

CARATTERISTICHE NON-ACUSTICHE DELLE BARRIERE ANTIRUMORE

Andrea Demozzi¹, Paolo Simonetti², Giovanni Brero³

¹ Direzione Tecnica Autostrada del Brennero S.p.A.

² Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente di Trento

³ Intekna S.p.A. – Industria Tecnologie Avanzate

1. Premessa

Con la presente relazione si intende offrire un'ipotesi di caratterizzazione delle barriere antirumore dal punto di vista non-acustico, identificando tali manufatti negli elementi costitutivi ed indicando delle possibili priorità, da considerare in un corretto approccio alla progettazione.

Metodologicamente, si cercherà di fornire gli elementi di conoscenza di base nei processi e nelle attività relative alla costruzione di una barriera antirumore. Per quanto possibile, quindi, si eviterà la mera elencazione di normative tecniche di riferimento, facilmente rintracciabili nella letteratura sull'argomento, privilegiando, invece, gli aspetti conoscitivi che tali normative presuppongono.

2. Identificazione di una barriera antirumore

Dal punto di vista esecutivo, quindi non strettamente acustico, le barriere antirumore possono essere classificate in due tipologie principali (cfr. G. Mucci, L. Rocco, Barriere antirumore per il traffico stradale, in bibliografia):

- le barriere a pannello, o “artificiali”, caratterizzate dall'esiguo spazio occupato in larghezza, dalla relativa leggerezza; il carattere artificiale dell'opera ne impone uno studio architettonico per consentire un corretto inserimento paesaggistico;
- le barriere a terrapieno, o “naturali”, che richiedono maggiore disponibilità di spazio, con un facile inserimento nel paesaggio naturale.

In ambedue le tipologie sono presenti degli elementi costitutivi che si intende analizzare nel corso della presente relazione.

In particolare, le barriere artificiali presentano sempre dei pannelli, composti o a lastra, sostenuti da una struttura portante, che trasmette al terreno o all'opera d'arte le sollecitazioni cui è sottoposta mediante opportune fondazioni o collegamenti.

Analogamente, le barriere naturali presentano un riempimento in terreno vegetale piantumato con essenze, sostenuto da una struttura portante, che trasmette al terreno le sollecitazioni cui è sottoposta mediante opportune fondazioni. Questo tipo di barriere necessita anche di un impianto d'irrigazione.

3. Le barriere antirumore artificiali

Pannelli

Le tipologie di pannello principalmente utilizzate negli ultimi anni sono le seguenti.

- Pannelli in lamiera metallica di alluminio, protetti esternamente ed internamente a tutti gli effetti contro la corrosione, mediante verniciatura in polvere poliestere di spessore minimo di 60 μ m per le facciate esposte e 30 μ m per le facciate interne dei pannelli, con superficie forata rivolta verso la sorgente di rumore, contenenti materiale fonoassorbente, generalmente costituito da uno strato di fibre minerali o di vetro ad alta densità, protetto sul lato della foratura con tessuti idrorepellenti.

Questo tipo di pannello presenta buone caratteristiche per quanto riguarda la leggerezza, le proprietà fonoassorbenti ed il costo; la scelta dell'alluminio garantisce dalla corrosione, tuttavia l'insorgere di questo fenomeno può essere causato da errori progettuali dei pannelli (presenza di gole con impossibilità di deflusso dell'acqua) o da trattamenti superficiali non adeguati.

- Pannelli in legno, di spessore minimo totale pari a 12cm, realizzati in legno di ottima qualità, trattato con procedimenti speciali di impregnazione con sali organici. Il materiale fonoassorbente interno al pannello, in due strati generalmente da 50 e 30mm, è costituito da uno strato di fibre minerali o di vetro ad alta densità e deve essere protetto da un telo siliconico a grossa trama verso la sorgente del rumore.

La parte del pannello rivolta verso la sorgente del rumore è decorata con griglia in legno, secondo la forma definita in progetto, mentre la superficie posteriore è costituita da tavole accoppiate ad incastro di spessore > 2cm.

A finitura dei pannelli in testa è previsto un corrente in legno, sporgente almeno 4cm dal pannello.

Le caratteristiche di tale pannello consentono un ottimo inserimento ambientale in particolari contesti paesaggistici; qualche problema permane per quanto riguarda la componente di rumore riflessa e la durabilità degli elementi in ambiente stradale particolarmente aggressivo, quale quello alpino. I costi risultano medio-alti.

- Un'evoluzione di questo prodotto è rappresentata da una soluzione che integra le caratteristiche dei pannelli in alluminio con quelle dei pannelli in legno; in sintesi la parte rivolta ai ricettori resta quella dei pannelli in legno, mentre la parte a listelli rivolta verso la sorgente è sostituita da una lamiera grecata forata in alluminio; eliminando il carattere artigianale della parte listellata è più facile garantire l'uniformità della produzione, con maggiori garanzie di durabilità, incremento delle prestazioni acustiche e contenimento dei costi di produzione. Dal punto di vista estetico l'utente della strada non percepisce differenze significative, avendo una visione dinamica del manufatto, mentre resta garantita la visione statica dalla parte dei ricettori.
- Pannelli a struttura portante in calcestruzzo armato e parte fonoassorbente in materiale alleggerito o poroso, realizzati abbinando uno strato portante in calcestruzzo armato di spessore dell'ordine di 10cm ad uno strato rivolto verso la sorgente di rumore con caratteristiche fonoassorbenti garantite dalla forma e dalla natura dei materiali impiegati (argilla espansa, pomice, porous beton, cemento legno).
- Pannelli in calcestruzzo alleggerito con argilla espansa, realizzati assemblando piastre modulari di dimensioni in genere 500x500mm e spessore 150mm (modificabile in sede di produzione), con leganti ed additivi che consentono la realizzazione della particolare forma del manufatto, studiata in modo da aumentare le proprietà fonoassorbenti, già intrinseche all'argilla espansa. E' possibile una

produzione in vasta gamma di colorazioni, mediante additivi (ossidi) in fase di lavorazione dell'impasto.

Queste due tipologie di pannelli in calcestruzzo garantiscono ampiamente i requisiti minimi di fonoisolamento e raggiungono valori medi di fonoassorbimento incrementabili con lo studio della forma o di cavità risonanti.

La durabilità dei prodotti è garantita da una corretta esecuzione dell'attacco tra strato portante e strato alleggerito e, nel caso dell'argilla espansa, da una scelta corretta della granulometria e dal legante impiegato al fine di evitare disgregazione e rotture per effetto del gelo-disgelo.

Gli svantaggi sono determinati dal peso di tali piastre, che necessitano di una struttura di supporto posteriore, con occupazione di spazio in larghezza. I costi risultano medi.

- Lastre trasparenti in polimetilmetacrilato, realizzate con materiale non rigenerato, dello spessore minimo consigliato di 20mm, con caratteristiche tecniche particolari per quanto riguarda la trasparenza e la resistenza meccanica, misurate come trasmittanza totale (>90%), resistenza a flessione (>95N/mm²) e modulo elastico (> 3000N/mm²).

Anche in questo caso è possibile aggiungere degli additivi in fase di lavorazione, con conseguente colorazione delle lastre trasparenti.

Il pregio maggiore di questi pannelli è, appunto, la trasparenza, apprezzabile sia dal punto di vista paesaggistico che dal punto di vista della sicurezza (visibilità e riduzione del rischio-gelo sulla sede stradale). Un limite nella loro applicazione è rappresentato dalla mancanza di proprietà fonoassorbenti e, di conseguenza, l'elevata componente di rumore riflessa può comportare problemi in ambienti acusticamente complessi. La manutenibilità di queste lastre trova ancora oggi un ostacolo nell'assenza di solventi idonei all'eliminazione dei graffi.

Altri pannelli sono attualmente in fase di sperimentazione: ad esempio in Autostrada del Brennero sono attualmente in corso installazioni campione e prove sui seguenti pannelli.

- Pannelli trasparenti risonanti in policarbonato, costituiti da una lastra trasparente opportunamente forata, orientata verso la sorgente di rumore, contrapposta ad una lastra trasparente piena fonoisolante; le lastre sono protette ai raggi UV su entrambi i lati. Tra le due lastre è prevista un'intercapedine d'aria; le due lastre sono scatolate in un profilo di alluminio anodizzato, provvisto di opportune guarnizioni perimetrali, che consente la veloce messa in opera dell'intero pannello.

Tale pannello presenta buone caratteristiche acustiche sia di fonoassorbimento sia di fonoisolamento, oltre alle ottime caratteristiche fisiche e meccaniche del policarbonato (trasparenza, leggerezza, lavorabilità, resistenza meccanica, chimica ed agli urti).

Il prezzo risulta abbastanza alto, ma si ritiene giustificato nel caso di installazioni in cui sia necessario garantire sia la trasparenza sia la fonoassorbenza.

- Pannelli in legno a membrana in lamina di acciaio, con proprietà sia fonoassorbenti che fonoisolanti; all'interno del pannello è previsto un sistema a membrana per l'isolamento acustico delle basse frequenze principalmente prodotte dal traffico pesante, consistente in una lamina di acciaio Fe360 zincato, di spessore totale pari a 0.8mm, vincolata a dei supporti elastici antivibranti in gomma.

La lamina in acciaio separa due strati di materiale fonoassorbente in fibre minerali o di vetro ad alta densità, da 50 e 20mm di spessore, interni al pannello, protetti da un

telo siliconico a grossa trama verso la sorgente del rumore. Per il resto il pannello è composto in maniera del tutto analoga ai pannelli in legno tradizionali.

Anche in questo caso il miglioramento delle proprietà acustiche è correlato ad un aumento del costo di produzione, non tanto nei materiali utilizzati (la maggior parte del costo è comunque nel legno), quanto nella composizione del pannello.

Struttura portante

Attualmente, i principali enti gestori di infrastrutture stradali prescrivono che la struttura portante per il sostegno dei pannelli antirumore sia soprattutto in acciaio zincato e verniciato. Sono considerati anche altri tipi di montanti (in calcestruzzo armato o in legno), ma utilizzati in minore quantità ed in situazioni particolari.

Montanti e accessori metallici, quindi, sono in acciaio Fe360B (secondo UNI EN 10025), zincato a caldo come da progetto di norma UNI E14.07.000.0, per uno spessore non inferiore a 80µm, previo ciclo di sabbiatura fine SA 2½ oppure trattamento di decapaggio chimico. Inoltre è previsto un ulteriore trattamento di verniciatura a polveri termoindurenti delle superfici dopo la zincatura, previo trattamento per migliorare l'aderenza.

Lo spessore minimo locale della protezione, compreso lo spessore della zincatura, è pari ad almeno 150µm.

Analogamente sono zincati a caldo i collegamenti mediante bulloni, dadi e tirafondi, le piastre e le contro-piastre.

Per quanto riguarda la posa, i tirafondi sono posizionati ed inglobati nel getto delle fondazioni utilizzando opportune dime per il mantenimento della corretta interdistanza fra montante e montante.

I montanti sono posati in perfetto allineamento, sia planimetrico sia altimetrico, tenendo conto dell'effettivo andamento della struttura di supporto. La piastra di base risulta in un primo momento rialzata rispetto al cordolo/fondazione sottostante, al fine di realizzare, una volta fatta la correzione altimetrica del montante, un getto di completamento in calcestruzzo espansivo, opportunamente contenuto entro casseri metallici.

Trasmissione dei carichi

In fase di valutazione dei costi, nelle attività di pianificazione degli interventi, risulta particolarmente importante tenere conto dell'incidenza delle fondazioni o dei collegamenti ai cordoli, nel caso di barriera su opera d'arte.

Infatti, in base all'esperienza maturata, su barriere di media altezza (H=3,00m) risulta quanto segue:

Tipo di fondazione	Incidenza sul totale dei lavori
Fondazione diretta	30%
Fondazione su pali a grande diametro	35%
Fondazione su micropali	40%
Collegamento con rifacimento dei cordoli di viadotto	50%

Occorre quindi che sia valutata attentamente la convenienza e l'opportunità di un tipo di fondazione rispetto all'altro, considerando in particolare le caratteristiche del terreno, l'altezza della barriera e l'occupazione della sede stradale durante le attività di cantiere.

In particolare, è consigliabile l'utilizzo di fondazioni dirette per barriere medio-basse (fino a circa 3.50m), prevedendo pali a grande diametro (800mm) solo per barriere di altezza elevata ed in terreni adeguati, in considerazione delle difficoltà esecutive e dell'ingombro delle attività di cantiere relative a tali pali. In alternativa, si è considerata anche la tecnologia dei micropali, in forte evoluzione negli ultimi anni, più costosa ma di agevole esecuzione, nonché interessante dal punto di vista dell'impatto sulla viabilità.

Nel caso, invece, di intervento su opera d'arte, si deve sempre considerare la necessità di rinforzare la struttura dei cordoli del viadotto o del muro di sostegno, generalmente non dimensionati all'epoca di costruzione per gli sforzi trasmessi da una barriera antirumore, nonché la necessità di ricostruire le parti esposte della stessa struttura, spesso fortemente degradate e corrose.

Tali considerazioni portano, di fatto, alla necessità di prevedere la costruzione delle eventuali barriere antirumore su opere d'arte all'interno dei programmi di risanamento e/o ricostruzione delle stesse opere. La costruzione di barriere antirumore su cordoli di opere d'arte, quindi, è generalmente effettuata contestualmente al rifacimento completo dei cordoli stessi, con rinforzo del collegamento dei cordoli all'impalcato, previa verifica della struttura dell'opera nel suo complesso.

4. Le barriere antirumore naturali

Le principali esperienze maturate su questo tipo di barriera antirumore riguardano la realizzazione di "biomuri", ottenuti con elementi portanti in legno, o in calcestruzzo, o in acciaio, predisposti per contenere essenze vegetali. Le piante in essi contenute sono generalmente scelte in base alle seguenti caratteristiche:

a) per quanto riguarda le specie vegetali

- patrimonio botanico locale
- caratteristiche del terreno
- latitudine
- quota
- contesto urbano

b) per quanto riguarda le piante

- sempreverdi
- ad alta densità fogliare
- totale assenza di agenti patogeni
- a rapida crescita

Più in particolare, la struttura di sostegno in legno è normalmente realizzata in legno duro di prima classe (DIN 68364), avente adeguate caratteristiche di resistenza sia alle sollecitazioni sia al deperimento organico.

Tale struttura consiste in un assemblaggio trapezoidale di pali con una distanza reciproca di 1.5m, opportunamente controventati.

Per altezze superiori ai 4.00m le distanze dei sostegni sono diminuite, seguendo i normali criteri per il dimensionamento delle strutture in legno. I sostegni trapezoidali sono rinforzati con travi trasversali. A distanza di 25m sono inserite delle controventature.

Sono inoltre previste delle assi dello spessore minimo di 4cm per il contenimento trasversale del terreno.

Tutta la viteria, la bulloneria, le barre filettate, gli ancoraggi al calcestruzzo, le piastre di contenimento al piede della barriera, sono in acciaio inox; i controventi longitudinali e trasversali possono essere in legno, dello stesso tipo di quello usato per la costruzione della barriera, oppure in acciaio zincato. Per le installazioni con “new jersey” alla base è prevista una scossalina di copertura del “new jersey” stesso in acciaio inox, di spessore non inferiore a 8/10 di mm, opportunamente sagomata e ancorata al calcestruzzo in modo da consentirne le deformazioni termiche.

Il riempimento della barriera con terra vegetale è eseguito in più strati tramite mezzi meccanici dalla parte superiore. Secondo la qualità della terra è aggiunta sabbia o humus, previa fornitura di un’analisi chimica della terra usata in modo da verificare la compatibilità della stessa con le essenze da piantumare.

Per evitare degli abbassamenti la terra è costipata con acqua e lasciata sedimentare per almeno due mesi prima della messa a dimora delle piante. Sono, inoltre, necessari vari interventi per riempire gli eventuali abbassamenti della terra; eventuali vuoti sono eliminati muovendo adeguatamente la terra e ricalzando la stessa anche all’interno dei singoli cassettini della barriera.

Il piede della barriera deve essere opportunamente ancorato alla fondazione in calcestruzzo o mediante la predisposizione di adeguati alloggi ricavati direttamente all’interno delle fondazioni o mediante la messa in opera di squadretta in acciaio inox di collegamento fra fondazione e montanti in legno, squadrette dotate di opportuni tasselli di ancoraggio.

Su tali barriere, infine, è previsto su entrambi i lati e sulla testa un adeguato impianto di irrigazione a goccia che garantisca acqua sufficiente nel periodo della crescita iniziale e nei periodi secchi.

I principali pregi di tali tipi di barriera antirumore sono sicuramente le ottime caratteristiche acustiche e la possibilità di ottenere valide soluzioni di inserimento ambientale.

I limiti, invece, consistono soprattutto nella necessità di ampi spazi in larghezza (da 1.5 a 3.5 m) e di un attento e continuo programma di manutenzione, sia come sfalcio e cura delle piante, che come integrazione ed additivazione del terreno.

Per quanto riguarda infine i costi, occorre ricordare che le barriere naturali generalmente non necessitano di opere di fondazione importanti. Globalmente, quindi, i costi sono da ritenersi medio-alti, e quindi concorrenziali, in considerazione delle notevoli prestazioni acustiche.

5. La progettazione di qualità

Dopo aver brevemente caratterizzato le principali tipologie di barriere antirumore presenti sul mercato ed in corso di sperimentazione, si intende ora affrontare un tema comune ad ogni tipologia nel suo insieme e ad ogni componente delle singole tipologie: la progettazione di qualità, nel senso di una progettazione che renda possibile una realizzazione a regola d’arte.

Ribadita l’assoluta necessità di uno studio acustico per garantire il raggiungimento degli obiettivi di bonifica, dal punto di vista “esecutivo” si sono individuati principalmente cinque argomenti che si ritiene possano caratterizzare una progettazione di qualità:

- il dimensionamento e calcolo strutturale;
- la durabilità;
- la sicurezza;

- la manutenzione.

Nella presente relazione si intendono approfondire le problematiche relative al secondo e terzo punto (dimensionamento e durabilità), offrendo solo alcuni spunti conoscitivi sugli altri argomenti.

5.1 Studio architettonico

La fase di studio di inserimento sia ambientale sia architettonico è generalmente sotto-stimata sia dai tecnici sia dai committenti di barriere antirumore. Per questo genere di opera, invece, si ritiene necessario uno studio di impatto ambientale già in fase di progettazione di massima, in modo da considerare sia gli impatti sull'ambiente, soprattutto come inserimento nel paesaggio, sia l'impatto sull'utente dell'infrastruttura stradale. Occorre da subito valutare gli effetti psicologici sulla popolazione, nel caso di barriere molto vicine ad abitazioni, nonché il disagio sugli automobilisti provocato da eventuali tratti di considerevole lunghezza senza visibilità sull'ambiente circostante, noto come "effetto-tunnel", nel caso di pannellature in fregio all'infrastruttura stradale.

Sia la geometria della barriera che lo studio dei materiali da utilizzare, quindi, dovrà considerare anche questo genere di problematiche, con l'attenzione, inoltre, ad una resa estetica gradevole dell'insieme.

5.2 Dimensionamento e calcolo strutturale

Come è noto, è in corso di elaborazione una normativa tecnica europea di riferimento in merito alle caratteristiche non-acustiche delle barriere antirumore (EN 1794-1 e prEN 1794-2).

In particolare per quanto riguarda l'analisi dei carichi, questa normativa costituisce, di fatto, il riferimento tecnico più autorevole, non esistendo attualmente in Italia indicazioni specifiche sull'argomento barriere antirumore.

Fino ad oggi l'analisi dei carichi è stata condotta riferendosi al D.M. 16 gennaio 1996, citato in bibliografia, per quanto riguarda le azioni statiche: peso proprio, neve, vento (a cui è applicato anche un coefficiente dinamico per le vibrazioni strutturali) e variazioni termiche. Si è fatto riferimento, inoltre, al D.M. 4 maggio 1990 per gli effetti conseguenti ad azioni dinamiche quali lo spostamento d'aria di un veicolo in passaggio e l'urto di un veicolo in svio, estrapolando alcune considerazioni ivi contenute.

Ora, invece, la normativa europea citata definisce precisamente:

- a) il carico del vento, riferito comunque a mappature nazionali per la velocità di base del vento su cui calcolare la pressione;
- b) la pressione dinamica conseguente al passaggio dei veicoli, differenziata per velocità dei veicoli e distanza della barriera;
- c) il peso proprio degli elementi acustici, misurato a secco e bagnato;
- d) il peso proprio delle strutture.

Sono inoltre definite le deformazioni massime degli elementi soggetti a tali carichi, secondo determinate combinazioni di carico ed entro intervalli definiti di temperatura.

La EN 1794-1 descrive infine delle specifiche per l'impatto di pietre sugli elementi acustici, nonché un carico neve dinamico, nel caso di operazioni di sgombraneve dalla sede stradale mediante frese.

Rimane, però, ancora da definire precisamente il carico trasmesso alle strutture in caso di veicolo in svio. Tale dato risulta necessario solo in due casi:

- a) barriera di sicurezza con fondazioni solidali con la barriera antirumore; occorre in questo caso quantificare il carico trasmesso alle fondazioni in caso di urto di un veicolo pesante contro il tipo di barriera di sicurezza previsto;
- b) barriera di sicurezza integrata nella barriera antirumore (ad esempio “new-jersey” alla base); in questo caso la normativa europea citata prevede che il sistema nel suo complesso debba essere sottoposto ad una verifica mediante “crash-test”.

Nel caso invece di barriera di sicurezza prospiciente la barriera antirumore e strutturalmente separata dalla stessa, si ritiene ovviamente lecito non applicare il carico dinamico del veicolo in svio alla barriera antirumore.

Per il calcolo strutturale, infine, si fa riferimento agli EuroCodici relativi ai diversi materiali impiegati, con calcolo e verifica agli stati limite e di esercizio.

5.3 Durabilità

Parti metalliche

Si è già accennato al problema della corrosione delle parti metalliche di una barriera antirumore. Questo fenomeno è particolarmente accentuato in ambito stradale: i sali disgelanti sparsi sulle pavimentazioni, le nebbie, l’umidità, i cicli di gelo-disgelo intaccano il metallo, anche se protetto, e trovano “alimento” nell’ambiente acido determinato dai gas di scarico (ossidi ed anidride carbonica). Un’ulteriore accelerazione del fenomeno può derivare anche da contatti non previsti e non protetti fra materiali con potenziali elettrici diversi, e quindi con caratteristiche di resistenza alla corrosione diverse (“effetto pila”, a scapito del materiale più nobile).

A tale problema si può ovviare in diversi modi, di seguito brevemente descritti.

- a) Zincatura dell’acciaio tradizionale (Fe360, Fe430, Fe510 secondo UNI EN 10025).

La zincatura è un procedimento complesso che deve essere eseguito con attenzione in tutte le sue parti.

Una prima verifica va condotta sul supporto: gli elementi che concorrono in diversa percentuale a formare l’acciaio possono influenzare, a seconda del contenuto percentuale, la reazione fra il ferro e lo zinco, che determina lo strato protettivo. Ad esempio, un eccessivo contenuto di silicio nell’acciaio determina un eccesso di spessore e di fragilità del rivestimento; recenti indagini hanno determinato in $0.15 \pm 0.25\%$ e $0.03 \pm 0.04\%$ i due range ammissibili di contenuto massimo di silicio.

Nel procedimento, inoltre, va curata attentamente la preparazione delle superfici da zincare, secondo le seguenti fasi: sabbiatura (per eliminare residui bituminosi o di saldatura), sgrassaggio in soluzione calda (solitamente a base di soda caustica), decapaggio mediante immersione in acido cloridrico (per eliminare ossidi, ruggine e calamina), flussaggio mediante immersione in una soluzione di sali di zinco e di ammonio (per agevolare l’aggrappo), preriscaldamento e finalmente immersione nello zinco fuso, puro almeno al 98%, ad una temperatura variabile dai 440 ai 460°.

Lo spessore minimo della zincatura risultante deve essere pari a 80µm.

- b) Verniciatura dell’acciaio zincato.

Il trattamento duplex di verniciatura dopo la zincatura a caldo presenta soprattutto le seguenti finalità:

- scopo estetico;
- incremento della durata della protezione, calcolata in misura variabile dal 150 al 225% rispetto alla somma delle durate dei due tipi di protezione presi singolarmente;

- protezione dalla corrosione galvanica, nel caso di possibili contatti dell'acciaio zincato con altri metalli di potenziale elettrico maggiore (ad esempio acciaio inox, alluminio, rame).

Per ottenere una buona e durevole adesione della vernice, la superficie zincata a caldo deve essere pulita accuratamente. Il sistema di pulitura più testato è la sabbiatura fine con successiva applicazione di primer. Recentemente si sta affermando un nuovo trattamento della superficie zincata, composto di sgrassaggio in fase acida e fosfo-cromatazione, per depositare sul pezzo, con ottimo ancoraggio chimico, un sottile strato di fosfocromato di cromo, $0.6\div 0.7\mu\text{m}$.

Successivamente ai trattamenti superficiali, la fase di verniciatura consigliata prevede l'applicazione di smalto in polvere di poliestere termoindurente e successiva polimerizzazione in forno ventilato a temperatura minima di $190\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Lo spessore minimo della verniciatura risultante deve essere pari a $75\mu\text{m}$.

c) Utilizzo delle leghe di alluminio.

Una valida alternativa all'acciaio zincato è sicuramente l'alluminio. Questo elemento, a seconda del tipo di lega utilizzato, può presentare ottime caratteristiche di resistenza alla corrosione e di resistenza meccanica. La resistenza alla corrosione può inoltre essere migliorata mediante un intervento di verniciatura analogo a quello sopra descritto: la fosfo-cromatazione, infatti, si adatta molto bene al supporto in alluminio.

Le leghe più utilizzate nell'edilizia sono attualmente quelle della classe 3xxx (alluminio-manganese) e 6xxx (alluminio-magnesio-silicio); si ricorda che le diverse leghe sono generalmente classificate indicando al posto di "xxx" le percentuali dei diversi elementi presenti. Sono in corso di sperimentazione alcune leghe molto interessanti per le caratteristiche richieste in ambiente stradale, della classe 5xxx (alluminio-magnesio) e 7xxx (alluminio-zinco), attualmente usate in ambito navale e automobilistico.

L'alluminio può essere utilizzato sia nei pannelli sia nella struttura, garantendo particolari caratteristiche di leggerezza e di resa estetica dei manufatti.

d) Viteria e finiture.

La zincatura a caldo di piccoli elementi (raccordi, bulloni, dadi, rondelle) è molto delicata, e si presta ad irregolarità esecutive. Occorre quindi valutare con attenzione tali elementi, sia negli spessori sia nell'omogeneità del rivestimento, nonché nella corretta impostazione della filettatura. In alternativa, per zone particolarmente esposte, si consiglia l'uso dell'acciaio inossidabile, del tipo AISI 316L (X5CrNiMo17-12), resistente all'attacco di acidi e sali. Evitare l'uso del tipo AISI 304, meno resistente del 316 ad alte concentrazioni di cloruro, e quindi non adatto all'ambiente stradale.

Scossaline e coperture di finitura potranno essere realizzate in acciaio inox AISI 316L o in alluminio preverniciato, con collegamenti mediante rivetti o chiodi in acciaio inox.

Eventuali contatti fra materiali con potenziali elettrici diversi vanno sempre protetti con guarnizioni isolanti in gomma (rondelle, spessori, diaframmi).

Calcestruzzo

Si intende affrontare l'aspetto della durabilità del calcestruzzo soprattutto per quanto riguarda le opere di fondazione e di collegamento delle barriere antirumore ai cordoli di manufatti.

Analogamente alle parti metalliche sopra considerate, la durabilità del calcestruzzo nelle opere stradali è determinata dalla resistenza all'attacco combinato dei seguenti fattori:

- aggressione dei vari elementi strutturali (solette, cordoli, pile, pulvini) da parte delle acque provenienti dal piano viabile, spesso fortemente clorurate a causa del massiccio uso di sali disgelanti; gli ioni-cloro sono il primo veicolo della corrosione delle armature, con conseguente possibile distacco del calcestruzzo a causa dell'aumento di volume delle armature ossidate;
- carbonatazione dello strato corticale di calcestruzzo ("copriferro") dei vari elementi strutturali, conseguente alla reazione chimica fra cemento e anidride carbonica penetrata nel conglomerato, e conseguente passaggio del conglomerato cementizio da ambiente basico (pH prossimo a 12.5) ad ambiente acido (pH minore di 9), favorevole all'innescare dei fenomeni di corrosione;
- cicli ripetuti di gelo e disgelo nelle possibili fessurazioni ed interstizi di strutture già degradate in conseguenza dei primi due punti, con accelerazione del distacco di porzioni di conglomerato e della corrosione.

In fase di progettazione dei cordoli superficiali di fondazione o del rifacimento dei cordoli esistenti su opere d'arte, occorre prevedere l'utilizzo di materiali e tecnologie che garantiscano la durabilità del calcestruzzo armato in tale ambiente aggressivo.

In particolare si consiglia la ricostruzione dei cordoli di manufatti stradali (viadotti, ponti, muri) mediante calcestruzzo reoplastico a ritiro compensato, confezionato con legante espansivo predosato e premiscelato, con inerti di idonea granulometria, con acqua, additivi e fibre in poliacrilonitrile, in modo da ottenere le seguenti principali caratteristiche tecniche:

- resistenza a rottura per compressione a 28 giorni: $\geq 50\text{N/mm}^2$;
- rapporto acqua cemento: ≤ 0.40 ;
- aria totale occlusa: $4\% \pm 0.5\%$;
- assenza di acqua essudata.

I cordoli così realizzati vanno inoltre impermeabilizzati secondo il seguente ciclo:

- ravvivatura, con getti ad alta pressione di sabbia silicea, delle superfici dei nuovi cordoli;
- trattamento idrofobizzante mediante impregnazione corticale con derivati silanici;
- nuova ed accurata ravvivatura con getti ad alta pressione di sabbia silicea;
- impermeabilizzazione delle superfici dei cordoli, mediante applicazione di un rivestimento strutturale costituito da malta polimerica a basso modulo elastico, stesa per uno spessore di 10mm previa applicazione di un primer di attacco al supporto.

In alternativa, nel caso di cordoli di fondazione su rilevato ed in ambiente non eccessivamente aggressivo, si può considerare l'utilizzo di conglomerati cementizi di buona resistenza ($R_{ck} \geq 40\text{N/mm}^2$), impermeabilizzati con membrana continua applicata a spruzzo, costituita da un sistema elastomerico poliuretano bicomponente, di spessore almeno pari a 3mm.

Legno

All'interno del Comitato Tecnico europeo TC175 ("Qualità del legno e dei prodotti in legno"), è stato istituito recentemente un gruppo di lavoro sul tema della utilizzazione del legno nelle barriere antirumore". In particolare si è considerato il legno proveniente da essenze tropicali, e si sono già raggiunti alcuni punti di riferimento della norma in fase di elaborazione:

- la norma dovrà precisare che esiste una relazione diretta tra la densità del legno e l'isolamento dal rumore, e quindi le essenze tropicali (di maggiore densità) saranno ritenute più appropriate;

- l'attenzione all'ambiente ed ai costi dovrà implicare che le essenze tropicali che resistono bene a condizioni climatiche avverse siano da preferire ad essenze che necessitano di trattamenti chimici;
- uno dei punti della norma dovrà occuparsi del problema del riciclaggio, penalizzando i legni trattati chimicamente.

L'indirizzo dato dalle norme internazionali, quindi, sembra andare verso una forte valorizzazione delle essenze tropicali. Si ritiene opportuno, però, chiedere una particolare attenzione ed un controllo continuo a tale attività, per non correre il rischio di un abuso di tali essenze, come è successo in passato. Un parziale controllo è già in vigore, essendo possibile richiedere il certificato di riforestazione in accompagnamento ad ogni fornitura di questo tipo di legno.

Per quanto riguarda gli aspetti più propriamente di capitolato, la struttura portante del pannello potrà essere richiesta in legno Azobé o Bongossi (*Lophira alata*), o comunque in essenza con le seguenti caratteristiche:

- resistenza alla compressione assiale: 1.050kg/cmq
- resistenza alla flessione: 2.250kg/cmq
- modulo di elasticità: 170.000kg/cmq

Altro legno consigliato per le strutture o le bordature è il Bois d'Or o Golden Teak (*Nauclaea diderrichii*), anche se con caratteristiche leggermente inferiori all'Azobé.

Invece, la schiena dei pannelli e i profili nella parte anteriore dovranno essere composti con un legno di elevato peso specifico (per il fonoisolamento), ma soprattutto con notevole valore di imputrescibilità e valenza estetica per l'inserimento ambientale.

A tale scopo il legno consigliato è il Mogano o Timbra (*Didelotia*), con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- resistenza alla compressione assiale: 480kg/cmq
- resistenza alla flessione: 980kg/cmq
- modulo di elasticità: 96.000kg/cmq

A finitura delle parti in legno ed allo scopo di mantenerne integra nel tempo la colorazione naturale, si può prevedere un ciclo di verniciatura trasparente oleosintetica superiore, usata nel settore degli alimentari, applicata a spruzzo.

In alternativa si potrà usare legno tradizionale, comunque di ottima qualità, come il larice o l'abete rosso, usato anche nella composizione del lamellare. Il legno dovrà essere resistente al deperimento organico, trattato con procedimenti speciali secondo le norme DIN 68800 per evitare la formazione di funghi. In particolare il legno sarà sottoposto all'impregnazione di sali inorganici indilavabili tipo CB preservanti in autoclave in pressione con procedimento Bethell UNI 8859, seguendo le indicazioni delle proposte di normativa CEE (G.U. CEE d.d. 24.6.1992 n° 92/C157/05) al riguardo del contenuto di benzo-pirene e di fenoli estraibili in acqua.

Trasparente

Si è già accennato nel corso della relazione alle lastre in materiale trasparente. I materiali principali in questo settore sono: il vetro stratificato o armato, il metacrilato e il policarbonato.

I parametri di durabilità da considerare in questo caso si riferiscono al mantenimento nel tempo delle caratteristiche di trasparenza e di purezza superficiale, sia come ingiallimento conseguente alle radiazioni ultra-violette, sia come possibilità di graffiature conseguenti a ghiaino o sassi scagliati dai veicoli in transito.

Qualsiasi produttore può allegare alle diverse forniture le schede tecniche relative ai parametri di durabilità sopra riportati: occorre però verificare l'omogeneità dei diversi parametri e delle diverse modalità di prova proposte.

La normativa tecnica internazionale già citata, EN 1794-1 e prEN 1794-2, prevede alcuni test standard per verificare la resistenza a piccoli urti e la trasparenza dei diversi materiali. In particolare, considera separatamente due tipi di trasparenza:

- la trasparenza per gli abitanti dietro la barriera antirumore, trasparenza "statica", importante per ragioni estetiche e psicologiche;
- la trasparenza per gli utenti della strada, trasparenza "dinamica", importante per la sicurezza stradale nelle intersezioni e nelle curve.

Altri parametri considerati sono la resistenza al fuoco ed il comportamento a rottura, come si descrive brevemente nel prossimo paragrafo relativo alla "sicurezza".

5.4 Sicurezza

Il tema della sicurezza va sviluppato su tre livelli:

- sicurezza degli elementi e dei materiali;
- sicurezza nella costruzione;
- sicurezza nell'esercizio.

Al primo livello fanno riferimento le normative e prescrizioni tecniche sulle proprietà intrinseche dei materiali utilizzati: atossicità, riciclabilità, smaltimento. Soprattutto dal punto di vista della protezione ambientale, i materiali devono essere specificati sia nei loro componenti che negli elementi eventualmente prodotti dalla esposizione naturale all'ambiente e al fuoco.

Al secondo livello (sicurezza nella costruzione) fanno riferimento le normative nazionali ed internazionali sulla sicurezza nei cantieri, che devono essere tenute presenti all'atto della progettazione. Infatti, il recente Decreto Legislativo 494/96, in attuazione della direttiva 92/57/CEE, impone delle prescrizioni minime di sicurezza e di salute da attuare nei cantieri temporanei o mobili, prevedendo la redazione di un dettagliato Piano di Sicurezza già in fase di progettazione.

Modalità esecutive, attrezzature impiegate ed operai impegnati devono essere attentamente valutati dal progettista della barriera antirumore.

Infine, per quanto riguarda la sicurezza nell'esercizio, fa riferimento ancora la normativa europea prEN 1794-2, che specifica alcune prescrizioni in merito a:

- resistenza degli elementi al fuoco, indicando un test-tipo a tale riguardo;
- pericolo di caduta di parti di barriera in seguito a violenti urti;
- uscite di sicurezza;
- riflessione della luce e trasparenza.

In particolare, è apprezzabile lo sforzo in atto da parte di alcuni produttori per ovviare al pericolo di caduta di parti o frammenti di barriera in caso di urto, molto importante nelle installazioni su viadotti, ponti e comunque in prossimità di edifici privati.

Fino ad oggi tale pericolo era evitato ponendo sull'esterno della barriera dei pannelli di protezione costruiti con profilati zincati a caldo e rete elettrosaldata con maglia 50x50mm e filo del diametro di 3mm zincato.

Le nuove tipologie, invece, prevedono le seguenti possibilità:

- vincolo delle lastre mediante ganci di ancoraggio alla struttura in acciaio zincato o inox;

- lastre in metacrilato rinforzate all'interno con filamenti in poliammide da 2mm di diametro, con funzioni di dissipatori e di collegamento dei frammenti in caso di rottura;
- lastre in policarbonato, infrangibili a qualsiasi urto, vincolate come sopra alla struttura portante.

5.5 Manutenzione

Brevemente, una corretta progettazione esecutiva di una barriera antirumore deve considerare anche la necessità di manutenzione della stessa nel tempo. Occorre perciò tenere presente alcuni parametri, quali:

- l'accessibilità alla barriera e alle sue parti, anche in presenza di traffico;
- la modularità dei componenti della barriera, in modo da rendere possibili eventuali sostituzioni e comunque da garantire adeguate scorte di magazzino;
- la prevenzione, per quanto possibile, degli atti di vandalismo;
- le attività di manutenzione ordinaria e straordinaria, classificate in un programma con indicazione del tipo di attività manutentoria, dell'ingombro previsto della sede stradale e del personale necessario.

6. Conclusioni

Con la presente relazione si è inteso offrire alcuni spunti di lavoro e di approfondimento sul tema delle caratteristiche non-acustiche delle barriere antirumore, indicando gli aspetti che si ritengono prioritari per una progettazione esecutiva di qualità di tali manufatti.

In particolare si sono brevemente considerati i seguenti aspetti:

- lo studio architettonico e di impatto ambientale dell'opera, sia come inserimento nel paesaggio, che come effetto psicologico sulla popolazione residente e sugli utenti dell'infrastruttura stradale;
- il dimensionamento e calcolo strutturale, da effettuarsi, secondo le recenti indicazioni normative internazionali, considerando sia i carichi statici (peso proprio struttura, peso proprio elementi, vento, neve) che dinamici (pressione conseguente al passaggio dei veicoli, carico neve nel caso di operazioni di sgombraneve, urto di veicoli in svio);
- la durabilità, considerata sia come materiali strutturali ad elevata resistenza in "ambiente stradale", altamente aggressivo, che come rivestimenti protettivi finalizzati allo stesso scopo;
- la sicurezza, sia come qualità intrinseche dei materiali utilizzati, che come operazioni di cantiere previste per la realizzazione dell'opera, che, infine, come esercizio, durante la vita naturale dell'opera stessa;
- la manutenzione, intesa come accessibilità all'opera, modularità dei componenti ed organizzazione delle attività manutentorie in un programma previsionale.

Ognuno di questi aspetti avrebbe meritato una specifica relazione; si è perciò deciso di approfondire, compatibilmente con lo spazio a disposizione, le problematiche relative al calcolo strutturale ed alla durabilità, rimandando ad altre auspicabili occasioni il completamento delle considerazioni svolte.

Ringraziamenti

Si ringrazia la Direzione Tecnica della Autostrada del Brennero S.p.A. per la professionalità e la collaborazione offerta.

Bibliografia essenziale

- Decreto Ministero LL.PP. 4 maggio 1990, “Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di ponti stradali”;
- Decreto Ministero LL.PP. 9 gennaio 1996, “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”;
- Decreto Ministero LL.PP. 16 gennaio 1996, “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”;
- Circolare Ministero LL.PP. 4 luglio 1996, “Istruzioni per l’applicazione delle norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi, di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996”;
- EN 1794, “Road traffic noise reducing devices – Non acoustic performance”, CEN/TC226/WG6;
- EN 1317, “Road restraint systems”, CEN/TC226/WG1;
- UNI EN 10025, “Prodotti laminati a caldo di acciai non legati per impieghi strutturali”, luglio 1991;
- Progetto UNI E14.07.000.0, “Rivestimenti metallici protettivi applicati a caldo”, febbraio 1993;
- “Manuale dei materiali per l’ingegneria”, a cura di AIMAT, McGraw-Hill Libri Italia srl, Milano 1996;
- G. Mucci, L. Rocco, “Barriere antirumore per il traffico stradale”, Maggioli Editore, Rimini 1993;
- Autostrada del Brennero S.p.A. – Direzione Tecnica, “Capitolato Speciale d’Appalto – Norme Tecniche”, Trento 1998.