al ciglio strada e il suo profilo longitudinale).

Il modello richiede anche che siano fissati i valori limite (minimo) delle prestazioni acustiche intrinseche delle barriere antirumore e dei rivestimenti fonoassorbenti di muri di contenimento o pareti di gallerie. Questi valori riguardano le caratteristiche di isolamento, assorbimento e riflessione acustica e sono stabiliti in fase di progettazione in relazione alle condizioni specifiche del caso in esame.

Le caratteristiche intrinseche di isolamento acustico per via aerea sono determinate:

- in laboratorio in un campo sonoro diffuso; in conformità alla UNI EN 1793-2 viene misurato il potere fonoisolante, R ;
- in ambiente esterno in un campo sonoro diretto; in conformità alla UNI EN 1793-6 viene misurato il *sound insulation index, SI*.

Entrambe le metodologie richiedono di esprimere i risultati in funzione della frequenza in bande di terzi di ottava da 100 Hz a 5 kHz.

Le prestazioni misurate in funzione della frequenza sono sintetizzate dall'indice di valutazione, che viene indicato come:

- DL_R , per prodotti provati secondo la UNI EN 1793-2;
- DL_{SI} , per prodotti provati secondo la UNI EN 1793-6.

Per ottenere gli indici di valutazione deve essere impiegato lo spettro di rumore da traffico stradale, riportato nella UNI EN 1793-3.

Come riferimento per la progettazione e per la stesura dei capitolati di appalto sono riportati nel prospetto 1 i valori minimi per gli indicatori relativi alla caratteristica di isolamento acustico delle barriere antirumore.

prospetto 1. Valori minimi di isolamento acustico

	DL_R , secondo la UNI EN 1793-2 campo diffuso [dB]	DL_{SI} , secondo la UNI EN 1793-6 campo diretto [dB]
Misura a centro pannello	Non applicabile	27
Misura a centro montante	Non applicabile	24
Indice globale	24	26

Le caratteristiche intrinseche di assorbimento acustico e di riflessione acustica sono determinate:

- in laboratorio in un campo sonoro diffuso; in conformità alla UNI EN 1793-1 viene misurato il coefficiente di assorbimento acustico apparente in approssimazione di Sabine, a_s ;
- in ambiente esterno in un campo sonoro diretto; in conformità alla UNI EN 1793-5 viene misurato il *reflection index, RI*.

Entrambe le metodologie richiedono di esprimere i risultati in funzione della frequenza in bande di terzi di ottava da 100 Hz a 5 kHz.

Le prestazioni misurate in funzione della frequenza sono sintetizzate dall'indice di valutazione, che viene indicato come:

- DL_{alpha} per prodotti sottoposti a prova, secondo la UNI EN 1793-1;
- DL_{RI} per prodotti sottoposti a prova, secondo la UNI EN 1793-5.

Per ottenere gli indici di valutazione deve essere impiegato lo spettro di rumore da traffico stradale secondo la UNI EN 1793-3.

Come riferimento per la progettazione e per la stesura dei capitolati di appalto sono riportati del prospetto 2 i valori minimi per gli indicatori relativi alla caratteristica di assorbimento e riflessione acustica delle barriere antirumore e dei muri di contenimento o pareti di galleria.

prospetto 2. Valori minimi di assorbimento acustico

	DL_{alpha} , secondo UNI EN 1793-1 campo diffuso [dB]	DL_{RI} , secondo UNI EN 1793-5 campo diretto [dB]
Elementi riflettenti o a basso assorbimento	<4	<3
Medio assorbimento	$>=4, <=12$	$>=4, <=6$
Alto assorbimento	>12	> 6

In caso di barriera o rivestimento con distribuzione non omogenea dei componenti acustici, devono essere previsti punti di verifica integrativi per le prove in campo sonoro diretto come previsto dalla UNI EN 1793-5 e dalla UNI EN 1793-6.

Le caratteristiche acustiche intrinseche in campo diffuso sono verificate in laboratorio su un campione di barriera o di rivestimento nella configurazione riportata nell'elaborato di prova. Esse forniscono un'informazione sulla prestazione della barriera o del rivestimento in relazione ai materiali impiegati e alla qualità dell'assemblaggio dei componenti.

Le caratteristiche acustiche intrinseche in campo diretto sono verificate in campo prova su un campione di barriera o di rivestimento nella configurazione riportata nell'elaborato di prova. Tali valori costituiscono un riferimento per le successive verifiche effettuate sul prodotto installato in opera durante:

- le operazioni di cantiere, per verificare la qualità del prodotto fornito, la qualità del montaggio dei componenti e della loro installazione sul sito specifico. Questi controlli sono effettuati su richiesta della direzione lavori.
- l'esercizio per verificare il mantenimento nel tempo delle prestazioni durante la vita utile. Questi controlli sono effettuati dal gestore dell'infrastruttura nell'ambito delle attività di verifica periodica e di pianificazione dell'attività manutentiva.

Le due metodologie di prova in campo diffuso e in campo diretto sono basate su modelli diversi di rappresentazione del fenomeno fisico di propagazione del suono in campo aereo.

5.3 Resistenza ai carichi

Il dimensionamento strutturale delle barriere antirumore riguarda la struttura portante dei pannelli della barriera, le strutture di supporto (per esempio cordoli) e le eventuali opere di fondazione e deve essere eseguito secondo quanto previsto dalla legislazione vigente¹⁶ per le costruzioni civili. In aggiunta e per quanto applicabile e non in contrasto con i riferimenti della legislazione vigente¹⁶, si può fare riferimento anche agli Eurocodici unitamente agli annessi nazionali nonché a documentazione di comprovata validità stante la responsabilità del progettista di garantire espressamente livelli di sicurezza coerenti con quelli previsti dalla legislazione vigente.

I pannelli antirumore, le lastre trasparenti con cornice metallica o altri elementi che contribuiscono alla prestazione acustica della barriera o dei rivestimenti sono da considerarsi componenti autoportanti per i quali il produttore dichiara la prestazione meccanica secondo la UNI EN 1794-1.

Tutte le strutture in progetto, quali per esempio montanti, piastre di base, tirafondi, strutture di supporto, opere di fondazione, devono essere dimensionate garantendo i requisiti minimi previsti dalla legislazione vigente¹⁶ nei confronti degli stati limite ultimi quali equilibrio, resistenza, e instabilità, e nei confronti degli stati limite di esercizio quali spostamenti o deformazioni eccessive, e danneggiamenti locali che possano ridurre la durabilità.

Nel caso di inserimento su opera d'arte esistente, oltre al dimensionamento di tutte le parti d'opera nuove in progetto (e.g. montanti barriere, ancoraggi montante, nuovo cordolo, ancoraggio nuovo cordolo-struttura esistente, rinforzi, ecc.), l'intervento deve essere adeguatamente classificato in termini di intervento su struttura esistente ai sensi della legislazione vigente¹⁷ e riportare di conseguenza le necessarie verifiche delle parti d'opera esistenti al fine di garantire un livello di sicurezza coerente con le previsioni di cui alla legislazione vigente.

Ai fini delle verifiche degli stati limite sono state considerate le seguenti combinazioni delle azioni in accordo alla legislazione vigente¹⁶:

¹⁶ Alla data di pubblicazione della presente norma sono in vigore il Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»” e la Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 “C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”.

¹⁷ Alla data di pubblicazione della presente norma sono in vigore il Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»” e la Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 “C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”.

Combinazione fondamentale, impiegata per le verifiche agli stati limite ultimi (SLU)

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione frequente, generalmente impiegata per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{21} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Al fine di evitare che le deformazioni eccessive dei montanti possano compromettere l'integrità strutturale dei pannelli o delle lastre trasparenti o anche comportarne la fuoriuscita dalla sede e la caduta, Chi progetta può definire il valore di freccia massima ammissibile per la specifica barriera anche facendo riferimento a valori limite forniti dal produttore suffragate da adeguate prove sperimentali.

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E.

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Dove:

G_1 è l'azione permanente strutturale (peso della struttura portante)

G_2 è l'azione permanente non strutturale

Q_{kj} assume di volta in volta i valori desunti dalle analisi dei carichi dovuti al vento, agli effetti aerodinamici ed alla neve

P è l'azione di presollecitazione.

I valori dei coefficienti ψ_{0j} , ψ_{1j} e ψ_{2j} per le diverse categorie di azioni sono riportati nella legislazione vigente¹⁸.

I valori dei coefficienti γ_{Gi} e γ_{Qj} sono riportati nella legislazione vigente¹⁹.

Di seguito viene riportato l'elenco dei principali carichi elementari da considerare in sede di progettazione. Devono comunque essere considerate anche tutte le altre condizioni di carico richieste dalla legislazione vigente²⁰ non esplicitamente menzionate, ove ritenute pertinenti.

- peso proprio dei materiali strutturali;
- carichi permanenti non strutturali;
- azione del vento;

¹⁸ Alla data di pubblicazione della presente norma il riferimento in vigore è il Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»", che dà le indicazioni relative nella tabella 2.5.I, oppure nella tabella 5.1.VI per i ponti stradali.

¹⁹ Alla data di pubblicazione della presente norma il riferimento in vigore è il paragrafo 2.6.1 del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»", oltre al paragrafo 5.1.3.14 per i ponti stradali.

²⁰ Alla data di pubblicazione della presente norma il riferimento in vigore è il Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»".

- azione della neve;
- carico dinamico causato dalla rimozione della neve;
- pressione dinamica veicolare;
- sovraccarico verticale da traffico veicolare;
- spinta delle terre;
- azione sismica.

Di seguito sono riportate delle considerazioni su alcuni dei carichi menzionati, stante la necessità da parte di chi progetta di valutare caso per caso l'applicabilità di tali considerazioni e la conformità con le normative vigenti.

- in riferimento alla determinazione degli effetti dell'azione del vento, ai fini della definizione del coefficiente di pressione (cp) si può fare riferimento alla UNI EN 1991-1-4 unitamente agli annexi nazionali e a integrazione e, per quanto non in contraddizione, anche a documentazione di comprovata validità²¹. Tale coefficiente, inoltre, deve essere opportunamente valutato differenziando le zone di bordo da quelle correnti per tenere conto degli effetti amplificativi che potrebbero generarsi nelle zone terminali delle barriere antirumore in progetto;
- l'azione della neve deve essere considerata unicamente nei casi in cui questa possa fisicamente rappresentare un carico per le barriere antirumore come, per esempio, il caso di barriere dotate di sbraccio sub-orizzontale;
- il carico dinamico dovuto alla rimozione della neve può essere determinato secondo la UNI EN 1794-1;
- il sovraccarico verticale da traffico veicolare nonché la spinta delle terre sono considerati unicamente per la determinazione del regime di sollecitazione agente nelle strutture di supporto del sistema antirumore (per esempio cordoli, muri, fondazioni, ecc.) non essendo azioni che agiscono direttamente sulle barriere antirumore;
- nel caso di fondazioni realizzate con pali vibro infissi nel terreno deve essere verificato il comportamento a SLU e SLE del palo sotto l'azione di carichi orizzontali (teoria di Broms);
- l'azione sismica agente sull'elevazione della barriera antirumore, nei casi più comuni di strutture a mensola, può essere determinata ricorrendo alla formulazione esatta del primo periodo proprio di vibrazione e ricavando la corrispondente accelerazione massima attesa:

$$T = 1.7870 \cdot H^2 \cdot \sqrt{\frac{\mu}{EI}}$$

dove:

- T è il periodo proprio (in s)
 H è l'altezza della barriera (in m)
 μ è la massa lineica (in kg/m)

²¹ Alla data di pubblicazione della presente norma il documento in vigore è "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni – Consiglio nazionale delle ricerche – Commissione di studio per la predisposizione e l'analisi di norme tecniche relative alle costruzioni".

- E è il modulo di Young (in Pa)
I è il momento di inerzia (in m⁴)

Per quanto applicabile e per quanto non in contrasto con la legislazione vigente, i principi di cui sopra per il solo dimensionamento nei riguardi dei carichi sopracitati possono essere applicabili anche a barriere del tipo integrate, ovvero che assolvono sia alla funzione antirumore che alla funzione di contenimento dei veicoli in svio.

5.4 Sicurezza in esercizio: resistenza agli impatti

Le barriere antirumore possono essere soggette a impatti che possono comportare danneggiamenti con potenziali conseguenze negative per gli utilizzatori della strada e per gli esterni eventualmente presenti in prossimità dell'infrastruttura.

Le conseguenze degli impatti sono riconducibili a diversi scenari in funzione della massa dell'oggetto impattante, della dinamica dell'urto, delle modalità costruttive delle barriere e delle caratteristiche dei prodotti utilizzati.

Le barriere antirumore non assolvono in genere alla funzione del contenimento del veicolo in svio. L'impatto sulla barriera deve essere prevenuto adottando una adeguata distanza dall'infrastruttura di trasporto, utilizzando una barriera di sicurezza a protezione della barriera antirumore o prevedendo un sistema combinato di sicurezza e antirumore.

La barriera di sicurezza a protezione della barriera antirumore deve essere individuata in base al livello di contenimento previsto per il tipo di strada e le caratteristiche del traffico. La barriera di sicurezza deve avere caratteristiche deformative tali da minimizzare i rischi associati al coinvolgimento della barriera antirumore nella dinamica dell'impatto.

Il criterio progettuale base comporta il posizionamento della barriera antirumore a una distanza dalla barriera di sicurezza tale da garantire il contestuale rispetto della "larghezza operativa W" e dell'"intrusione veicolare VI", secondo la EN 1317-2 e determinate con la prova di impatto con mezzo pesante. Tale distanza deve intendersi misurata tra le mutue posizioni delle facce anteriori (lato traffico) di barriera di sicurezza e barriera antirumore, comprendendo per quest'ultima anche la fondazione, se emergente dal piano stradale e quindi se potenzialmente coinvolgibile nella dinamica dell'impatto.

Nel caso in cui l'intervento risulti funzionalmente impossibile o tecnicamente inapplicabile secondo le indicazioni sopra riportate, chi progetta può prevedere il ricorso a una barriera di classe di contenimento superiore a quella minima prevista dalla legislazione vigente²² e, conseguentemente, individuare una distanza minore tra barriera di sicurezza e sistema antirumore dandone giustificazione all'interno della relazione tecnica delle barriere di sicurezza. In particolare, la definizione di tale distanza in fase di progettazione deve riferirsi ai criteri contenuti nella legislazione vigente di cui al precedente riferimento e, nel caso specifico, verificare che non sussistano interferenze nel caso di urto con la barriera del veicolo pesante (quindi che la distanza di progetto sia maggiore della "larghezza operativa W" e dell'"intrusione veicolare VI" calcolate per l'urto corrispondente alla classe minima indicata dalla legislazione vigente).

²² Al momento della pubblicazione della presente norma è in vigore il Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 21 giugno 2004 "Aggiornamento alle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e le prescrizioni tecniche per le prove delle barriere di sicurezza stradale".

Analoghe valutazioni possono essere svolte nel caso in cui l'installazione di una barriera antirumore sia realizzata dietro a una barriera di sicurezza esistente della quale non è prevista la sostituzione.

Una soluzione alternativa praticabile è rappresentata dall'impiego di sistemi di barriera integrate di sicurezza e antirumore introdotte sul mercato con la marcatura CE secondo la UNI EN 1317-5.

Un altro scenario di impatto da considerare nella progettazione delle barriere antirumore, anche quando integrano la funzione di barriera di sicurezza, è l'effetto di impatti secondari, per esempio per effetto di componenti che si distaccano dai veicoli in transito.

Questi impatti possono causare la rottura di componenti della barriera con la possibilità di formazione di frammenti in grado di provocare danni a persone o cose. Chi progetta deve valutare il livello di prestazione offerto dai prodotti utilizzati al fine di garantire un grado di sicurezza accettabile per la zona specifica di intervento. Questa valutazione è richiesta al fine di consentire l'inserimento della barriera antirumore in posizioni tali per cui la caduta di componenti o pezzi a seguito di un urto può arrecare danni agli utilizzatori della strada o persone e cose nelle vicinanze (per esempio nel caso di installazione su viadotti od opere in elevazione o quando la strada scavala un'infrastruttura ferroviaria).

In termini di pericolosità dei frammenti prodotti a seguito di impatto di oggetti pesanti, la prestazione deve essere valutata con una prova sperimentale in conformità alla UNI EN 1794-2. La dichiarazione riguarda tutti i prodotti ed è basata sulla effettuazione di due prove sperimentali (pendulum test) con diverso livello di energia di impatto:

- prova con massa impattante di 45 kg e livello di energia di impatto pari a 0,5 kJ;
- prova con massa impattante di 400 kg e livello di energia di impatto pari a 6,0 kJ;

Un criterio di valutazione dei risultati è il seguente: all'esito della prova con energia di impatto pari a 0,5 kJ non devono essere prodotti frammenti pericolosi per massa o forma.

Con la prova con energia di impatto pari a 6 kJ deve essere verificato il corretto funzionamento di sistemi di ritenuta che vincolano i pannelli alla struttura portante.

Con la stessa prova occorre verificare l'assenza di frammenti pericolosi per massa o forma prodotti da materiali fragili (per esempio lastre trasparenti). Questo risultato può essere ottenuto con sistemi di armatura interna o con sistemi di contenimento dei frammenti a corredo della barriera.

I sistemi antirumore posizionati lungo le infrastrutture di trasporto devono resistere agli impatti causati da pietre sollevate dalla superficie dell'infrastruttura, subendo al più danni superficiali.

La conformità di un sistema antirumore per infrastrutture di trasporto ai requisiti di resistenza all'impatto causato da pietre deve essere dimostrata da una prova sperimentale secondo la UNI EN 1794-1.

5.5 Sicurezza in caso di incendio

5.5.1 Generalità

Durante la progettazione delle barriere antirumore si dovrebbero valutare gli effetti di scenari di incendio che si distinguono per gravità in base al coinvolgimento della sola barriera, dei mezzi in circolazione e della sicurezza del traffico e dei ricettori presenti in prossimità dell'infrastruttura.

Per gli scenari riportati nel seguito sono indicate le modalità di valutazione degli effetti dell'incendio e i requisiti prestazionali che la barriera deve soddisfare in termini di modalità costruttive o di comportamento al fuoco dei materiali costituenti.

5.5.2 Scenario 1

Lo scenario 1 tratta gli incendi che si sviluppano a partire dalla vegetazione secca o da veicoli e mezzi in stretta vicinanza della barriera. In questi casi nelle scelte progettuali si dovrebbe prevenire:

- la propagazione della fiamma lungo la barriera;
- il ristagno dei fumi sulla carreggiata con potenziale pericolo per la circolazione;

La conformità di una barriera antirumore ai requisiti di resistenza all'incendio della macchia deve essere dimostrata da una prova sperimentale secondo la UNI EN 1794-2.

Il campione sottoposto a prova deve avere la medesima composizione della barriera che viene effettivamente installata. Se, per esempio, si vuole caratterizzare la prestazione al fuoco di una barriera composta da pannelli di materiali differenti, posti a diverse altezze dal suolo, il campione in prova deve essere costituito da pannelli dello stesso tipo e con la stessa posizione relativa.

La prova specificata secondo la UNI EN 1794-2 non sottopone alle medesime condizioni tutti i materiali di cui può essere composta una barriera antirumore (per esempio, in un sistema antirumore composto da pannelli di due materiali differenti, con cambiamento della tipologia a partire da 2 m dal suolo, i pannelli posti ad altezza maggiore non sono esposti alla fiamma di prova come quelli vicini al suolo).

Si dovrebbero inoltre rispettare le seguenti indicazioni progettuali:

- mantenere una distanza minima di 8 m tra i sistemi antirumore contenenti materiali non incombustibili e i più vicini siti di materiali infiammabili. Per distanze minori, i sistemi antirumore dovrebbero essere totalmente costruiti con materiali incombustibili;
- al fine di evitare la propagazione della combustione lungo barriere antirumore costruite con materiali non incombustibili, per tali barriere è facoltà di chi progetta includere soluzioni atte al contenimento della propagazione dell'incendio;
- le vie di fuga e/o accesso d'emergenza devono essere inserire in un modulo di barriera costruito con materiali incombustibili.

5.5.3 Scenario 2

Lo scenario 2 tratta gli incendi che si sviluppano in corrispondenza di strutture che ricoprono parzialmente o totalmente l'infrastruttura stradale (gallerie antirumore artificiali).

In questi casi nelle scelte progettuali si dovrebbe prevenire:

- la propagazione della fiamma lungo la barriera e in copertura;
- la caduta di componenti della struttura o di gocce incandescenti da porzioni della copertura del sistema antirumore;
- la perdita delle prestazioni meccaniche degli elementi strutturali a seguito dell'incremento della temperatura;
- il ristagno dei fumi al di sotto della copertura nel caso di gallerie artificiale con potenziale pericolo per la circolazione e per gli interventi dei mezzi antincendio.

In questi casi, in particolare per la progettazione di gallerie antirumore artificiali, l'attività di progettazione deve prevedere valutazioni dei possibili scenari di incendio con l'eventuale ausilio di modelli di fluidodinamica numerica (CFD) tenendo in conto:

- il carico di incendio;
- la propagazione dei fumi caldi nella galleria in relazione ai venti della zona e al sistema di ventilazione;
- i livelli di temperatura raggiunti dalle strutture della galleria artificiale anche in relazione al mantenimento del requisito strutturale;
- eventuali sistemi di spegnimento, i tempi e le modalità di intervento dei mezzi di soccorso.

In base alla tipologia di struttura (copertura parziale o totale della sede stradale, lunghezza della copertura) devono essere fissate le caratteristiche minime di reazione al fuoco secondo la UNI EN 13501-1 per i materiali o componenti impiegati:

- classe B o superiore per le coperture totali;
- classe E o superiore per le coperture parziali o per componenti dimensionati per favorire l'evacuazione dei fumi al di sotto della copertura.

Per le strutture portanti in acciaio deve essere prevista la protezione con vernici intumescenti per assicurarne la resistenza al fuoco.

5.5.4 Scenario 3

Lo scenario 3 tratta incendi che si sviluppano in galleria e che possono coinvolgere i rivestimenti fonoassorbenti delle pareti di galleria.

In questi casi per tutti i materiali impiegati deve essere verificato il raggiungimento della classe A1 (materiale incombustibile) secondo la EN 13501-1.

Le scelte progettuali devono tenere in considerazione le disposizioni legislative specifiche per le infrastrutture in galleria²³.

5.6 Sicurezza in caso di evacuazione di persone dalla sede stradale

La realizzazione di una barriera antirumore limita in casi specifici l'accesso alle zone adiacenti, sia all'interno del sedime stradale, sia in altri contesti. In corrispondenza di tali zone, può invece essere richiesto un accesso diretto in particolari circostanze, quali per esempio:

- manutenzione;
- accesso dei soccorsi in caso di incidente;
- vie di fuga per gli occupanti dei veicoli in caso di incidente.

²³ Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore la Direttiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004 relativa ai requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della Rete stradale transeuropea, recepita con Decreto legislativo 5 ottobre 2006, n. 264 "Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea."

In corrispondenza di tali aperture deve essere previsto uno spazio di accumulo per le persone con area non minore di 20 m². Ove necessario devono essere previste scale di servizio.

Quando previste per fini di sicurezza, le porte devono essere apribili verso l'esterno rispetto alla sede stradale con maniglione di tipo "antipanico" senza richiedere l'uso di chiavi.

Tutti gli organi di manovra e di apertura devono essere di elevata robustezza e durata con garanzia di funzionamento anche in presenza di situazioni climatiche avverse.

Le porte sono realizzate, in genere, con gli stessi elementi acustici costituenti il sistema antirumore. In corrispondenza di esse devono essere previste scale di servizio in conformità alla legislazione vigente in materia di sicurezza. Le porte di servizio devono essere adeguatamente segnalate.

Ove ne sia previsto l'impiego, la progettazione di dette porte di servizio e la loro dislocazione lungo l'opera deve essere preventivamente approvata dal committente. In caso di emergenza in cui ci si debba spostare camminando la sede stradale, tale dislocazione non dovrebbe comportare per le persone coinvolte un percorso maggiore di 500 m.

Le dimensioni minime del vano porta devono essere le seguenti: altezza 2,10 m, larghezza 0,90 m.

Per le porte di servizio non sono richiesti particolari valori di assorbimento acustico.

Le porte di servizio devono avere un indice di valutazione del potere fonoisolante minimo di 24 dB in conformità alla UNI EN 1793-6 (DLS_I).

Nelle zone in cui gli spazi lo consentono, le vie di fuga possono essere realizzate con porzioni di barriera antirumore planimetricamente sovrapposte in modo da assicurare l'isolamento acustico della barriera antirumore senza l'installazione di porte o altri sistemi di chiusura.

5.7 Effetto delle barriere antirumore sulla visibilità

Le superfici con cui vengono realizzate le barriere antirumore possono alterare, in determinate condizioni, la corretta visibilità per gli utilizzatori della strada.

In particolari condizioni di luminosità e per angoli di incidenza specifici, la riflessione della luce solare o dei sistemi di illuminazione dei veicoli sulle barriere antirumore può raggiungere livelli di intensità tali da confondere o abbagliare i guidatori, pregiudicando la sicurezza stradale. Questo effetto dipende da parametri specifici dei prodotti e dei siti di installazione.

Chi progetta deve considerare questi aspetti specificando valori limite di riflessività determinati in conformità al metodo di prova secondo la UNI EN 1794-2.

In ogni caso, si devono adottare particolari accorgimenti, ovunque necessario, per evitare fenomeni di riflessione ottica diurna e notturna, utilizzando, per esempio, verniciature a basso indice brillantezza (gloss) per le superfici metalliche.

La trasparenza della barriera antirumore è un fattore da considerare in fase di progettazione per garantire ai guidatori la visibilità di ostacoli, segnaletica o altri veicoli in transito su altre corsie (trasparenza dinamica).

Si tratta invece di trasparenza statica quando la visibilità attraverso la barriera deve essere garantita per i residenti nelle aree limitrofe alla strada.

I valori di trasparenza statica e dinamica devono essere valutati in conformità al metodo di prova secondo la UNI EN 1794-2.

5.8 Durabilità

Le barriere antirumore devono mantenere i requisiti acustici, strutturali e di sicurezza per la vita utile dichiarata dal produttore in base alle tipologie di materiali utilizzati, alle modalità costruttive e alle condizioni normalizzate di esposizione agli agenti atmosferici.

Chi produce dichiara la vita utile della barriera antirumore secondo la UNI EN 14389.

La vita utile in genere è dichiarata distintamente per i componenti strutturali e per i pannelli acustici.

I prodotti impiegati per i pannelli acustici devono assicurare una vita utile non minore di 15 anni.

I componenti strutturali devono avere una vita utile non minore di 25 anni.

Il manuale di manutenzione redatto chi produce raccoglie le indicazioni per il montaggio e le procedure manutentive che il gestore della strada deve implementare affinché la vita utile dichiarata possa essere garantita.

Allo scopo sono previste attività ispettive basate su ispezione di tipo visivo, controlli puntuali o strumentali finalizzati alla sorveglianza. Per esempio, le prestazioni acustiche della barriera sono verificabili in opera a seguito dell'installazione e a distanza di tempo tramite procedure speditive secondo la UNI EN 1793-5 e la UNI EN 1793-6.

Le attività ispettive sono pianificate dal gestore con frequenza e modalità definite dal caso specifico di barriera installata.

Le attività ispettive individuano la necessità di eseguire interventi di manutenzione ordinaria o straordinaria (per esempio in caso di incidenti o di atti di vandalismo).

5.9 Protezione atti vandalici

In tutti i casi si dovrebbero adottare accorgimenti in grado di impedire per quanto possibile gli atti vandalici, in particolare l'asportazione dei componenti e l'imbrattamento da graffiti.

Qualora il sistema antirumore sia costituito anche da elementi di facile asportabilità, la rimozione degli stessi deve essere impedita o resa difficoltosa con opportuni accorgimenti.

Altri atti vandalici particolarmente frequenti sono i cosiddetti "graffiti", ovvero disegni e/o scritte imbrattanti. L'esperienza dimostra che la rimozione di graffiti eseguita su supporti non preventivamente trattati dà risultati non sempre soddisfacenti, in funzione del tipo di materiale costituente il prodotto antirumore, delle caratteristiche chimiche delle vernici utilizzate e del tempo intercorso fra l'esecuzione del graffiti e l'azione di ripristino. La rimozione dei graffiti necessita infatti di un intenso trattamento meccanico e chimico, a base di solventi, che è costoso, produce inquinamento e spesso lascia aloni o scoloriture o rovina il supporto.

Per le lastre trasparenti in polimetilmetacrilato, policarbonato e vetro si dovrebbe effettuare il trattamento antigraffiti da applicare secondo le indicazioni di chi lo produce.

Le altre superfici compatte possono essere opportunamente trattate con vernici poliuretaniche bicomponenti a base acquosa, esenti da solventi, trasparenti o pigmentate. Sulle superfici compatte il trattamento antigraffiti non consente alla vernice di creare un film. Una parte di essa forma delle microsfere ad aderenza ridotta, mentre il resto scivola via ed è facilmente rimovibile. Per la pulizia è allora sufficiente un getto d'acqua in pressione.

Sulle superfici porose (legno, calcestruzzo poroso, ecc.) il trattamento antigraffiti deve comunque garantire un'efficace pulizia, da effettuarsi con prodotti idonei, senza danneggiamento del supporto.

Le modalità di impiego delle vernici protettive devono essere chiaramente descritte in apposite schede tecniche, riportanti anche i prodotti da utilizzare per la rimozione dei graffiti, eventualmente differenziati in funzione del supporto. Resta salva la facoltà da parte del soggetto addetto alla rimozione di utilizzare prodotti o modalità di rimozione diversi.

Laddove è possibile, si dovrebbero eseguire in opera dei cicli di verniciatura protettiva.

I trattamenti devono garantire una efficace e completa rimozione dei graffiti (almeno entro un anno dall'esecuzione del graffito). I prodotti impiegati dovrebbero garantire una prestazione protettiva per almeno cinque anni, consentendo entro questo lasso di tempo almeno quindici operazioni di trattamento di rimozione dei graffiti sullo stesso supporto, senza dover ripetere il trattamento preventivo dopo ogni rimozione. La garanzia di rimozione deve valere per tutti i prodotti attualmente in commercio utilizzati per l'esecuzione di graffiti, ovvero bombolette spray acriliche, sintetiche o bituminose.

I prodotti antigraffiti devono essere stabili nel tempo e non cambiare tonalità di colore a causa degli UV o degli agenti atmosferici.

Inoltre, qualora i prodotti utilizzati abbiano comprovate caratteristiche di idrorepellenza, il trattamento di cui al presente punto rende superflui i trattamenti volti a rendere la superficie del supporto idrofuga o idrorepellente, laddove siano richieste dai capitolati di gara.

5.10 Sostenibilità ambientale

Le disposizioni della legislazione nazionale vigente²⁴ si applicano a tutti i contratti di appalto aventi per oggetto l'esecuzione di lavori e la prestazione di servizi di progettazione di infrastrutture, ossia includendo interventi di costruzione, manutenzione e adeguamento, l'esecuzione di lavori e le concessioni di lavori.

Per i prodotti da costruzione impiegati per le infrastrutture stradali la legislazione nazionale è orientata alla determinazione di un quantitativo minimo di materia recuperata, riciclata o di sottoprodotto, espresso come rapporto tra la somma della massa delle tre frazioni rispetto alla massa complessiva del prodotto. Per sottoprodotto si intendono gli scarti e sfridi di lavorazione a uso interno allo stesso processo produttivo che li ha generati, o da scarti e sfridi di lavorazione generati da altri processi produttivi oppure da processi di simbiosi industriale²⁵.

Per la barriera antirumore tale valutazione deve essere effettuata con riferimento ai valori limite fissati dalla legislazione vigente che stabilisce anche le modalità di certificazione²⁶.

²⁴ Al momento della pubblicazione della presente norma è in vigore il Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica 5 agosto 2024 "Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali (CAM Strade)".

²⁵ Al momento della pubblicazione della presente norma, tale definizione è data dall'articolo 184 bis del Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale".

²⁶ Al momento della pubblicazione della presente norma è in vigore il Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica 5 agosto 2024 "Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali (CAM Strade)", in particolare i paragrafi 2.3.10 e 2.1.2.

Per la valutazione della prestazione ambientale dei sistemi antirumore sull'intero ciclo di vita si raccomanda la predisposizione della dichiarazione ambientale di prodotto (EPD) redatta in conformità alla UNI EN 15804 e alla UNI EN 17383.

6 REQUISITI PRESCRIZIONALI DEI PRODOTTI E DEI MATERIALI

6.1 Generalità

I componenti di sistemi antirumore per infrastrutture di trasporto possono essere realizzati con diversi materiali e prodotti che devono garantire le prestazioni acustiche, non acustiche, di durabilità e di sostenibilità ambientale in funzione del sito di installazione a cui sono destinati.

Nella presente norma, i requisiti prestazionali che i sistemi antirumore per infrastrutture di trasporto devono soddisfare sono specificati al punto 5.

Il presente punto specifica quali sono le caratteristiche fisiche e chimiche rilevanti dei materiali costituenti impiegati nella costruzione del prodotto finito e indica valori di riferimento per tali caratteristiche che permettano al sistema antirumore di raggiungere le prestazioni dichiarate e mantenerle per l'intera durata della vita di servizio nelle normali condizioni di impiego e previo il rispetto delle indicazioni manutentive.

Vengono trattati prima gli elementi acustici e poi gli elementi strutturali, distinguendo di volta in volta tra le principali famiglie di materiali. Sono quindi trattati guarnizioni e sigillanti, accessori metallici, e porte di servizio.

Infine, vengono trattati i sistemi antirumore, per i quali non è sempre possibile distinguere tra elementi acustici ed elementi strutturali (terrapieni naturali e in terra rinforzata, biomuri, barriere inverdibili a basso ingombro trasversale).

6.2 Elementi acustici

6.2.1 Generalità

Gli elementi acustici possono essere realizzati con una cassetta in metallo, legno, PVC o altro materiale contenente un pannello di natura in genere fibrosa che contribuisce al raggiungimento delle prestazioni acustiche.

Gli elementi acustici in calcestruzzo sono del tipo bistrato, con uno strato aente funzione portante e realizzato in calcestruzzo armato e uno strato in materiale alleggerito con funzione fonoassorbente.

Gli elementi acustici trasparenti sono realizzati con una lastra in materiale trasparente e una cornice metallica che ne consente l'inserimento o il collegamento con la struttura portante.

6.2.2 Elementi acustici con cassetta metallica

6.2.2.1 Caratteristiche generali

Gli elementi acustici con cassetta metallica sono costituiti da uno o più gusci in lamiera metallica con eventuali nervature di irrigidimento, in genere preassemblati per costituire un pannello scatolato tale da contenere e dare stabilità ai materiali interni.

La cassetta metallica può essere realizzata in lega di alluminio, di acciaio o di altro metallo, adeguatamente protetto contro la corrosione.

Presenta almeno un lato forato che deve essere tale da garantire le caratteristiche prestazionali del pannello e avere una percentuale di vuoto su pieno compresa nell'intervallo dal 30% al 50%.

Si raccomanda l'adozione di fori in un range compreso tra 2 e 8 mm.

Il pannello deve essere costruito in modo da evitare l'accumulo dell'acqua piovana.

6.2.2.2

Caratteristiche della lamiera in lega di alluminio

La lamiera in lega d'alluminio deve essere in lega Alluminio-Magnesio-Manganese (Al-Mg-Mn) del gruppo 3xxx in conformità alla UNI EN 573-1.

Lo spessore della lamiera in lega d'alluminio non rivestita deve essere maggiore o uguale a 1,0 mm.

Lo stato fisico dell'alluminio, indipendentemente dal tipo di lega, deve essere tale da permettere la formabilità a freddo senza che siano compromesse le caratteristiche meccaniche (per esempio a causa della formazione di cricche).

La lega metallica non deve essere stabilmente in contatto con materiale di diverso potenziale elettrico al fine di prevenire fenomeni di corrosione per effetto galvanico.

6.2.2.3

Caratteristiche della lamiera in acciaio

Se la lamiera d'acciaio è zincata, questa deve avere caratteristiche meccaniche non minori di quelle del tipo S235JR in conformità alla UNI EN 10025.

Lo spessore della lamiera d'acciaio zincato non rivestita impiegata per realizzare la parte piena della cassetta deve essere maggiore o uguale a 1,0 mm.

Lo spessore della lamiera d'acciaio zincato non rivestita impiegata per realizzare la parte forata della cassetta deve essere maggiore o uguale a 0,8 mm.

In ogni caso, la lega metallica scelta deve essere tale da permettere la formabilità a freddo senza che siano compromesse le caratteristiche meccaniche (per esempio a causa della formazione di cricche).

Il rivestimento di zinco deve avere caratteristiche non minori di quelle del tipo Z275 (grammatura 275 g/m²) in conformità alla UNI EN 10346 e alla UNI EN 10143.

Per la realizzazione della parte forata della cassetta è ammesso l'impiego di lamiere stirate di spessore non minore di 1,0 mm in sostituzione delle lamiere forate.

Nel caso di impiego di lamiera in acciaio cor-ten, questa deve avere caratteristiche meccaniche non minori di quelle del tipo S355J0W in conformità alla UNI EN 10025.

6.2.2.4

Verniciatura dei gusci metallici

I colori sono definiti di volta in volta dal progetto. In tutti i casi si raccomanda che il valore di brillantezza (*gloss*) sia tale da evitare che la superficie della barriera produca una riflessione della luce solare o dei sistemi di illuminazione dei veicoli tale da confondere o abbagliare chi guida.

Tutti i componenti metallici degli elementi acustici devono essere verniciati prima dell'assemblaggio.

Il film di vernice deve avere i requisiti specificati nel prospetto 3.

prospetto 3 **Prove sui prodotti verniciati e valori raccomandati delle corrispondenti proprietà**

Descrizione	Metodo di prova	Valori raccomandati
Valutazione dello spessore del film di vernice	UNI EN ISO 2360	>60 µm
Determinazione della brillantezza	UNI EN ISO 2813	30 ± 5 gloss
Valutazione del grado di aderenza	UNI EN ISO 2409	Classe 0 (nessun distacco)
Valutazione della durezza all'impronta Buchholz	UNI EN ISO 2815	>80
Valutazione della resistenza all'urto	UNI EN ISO 6272	Nessun distacco o fessurazione
Prova di resistenza alla corrosione in camera a nebbia salina neutra	UNI ISO 9227	Dopo 1500 h di esposizione per l'alluminio (500 h per l'acciaio zincato), l'arrugginimento e/o la bollatura lungo l'incisione non devono penetrare per più di 16 mm ² per un taglio di 100 mm, con un massimo di 4 mm per ogni infiltrazione. Non è ammessa altra alterazione visibile o perdita di aderenza
Determinazione della resistenza all'umidità	UNI EN ISO 6270-1	Dopo 1000 h di esposizione, nessuna formazione di bolle e penetrazione <1 mm

6.2.3 Elementi acustici con cassetta in legno

Il pannello antirumore in legno è in genere realizzato con una cassetta costituita da un telaio perimetrale portante, un lato tamponato da una perlinatura in legno fissata al telaio e il lato rivolto alla sorgente di rumore realizzato con listelli in legno anch'essi fissati al telaio.

Possono essere realizzati con essenze legnose di conifera ("tenero"), per esempio di pino o larice. È previsto anche l'uso di legno lamellare per la realizzazione del telaio del pannello.

Gli elementi in legno forniti devono essere accompagnati da certificati attestanti l'origine del materiale, il tipo del legno utilizzato e la certificazione ambientale di riforestazione, del tipo FSC (Forest Stewardship Council) o similare.

Tutti gli elementi in legno devono essere realizzati in legno di ottima qualità, esente da radici, funghi, muffe e discolorazioni, trattato in autoclave e munito di certificazione decennale contro marcescenza. Non si devono utilizzare elementi danneggiati dalle attività di movimentazione o da attacchi da parte di batteri o insetti. Analogamente, non si devono accettare elementi che presentino cricche, fessure profonde e nodi non collegati fermamente alla struttura.

Quando prevista l'impregnazione, essa deve essere eseguita in autoclave, mediante la tecnologia "vuoto-pressione", con prodotti pigmentati tipo C-Bo-C (Rame - Boro - Betaina o Rame organico) o comunque definiti "ecologici", ad alto residuo secco.

L'impregnazione deve essere spinta fino a circa 6 mm di profondità delle zone di alburno (parte esterna del tronco).

Devono inoltre essere verificate le caratteristiche indicate al prospetto 4.

prospetto 4 caratteristiche del legno costituente la cassetta		
Descrizione	Metodo di prova	Valori raccomandati
Aspetto degli elementi di legno	-----	Legno di ottima qualità, esente da radici, funghi e muffe. Non sono accettabili elementi danneggiati dagli attacchi da parte di batteri o insetti. Non sono accettabili elementi che presentino cricche, fessure profonde e nodi non collegati fermamente alla struttura.
Durabilità del legno massiccio (Classi di utilizzo, di rischio dall'attacco biologico e guida ai requisiti di durabilità nelle classi di rischio)	UNI EN 335 UNI EN 460	Classe 2
Durabilità del legno massiccio (Principi di prova e al trattamento delle specie di importazione in Europa)	UNI EN 350	Certificata
Legno lamellare – classe di resistenza	UNI EN 14080 e UNI EN 1194	classe GI24C
Classe di impregnazione: prodotti per l'impregnazione	UNI EN 350	Classe 3
Classificazione di penetrazione e ritenzione del preservante	UNI EN 351-1	Conforme

Il legno utilizzato deve provenire da foreste gestite in maniera sostenibile nel rispetto delle norme ambientali di corretta politica forestale.

Le caratteristiche minime raccomandate per la struttura del pannello, al fine di garantire una durabilità non minore di 15 anni, dovrebbero essere le seguenti caratteristiche:

- telaio scatolare realizzato con elementi avvitati alle estremità in legno di massello con sezione adeguata;
- tavolato di tamponamento composto da assiti trattati, di spessore non minore di 19 mm, fissato sia in lunghezza che in altezza in almeno tre punti con viti;
- tessuto antispolvero in rete di polietilene HDPE (grammatura 110 gr/m²) resistente ai raggi UV, con tramatura rinforzata, da posizionare anteriormente a protezione del materassino interno.

I listelli in legno, che possono avere disposizioni geometriche diverse, devono essere trattati in autoclave, avere sezione adeguate ed essere opportunamente lavorati e sagomati e fissati con viti alle estremità, in fori predisposti.

Si dovrebbe utilizzare una scossalina in lamierino di acciaio verniciato a protezione superiore dei pannelli.

Tutte le viti utilizzate per l'assemblaggio del pannello devono essere tropicalizzate o in acciaio inox.

6.2.4 Elementi acustici con cassetta in materiale plastico

Gli elementi acustici con cassetta in materiale plastico sono costituiti da uno o più gusci di materiale plastico con eventuali nervature di irrigidimento, in genere preassemblati fino a costituire un pannello portante.

Il pannello, realizzato in materiale plastico, può essere provvisto di bordi sagomati.

La foratura deve essere tale da garantire le caratteristiche prestazionali del pannello e avere una percentuale di vuoto su pieno compresa tra il 30% ed il 50%. Il pannello deve essere costruito in modo da evitare l'accumulo dell'acqua piovana.

Le tipologie di materiale plastico di comune utilizzo sono:

- PC (policarbonato) presente anche in compound con altri materiali, per esempio ABS (Acrilonitrile-Butadiene-Stirene) o PBT (PoliButilTereftalato) trasformato per processo di iniezione e stampaggio;
- PVC trasformato per processo di estrusione.

Le caratteristiche fisico-meccaniche dei prodotti ottenuti a partire dai materiali plastici sopraindicati sono riportate nei prospetti sotto riportati.

il composito deve possedere almeno le caratteristiche indicate nel prospetto 5 per il PC e nel prospetto 6 per il PVC.

prospetto 5 Caratteristiche del materiale plastico PC		
Caratteristica	Metodo di prova	Valori di riferimento
Massa volumica/Densità	ISO 1183	1,2 g/cm ³
Trazione - carico a snervamento	UNI EN ISO 527-2	Compreso tra 50 e 55 MPa
Trazione - modulo elastico	UNI EN ISO 527-2	Compreso tra 2100 e 2400 MPa
Resilienza - Izod con intaglio a 23 °C	UNI EN ISO 180	Da 500 MPa a 570MPa
Temperatura di rammollimento - Vicat B50 (50 N)	UNI EN ISO 306	da 125 °C a 140 °C

prospetto 6 Caratteristiche del materiale plastico PVC		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore minimo o massimo ¹⁾
Massa volumica	UNI EN ISO 1183-1	da 1,45 kg/dm ³ a 1,65 kg/dm ³
Trazione - carico a snervamento	UNI EN ISO 527-2	da 28 N/mm ² a 60 N/mm ²
Trazione - modulo elastico	UNI EN ISO 527-2	da 2700 MPa a 3800 MPa
Resilienza - Izod con intaglio a 23 °C	UNI EN ISO 180	>30 J/m
MFI (Melt flow index)	ISO 1133	>10 g/10min
Temperatura di rammollimento - Vicat B50 (50 N)	UNI EN ISO 306	da 74 °C a 84 °C

6.2.5 Materiale interno per elementi acustici del tipo a cassetta

6.2.5.1 Generalità

Il materiale da posizionare all'interno degli elementi acustici del tipo a cassetta può essere costituito da differenti complessi porosi (aggregati fibrosi minerali o plastici, schiume sintetiche, ecc.) che sfruttano i fenomeni di dissipazione dell'energia sonora per attrito e/o risonanza.

Il presente punto analizza le singole tipologie di materiali utilizzati.

6.2.5.2 Lane minerali

La lana minerale si distingue tra fibre di roccia e fibre di vetro. Si tratta di prodotti riconducibili a processi produttivi diversi.

Per evitare l'impregnazione delle fibre minerali e/o la ritenzione di liquido, che potrebbero degradare le caratteristiche meccaniche e acustiche del materiale stesso, possono essere impiegati sistemi protetti da una membrana microporosa e idrorepellente, posta sul lato dell'elemento acustico rivolto verso la sorgente del rumore.

Per assicurare le proprietà acustiche, di resistenza e di durabilità i pannelli in lana minerale devono soddisfare i requisiti riportati nel prospetto 7.

prospetto 7 **Valori raccomandati di alcune proprietà delle lane minerali**

Caratteristica	Metodo di prova	Valori di riferimento
Resistenza all'acqua	Secondo il seguente procedimento: si pone un provino del materiale in esame, di dimensioni 100 mm x 100 mm e spessore come nelle reali condizioni d'impiego, completamente immerso in acqua distillata per 24 h a temperatura ambiente.	Al termine della prova non devono essere avvenuti né sfaldamenti né colorazione rispettivamente del provino e dell'acqua.
Resistenza al calore	Secondo il seguente procedimento: si pone un provino del materiale in esame, di dimensioni 100 mm x 100 mm e spessore come nelle reali condizioni d'impiego, in una stufa a 80 °C per 24 h poggiaando su una delle due facce quadrate (100 mm x 100 mm).	Al termine della prova non devono essere avvenute variazioni di lunghezza o larghezza del provino maggiori di 5 mm, né variazioni di spessore maggiori di 1 mm.

Ancoraggio del pannello in lana nella cassetta metallica	Secondo il seguente procedimento: l'elemento acustico, o una sua porzione significativa, disposto in posizione verticale, è sottoposto per 24 h a vibrazione, anch'essa verticale, con frequenza 10 Hz di ampiezza picco picco pari a 1mm	Al termine della prova, l'ancoraggio del materiale fonoassorbente deve avere resistito alla sollecitazione applicata senza sfaldamenti né distacchi del materiale stesso.
Spessore strato		>50 mm
Diametro medio delle fibre	UNI 6484	>6 μm
Massa volumica apparente	UNI 6485	lana di roccia: da 70 kg/m ³ a 120 kg/m ³ lana di vetro: da 40 kg/m ³ a 60 kg/m ³
Grado di igroscopicità	UNI 6543 (tempo di prova = 1 giorno)	0,2% in volume

Le fibre minerali devono seguire la legislazione vigente²⁷ ed rispettare seguenti requisiti:

- il lato direttamente esposto (per esempio quello che corrisponde alla lamiera forata del pannello metallico di contenimento) deve essere ricoperto da un rivestimento con velo di vetro in colorazione nero o giallo;
- devono essere conformi alla UNI EN 13162 in conformità al metodo di prova secondo la UNI EN ISO 29766;
- devono possedere squadratura di ± 5 mm/m, in conformità ai metodi di prova secondo la UNI EN 824;
- devono possedere planarità di ± 6 mm/m, in conformità al metodo di prova della UNI EN ISO 29468.

Per quanto riguarda la lana di roccia si può fare riferimento alle seguenti specifiche tecniche aggiuntive rispetto a quelle riportate nel prospetto 7:

²⁷ Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore il Regolamento (CE) N 1272/2008 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele che modifica e abroga le direttive 67/548/CEE e 1999/45/CE e che reca modifica al regolamento (CE) n. 1907/2006 e successive modifiche e/o integrazioni.

- la lana di roccia deve essere realizzata da fibre minerali derivanti dalla fusione di miscele basaltiche trattate poi con resine termoindurenti e additivate da emulsione antipolvere;
- il lato direttamente esposto (per esempio quello che corrisponde alla lamiera forata del pannello metallico di contenimento) deve essere ricoperto da un velo-vetro con massa superficiale non minore di 80 g/m² al fine di evitare la eventuale dispersione delle fibre;
- i pannelli non devono dare origine a fenomeni di corrosione dei metalli a causa della migrazione di ioni liberi;
- il pH medio a freddo deve essere compreso tra 8 e 9;

Per le fibre minerali (roccia o vetro) deve essere esclusa la classificazione di sostanza pericolosa in relazione a quanto previsto dalla legislazione vigente²⁸.

6.2.5.3 Fibre a base poliestere

La fibra di poliestere è un materiale isolante e fonoassorbente ottenuto dal riciclo di plastiche PET, che sono ridotte in fibre e termoleggiate per realizzare pannelli di vari spessori e densità. A fine vita i pannelli sono interamente riciclabili.

Per assicurare le proprietà acustiche, di resistenza e di durabilità i pannelli in fibra a base poliestere devono soddisfare i requisiti riportati nel prospetto 8.

prospetto 8 Valori raccomandati di alcune proprietà dei pannelli in fibra a base poliestere

Caratteristica	Metodo di prova	Valori di riferimento
Spessore strato	-	>50 mm
Diametro medio delle fibre	UNI 6484	>15µm
Lunghezza delle fibre	-	>55 mm
Massa volumica apparente	UNI 6485	da 30 kg/m ³ a 50 kg/m ³
Grado di igroscopicità	UNI 6543 (tempo di prova = 1 giorno)	0,2% in volume

²⁸ Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore il Regolamento (CE) Regolamento (CE) n. 1272/2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele.

Se il materiale fonoassorbente è costituito da fibre plastiche, le fibre devono essere termolegate senza l'utilizzo di collanti termoindurenti.

I pannelli sono sottoposti a un processo di lisciatura mediante microfusione superficiale per aumentarne le caratteristiche di non sfibrabilità.

6.2.5.4

Fibre naturali

Tra le fibre naturali utilizzate in edilizia per i pannelli antirumore trova impiego la fibra di canapa ricavata dalla parte esterna del fusto della pianta Canapa Sativa.

La fibra di canapa è costituita principalmente da cellulosa (60-70%) che conferisce al materiale resistenza meccanica e rigidità, emicellulosa (15-25%) e lignina (3-5%), polimero complesso e altamente ramificato che agisce come un legante per le fibre di cellulosa, conferendo rigidità e resistenza alla decomposizione.

Per la realizzazione dei pannelli, la canapa si lega ad altre fibre di origine acrilica, acrilica biodegradabile o naturale, consentendo di realizzare prodotti con prestazioni di isolamento termico, assorbimento acustico, permeabili al vapore, non marcescenti e inattaccabili da insetti o roditori.

I pannelli sono prodotti con diversi spessori e sono caratterizzati da un valore di resistenza alla diffusione del vapore minore di 2 e misurato secondo la UNI EN 12086.

Il valore di densità raccomandato per l'impiego nei pannelli antirumore è compreso in un range 85-115 kg/m³.

6.3 Elementi acustici di calcestruzzo

6.3.1 Generalità

Gli elementi acustici di calcestruzzo sono costituiti da pannelli prefabbricati a uno o più strati, nei quali la funzione portante è assicurata dallo strato in calcestruzzo armato, mentre l'eventuale funzione fonoassorbente è assicurata da uno strato in calcestruzzo alleggerito (con argilla espansa, pomice o impasto di cemento e fibra di legno mineralizzata), di forma tale da assicurare le caratteristiche acustiche richieste e rivolto verso la sorgente di rumore.

Gli strati sono normalmente abbinati in fase di getto con la tecnica del fresco su fresco. Con questa modalità i tempi di getto devono essere ravvicinati in modo da garantire la contemporaneità del fenomeno di presa.

Alternativamente, è prevista la produzione di moduli fonoassorbenti in materiale poroso alleggerito (argilla espansa, pomice o impasto di cemento e fibra di legno mineralizzata) applicati successivamente allo strato in calcestruzzo armato in fase di getto, con la tecnica della solidarizzazione a fresco, incollaggio con malte specifiche o fissaggio su calcestruzzo maturo tramite tasselli meccanici.

L'eventuale colorazione del pannello può essere ottenuta con pigmentazione dell'impasto o verniciatura superficiale che non pregiudichi le proprietà fonoassorbenti.

6.3.2 Strato in calcestruzzo armato

Lo spessore dello strato portante in calcestruzzo armato deve essere non minore di 8 cm.

Il calcestruzzo deve essere prodotto e impiegato secondo quanto previsto dalla legislazione vigente²⁹.

In particolare, per quanto concerne la durabilità, tenuto conto dell'ambiente di utilizzo, le caratteristiche dello strato in cemento armato (per esempio copriferro) devono essere adeguate alla classe di esposizione corrispondente nel rispetto di quanto indicato dalla legislazione vigente²⁹, e dalla UNI EN 206-1 e UNI 11104.

In ogni caso, il calcestruzzo deve rispondere ai seguenti requisiti:

- classe di esposizione minima XC4;
- classe di resistenza minima C32/40 ($R_{ck} \geq 40 \text{ N/mm}^2$);
- rapporto acqua/cemento $\leq 0,45$;
- classe di consistenza compreso tra S3 ed S5.

L'armatura deve essere in barre d'acciaio o reti elettrosaldate tipo B450 A/C.

Il copriferro deve avere un valore minimo calcolato in accordo alle disposizioni della legislazione vigente²⁹.

Le testate del pannello in calcestruzzo devono essere attrezzate almeno su un lato con idonee guarnizioni in EPDM al fine di garantire una adeguata tenuta acustica ed evitare il contatto diretto della superficie in calcestruzzo con il montante metallico.

Le guarnizioni hanno la funzione di assicurare la tenuta acustica del sistema oltre che di evitare rotture del pannello o asportazioni degli strati protettivi dei montanti metallici.

6.3.3 Materiali fonoassorbenti

6.3.3.1 Argilla espansa in granuli

Il materiale fonoassorbente a base di argilla espansa è costituito da un conglomerato di argilla espansa con fuso granulometrico usualmente compreso fra 0 mm e 8 mm e legante cementizio. Fusi diversi devono essere giustificati tramite prove sulle miscele in termini di resistenza e di prestazione acustica.

Per l'impiego dell'argilla espansa in conglomerati cementizi non strutturali devono essere rispettate le caratteristiche specificate nel prospetto 8.

Se il materiale fonoassorbente è costituito da elementi vibrocompressi fonoassorbenti in calcestruzzo di argilla espansa solidarizzati a una struttura portante in calcestruzzo o metallo, tali elementi devono presentare le caratteristiche specificate nel prospetto 9.

²⁹ Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore il Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»" e la Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 "C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".

prospetto 9 Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà dell'argilla espansa in granuli utilizzata in conglomerati cementizi non strutturali o elementi vibrocompressi fonoassorbenti in calcestruzzo di argilla espansa solidarizzati ad una struttura portante

Caratteristica	Metodo di prova	Valori di riferimento
Massa volumica in mucchio dei granuli di argilla espansa	UNI EN 13055	Tra 350 kg/m ³ e 850 kg/m ³
Diametro massimo dei granuli di argilla espansa	UNI EN 13055	Tra 10 mm e 12 mm
Dosaggio del cemento (pozzolanico, Portland o di altoforno)		Da 200 kg a 350 kg per m ³ di inerti
Massa volumica del calcestruzzo di argilla espansa		Non maggiore di 1500 kg/m ³
Spessore dello strato in calcestruzzo poroso		Non minore di 50 mm
Resistenza media a compressione del calcestruzzo di argilla espansa misurata su cubetti stagionati con lato di 100 mm	UNI EN 12390-1	5 N/mm ²

6.3.3.2 Inerte naturale di pomice

Il materiale fonoassorbente a base di inerte naturale di pomice è costituito da uno strato di calcestruzzo poroso di pomice, non strutturale, ottenuto con inerti di granulometria compresa tra 0 mm e 15 mm e un dosaggio di cemento non minore di 200 kg per m³ di inerte.

Per l'impiego dell'inerte naturale di pomice in conglomerati cementizi non strutturali devono essere rispettate le seguenti caratteristiche:

- massa volumica in mucchio dell'inerte naturale di pomice secondo la UNI EN 13055, compresa preferibilmente tra 750 kg/m³ e 950 kg/m³;
- diametro dei granuli non maggiore di 15 mm;
- cemento pozzolanico, Portland o di altoforno dosato da 200 kg a 350 kg per m³ di inerti;
- massa volumica del calcestruzzo con inerte naturale di pomice non maggiore di 1 200 kg/m³;
- spessore dello strato in calcestruzzo poroso variabile ma comunque non minore di 30 mm;
- resistenza media a compressione del calcestruzzo con inerte naturale di pomice non minore di 5 N/mm² misurata su cubetti stagionati con lato di 100 mm secondo la UNI EN 12390-1.

Per l'impiego dell'inerte naturale di pomice in elementi vibrocompressi, da solidarizzare a una struttura portante in calcestruzzo o metallo, devono essere rispettate le seguenti caratteristiche:

- massa volumica in mucchio dell'inerte naturale di pomice secondo la UNI EN 13055, compresa preferibilmente tra 750 kg/m³ e 950 kg/m³;
- diametro dei granuli non maggiore di 15 mm;
- massa volumica del calcestruzzo con inerte naturale di pomice non maggiore di 1 200 kg/m³.

6.3.3.3 Fibre di legno mineralizzato

La prima tipologia di fibre di legno mineralizzato è costituita da materassini in fibre agglomerate ad alta temperatura con cristalli a forte proprietà leganti, atossici e totalmente riciclabili.

I componenti base sono il legno e la magnesite; l'alta temperatura permette di operare la mineralizzazione progressiva nel tempo.

La magnesite usata per la produzione di materassini è la "magnesite caustica", chimicamente ossido di magnesio, che viene ottenuta per calcificazione di magnesite minerale ad alto contenuto di carbonato di magnesio. Caratteristica della magnesite caustica è di combinarsi con il solfato di magnesio in soluzione, costituendo un prodotto cristallino di forti proprietà leganti che, nel processo di produzione dei materassini, impregna, lega e mineralizza le fibre di legno.

Dopo l'impregnazione delle fibre di legno con solfato e ossido di magnesio, l'impasto viene formato in pannelli ad alta temperatura. In questa fase del processo la fibra del legno si svuota di contenuti organici deperibili e assorbe ossisolfato di magnesio che la mineralizza.

I parametri legati alla natura del materiale inorganico devono essere conformi alla UNI 9714.

La seconda tipologia di fibre di legno mineralizzato è costituita da strati fonoassorbenti (abbinati o meno a supporto portante) e materassini costituiti da un impasto di fibre di legno mineralizzate al silicio unite da un legante.

Il procedimento di mineralizzazione consiste in un procedimento di essiccazione, shock termico e impregnazione fino a saturazione con microsilicati di fibre conglomerate di legni diversi, così da rendere le fibre resistenti all'acqua, al gelo e al fuoco.

Il legante può essere costituito da resine epoxidico-poliuretaniche nella percentuale minima del 10%, oppure da cemento, nel qual caso l'agglomerato diventa un calcestruzzo alleggerito in fibre mineralizzate di legno, per le cui caratteristiche vale la legislazione vigente rilevante.

I conglomerati di fibre di legno mineralizzate utilizzate come elemento fonoassorbente nei sistemi antirumore devono in ogni caso essere adatti a un impiego all'aperto, ossia essere in grado di resistere nel tempo all'azione della pioggia e del gelo. In particolare, devono superare senza danni 50 cicli di gelo e disgelo in conformità alla UNI EN 12371.

6.3.4 Elementi acustici realizzati con lastre trasparenti

6.3.4.1

Generalità

Per la realizzazione delle parti trasparenti della barriera è previsto l'uso di lastre in materiale plastico (polimetilmacrilato o policarbonato) o vetro stratificato. La lastra deve essere vincolata alla struttura portante della barriera con profili metallici o con una cornice metallica e, in ogni caso, con guarnizioni idonee.

La pulizia e la trasparenza del manufatto è garantita dal dilavamento con acqua piovana; pertanto, deve essere predisposto anche un idoneo sistema di smaltimento e allontanamento dell'acqua. Per interventi di pulizia eccezionale, il produttore deve indicare i prodotti e i metodi specifici per il materiale e compatibili con le esigenze di tutela dell'ambiente.

Devono inoltre essere utilizzate soluzioni per ridurre il rischio d'impatto dell'avifauna sui pannelli, mediante, per esempio, l'impiego di lastre colorate o con strisce orizzontali eseguite con lavorazione superficiale delle lastre.

6.3.4.2

Caratteristiche delle lastre trasparenti in polimetilmacrilato (PMMA)

Le lastre di polimetilmacrilato (PMMA) possono essere di tipo colato o estruso. Il materiale impiegato per le lastre in PMMA deve essere conforme alla UNI EN ISO 7823-1, se di tipo colato, o alla UNI EN ISO 7823-2, se di tipo estruso.

È ammesso l'impiego di materiale rigenerato non maggiore del 15% in massa della materia prima complessiva.

Per gli elementi acustici in polimetilmacrilato (PMMA) devono essere utilizzate lastre trasparenti, colorate o incolori in sintonia con gli elementi strutturali e l'ambiente circostante.

Dovrebbero essere utilizzate le lastre con striature orizzontali che fungano da avvertimento, in modo tale da salvaguardare i volatili da urti accidentali contro il sistema antirumore.

Lo spessore della lastra in PMMA è in primo luogo determinato dall'esigenza di resistenza ai carichi e dalle dimensioni delle lastre. Lo spessore minimo comunemente utilizzato è di 15 mm.

Le lastre in PMMA devono soddisfare i requisiti riportati nel prospetto 10. I valori riportati nel prospetto 10 si riferiscono a provini ricavati da lastre dello stesso tipo di quelle impiegate e dello spessore indicato nelle relative norme tecniche relative ai metodi di prova.

Per la sola verifica dell'assorbimento d'acqua, i provini sono quadrati, di lato pari a 50 mm e di spessore pari a 3 mm, secondo la UNI EN ISO 62.

Per la sola verifica delle caratteristiche ottiche, i provini devono essere incolori e di spessore pari a 3 mm, secondo la UNI EN ISO 7823-1 e la UNI EN ISO 7823-2.

prospetto 10 Requisiti del polimetilmacrilato (PMMA) per elementi acustici

Caratteristiche	Metodo di prova	Valore riferimento
Massa volumica	UNI EN ISO 1183-1	Densità 1190 kg/m ³
Assorbimento d'acqua	UNI EN ISO 62:2008, metodo 1 (24 h, 23 °C)	≤ 0,5%
Resistenza a flessione	UNI EN ISO 178	≥ 95 MPa
Resistenza a trazione	UNI EN ISO 527-2	≥ 65 MPa
Resistenza a trazione dopo invecchiamento	UNI EN ISO 527-2	≥ 60 MPa
Modulo elastico a flessione	UNI EN ISO 178	≥ 3000 MPa
Modulo elastico a trazione	UNI EN ISO 527-2	≥ 3000 MPa
Modulo elastico a trazione dopo invecchiamento	UNI EN ISO 527-2	≥ 2800 MPa
Resistenza all'urto Izod con intaglio	UNI EN ISO 180	≥ 1,5 KJ/m ²
Resistenza all'urto Charpy senza intaglio	UNI EN ISO 179-1	≥ 10 KJ/m ²
Temperatura di rammollimento Vicat	UNI EN ISO 306:2023, metodo B50	≥ 95 °C
Coefficiente di dilatazione termica lineare		≤ 8 * 10 ⁻⁵ °C ⁻¹
Fattore di trasmissione luminosa totale	UNI EN ISO 13468-1	≥ 90%

Fattore di trasmissione luminosa a 420 nm	UNI EN ISO 13468-1	$\geq 90\%$
- prima dell'esposizione	UNI EN ISO 4892-2 :2021	per
- dopo l'esposizione alla lampada allo Xenon	1000 h	$\geq 88\%$

Per il fissaggio del PMMA si devono seguire i seguenti criteri:

- le lastre in PMMA devono essere inserite nel telaio, compresa la guarnizione in EPDM, per una profondità tale da evitare l'uscita delle lastre per effetto della deformazione;
- le lastre in PMMA devono potersi dilatare o ritirare in funzione della temperatura.

Per assicurare un'elevata resistenza agli urti la lastra in PMMA può essere integrata con un'armatura interna realizzata con fili in poliammide; l'armatura consente di trattenere i frammenti che si possono generare durante l'urto. Le lastre di PMMA rinforzato possono essere assicurate alla struttura portante mediante idonei collegamenti come, per esempio, cavetti di sicurezza in acciaio (con una resistenza a trazione non minore di 1500 N/mm², fissati alla lastra in PMMA).

Generalmente il PMMA non richiede interventi manutentivi specifici. Chi produce deve indicare nel piano di manutenzione procedure e prodotti per la pulizia delle lastre.

Al fine di limitare le conseguenze di atti vandalici, nei punti di maggiore accessibilità del sistema antirumore, si dovrebbero impiegare delle lastre con trattamento antigraffiti che facilitino la rimozione degli stessi.

6.3.4.3 Caratteristiche delle lastre trasparenti in policarbonato protetto UV

Le lastre di policarbonato protette UV devono essere conformi alla UNI EN ISO 11963. Sono in genere prodotte per co-estrusione dello strato solido e di quello avente funzione di protezione da UV.

Per la produzione è ammesso l'impiego di materiale rigenerato fino a una percentuale massima indicata da chi le produce.

Le lastre trasparenti in policarbonato (PC) possono essere colorate o incolori con motivi ottenuti per serigrafia, in sintonia con gli elementi strutturali e l'ambiente circostante.

Si dovrebbero utilizzare delle lastre con strisciature orizzontali che fungano da avvertimento, in modo tale da salvaguardare i volatili da urti accidentali contro il sistema antirumore.

Lo spessore della lastra in PC è in primo luogo determinato dall'esigenza di resistenza ai carichi e dalle dimensioni delle lastre. Lo spessore minimo comunemente utilizzato è di 15 mm.

Le lastre in policarbonato protette UV devono soddisfare i requisiti riportati nel prospetto 11.

Per la sola verifica dell'assorbimento d'acqua, i provini sono quadrati, di lato pari a 50 mm e di spessore pari a 3 mm, secondo la UNI EN ISO 62.

Per la sola verifica delle caratteristiche ottiche, i provini sono incolori e di spessore pari a 4 mm, secondo la UNI EN ISO 11963.

I requisiti del materiale policarbonato riportati nel prospetto seguente si riferiscono a provini ricavati da lastre dello stesso tipo di quelle impiegate e dello spessore indicato nelle relative norme tecniche relativi ai metodi di prova.

prospetto 11

Requisiti del policarbonato (PC) per elementi acustici

Caratteristiche	Metodo di prova	Valori di riferimento
Massa volumica	UNI EN ISO 1183-2	$\geq 1000 \text{ kg/m}^3$
Assorbimento d'acqua	UNI EN ISO 62:2008, metodo 1	$\leq 16\%$
Resistenza a trazione	UNI EN ISO 527-2	$\geq 60 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione dopo invecchiamento	UNI EN ISO 527-2	$\geq 55 \text{ MPa}$
Modulo elastico a trazione	UNI EN ISO 527-2	$\geq 2200 \text{ MPa}$
Modulo elastico a trazione dopo invecchiamento	UNI EN ISO 527-2	$\geq 2000 \text{ MPa}$
Resistenza all'urto Charpy con intaglio	UNI EN ISO 179-1	$\geq 6 \text{ KJ/m}^2$
Temperatura di rammolimento Vicat	UNI EN ISO 306:2023, metodo B50	$\geq 145 \text{ }^\circ\text{C}$
Coefficiente di dilatazione termica lineare		$\leq 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
Fattore di trasmissione luminosa a 420 nm - prima dell'esposizione - dopo l'esposizione alla lampada allo Xenon	UNI EN ISO 13468-1 UNI EN ISO 4892-2 :2021 per 1000 h	$\geq 85\%$ $\geq 82\%$

Per il fissaggio della lastra in PC si devono seguire i seguenti criteri:

- le lastre in PC devono essere inserite nel telaio, compresa la guarnizione in EPDM, per una profondità tale da evitare l'uscita delle lastre per effetto della deformazione;

- le lastre in PC devono potersi dilatare o ritirare in funzione della temperatura.

Il produttore deve indicare nel piano di manutenzione procedure e prodotti per la pulizia delle lastre.

Al fine di limitare le conseguenze di atti vandalici, nei punti di maggiore accessibilità del sistema antirumore, si dovrebbero impiegare delle lastre con trattamento antigraffiti che facilitino la rimozione degli stessi con prodotti indicati chi produce la lastra.

6.3.4.4

Caratteristiche delle lastre trasparenti in vetro

Per gli elementi acustici in vetro devono essere utilizzate lastre trasparenti, colorate o chiare, con i bordi a filo lucido industriale. Si dovrebbe operare un trattamento superficiale con serigrafia, acidatura o sabbiatura per esigenze architettoniche e per prevenire impatti dell'avifauna con motivi ottenuti per serigrafia, in sintonia con gli elementi strutturali e l'ambiente circostante.

Per motivi di sicurezza gli elementi acustici in vetro possono essere realizzati con lastre di vetro stratificato temperato o indurito. Il vetro stratificato è composto da due o più lastre di vetro anche dotate di diverso trattamento termico e di spessore diverso con interposto un film plastico, dello spessore non minore di 1,52 mm, applicato in autoclave a pressione e temperatura controllata. Lo spessore totale del vetro da utilizzare deve essere definito in funzione delle dimensioni totali degli elementi acustici e dei carichi previsti.

Le singole lastre devono essere sottoposte a trattamento termico di tempera o di indurimento in funzione del tipo di applicazione e della sicurezza in caso di urto. Il trattamento di tempera aggiunge al livello di sicurezza dovuto alla stratificazione i risultati di maggior resistenza meccanica e agli shock termici, migliorando la sicurezza di impiego del prodotto.

In generale si raccomanda l'uso di vetro stratificato costituito da una lastra temperata e una indurita. Il vetro temperato ha una migliore resistenza meccanica; il vetro indurito ha una compattezza in caso di rottura superiore al vetro stratificato temperato, poiché presenta una frammentazione di grandi dimensioni. Nel caso di entrambe le lastre temprate è si dovrebbe utilizzare un film plastico di tipo strutturale.

Considerato il rischio di rotture spontanee e al fine di assicurare la sicurezza della circolazione per le lastre di vetro applicate in copertura o superfici aggettanti, la lastre devono essere sottoposte a "Heat Soak Test" secondo la UNI EN 14179-1 e la UNI EN 14179-2.

Tale procedura di controllo è raccomandata anche nei restanti casi solamente al fine di ridurre gli interventi manutentivi.

Le lastre di vetro stratificato utilizzate devono essere conformi alla:

- UNI EN 572-1, UNI EN 572-2 e UNI EN ISO 12543-6 per le caratteristiche del materiale di base e la limitazione dei difetti ottici e visivi;
- UNI EN ISO 12543-1, UNI EN ISO 12543-2, UNI EN ISO 12543-3 e UNI EN ISO 12543-4 per la resistenza ad alta temperatura, all'umidità e all'irraggiamento solare simulato;
- UNI EN ISO 12543-5 per le dimensioni, gli scostamenti limite e le finiture dei bordi;
- UNI 7697 per i criteri di sicurezza nelle applicazioni vetrarie dove, specificatamente per le applicazioni stradali, è richiesto un livello di sicurezza P3A secondo la UNI EN 356;
- UNI EN 12150-1 per il trattamento serigrafico.

Le lastre di vetro stratificato utilizzate devono avere i requisiti fotometrici minimi, secondo la UNI EN 410 e la UNI EN 673, elencati nel prospetto 12. Si noti tuttavia che tali requisiti non possono più essere garantiti in caso di trattamento serigrafico o acidatura delle lastre.

prospetto 12

Requisiti del vetro stratificato per elementi acustici

Requisiti	Valore minimo
Fattore di trasmissione luminosa	0,81
Fattore di riflessione luminosa	0,07
Fattore di trasmissione energetica	0,54
Fattore di riflessione energetica	0,40
Fattore di assorbimento energetico	0,06
Fattore solare	0,65

Nel fissaggio dei pannelli, si devono seguire i seguenti criteri:

- i pannelli in vetro devono essere inseriti nel telaio, compresa la guarnizione per una profondità tale da evitare l'uscita delle lastre per effetto della deformazione;
- devono essere messi in atto accorgimenti tali da evitare il contatto tra film plastico e guarnizioni in EPDM. Per guarnizioni realizzate con altri materiali, deve essere verificata la compatibilità chimica di contatto;
- i pannelli in vetro devono potersi dilatare o ritirare in funzione della temperatura;
- lo spessore dei pannelli in vetro deve essere determinato in funzione dei carichi dinamici e statici richiesti, delle dimensioni dei pannelli, del tipo di fissaggio previsto e della tensione ammessa sul materiale.

Gli elementi acustici in vetro devono essere intelaiati almeno su tre lati.

Al fine di limitare le conseguenze di atti vandalici, nei punti di maggiore accessibilità del sistema antirumore, si dovrebbe impiegare delle lastre con trattamento antigraffiti che facilitino la rimozione degli stessi.

Devono essere programmate periodiche operazioni di pulizia delle lastre di vetro con acqua in pressione, in conformità alla cadenza temporale dichiarata da chi produce le lastre.

Per la pulizia dei graffiti, qualora si rendesse necessario, si dovrebbero impiegare dei prodotti indicati da chi produce le lastre.

6.3.4.5 Guarnizioni per le lastre trasparenti

Le guarnizioni che sono impiegate a contatto con le lastre trasparenti in PMMA, policarbonato o vetro devono avere una forma tale da evitare che fuoriescano durante la vita di servizio e avere internamente una geometria tale da consentire la dilatazione e il ritiro della lastra trasparente.

Le guarnizioni sono realizzate in EPDM e devono avere i requisiti specificati nel prospetto 13.

prospetto 13 Requisiti delle guarnizioni

Caratteristica	Metodo di prova	Valori di riferimento
Durezza	UNI EN ISO 868	70 ± 5 Shore A/3
Carico di rottura	UNI 6065	Minimo 10 MPa
Allungamento a rottura	UNI 6065	Minimo 300%

Dopo l'invecchiamento termico di sette giorni alla temperatura di 70 °C, in conformità alla UNI ISO 188, non devono verificarsi variazioni delle caratteristiche maggiori di quelle riportate nel prospetto 14.

prospetto 14 Variazioni tollerate dei requisiti delle guarnizioni dopo invecchiamento termico in conformità alla UNI ISO 188

Caratteristica	Metodo di prova	Variazione ammessa rispetto la valore iniziale
Durezza	UNI EN ISO 868	±3 Shore A/3
Carico di rottura	UNI 6065	Riduzione massima ammessa 5%
Allungamento a rottura	UNI 6065	Riduzione massima ammessa 15%

6.3.5 Elementi acustici in altri materiali

Gli elementi acustici realizzati con materiali diversi da quelli sopra indicati devono essere sottoposti alla preventiva approvazione del committente.

Per elementi acustici realizzati con materiali diversi da quelli sopra indicati devono essere forniti tutti i dati necessari per il controllo dei materiali relativamente alle prestazioni di durabilità, nonché la casistica delle situazioni in cui detti materiali sono stati applicati, corredata delle attestazioni degli Enti appaltanti.

Le prestazioni acustiche e non acustiche devono in ogni caso essere verificate in conformità alla presente norma.

6.4 Elementi strutturali

6.4.1 Elementi strutturali di metallo

Gli elementi strutturali di metallo devono essere realizzati in acciaio con caratteristiche meccaniche non minori di quelle del tipo S235JR in conformità alla UNI EN 10025 e zincati a caldo per immersione in conformità alla UNI EN ISO 1461, per uno spessore non minore di 85 µm, previo ciclo di sabbiatura con grado pari ad almeno SA 2½ come classificazione e definizione secondo la UNI EN ISO 8501-1 e la UNI EN ISO 8501-2, oppure trattamento di decapaggio chimico.

Inoltre, è richiesto un ulteriore trattamento della superficie, subito dopo la zincatura, secondo uno dei seguenti cicli:

- verniciatura a polvere di poliestere con ciclo che comprenda lo sgrassaggio, il decapaggio e un trattamento di conversione superficiale, alternati a cicli di lavaggio, prima dell'applicazione elettrostatica di polveri poliestere e successiva polimerizzazione in forno alla temperatura tra i 180 °C e i 200 °C;
- verniciatura con ciclo verniciante a mano unica con primer-finitura di tipo poliuretanico alifatico ai fosfati di zinco con applicazione a spuzzo o airless;
- verniciatura con ciclo a due mani con mano intermedia del tipo epossi-poliammidico e mano di finitura del tipo poliuretanico con applicazione a spuzzo o airless.

Lo spessore minimo locale della protezione, compreso lo spessore della zincatura, deve essere maggiore o uguale a 200 µm in modo da realizzare una superficie esente da pori.

Il fornitore deve allegare le schede tecniche dei prodotti vernicianti impiegati.

I bulloni devono appartenere alla classe di resistenza 8.8 secondo la UNI EN 3740.

Le viti devono appartenere almeno alla classe di resistenza 6.8 secondo la UNI EN ISO 898-2 e UNI EN 20898-7, ed essere associate a dadi di classe adeguata secondo la UNI ENV 1993-1-1. La loro messa in opera deve svolgersi secondo la UNI EN 1993-1-1.

Nel caso di ancoraggio al cordolo di fondazione con tirafondi le barre devono essere realizzate con acciaio con caratteristiche meccaniche secondo la UNI EN 10263.

6.4.2 Elementi strutturali di calcestruzzo armato

Gli elementi strutturali realizzati in calcestruzzo armato devono soddisfare tutti i requisiti specificati nel punto 6.3.2 della presente norma.

Gli elementi strutturali di calcestruzzo armato devono essere predisposti per l'ancoraggio degli elementi acustici.

Nel caso di soluzioni in cemento armato precompresso, deve essere adottato il sistema che prevede l'ancoraggio delle barre di precompressione in corrispondenza delle testate.

6.4.3 Elementi strutturali in altri materiali

Gli elementi strutturali realizzati con materiali diversi da quelli sopra indicati devono essere sottoposti alla preventiva approvazione del committente.

Per elementi strutturali realizzati con materiali diversi da quelli sopra indicati devono essere forniti tutti i dati necessari per il controllo dei materiali relativamente alle prestazioni di durabilità, nonché la casistica delle situazioni in cui detti materiali sono stati applicati, corredata delle attestazioni degli Enti appaltanti.

6.5 Guarnizioni e sigillanti

Per la giunzione tra la barriera e il cordolo di base si dovrebbe impiegare di un giuntoplasto in poliuretano espanso bitumato (nastro LEM) con le seguenti caratteristiche riportate nel prospetto 15.

prospetto 15 caratteristiche delle guarnizioni e dei sigillanti

Caratteristica	Metodo di prova	Variazione ammessa rispetto la valore iniziale
Densità	-	130 kg/m ³ +-10%
Colore	-	nero
Resistenza a trazione	UNI EN ISO 1798	167 kPa
Allungamento a rottura	UNI EN ISO 1798	245 %
Resistenza alla compressione (deformazione 80%)	UNI EN ISO 3386-1 e UNI EN ISO 3386-2	140 kPa

6.6 Accessori metallici

Tutti gli elementi metallici non precedentemente contemplati (viti, dadi, bulloni, rivetti, rondelle elastiche, distanziatori, angolari di fissaggio e supporto, cappellotti e scossaline di base) devono essere scelti avendo cura di evitare problemi di corrosione catodica dovuta al diverso valore di potenziale elettrochimico dei materiali a contatto, anche mediante l'uso di adeguati distanziatori/guarnizioni isolanti.

6.7 Barriere verdi

6.7.1 Generalità

Le barriere verdi sono manufatte artificiali caratterizzate da superfici inerbite o coperte da vegetazione installate per consentire la schermatura del rumore. Offrono una prestazione verificabile di isolamento acustico. La prestazione di assorbimento acustico è variabile e funzione dello sviluppo e delle caratteristiche stagionali della vegetazione.

In funzione della loro costituzione si differenziano in:

- terrapieni naturali o dune (con caratteristiche geometriche in funzione della stabilità del terreno stesso);

- rilevati in terra rinforzata costituiti da terreno ed elementi di varia natura con paramento esterno a forte pendenza;
- biomuri costituiti da elementi portanti prefabbricati di varia natura (di acciaio o di calcestruzzo,) riempiti di terreno e ricoperti di vegetazione.

L'azione di mitigazione acustica della barriera verde è delegata principalmente al rilevato nel suo complesso (vegetazione e terreno) attraverso la sua forma. La vegetazione contribuisce:

- al rinforzo superficiale e al controllo dell'erosione del rilevato;
- alla riduzione dell'impatto visivo della struttura artificiale.

Per le barriere verdi assume una rilevanza speciale la fase di sistemazione al verde della barriera e la successiva attività manutentiva.

6.7.2 Terrapieni naturali (o dune)

Il tipo di terreno da utilizzare per i terrapieni naturali può essere di vario tipo, in conformità a quanto disponibile in luogo. La geometria del rilevato deve comunque essere tale da garantire la stabilità del manufatto nel suo complesso e quindi in relazione alle caratteristiche geotecniche del terreno stesso e del piano di fondazione.

Sul terreno di riempimento, per uno spessore non minore di 30 cm a costituire il paramento esterno da inerbire, è posto un materiale costituito da terreno di coltivo di medio impasto contenente per una percentuale in peso pari al 20% di ammendanti organici, inerti drenanti, e idroretentori, fertilizzato mediante l'impiego di specifici fertilizzanti a lenta cessione di elementi nutritivi.

Deve inoltre essere assicurata la protezione del paramento nei confronti dell'erosione, nella fase temporanea fino all'insediamento della vegetazione completa della struttura.

Per i terrapieni naturali la sistemazione a verde con essenze erbacee avviene mediante spargimento manuale o con idonei mezzi meccanici della semente in quantità non minore di 35 g/m² e idoneo miscuglio (graminacee e/o leguminose) in varietà adatte alla zona di intervento e concime organico/minerale.

6.7.3 Rilevati in terra rinforzata

Per i rilevati in terra rinforzata si possono utilizzare terreni di qualsiasi tipo, avendo cura comunque di considerare le caratteristiche reali dei terreni nelle valutazioni di stabilità (interna e globale), degli aspetti deformativi e della necessità di criteri specifici di posa in opera.

Dietro la superficie esterna inclinata (paramento esterno) per uno spessore non minore di 30 cm è posto del terreno di coltivo di medio impasto contenente per una percentuale in peso non minore del 20% di ammendanti organici, inerti drenanti, e idroretentori, fertilizzato mediante l'impiego di specifici fertilizzanti a lenta cessione di elementi nutritivi.

I rilevati in terra rinforzata possono essere realizzati con i seguenti tipi di elementi di rinforzo:

- reti metalliche a doppia torsione;
- geosintetici (geotessili a elevata resistenza o geogriglie).

La barriera verde in terra rinforzata con rete metallica a doppia torsione inverdibile è costituita da elementi di armatura planari orizzontali preassemblati, costituiti da rete metallica (per esempio del tipo a doppia torsione).

In alternativa la barriera verde in terra rinforzata può prevedere per il rinforzo l'inserimento di geosintetici con tensioni e deformazioni di progetto atte a garantire la stabilità della struttura per la vita utile dell'opera.

Per entrambe le soluzioni sul paramento è utilizzato un elemento per il controllo dell'erosione in materiale naturale o sintetico (geostuoia o biostuoia), che faciliti la crescita della vegetazione ed eviti il dilavamento del terreno fino alla crescita delle essenze vegetali.

Per la realizzazione della porzione in vista della struttura di terra rinforzata si dovrebbero impiegare dei geosintetici a struttura aperta senza soluzione di continuità tra paramento e rinforzo orizzontale. In caso di discontinuità, la connessione tra paramento e rinforzo deve essere adeguatamente verificata sulla base di prove sperimentali e criteri progettuali.

Per i rilevati in terra rinforzata, la sistemazione a verde con essenze erbacee avviene mediante idrosemina. Un prodotto tipico è costituito da una miscela in acqua di *mulch* di fibre vegetali da spargere in quantità non minore di 320 g/m²; collante premiscelato polisaccaride in quantità non minore di 35 g/m²; concime organo/minerale in quantità non minore di 150 g/m²; sostanze migliorative del terreno (se necessarie). Miscele alternative possono essere utilizzate purché ne sia stata verificata la compatibilità ambientale.

L'idrosemina di superfici è possibile mediante spargimento in più passaggi a mezzo di idroseminatrice a pressione per garantire l'applicazione a distanza e lo spargimento omogeneo.

6.7.4 Biomuri

6.7.4.1 Generale

I biomuri possono essere realizzati con struttura portante in calcestruzzo o di tipo metallico.

Il terreno di riempimento per biomuri deve assicurare la massima velocità di sviluppo della vegetazione. Il biomuro deve pertanto essere riempito con un substrato specifico costituito da una miscela di inerti e materiali di origine vulcanica, argille speciali, concimi minerali complessi a lenta cessione e ammendanti organici (torbe, fibre naturali, cortecce). La composizione percentuale deve variare in relazione sia alle specie vegetali impiegate sia alle condizioni microclimatiche del sito.

Per i biomuri può essere impiegata idrosemina come descritta al punto 6.7.3 della presente norma, oppure idrosemina rinforzata, consistente nell'impiego più massiccio di *mulch* di fibre vegetali, al fine di ottenere uno spessore pari a 50 mm di sostanza organica.

Per la crescita e l'atteggiamento della vegetazione possono essere impiegati feltri vegetativi preseminati.

6.7.4.2 Biomuri in calcestruzzo

La struttura portante per i biomuri in calcestruzzo armato vibrato è costituita da due facciate contrapposte realizzate con elementi prefabbricati in conglomerato in calcestruzzo armato vibrato, che, incastriati o comunque collegati fra di loro, realizzano un'intelaiatura avente larghe superfici aperte, atta a contenere materiale di riempimento a matrice di terreno di modo che la struttura prefabbricata, a regime, possa restare pressoché totalmente immersa. I biomuri inverdibili in cemento armato vibrato

possono essere realizzati con un basso ingombro trasversale, ovvero con una dimensione trasversale nel punto di massimo ingombro minore di 1 metro.

Gli elementi prefabbricati costituenti il muro devono essere modulari e vincolabili, atti a qualsivoglia configurazione planimetrica, comprese le curvilinee. Inoltre, gli elementi costituenti le parti frontali esterne della barriera devono essere sagomati in modo da evitare la fuoriuscita del terreno di riempimento, garantendo nel contempo la minima presenza di calcestruzzo prefabbricato in facciata e la massima capacità di accogliere le essenze arbustive e/o erbacee.

Le strutture costituenti l'intelaiatura devono avere conformazioni e sagome tali da essere applicate sia isolatamente sia in collegamento e a sostegno di terrapieni per le conformazioni a duna, in modo da poter essere applicate senza soluzione di continuità.

6.7.4.3 Biomuri con struttura metallica

I biomuri con struttura metallica hanno la struttura di sostegno in metallo costituita da montanti in profilo di acciaio zincato a caldo di idonea portanza rapportata all'altezza della barriera. Le pareti sono realizzate in pannelli di rete elettrosaldata costituita da fili d'acciaio protetti dalla corrosione.

L'interno dei pannelli in rete elettrosaldata deve essere rivestito da un geosintetico antierosivo in fibra naturale o sintetica per il trattenimento del terreno. I geosintetici devono garantire la penetrazione delle radici delle piante erbacee nel terreno di riempimento e impedire la fuoriuscita dello stesso. Il riempimento deve essere costituito da una miscela di terriccio. Eventuali fondazioni devono avere carattere discontinuo in modo da consentire la penetrazione delle radici nel terreno di base.

I biomuri possono essere realizzati anche a forma cava con struttura metallica per realizzare rilevati "coperti" di vegetazione costituiti da una struttura modulare in montanti portanti e supporti in parete che ospitano o ancorano il terricciato.

La struttura portante è costituita da montanti di acciaio zincato a caldo di idonea portanza.

Le pareti o paramenti laterali sono costituiti da elementi metallici che contengono terricciato, nel quale vengono disposte le piante.

Lo scopo è creare un paramento che esponga la maggior superficie rinverdita con piante possibile. La struttura deve costituire una piccola percentuale dello schermo acustico che deve la sua efficacia alla grande massa di terricciato e alle piante che vi sono coltivate.

Al fine di assicurare una protezione efficace contro la corrosione dovuta all'azione degli agenti chimici e dei microrganismi e degli agenti atmosferici, la struttura che contiene il terricciato e i montanti deve essere in acciaio zincato e verniciato.

6.7.5 Sistemazione a verde con essenze vegetali non erbacee

Per tutte le tipologie di barriere verdi la scelta delle specie vegetali deve essere effettuata fra le essenze erbacee e/o arbustive nelle varietà tappezzanti, ricadenti e/o rampicanti e/o forestali. Le pianticelle devono essere vigorose e di buon sviluppo, provviste di buon apparato radicale, esenti da fitopatie e sintomi di carenze e da postumi di attacchi parassitari. Nel caso di impiego di talee, queste sono costituite da talee di specie arbustive e/o arboree possibilmente autoctone a elevata capacità vegetativa.

Le specie vegetali dovrebbero inoltre soddisfare le esigenze qui di seguito elencate, contemplandole in maniera il più possibile efficace, nei casi in cui le stesse risultino contrapposte:

- morfologia del tracciato;
- latitudine geografica;
- adattamento al clima generale della zona;
- adattamento al microclima del sito in cui il sistema antirumore viene installato e al microclima specifico del particolare sistema antirumore, caratterizzato da possibili minori apporti idrici meteorici, maggiori temperature massime giornaliere e stagionali e più elevata escursione termica;
- capacità biotecniche di ricoprimento e consolidamento;
- elevata rusticità e capacità colonizzatrice;
- ottimo sviluppo radicale, discreto sviluppo epigeo;
- buona possibilità di inserimento nel contesto ambientale in riferimento al tipo di paesaggio circostante;
- appartenenza tipologica al patrimonio botanico locale, con possibilità di intercalare anche piante di origine diversa ma ben inseribili nel particolare contesto ambientale, per tenere conto degli altri fattori elencati.

Per i soli terrapieni naturali, possono essere impiegate anche essenze arboree scelte tenendo conto dei fattori sopra indicati.

Per la loro specifica tipologia e per assicurare il processo di attecchimento delle pianticelle sia iniziale sia nel tempo, le barriere verdi, di qualsiasi tipologia esse siano (terrapieno, rilevato in terra rinforzata o biomuro), devono essere dotate di impianto di irrigazione, fisso e automatizzato, precisamente del tipo:

- per i terrapieni – a pioggia eventualmente combinato a impianto di irrigazione per subirrigazione a goccia a somministrazione localizzata in presenza di piante;
- per i rilevati in terra rinforzata o biomuro – per subirrigazione a goccia a somministrazione localizzata.

Si deve assicurare l'alimentazione idrica dell'impianto mediante la rete idrica pubblica e/o pozzi specificatamente eseguiti in prossimità dell'intervento e/o da altri sistemi.

6.7.6 Manutenzione del verde

Per tutte le tipologie di barriere verdi è prevista una manutenzione di avvio delle essenze di impianto per un tempo sufficiente, indicato in almeno due anni, consistente in:

- sostituzione di fallanze o risemina delle parti non germinate;
- concimazioni e bagnature di soccorso.

Specificatamente per i terrapieni occorre prevedere:

- sfalci delle erbe ove previsti;
- scerbature ove previste.

Specificatamente per i rilevati in terra rinforzata e i biomuri:

- sfalci delle erbe ove previsti;
- eventuali scerbature localizzate volte a favorire lo sviluppo delle essenze non erbacee aventi funzione coprente e rinverdente il manufatto;
- controllo dell'impianto di irrigazione.

La manutenzione a regime delle barriere verdi comporta la verifica periodica dello stato di sviluppo della vegetazione:

- per i terrapieni naturali occorre intervenire, qualora opportuno, con diserbi manuali, concimazioni mirate, potature, sfoltimenti o sostituzioni di piante, irrigazione di soccorso. In questo caso possono essere impiegate procedure e mezzi tradizionalmente adoperati in agricoltura per le operazioni di taglio erba, potatura, scerbatura, quali trattori, unità di apporto trincianti, o lama rotante, tosaerba, tosasiepi, motoseghe, ecc.;
- per i rilevati in terra rinforzata e i biomuri deve essere effettuato un controllo dell'equilibrio tra le specie mediante interventi mirati sulla vegetazione, operando, qualora opportuno, diserbi manuali, concimazioni mirate, potature, sfoltimenti o sostituzioni di piante, reintegro di substrati, irrigazione di soccorso. Per questa tipologia di barriere verdi si dovrebbero escludere interventi non selettivi di taglio della vegetazione (come, per esempio, utilizzo di macchine munite di trituratici, trincia, ecc.).

7 PROCESSO DI REALIZZAZIONE DELL'OPERA

7.1 Generalità

Il presente punto fornisce indicazioni specifiche per l'effettuazione dei controlli da effettuare in fase di realizzazione dell'opera, sia in fase di accettazione dei materiali e dei prodotti in cantiere che in fase di installazione. I controlli possono essere di tipo documentale e sui materiali effettuati a campione, presso lo stabilimento produttivo o in cantiere.

In fase di produzione l'impresa effettua i controlli come da Piano Qualità interno (FPC previsto per l'apposizione della marcatura CE).

L'attività svolta dalla Direzione Lavori comporta in primo luogo una verifica a livello documentale della conformità del prodotto proposto dall'impresa appaltatrice (sistema barriera e relativi componenti).

La Direzione Lavori si riserva di effettuare controlli e verifiche di accettazione sia in fase di produzione che in cantiere. Seguono i controlli sul prodotto installato e sulle opere di fondazione.

Si tratta di attività svolte dal committente in base alle indicazioni precise nella legislazione vigente che disciplina i lavori pubblici.

7.2 Accettazione dei materiali e dei prodotti in cantiere

7.2.1 Elementi strutturali: carpenteria metallica

Di seguito è fornito un elenco non esaustivo dei controlli che si devono effettuare sia sulla carpenteria metallica portante che sulle cornici delle lastre trasparenti:

- esistenza e completezza dei disegni costruttivi e specifiche di prodotto;

- richiesta della certificazione CE secondo la UNI EN 1090-2 al livello di esecuzione previsto a progetto o, in assenza, ad EXC2;
- esistenza del documento di Controllo del Processo di Fabbricazione (FPC);
- esistenza della qualifica dei procedimenti di saldatura;
- esistenza delle specifiche di esecuzione delle saldature (WPS);
- esistenza della qualifica del personale addetto (coordinatore della saldatura, saldatori, addetti ai controlli distruttivi e non distruttivi);
- descrizione del ciclo di zincatura, comprensivo del pretrattamento di preparazione;
- descrizione del ciclo di verniciatura, comprensivo del pretrattamento di preparazione;
- disponibilità delle schede tecniche dei prodotti vernicianti impiegati e modalità di applicazione;
- disponibilità dei risultati delle prove di qualifica del ciclo di verniciatura (validazione del ciclo di verniciatura).

7.2.2 Elementi acustici: pannelli e lastre trasparenti

I controlli comuni a tutte le tipologie di elementi acustici sono:

- l'esistenza della certificazione CE del prodotto secondo la EN 14388 e della relativa documentazione di supporto (Prove Iniziali di tipo Initial Test Type - ITT);
- l'esistenza e la completezza dei disegni costruttivi e delle specifiche di prodotto che devono essere corrispondenti alla descrizione del campione oggetto dei rapporti di prova emessi per le prove iniziali di tipo;
- l'esistenza di un documento di Controllo del Processo di Fabbricazione (FPC).

Per i pannelli a cassetta metallica si dovrebbero effettuare i seguenti controlli:

- verifica della geometria e delle caratteristiche chimiche della lega metallica della cassetta;
- descrizione del trattamento protettivo anticorrosione;
- schede tecniche dei prodotti impiegati per il trattamento protettivo anticorrosione e relative modalità di utilizzo;
- disponibilità dei risultati delle prove di qualifica del trattamento protettivo anticorrosione;
- verifica degli spessori dei trattamenti protettivi;
- controllo dell'aderenza del film di vernice;
- specifiche tecniche dei materiali plastici e delle guarnizioni;
- specifiche tecniche dei materiali fonoassorbenti interni in lana minerale o altro materiale idoneo (spessore e densità);
- verifica delle guarnizioni.

Per i pannelli a cassetta in legno si dovrebbero effettuare i seguenti controlli:

- esistenza della certificazione PEFC o FSC o Certificato fitosanitario emesso dall'autorità competente dei materiali legnosi a cura del fornitore primario;
- definizione delle caratteristiche del materiale di base (legno e parti metalliche);

- descrizione del trattamento protettivo di impregnazione e dei trattamenti successivi (vernice all'acqua);
- schede tecniche dei prodotti impiegati per il trattamento protettivo di impregnazione e relative modalità di utilizzo;
- schede tecniche dei prodotti impiegati per il trattamento di verniciatura all'acqua e relative modalità di utilizzo;
- disponibilità dei risultati delle prove di qualifica del trattamento protettivo impregnazione.

Per le lastre trasparenti si dovrebbero effettuare i seguenti controlli:

- definizione delle caratteristiche del materiale di base (PMMA, policarbonato, vetro stratificato);
- descrizione dei processi di fabbricazione della lastra fono isolante in vetro comprensiva di taglio e molatura bordi, tempra e stabilizzazione Heat Soak Test (vetri temprati), stratificazione e passaggio in autoclave (vetri stratificati);
- descrizione dei processi di fabbricazione della lastra fono isolante trasparente;
- descrizione del trattamento protettivo anticorrosione della cornice;
- schede tecniche dei prodotti impiegati per il trattamento protettivo anticorrosione e relative modalità di utilizzo;
- disponibilità dei risultati delle prove di qualifica del trattamento protettivo anticorrosione;
- specifiche tecniche delle guarnizioni.

Per i pannelli in calcestruzzo si dovrebbero effettuare i seguenti controlli:

- definizione delle caratteristiche del calcestruzzo armato e alleggerito e relativi rapporti di prova;
- descrizione del processo di fabbricazione (preparazione casseri, posizionamento ferri, vibratura, scassерamento e maturazione);
- schede tecniche dell'acciaio di armatura;
- specifica tecnica della guarnizione;
- definizione delle modalità di movimentazione, stoccaggio, trasporto e scarico da automezzo.

7.3 Controlli in fase di esecuzione

L'impresa deve presentare gli elaborati costruttivi della barriera nei quali sono dettagliati tutti i particolari esecutivi dei nodi particolari, quali per esempio l'aggancio delle barriere a portali di galleria, l'aggancio reciproco di barriere di diversa forma e/o materiale, nonché dei cambi di direzione bruschi come nel caso di barriere in corrispondenza di piazzole di sosta o di aree S.O.S, parti di angolo delle stesse barriere, nonché di qualsiasi altra particolarità che si dovesse presentare.

Tutta la barriera deve essere costruita in modo da evitare in ogni punto il ristagno dell'acqua; in particolare per i pannelli compositi l'acqua deve fuoriuscire facilmente dai singoli pannelli (fori sul fondo) e non ristagnare sia fra pannello e pannello sia tra il pannello inferiore della parete e la superficie di appoggio.

Il bordo superiore della barriera si deve mantenere il più possibile parallelo alle livellette stradali. Qualora ciò non fosse possibile, è compito dell'impresa presentare una proposta di montaggio scalettato, con passo da stabilire di volta in volta. Tale proposta deve ottenere l'approvazione della Direzione Lavori.

Di seguito è fornito un elenco non esaustivo dei controlli che si dovrebbero effettuare:

- verifica della corretta installazione delle fondazioni secondo i disegni di progetto;
- controllo della qualità e della quantità delle barre di ancoraggi;
- verifica della corretta applicazione delle resine e del loro indurimento;
- rispondenza della geometria della barriera alle indicazioni progettuali;
- verifica della verticalità e dell'allineamento dei montanti;
- verifica del rispetto delle tolleranze sull'interasse tra i montanti;
- verifica della battuta minima dei pannelli su entrambi i montanti assicurando che la guarnizione del pannello (o il tappo in materiale plastico) risulti all'interno dell'ala del montante in completa battuta.

8 COLLAUDO

8.1 Generalità

I sistemi antirumore devono essere collaudati allo scopo di accertarne la rispondenza alle previsioni progettuali:

- a) tramite un collaudo tecnico e amministrativo, attraverso la verifica puntuale tra le opere realizzate e le opere progettate e con particolare riferimento alle caratteristiche geometriche e dimensionali delle opere, alle caratteristiche strutturali, a quelle acustiche dei singoli componenti e quindi del sistema, tutti elementi che devono essere specificati nel progetto (per esempio: *sound reflection index* e *sound insulation index* in conformità alla UNI EN 1793-5 e alla UNI EN 1793-6);
- b) alla verifica dell'avvenuta mitigazione acustica al ricettore.

La non conformità di una o più delle verifiche di cui al punto a) precedente non consente l'esecuzione delle verifiche di cui al punto b) come previste dal progetto e, non rendendo collaudabile e liquidabile il lavoro, è generalmente imputata a errori di esecuzione.

La non conformità delle verifiche di cui al punto b), fatte salve le positive verifiche di cui al punto a), sono imputate a errori di progettazione e non hanno effetto sulla collaudabilità dell'opera e sulla relativa liquidazione.

8.2 Collaudo delle caratteristiche acustiche intrinseche

Chi esegue il collaudo acustico deve controllare la documentazione relativa alle caratteristiche dei materiali e alle prove effettuate prima dell'installazione. In seguito, provvede alle verifiche delle caratteristiche acustiche intrinseche al fine di accertare l'idoneità del sistema antirumore in opera rispetto agli obiettivi progettuali. A verifiche ultimate, emette il relativo certificato di collaudo, eventualmente avvalendosi di laboratori di prova in possesso dei necessari requisiti:

- determinazione delle caratteristiche intrinseche di riflessione del suono in esterno, tramite il *reflection index* secondo la UNI EN 1793-5;
- determinazione delle caratteristiche intrinseche di isolamento acustico per via aerea in esterno, tramite *sound insulation index* secondo la UNI EN 1793-6.

La prova di fonoisolamento deve essere effettuata in punti della barriera individuati in accordo con la Direzione Lavori, con particolare attenzione alle giunzioni critiche tra elementi acustici di diversa tipologia impiegati nella barriera o tra elementi acustici ed elementi strutturali. Tale verifica dovrebbe essere eseguita già nelle fasi iniziali del cantiere per prevenire e correggere eventuali errori di installazione.

Per la valutazione dei risultati ottenuti all'esito delle prove in cantiere è ammessa una tolleranza di 1 dB rispetto ai valori ottenuti in fase di certificazione in campo prova.

8.3 Collaudo delle caratteristiche non acustiche

Relativamente alle caratteristiche strutturali, chi collauda deve essere un/una professionista abilitato/abilitata a firmare relazioni di calcolo strutturale. Tale requisito non si estende alle altre caratteristiche non acustiche.

Chi collauda, dopo aver verificato la documentazione relativa alla progettazione, e in particolare le relazioni di calcolo strutturale obbligatorie ai sensi di legge, provvede al rilascio del relativo certificato di collaudo.

Prima di rilasciare il certificato di collaudo, chi collauda ha la più ampia facoltà di richiedere l'esecuzione di specifiche prove di carico, di reazione al fuoco o altro, sia su parti del sistema antirumore installate, sia su parti dello stesso da rimuovere e trasportare in laboratorio. All'atto della richiesta, deve specificare:

- le ragioni della richiesta;
- i metodi di prova da adottare;
- i valori limite da verificare, anche mediante riferimento a norme tecniche.

8.4 Collaudo delle caratteristiche acustiche estrinseche

Il collaudo delle caratteristiche acustiche estrinseche è eseguito e firmato da un tecnico competente in acustica ambientale iscritto all'elenco istituito presso il Ministero competente³⁰.

Chi collauda, dopo aver controllato la documentazione relativa alla progettazione acustica, provvede alla verifica del rispetto dei limiti di legge assunti a riferimento nella progettazione, seguendo la metodologia di prova descritta nella legislazione vigente³¹ nei punti di maggiore esposizione dei ricettori mitigati.

Quando previsto viene effettuata la verifica della perdita per inserzione del sistema antirumore, ovvero della sua efficacia acustica in relazione agli obiettivi progettuali. Tale valutazione è eseguita in conformità alla UNI 11022 con l'emissione, a verifica ultimata, del relativo certificato di collaudo, eventualmente avvalendosi di istituti di ricerca e/o laboratori di prova in possesso dei requisiti necessari.

³⁰ Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore il Decreto Legislativo 17 febbraio 2017, n. 42, "Disposizioni in materia di armonizzazione della normativa nazionale in materia di inquinamento acustico, a norma dell'articolo 19, comma 2, lettere a), b), c), d), e), f) e h) della legge 30 ottobre 2014, n. 161", che istituisce presso il Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare (MATTM), l'elenco nominativo dei soggetti abilitati a svolgere la professione di tecnico competente in acustica, sulla base dei dati inseriti dalle regioni o province autonome.

³¹ Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore l'allegato C (punto 2) del Decreto del Ministero dell'Ambiente 16 marzo 1998 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico".

Per la posizione e il numero dei punti di verifica si deve far riferimento agli elaborati progettuali.

Resta inteso che al fine di verificare la rispondenza delle prestazioni della barriera realizzata a quanto previsto in progetto, le misure ottenute in fase di monitoraggio post operam devono essere opportunamente riproporzionate tenendo conto del traffico di progetto.

9 Manutenzione e sorveglianza

La realizzazione del sistema antirumore dovrebbe essere tale da garantire che durante i primi 15 anni dopo il collaudo non si debbano eseguire lavori di manutenzione, escludendo i lavori dovuti a cause accidentali e gli interventi di pulizia ordinaria o, per esempio, di rimozione dei graffiti.

Chi installa un sistema antirumore deve fornire al committente, a lavori ultimati, un piano di manutenzione dell'opera dopo i primi 15 anni, specificando le attività da eseguire, i materiali, le attrezzature, le professionalità da impiegare e i relativi oneri per ogni componente del sistema antirumore e per ogni attività manutentiva programmata. Le operazioni previste devono poter essere effettuate con mezzi semplici, senza pregiudicare il normale traffico e senza causare danni.

10 Smaltimento e fine vita

I prodotti impiegati per le barriere antirumore devono essere conformi alla vigente legislazione nazionale in materia di requisiti ambientali.

Se non provvisto di certificazione EPD, chi produce deve dichiarare:

- il nome dei singoli materiali che costituiscono il sistema antirumore, utilizzando a tale proposito la nomenclatura chimica ed evitando i nomi commerciali;
- le sostanze che risultano dalla decomposizione, a seguito di esposizione naturale all'ambiente in cui sono inserite, durante l'intera vita di servizio del sistema antirumore;
- i materiali costituenti il sistema antirumore che possono essere riciclati e in quale misura, indicando eventuali limitazioni all'uso;
- i materiali costituenti il sistema antirumore che sono riciclati e in quale misura;
- i materiali costituenti il sistema antirumore da smaltire secondo particolari procedure, che devono essere specificate in dettaglio e classificate come da legislazione vigente³²;
- gli eventuali benefici legati al riutilizzo dei materiali che costituiscono il sistema antirumore, indicando tutte le limitazioni esistenti alle condizioni di trasformazione;
- le modalità e le procedure per effettuare in sicurezza la disinstallazione della barriera antirumore.

³² Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore la Direttiva del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio 9 aprile 2002 "Indicazioni per la corretta e piena applicazione del regolamento comunitario n. 2557/2001 sulle spedizioni di rifiuti ed in relazione al nuovo elenco dei rifiuti", che specifica i codici CER (Catalogo europeo dei rifiuti).

Bibliografia

- [1] Decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36 “Codice dei contratti pubblici”.
- [2] Legge 447/95 integrata dal Decreto legislativo 17 febbraio 2017 n. 42 “Disposizioni in materia di armonizzazione della normativa nazionale in materia di inquinamento acustico”.
- [3] Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 “Codice dei beni culturali e del paesaggio”
- [4] Direttiva 92/43/CEE del Consiglio del 21 maggio 1992 relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche
- [5] Legge 26 ottobre 1995, n. 447 “Legge quadro sull'inquinamento acustico”
- [6] Decreto del Presidente della Repubblica 30 marzo 2004, n. 142 “Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare”
- [7] Decreto 17 gennaio 2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”
- [8] “Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti” allegate al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 54/2022, espresso dall’Assemblea Generale in data 10 giugno 2022
- [9] “Linee Guida e manuale applicativo per la valutazione della sicurezza sismica e il consolidamento dei ponti esistenti in c.a.” – Progetto DPC-Reluis 2005-2008 – Linea 3: Valutazione e riduzione del rischio sismico di ponti esistenti – marzo 2009
- [10] Regolamento (UE) 2020/852 del Parlamento europeo e del Consiglio del 18 giugno 2020 relativo all’istituzione di un quadro che favorisce gli investimenti sostenibili e recante modifica del regolamento (UE) 2019/2088
- [11] Regolamento (UE) 2021/241 del Parlamento europeo e del Consiglio del 12 febbraio 2021 che istituisce il dispositivo per la ripresa e la resilienza
- [12] Decreto del Ministero dell’Ambiente 16 marzo 1998 “Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico”
- [13] Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»”
- [14] Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 “C.S.LL.PP. – Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”
- [15] “Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni – Consiglio nazionale delle ricerche – Commissione di studio per la predisposizione e l’analisi di norme tecniche relative alle costruzioni”

- [16] Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 21 giugno 2004 "Aggiornamento alle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e le prescrizioni tecniche per le prove delle barriere di sicurezza stradale"
- [17] Direttiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004 relativa ai requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della Rete stradale transeuropea, recepita con Decreto legislativo 5 ottobre 2006, n. 264 "Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea."
- [18] Decreto 5 agosto 2024 "Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali (CAM Strade)"
- [19] Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale"
- [20] Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica 5 agosto 2024 "Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali (CAM Strade)".
- [21] Regolamento (CE) N 1272/2008 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele che modifica e abroga le direttive 67/548/CEE e 1999/45/CE e che reca modifica al regolamento (CE) n. 1907/2006 e successive modifiche e/o integrazioni
- [22] Direttiva del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio 9 aprile 2002 "Indicazioni per la corretta e piena applicazione del regolamento comunitario n. 2557/2001 sulle spedizioni di rifiuti ed in relazione al nuovo elenco dei rifiuti"

Copyright

Riproduzione vietata. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopie, microfilm o altro, senza il consenso scritto dell'UNI.