

**Armamento e Opere d'Arte  
Istituto Sperimentale  
Progettazione**

**DIVISIONE INFRASTRUTTURA  
Direzione Tecnica**

**BARRIERE ANTIRUMORE  
PER IMPIEGHI FERROVIARI**

**DISCIPLINARE TECNICO**

**Dicembre 1998**

(aggiorn. ediz. 91)

Con la collaborazione di Italferr S.p.A.

## INDICE

<b>1 - Introduzione</b>	pag.	1
1.1 – Scopo e campo di applicazione	“	1
1.2 - Riferimenti normativi	“	1
1.3 – Definizioni e simboli	“	4
<b>2 - Materiali costituenti le barriere artificiali</b>	“	6
2.1 - Pannelli: caratteristiche acustiche	“	6
2.1.1 - Pannelli fonoassorbenti	“	6
2.1.2 - Pannelli non fonoassorbenti	“	9
2.2 - Pannelli: caratteristiche meccaniche e chimiche	“	9
2.2.1 Pannelli metallici	“	9
2.2.1.1- Pannelli di acciaio zincato e verniciato	“	10
2.2.1.2- Pannelli di alluminio verniciato	“	11
2.2.1.3- Pannelli di alluminio anodizzato	“	12
2.2.2 - Pannelli in calcestruzzo armato normale o precompresso	“	12
2.2.3 - Pannelli in calcestruzzo armato o precompresso e calcestruzzo di argilla espansa (o materiale similare)	“	13
2.2.4 - Pannelli in calcestruzzo armato alleggerito	“	13
2.2.5 - Pannelli in legno	“	14
2.2.6 - Pannelli trasparenti	“	14
2.2.7 - Pannelli realizzati con altri materiali o con soluzioni innovative	“	16
2.3 - Montanti	“	16
2.3.1 - Montanti metallici	“	16
2.3.2 - Montanti in calcestruzzo armato	“	17
2.3.3 - Montanti in legno	“	17
2.3.4 - Montanti in materiali diversi	“	17
2.4 - Accessori	“	17
2.4.1 - Sigillanti e guarnizioni	“	17
2.4.2 - Accessori metallici	“	18
2.4.3 - Porte di servizio	“	18
<b>3 – Barriere</b>	“	19
3.1 - Caratteristiche acustiche	“	19
3.2 - Caratteristiche costruttive	“	21
3.2.1 - Geometria delle barriere	“	21
3.2.2 - Particolarità costruttive delle barriere	“	22
3.2.3 - Statica delle barriere - Carichi di progetto	“	22
3.2.4 - Barriere sui ponti	“	23
3.2.5 Protezione elettrica	“	24
3.3 - Caratteristiche di resistenza al fuoco	“	24
3.4 - Protezione ambientale	“	24

<b>4 - Barriere vegetali</b>	“	25
4.1 - Duna antirumore	“	25
4.2 - Muri vegetali	“	25
<b>5 - Barriere composite</b>	“	25
<b>6 - Manutenzione</b>	“	25
<b>7 - Fornitura di materiali di riserva</b>	“	26

## **1 - INTRODUZIONE**

Tutte le barriere ed i materiali che le costituiscono, per poter essere impiegati in campo ferroviario dovranno soddisfare le presenti prescrizioni tecniche. I materiali e le barriere devono essere sottoposti alle prove descritte nei paragrafi seguenti. Tali prove saranno effettuate dall'Istituto Sperimentale FS o da un laboratorio presso cui le prove stesse risultano accreditate dal SINAL (Sistema Nazionale per l'Accreditamento dei Laboratori), o da equivalente organismo di accreditamento europeo, o da un laboratorio specializzato preventivamente accettato dal Committente.

### **1.1 - SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE**

Scopo del presente Disciplinare Tecnico è quello di:

- definire le caratteristiche costruttive ed acustiche delle barriere antirumore e dei singoli componenti che le costituiscono;
- definire le metodologie di prova per la verifica della conformità alle prescrizioni.

Il Disciplinare Tecnico si applica alle barriere acustiche da realizzare ai lati di linee ferroviarie.

### **1.2 - RIFERIMENTI NORMATIVI**

Le norme di riferimento si intendono nell'edizione vigente alla data di emissione del presente Disciplinare Tecnico e dei successivi aggiornamenti.

ASTM D1925-70	Standard Test Method for Yellowness Index of plastics.
Circolare n.91 del Ministero Interni (14/09/1961)	Norme di sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati a struttura in acciaio destinati ad uso civile.
CNR UNI 10011	Costruzioni di acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.
CT 113 - ediz. 10/81	Fondo anticorrosivo (Condizioni Tecniche FS).
CT 116 - ediz. 10/81	Smalto a finire per esterno (Condizioni Tecniche FS).
DIN 5036-3	Strahlungsphysikalische und lichttechnische Eigenschaften von Materialien - Teil 3.
D.Lgs. 16/07/1998, n.285	Attuazione di direttive comunitarie in materia di classificazione, imballaggio ed etichettatura dei preparati pericolosi a norma dell'art.38 della Legge 24 aprile 1998, n.128.
D.M. 30/11/1983	Termini, definizioni generali e simboli grafici di prevenzione incendi.

D.M. 08/03/1985	Direttive sulle misure più urgenti ed essenziali di prevenzione incendi ai fini del rilascio del nulla osta provvisorio di cui alla L.07/12/1984, n.818
DM 29/07/1994	Attuazione delle direttive CEE numeri 89/677, 91/173, 91/338 e 91/339 recanti, rispettivamente, l'ottava, la nona, la decima e l'undicesima modifica della direttiva CEE n.76/769 per il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati membri relative alle restrizioni in materia di immissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi ai sensi dell'art.27 della legge 22 febbraio 1994, n. 146.
D.M. n.19 del 9/1/1996	Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.
DPR 11/07/1980, n.753	Norme in materia di polizia, sicurezza e regolarità dell'esercizio delle Ferrovie e di altri servizi di trasporto.
ISO 140/3-1995	Measurement of sound insulation in building and of building elements - Part 3.
ISO 354-1985	Measurement of sound absorption in a reverberation room
ISO 717/1-1982	Rating of sound insulation in buildings and building elements - Part 1.
prEN 1794-1:1998	Road traffic noise reducing devices - Non-acoustic performance - Part 1: Mechanical performance and stability requirements.
UNI 6484-69	Prodotti di fibre di vetro per isolamento termico ed acustico. Determinazione del diametro medio delle fibre mediante microscopio.
UNI 6485	Prodotti di fibre di vetro per isolamento termico ed acustico. Feltri resinati e pannelli. Determinazione della densità apparente.
UNI 6543-69	Prodotti di fibre di vetro per isolamento termico ed acustico. Feltri, resinati, pannelli, coppelle. Determinazione dell'igroscopicità
UNI 6717/70	Rivestimenti per ossidazione anodica dell'alluminio e sue leghe. Determinazione dello spessore con il metodo delle correnti indotte.
UNI 7092	Prove sulle materie plastiche. Determinazione della massa volumica delle materie plastiche non alveolari.

UNI 7356	Prodotti finiti di acciaio laminati a caldo. Vergella e tondi per bulloneria e chiodi da ribadire, stampati a freddo o a caldo.
UNI 7548	Calcestruzzo leggero con argilla o scisti espansi.
UNI 7549	Aggregati leggeri. (Parti da 1 a 12, esclusa la 11).
UNI 8744	Prodotti verniciati. Prova di resistenza anticorrosione in camera umidostatica al 100% di umidità relativa.
UNI 8859	Trattamenti preservanti del legno. Impregnazione a pressione in autoclave mediante composti in soluzione acquosa di rame, cromo, arsenico (CCA).
UNI 8901	Prodotti verniciati. Determinazione della resistenza all'urto.
UNI 9003/2 Ed.1/1987 plastica.	Alluminio e leghe di alluminio primarie da lavorazione
UNI 9178/88	Ossidazione anodica dell'Al e delle leghe di Al.
UNI 9858	Calcestruzzo. Prestazioni, produzione, posa in opera e criteri di conformità.
UNI EN 10025 Ed.1/1995	Prodotti laminati a caldo di acciai non legati per impieghi strutturali. Condizioni tecniche di fornitura.
UNI EN 10142	Ruote e supporti per impieghi a propulsione manuale o trainati fino a 1,1m/s. Piastre a 4 fori di fissaggio. Dimensioni principali.
UNI EN 10147	Lamiere e nastri d'acciaio per impieghi strutturali zincati a caldo in continuo. Condizioni tecniche di fornitura.
UNI EN 20898	Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento.
UNI EN 2409	Prodotti vernicianti. Prova di quadrettatura.
UNI EN 24624	Prodotti vernicianti. Misura della adesione mediante prova di trazione
UNI ISO 4892	Plastics - Methods of exposure to laboratory light sources
UNI ISO 9227	Prove di corrosione in atmosfere artificiali. Prove in nebbia salina.

Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi - Ministero dei Lavori Pubblici - DM 16 gennaio 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 - Ministero dei Lavori Pubblici - Circolare 4 luglio 1996, n.156AA.GG./STC

Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo - Ferrovie dello Stato - Area Ingegneria e Costruzioni - Vice Direzione Progetti - Divisione Specialistica Civile e Armamento - Ponti e Strutture - Opere Metalliche - 2 giugno 1995 I/SC/PS-OM/2298 (Aggiornamento al 13/01/1997)

Istruzione FS 44 f - Verifica a fatica dei ponti ferroviari.

Regolamento di attuazione della Legge 26/04/1974 n.191 sulla prevenzione degli infortuni sul lavoro nei servizi e negli impianti gestiti dalle Ferrovie dello Stato.

“Istruzione per la protezione dei cantieri” per quanto attiene le modalità per istituzione di cantieri di lavoro, temporanei e mobili, lungo le linee ferroviarie FS (Edizione 1986 e successivi aggiornamenti).

### 1.3 – DEFINIZIONI E SIMBOLI

Ai fini del presente disciplinare si adottano le seguenti definizioni e simboli:

**area equivalente di assorbimento acustico**

(di una camera riverberante) :

area di una superficie ideale totalmente assorbente che, se fosse l'unico elemento assorbente nella camera, fornirebbe lo stesso tempo di riverbero della camera in esame;

**barriera antirumore:**

manufatto in grado di ostacolare la propagazione dell'energia sonora dalla sorgente di rumore al ricettore;

**barriera antirumore artificiale:**

barriera antirumore costituita da elementi modulari o monolitici di materiale non naturale (scatolato metallico con inserto di materiale fonoassorbente, calcestruzzo, metacrilato, ecc.;

**barriera antirumore composita:**

barriera antirumore costituita da una combinazione di elementi modulari o monolitici con caratteristiche diverse per materiali, forme e/o colori;

**duna antirumore:**

barriera antirumore costituita da terrapieno ricoperto di essenze vegetali;

**muro vegetale:**

barriera antirumore costituita da una struttura portante in cls, legno, materiali metallici, ecc. atta a contenere essenze vegetali;

**coefficiente di assorbimento acustico -  $\alpha_s$**   
(di un pannello):

rapporto tra la variazione dell'area equivalente di assorbimento acustico determinata dall'introduzione del pannello in prova nella camera riverberante e l'area del pannello stesso;

**indice d'isolamento acustico - I:**  
(di un pannello)

valore determinato sulla curva di riferimento di cui alla norma ISO 717/1-1982, in corrispondenza della frequenza di 500 Hz, secondo la metodologia indicata nella norma stessa;

**indice di riduzione del rumore:**  
(di un pannello)

dieci volte il logaritmo del rapporto tra la potenza acustica incidente sul campione e la potenza acustica trasmessa attraverso esso;

**livello di esposizione ad un singolo evento -  $L_E$**   
(transito di un treno):

livello continuo equivalente di pressione sonora relativo al tempo di transito del treno e normalizzato all'intervallo temporale  $T = 1$  s;

**perdita per inserzione (Insertion Loss):**

attenuazione del livello di pressione sonora determinata, in un dato punto di ricezione, dall'introduzione di una barriera antirumore;

**piano del ferro:**

quota altimetrica definita dalla superficie di rotolamento della rotaia più bassa;

**rumore residuo**  
(rispetto ad una sorgente specifica):

livello di pressione sonora determinato, in un dato punto di ricezione, da tutte le sorgenti di rumore presenti con l'esclusione della sola sorgente specifica;

**tempo di transito di un treno:**

intervallo temporale in cui il livello di pressione sonora indotto dal transito del treno supera il livello massimo diminuito di 10 dB(A).

## **2 - MATERIALI COSTITUENTI LE BARRIERE ARTIFICIALI**

### **2.1 - PANNELLI: CARATTERISTICHE ACUSTICHE**

Ai fini del presente Disciplinare Tecnico, i pannelli utilizzati per la realizzazione di barriere acustiche sono suddivisi nelle seguenti classi:

Classe I – Pannelli fonoassorbenti  
Classe II – Pannelli non fonoassorbenti

La Classe I comprende:

Classe I a – Pannelli fonoassorbenti con elevate prestazioni;  
Classe I b – Pannelli fonoassorbenti con medie prestazioni.

I pannelli appartenenti alla Classe I sono caratterizzati dalla capacità di assorbire, in modo significativo, l'energia acustica incidente su di essi riducendo l'energia acustica riflessa.

La capacità di fonoassorbimento è valutata attraverso i coefficienti di assorbimento acustico  $\alpha_s$ , determinati secondo la metodologia ISO 354-1985, alle frequenze centrali di banda 1/3 d'ottava da 125 a 4000 Hz, con riferimento ai valori riportati al successivo paragrafo 2.1.1.

Per i pannelli appartenenti alla Classe II non vengono richieste particolari caratteristiche di fonoassorbimento.

Sia i pannelli della Classe I sia quelli della Classe II devono garantire, comunque, una elevata capacità di fonoisolamento. Tale capacità è valutata in base all'indice di fonoisolamento I determinato attraverso gli indici di riduzione del rumore alle frequenze centrali di banda 1/3 d'ottava da 125 a 4000 Hz, secondo le norme ISO 140/3-1995 e ISO 717/1-1982, con riferimento ai valori di cui ai paragrafi 2.1.1 e 2.1.2.

#### **2.1.1 PANNELI FONOASSORBENTI**

Per i pannelli fonoassorbenti, in genere costituiti da una struttura scatolare contenente all'interno un materiale fonoassorbente o da un elemento portante rivestito con uno strato di materiale fonoassorbente, i valori minimi prescritti dei coefficienti di assorbimento acustico  $\alpha_s$  e degli indici di fonoisolamento I sono i seguenti:

**Classe Ia – Pannelli fonoassorbenti con elevate prestazioni**

a) Coefficienti di assorbimento acustico:

<b>f (Hz)</b>	<b><math>\alpha_s</math></b>
<b>125</b>	<b>0.30</b>
160	0.45
200	0.60
<b>250</b>	<b>0.60</b>
315	0.70
400	0.75
<b>500</b>	<b>0.80</b>
630	0.80
800	0.85
<b>1000</b>	<b>0.85</b>
1250	0.85
1600	0.85
<b>2000</b>	<b>0.85</b>
2500	0.80
3150	0.75
<b>4000</b>	<b>0.70</b>

Durante la prova il campione deve essere posizionato a contatto con una superficie della camera riverberante sigillando adeguatamente la linea perimetrale di contatto.

Nel caso di pannelli biassorbenti le misurazioni sono effettuate separatamente per ciascuna faccia.

b) Indice di isolamento acustico

$$I = 30 \text{ dB}$$

Nel caso di pannelli biassorbenti, se costituiti da una struttura scatolare contenente all'interno un materiale fonoassorbente, il valore minimo prescritto è  $I = 24 \text{ dB}$ .

**Classe Ib – Pannelli fonoassorbenti con medie prestazioni**

a) Coefficienti di assorbimento acustico

<b>f (Hz)</b>	<b><math>\alpha_s</math></b>
<b>125</b>	<b>0.10</b>
160	0.15
200	0.25
<b>250</b>	<b>0.35</b>
315	0.40
400	0.45
<b>500</b>	<b>0.50</b>
630	0.55
800	0.60
<b>1000</b>	<b>0.65</b>
1250	0.65
1600	0.65
<b>2000</b>	<b>0.65</b>
2500	0.60
3150	0.50
<b>4000</b>	<b>0.45</b>

Durante la prova il campione deve essere posizionato a contatto con una superficie della camera riverberante sigillando adeguatamente la linea perimetrale di contatto.

Nel caso di pannelli biassorbenti le misurazioni sono effettuate separatamente per ciascuna faccia.

b) Indice di isolamento acustico

$$I = 30 \text{ dB}$$

Nel caso di pannelli biassorbenti, se costituiti da una struttura scatolare contenente all'interno un materiale fonoassorbente, il valore minimo prescritto è  $I = 24 \text{ dB}$ .

## 2.1.2 PANNELLI NON FONOASSORBENTI

Per i pannelli non fonoassorbenti, in genere costituiti da materiali quali calcestruzzo, vetro, metacrilato, legno, ecc., non sono prescritti valori minimi dei coefficienti di assorbimento acustico. Il valore minimo dell'indice di isolamento acustico dovrà essere, comunque, non inferiore a 30 dB. Per i soli pannelli in metacrilato, il valore minimo richiesto è  $I=24$  dB.

## 2.2 - PANNELLI: CARATTERISTICHE MECCANICHE E CHIMICHE

### 2.2.1 - PANNELLI METALLICI

Il pannello costruito in materiale ferroso deve essere protetto a tutti gli effetti contro la corrosione.

Il trattamento protettivo delle superfici va eseguito sia all'interno che all'esterno del pannello e, in ogni caso, dopo le varie fasi di lavorazione della lamiera (tranciatura, punzonatura, piegatura, ecc.).

Il fornitore dovrà indicare il numero, lo spessore e la natura degli strati protettivi nonché allegare le schede tecniche relative al trattamento anticorrosivo ed ai prodotti vernicianti impiegati.

Inoltre si prescrive che:

- a) la lamiera forata rivolta verso la sorgente di rumore, qualora presenti aperture circolari, dovrà avere per singolo foro un'area inferiore a  $78 \text{ mm}^2$  (raggio = 5 mm circa). Se le aperture sono di forma rettangolare, il lato minore dovrà essere compreso tra 6 e 10 mm e il lato maggiore dovrà essere non superiore a 150 mm. In ogni caso la superficie forata dovrà avere un rapporto vuoto/pieno non superiore al 50%. Il disegno del forato deve essere, comunque, preventivamente approvato dal Committente;
- b) dovranno essere presi idonei accorgimenti al fine di ridurre l'ingresso di acqua meteorica nei pannelli e, comunque, di favorirne la fuoriuscita mediante pendenze e fori di drenaggio;
- c) il materiale fonoassorbente, inserito all'interno della struttura scatolare metallica e generalmente costituito da uno strato di lana minerale conformato in modo tale da assorbire sia per porosità che per risonanza, deve avere uno spessore di almeno 6 cm e deve essere stampato a densità  $> 85 \text{ kg/m}^3$ , se trattasi di lana di roccia, o  $> 48 \text{ kg/m}^3$ , se trattasi di lana di vetro. Deve essere imputrescibile, inerte agli agenti chimici ed atmosferici, ininfiammabile o autoestinguente. In ogni caso non deve contenere fibre di diametro inferiore a  $3 \mu\text{m}$  né queste devono prodursi per effetto d'invecchiamento e/o di manipolazioni.

Per la lana minerale dovrà essere esclusa la classificazione di sostanza pericolosa in relazione a quanto previsto dalla Direttiva 97/69/CE del 5/12/97 recante il "ventitreesimo adeguamento al progresso tecnico della Direttiva 67/548/CEE".

In attesa che vengano pubblicate specifiche normative nazionali o internazionali sulla lana minerale, le prove previste per accertare l'idoneità di detto materiale sono le seguenti:

- 1) diametro medio delle fibre secondo UNI 6484-69.  
Risultato: il diametro medio delle fibre deve essere compreso tra 6 e  $9 \mu\text{m}$ ;
- 2) massa volumica apparente secondo UNI 6485-69.  
Risultato: la massa volumica apparente deve essere maggiore di  $85 \text{ kg/m}^3$  oppure di  $48 \text{ kg/m}^3$  a seconda che si tratti di lana di roccia o di lana di vetro;
- 3) grado di igroscopicità secondo UNI 6543-69 (tempo di prova 1 giorno)  
Risultato: il grado di igroscopicità non deve essere superiore allo 0,2 % in volume;

- 4) resistenza all'acqua secondo il seguente procedimento: Si pone un provino del campione in esame di dimensioni 100 x 100 x S mm completamente immerso in acqua distillata per 24 h alla temperatura ambiente.  
Risultato: al termine della prova si verifica che non siano avvenuti né sfaldamenti né colorazione rispettivamente del provino e dell'acqua;
- 5) resistenza al calore secondo il seguente procedimento. Si pone un provino del campione in esame di dimensioni 100 x 100 x S mm in una stufa a 150 °C per 24 h poggiandolo su una delle due facce quadrate (100 x 100 mm).  
Risultato: al termine della prova si verifica che, relativamente ai parametri lunghezza e larghezza, non siano avvenute variazioni delle dimensioni originarie del provino superiori a  $\pm 5$  mm. Resta ininfluente l'eventuale variazione che si verifica sullo spessore;
- 6) ancoraggio della lana minerale. Oltre alle prove sulla lana minerale verrà eseguita una prova per accertare che questa sia ancorata correttamente, alla struttura del pannello. A tale scopo il pannello, disposto in posizione verticale, verrà sottoposto per 24 h a vibrazione, anch'essa verticale, a 10 Hz di ampiezza picco-picco 1 mm controllando, al termine della prova, che l'ancoraggio abbia resistito alla sollecitazione applicata.

Il pannello, inoltre, deve essere sottoposto alla prova di stabilità sotto l'azione del vento e l'azione aerodinamica prodotta al passaggio dei convogli. Nel caso di elementi di barriera non verticali, dovranno essere valutati anche gli altri carichi agenti (peso proprio, neve, etc.). La prova sarà effettuata secondo la metodologia prevista al punto A.6.2 del progetto di norma prEN 1794-1:1998. L'appoggio/fissaggio del pannello dovrà essere quello previsto per l'effettiva realizzazione dell'opera, in particolare dovranno essere utilizzati gli stessi elementi quali montanti, guarnizioni e/o sigillanti.

Per la determinazione dell'azione totale da applicare e per i requisiti statici da richiedere, vedi paragrafo 3.2.3.

Il pannello deve resistere, infine, all'impatto di pietrisco. Per i requisiti e la metodologia di prova si fa riferimento al progetto prEN 1794-1:1998, Allegato C.

#### 2.2.1.1 - PANNELLI DI ACCIAIO ZINCATO E VERNICIATO

I pannelli saranno realizzati con lamiera di acciaio con caratteristiche meccaniche non inferiori a quelle del tipo S235JR secondo UNI EN 10025 Ed.1/1995 (ex Fe 360B UNI EN 10025 Ed. 2/1992). Lo spessore della lamiera non rivestita deve essere di almeno 1,5 mm.

Le caratteristiche del rivestimento di zinco devono essere conformi alle norme UNI EN 10142 e UNI EN 10147.

Il rivestimento di zinco deve essere del tipo Z 450 ed avere uno spessore di almeno 65  $\mu\text{m}$  (massa areica pari a 450  $\text{g m}^{-2}$ ).

Il trattamento di zincatura dovrà essere effettuato dopo tutte le lavorazioni meccaniche.

La zincatura del pannello deve corrispondere, inoltre, alle seguenti caratteristiche:

- 1) spessore secondo UNI EN 10147  
Esigenza minima: 65  $\mu\text{m}$  o il valore dichiarato, se più elevato;
- 2) massa areica secondo UNI EN 10147  
Esigenza minima: 450  $\text{g m}^{-2}$  o il valore dichiarato, se più elevato;
- 3) aderenza secondo UNI EN 10147  
Esigenza minima: dopo piegamento non deve presentarsi alcuna sfaldatura;

La verniciatura del pannello deve corrispondere alle seguenti caratteristiche:

- 1) spessore  
Esigenza minima: 80 µm o il valore dichiarato, se più elevato;
- 2) aderenza  
Esigenza minima: 1 MPa secondo UNI EN 24624  
grado 0 secondo UNI EN 2409;
- 3) resistenza agli urti secondo UNI 8901  
Esigenza minima: la pellicola non deve presentare screpolature per caduta di una massa di 1 kg da un'altezza di 30 cm sul dritto;
- 4) resistenza all'umidità secondo UNI 8744  
Esigenza minima (dopo 1000 ore di esposizione): assenza di blistering e/o di perdita di aderenza; lungo l'incisione l'arrugginimento e la bollatura non devono penetrare per più di 2 mm;
- 5) resistenza alla corrosione da nebbia salina secondo UNI ISO 9227.  
Esigenza minima (dopo 1000 ore di esposizione): l'arrugginimento e/o la bollatura lungo l'incisione non devono penetrare per più di 2 mm. Non è ammessa nessun'altra alterazione visibile o perdita di aderenza.

#### 2.2.1.2 - PANNELLI DI ALLUMINIO VERNICIATO

I pannelli saranno realizzati con lamiera in lega di alluminio, manganese e magnesio secondo la norma UNI 9003/2 Ed.1/1987.

Lo spessore della lamiera non rivestita deve essere almeno 1,5 mm.

Prima della verniciatura i pannelli devono essere pretrattati secondo il seguente schema:

- a) sgrassaggio e risciacquo deionizzato;
- b) cromatazione oppure brugalizzazione oppure fosfocromatazione e risciacquo deionizzato.

La verniciatura, dopo pretrattamento, consiste nell'applicazione di una protezione con polveri La verniciatura, dopo pretrattamento, consiste nell'applicazione di una protezione con polveri poliestere con successiva essiccazione in forno e raffreddamento con acqua demineralizzata o in aria. Lo spessore della protezione deve essere di almeno 60 µm.

Inoltre il film di vernice deve rispondere alle seguenti caratteristiche:

- 1) spessore della protezione  
Esigenza minima: 60 µm o il valore dichiarato, se più elevato;
- 2) aderenza  
Esigenza minima: 1 MPa secondo UNI EN 24624  
grado 0 secondo UNI EN 2409;
- 3) resistenza agli urti secondo UNI 8901.  
Esigenza minima: per caduta di una massa di 1 kg da un'altezza di 30 cm sulla faccia esposta non devono verificarsi screpolature o distacchi di pellicola su entrambe le facce;
- 4) resistenza all'umidità secondo UNI 8744.  
Esigenza minima (dopo 1500 ore di esposizione): la corrosione e/o la bollatura lungo l'incisione non devono penetrare per più di 2 mm. Non è ammessa nessun'altra alterazione visibile o perdita di aderenza;
- 5) resistenza alla corrosione da nebbia salina secondo UNI ISO 9227.

Esigenza minima (dopo 1500 ore di esposizione): l'arrugginimento e/o la bollatura lungo l'incisione non devono penetrare per più di 2 mm. Non è ammessa nessun'altra alterazione visibile o perdita di aderenza.

### 2.2.1.3 - PANNELLI DI ALLUMINIO ANODIZZATO

I pannelli saranno realizzati con lamiera in lega di alluminio, manganese e magnesio secondo la norma UNI 9003/2 Ed.1/1987.

Lo spessore della lamiera, inclusa l'anodizzazione, deve essere di almeno 1,5 mm.

Le superfici anodizzate dovranno avere aspetto privo di venature, inclusioni, cavità, crateri porosi e di altri difetti e non manifestare variazioni di lucentezza e di colore.

Il trattamento elettrochimico dovrà essere eseguito sui pezzi solo dopo aver effettuato tutte le lavorazioni meccaniche (tagli, forature, fresature, ecc.).

Lo strato anodico deve essere di spessore non inferiore a 15  $\mu\text{m}$  e deve risultare ben fissato e continuo.

Le prove previste per accertare l'idoneità dell'anodizzazione sono le seguenti:

1) determinazione dello spessore dello strato anodico secondo UNI 6717/70.

Esigenza minima: 15  $\mu\text{m}$  (su entrambe le facce);

2) controllo del fissaggio secondo UNI 9178/88.

Esigenza minima: 1. Qualità del fissaggio = "buona" secondo classificazione di cui al punto 9 della suddetta Norma;

3) il controllo della continuità degli strati anodici sarà effettuato su cinque punti della superficie scelti a caso, con una goccia di reagente costituito da uguali volumi di acido cloridrico puro e da una soluzione al 6% in peso di bicromato di potassio, preparato al momento dell'impiego.

Esigenza minima: dopo 8 minuti dal deposito del reagente sulle superfici anodizzate non dovrà manifestarsi alcuna colorazione verde.

### 2.2.2 - PANNELLI IN CALCESTRUZZO ARMATO NORMALE O PRECOMPRESSO

Il calcestruzzo deve essere prodotto ed impiegato a regola d'arte, secondo quanto prescritto dalla norma UNI 9858 e dalle norme in essa richiamate. In particolare per ciò che concerne la durabilità, tenuto conto dell'ambiente di utilizzo, le caratteristiche del calcestruzzo dovranno essere adeguate alla classe di esposizione corrispondente, secondo quanto indicato al §6 della citata norma. In particolare dovranno essere considerate, almeno, la classe di esposizione 4b per ambiente marino, la classe 5c per ambiente urbano/industriale e la classe 3 per ambiente montano.

Il calcestruzzo dovrà in ogni caso presentare i seguenti requisiti:

classe di resistenza Rck:	$\geq 40 \text{ N mm}^{-2}$
rapporto H <sub>2</sub> O	$\leq 0,5$
permeabilità Darcy:	$\leq 10^{-10} \text{ cm s}^{-1}$
spessore pannello	$\geq 8 \text{ cm}$

L'armatura sarà in barre d'acciaio FeB44K c.s..

Nel dimensionamento del manufatto in c.a.p., il progettista dovrà eseguire i calcoli impostando le azioni delle armature al valore del tiro residuo, cioè decurtando il tiro impresso durante il getto per tenere conto del ritiro del cls, della sua plasticità a lungo termine (fluage) e dello scorrimento viscoso (creeping) dell'acciaio, secondo quanto indicato dagli Eurocodici. Non sono ammesse tensioni di trazione nel cls sotto l'azione dei carichi di progetto (vedi paragrafo 3.2.3).

Il pannello, inoltre, deve essere sottoposto alla prova di stabilità sotto l'azione del vento e l'azione aerodinamica prodotta al passaggio dei convogli e alla prova di resistenza all'impatto di pietrisco, come previsto al paragrafo 2.2.1.

### 2.2.3 - PANNELLI IN CALCESTRUZZO ARMATO NORMALE O PRECOMPRESSO E CALCESTRUZZO DI ARGILLA ESPANSA O MATERIALE SIMILARE.

Sono costituiti da pannelli a due o più strati nei quali la funzione portante è assicurata dallo strato in calcestruzzo armato, che deve avere le caratteristiche riportate al punto 2.2.2 e spessore minimo 8 cm, mentre lo strato in calcestruzzo di argilla espansa o materiale similare, rivolto verso la sorgente di rumore, deve essere tale da realizzare le richieste caratteristiche di fonoassorbimento, a seconda della classificazione prevista al paragrafo 2.1. L'ancoraggio dello strato in calcestruzzo di argilla espansa (o materiale similare) alla struttura portante dovrà essere garantito mediante opportuni sistemi di fissaggio quali, ad esempio, inserti in acciaio inox.

Lo strato in calcestruzzo di argilla espansa (o materiale similare) dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- la resistenza alla compressione dovrà essere in media di  $10 \text{ N/mm}^2$  (da misurarsi su cubetti stagionati con spigolo di 100 mm);
- la massa volumica sarà non superiore a  $1200 \text{ kg/m}^3$ ;
- lo spessore dello strato potrà essere costante o variabile e comunque non dovrà scendere al disotto di 4 cm.

Per le caratteristiche di tali pannelli e degli inerti si dovrà fare riferimento rispettivamente alle normative UNI 7548 (parti I e II) e UNI 7549 (parti da 1 a 12, esclusa la parte 11).

L'armatura sarà in barre d'acciaio FeB44K c.s. ed in fili per la precompressione come al D.M. n.19 del 9/1/1996 e successive aggiunte o modifiche.

I pannelli realizzati in calcestruzzo di argilla espansa o materiali similari dovranno avere apposita protezione della struttura cellulare in argilla espansa (o in materiale similare) esposta agli agenti atmosferici mediante trattamento, per intrusione, con idoneo prodotto idrofugo, traspirante, trasparente, resistente alle intemperie, agli UV, alle muffe, agli agenti aggressivi presenti nelle acque meteoriche e nell'atmosfera, agli alcali. Deve inoltre consentire l'eventuale applicazione di vernice sulla faccia esposta del pannello portante. La protezione della superficie deve evitare l'infiltrazione delle acque meteoriche, limitando così i rischi del gelo ed impedendo la proliferazione di microrganismi all'interno del materiale. I requisiti di fonoassorbimento devono essere soddisfatti anche con tale trattamento.

Eventuali sistemi di protezione diversi da quello sopra descritto potranno essere autorizzati previa presentazione di appositi certificati che ne caratterizzino l'efficacia.

Il pannello, inoltre, deve essere sottoposto alla prova di stabilità sotto l'azione del vento e l'azione aerodinamica prodotta al passaggio dei convogli e alla prova di resistenza all'impatto di pietrisco, come previsto al paragrafo 2.2.1.

### 2.2.4 - PANNELLI IN CALCESTRUZZO ARMATO ALLEGGERITO

Il pannello è costituito da un impasto omogeneo di cls e argilla espansa con resistenza caratteristica  $R_{ck}$  maggiore od uguale a  $25 \text{ N/mm}^2$ , massa volumica non inferiore a  $1400 \text{ kg/m}^3$  e spessore non inferiore ai 20 cm. L'armatura sarà in barre d'acciaio FeB44K c.s..

Per le caratteristiche di tali pannelli e degli inerti si dovrà fare riferimento rispettivamente alle normative UNI 7548 (parti I e II) e UNI 7549 (parti da 1 a 12, esclusa la parte 11).

Dovrà inoltre essere realizzata la protezione superficiale dei pannelli del tipo descritto al precedente punto 2.2.3.

Il pannello, inoltre, deve essere sottoposto alla prova di stabilità sotto l'azione del vento e l'azione aerodinamica prodotta al passaggio dei convogli e alla prova di resistenza all'impatto di pietrisco, come previsto al paragrafo 2.2.1.

#### 2.2.5 - PANNELLI IN LEGNO

Per quanto riguarda le caratteristiche acustiche relative al potere di fonoassorbimento e fonoisolamento si rimanda al punto 2.1.

Poiché la barriera è direttamente esposta agli agenti atmosferici, i pannelli devono essere realizzati in legno di ottima qualità. Esso deve resistere al deperimento organico e dev'essere trattato con procedimenti speciali secondo le norme DIN 68 800 parte III per evitare la formazione di funghi. In particolare il legno sarà sottoposto all'impregnazione di sali inorganici indilavabili tipo CB preservanti in autoclavi in pressione con procedimento Bethell UNI 8859 o all'impregnazione con oli di creosoto ecologici (Direttiva 76/769/CEE, 13<sup>a</sup> proposta di modifica). In merito si richiama quanto esposto al successivo paragrafo 3.4.

Particolare cura deve essere posta nello studio delle giunzioni, progettate in modo tale da tener conto di eventuali movimenti di contrazione e rigonfiamento.

Qualora i pannelli siano realizzati mediante una struttura scatolare con inserto di materiale fonoassorbente, per il disegno dello scatolato e per il materiale fonoassorbente, valgono le prescrizioni di cui al punto 2.2.1.

Il pannello, inoltre, deve essere sottoposto alla prova di stabilità sotto l'azione del vento e l'azione aerodinamica prodotta al passaggio dei convogli e alla prova di resistenza all'impatto di pietrisco, come previsto al paragrafo 2.2.1.

#### 2.2.6 - PANNELLI TRASPARENTI

Qualora particolari esigenze architettoniche o di inserimento ambientale lo impongano, sarà possibile l'impiego, anche parziale, di pannelli in materiale trasparente (vetro o metacrilato).

Al fine di assicurare nel tempo la pulizia e la trasmissione luminosa del manufatto, dovrà essere previsto l'autopulimento dei pannelli trasparenti per dilavamento con acqua piovana senza interventi di pulizia esterni.

Dovranno essere utilizzate, altresì, soluzioni atte a ridurre il rischio d'impatto degli uccelli sui pannelli (per esempio con l'impiego di lastre colorate). Nel caso di utilizzo di decalcomanie o di lacche o vernici per eventuali disegni, deve essere garantito che tali prodotti siano compatibili con il materiale dei pannelli.

I pannelli realizzati in vetro dovranno essere di tipo temperato e stratificato con lastre intermedie in PVB. Lo spessore del pannello dovrà essere almeno 15 mm.

I pannelli in metacrilato devono essere del tipo colato o estruso normale (non antiurto) con spessore minimo di 15 mm. L'impiego di materiale rigenerato per la costruzione delle lastre non è ammesso.

I pannelli in metacrilato devono rispondere alle caratteristiche tecniche sotto riportate.

Caratteristiche (v. note)	Metodo prova	Valore richiesto
Densità minima (g cm <sup>-3</sup> )	UNI 7092 - Met.A	1,1

Resistenza a flessione minima (MPa)	EN ISO 178	100
Resistenza a trazione minima (MPa)	UNI EN ISO 527-2/1B/50	65
Resistenza a trazione minima dopo invecchiamento (MPa)	UNI EN ISO 527-2/1B/50	60
Modulo elastico a trazione minimo (MPa)	UNI EN ISO 527-2/1B/1	3000
Modulo elastico a trazione minimo dopo invecchiamento (MPa)	UNI EN ISO 527-2/1B/1	2800
Resistenza minima all'urto Izod con intaglio ( $\text{kJ m}^{-2}$ )	ISO 180/1A	1,5
Temperatura VICAT minima ( $^{\circ}\text{C}$ )	ISO306/B/50	95
Coefficiente max di dilatazione termica lineare ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )	UNI 6061	$80 \cdot 10^{-6}$
Fattore di trasmissione luminoso totale (%)	DIN 5036-3	90
Fattore di trasmissione luminoso totale dopo invecchiamento (% del valore iniziale)	DIN 5036-3	95
Indice d'ingiallimento massimo dopo invecchiamento	ASTM D1925	3

Note: I requisiti si riferiscono a provette ricavate dalle lastre impiegate e dello spessore indicato nelle metodologie di prova. Per la sola verifica delle caratteristiche ottiche, le provette sono incolori e di spessore pari a 3 mm.

L'invecchiamento si intende effettuato in modo accelerato secondo UNI ISO 4892/85 (lampada allo Xenon, temperatura camera di  $55^{\circ}\text{C}$ ,  $U_r=65\%$ , ciclo 18/102) per 10000 ore (5000 ore per faccia).

Il pannello (di vetro o di metacrilato), inoltre, deve essere sottoposto alla prova di stabilità sotto l'azione del vento e l'azione aerodinamica prodotta al passaggio dei convogli, come previsto al paragrafo 2.2.1.

Il pannello deve resistere, infine, all'impatto di oggetti. A tale scopo viene eseguita una prova ica su tre provini di dimensioni  $1000 \times 700$  mm e spessore uguale a quello delle lastre da impiegare. La prova viene effettuata alla temperatura di  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$  con il provino fissato, lungo il perimetro, ad un telaio rigido orizzontale. Tra telaio e provino viene interposta la stessa guarnizione che sarà poi utilizzata nella realizzazione della barriera acustica. La massa di prova, le cui caratteristiche e dimensioni sono riportate nella fig.1, deve essere pari a  $2,000 \pm 0,020$  kg; l'impatto deve avvenire secondo la direzione ortogonale al provino (con tolleranza di  $5^{\circ}$ ) in un punto compreso in un intorno circolare, di raggio 200 mm, del centro della lastra. La prova deve essere effettuata dopo almeno quattro ore di condizionamento termico del provino. La massa di prova sarà lasciata cadere liberamente da un'altezza di 10 m.

La prova ha esito positivo se, anche in caso di danneggiamento della lastra, il proiettile non la perfora né determina il distacco di frammenti dalla superficie opposta a quella su cui è avvenuto l'impatto.

## 2.2.7 - PANNELLI REALIZZATI CON ALTRI MATERIALI O CON SOLUZIONI INNOVATIVE

Ove vengano adottati pannelli o realizzati con materiali diversi da quelli sopra indicati o integrati con sistemi innovativi di attenuazione del rumore, dovranno essere fornite tutte le caratteristiche necessarie per il controllo qualitativo dei materiali, e/o dei sistemi integrativi, ai fini strutturali, di durabilità, acustici e di corretto inserimento paesaggistico/ambientale nonché la casistica delle situazioni in cui sono stati applicati, corredata delle certificazioni degli Enti appaltanti.

Detti pannelli devono comunque essere sottoposti alla preventiva approvazione del Committente.

## 2.3 - MONTANTI

### 2.3.1 - MONTANTI METALLICI

I montanti metallici devono essere realizzati in acciaio con caratteristiche meccaniche non inferiori a quelle del tipo S235JR UNI EN 10025 Ed.1/1995 (ex Fe 360 B secondo la Norma UNI EN 10025 Ed.2/1992) e zincati a caldo per immersione in accordo alla Norma UNI 5744/66, per uno spessore non inferiore a 85 µm, previo ciclo di sabbiatura SA 21/2 oppure trattamento di decapaggio chimico. Inoltre è richiesto un ulteriore trattamento della superficie, subito dopo la zincatura, secondo il sistema seguente:

- 1) applicazione di mano di fondo a base di pittura epossidica al fosfato di Zn rispondente alla CT 113 (del Committente) ed. 10/81 o seguente (60÷80 µm);
- 2) applicazione di mano di copertura a base di pittura poliuretanica rispondente alla CT 116 (del Committente) ed. 10/81 o seguente (60÷80 µm).

Lo spessore minimo locale della protezione, compreso lo spessore della zincatura, deve essere di almeno 200 µm in modo da realizzare una superficie esente da pori.

Il fornitore deve comunque indicare il sistema del trattamento previsto per la protezione anticorrosiva della superficie dei diversi elementi ed allegare le schede tecniche dei prodotti vernicianti impiegati e le modalità di applicazione.

Le prove previste sul montante sono le seguenti:

- verifica della zincatura;
- misura degli spessori degli strati protettivi;
- controllo della rispondenza dei prodotti vernicianti alle relative CT 113 e CT 116 (all'uopo il fornitore dovrà presentare, unitamente al montante, 2 barattoli da 1 kg per ciascuno dei prodotti vernicianti impiegati).

Sull'acciaio dei montanti devono essere effettuate tutte le prove meccaniche e chimiche previste dal DM n.19 del 9/1/1996.

Tutti i singoli valori dovranno rispettare le prescrizioni di cui ai prospetti 1-II e 2-II, Parte 2<sup>a</sup>, del predetto DM per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche e, alle tabelle UNI corrispondenti, per quanto riguarda le caratteristiche chimiche.

### 2.3.2 - MONTANTI IN CALCESTRUZZO ARMATO

Tali montanti saranno di norma prefabbricati e realizzati con calcestruzzo rispondente agli stessi requisiti prescritti al paragrafo 2.2.2 per i pannelli in calcestruzzo armato, mentre l'armatura metallica sarà costituita da barre di acciaio FeB44K c.s..

I montanti avranno predisposti al proprio interno gli eventuali dispositivi per l'ancoraggio delle pannellature prefabbricate.

Nel caso di soluzioni in c.a.p. dovrà essere adottato il sistema che prevede l'ancoraggio delle barre di precompressione in corrispondenza delle testate.

### 2.3.3 - MONTANTI IN LEGNO

I montanti in legno devono essere realizzati in legno massello e devono subire i trattamenti indicati al punto 2.2.5.

Per la parte infissa dovranno essere messi in atto tutti gli accorgimenti per evitare l'imputrescenza.

### 2.3.4 - MONTANTI IN MATERIALI DIVERSI

Ove vengano adottati montanti realizzati con materiali diversi da quelli sopra indicati, dovranno essere fornite tutte le caratteristiche necessarie per il controllo qualitativo dei materiali nonché la casistica delle situazioni in cui sono stati applicati, corredata delle certificazioni degli Enti appaltanti.

Detti montanti devono comunque essere sottoposti alla preventiva approvazione del Committente.

## 2.4 - ACCESSORI

### 2.4.1 - SIGILLANTI E GUARNIZIONI

Il fornitore dovrà specificare preventivamente le caratteristiche tecniche dei materiali utilizzati per le guarnizioni e i sigillanti specie per quanto riguarda la qualità dell'elemento elastico e la sua resistenza all'invecchiamento.

Il profilo della guarnizione dovrà essere studiato in modo tale da evitare la fuoriuscita del pannello nel momento di maggiore sollecitazione ed ammortizzare le vibrazioni dello stesso.

Le guarnizioni da utilizzare con i pannelli in metacrilato devono essere realizzate in EPDM compatibile con tale materiale.

I sigillanti dovranno anch'essi essere compatibili col metacrilato e non dovranno contenere acido acetico.

Le guarnizioni devono avere le seguenti caratteristiche:

- |  |               |
|--|---------------|
| – Durezza secondo UNI 4916:                  | 70±5 Shore A3 |
| – Carico di rottura minimo secondo UNI 6065: | 10 MPa        |
| – Allungamento a rottura secondo UNI 6065:   | 300%          |

Dopo invecchiamento termico di 7 giorni alla temperatura di 70°C, secondo UNI ISO 188, non dovranno verificarsi variazioni delle caratteristiche superiori a quelle sotto riportate:

- |                           |             |
|---------------------------|-------------|
| – Durezza:                | ±3 Shore A3 |
| – Carico di rottura:      | 5%          |
| – Allungamento a rottura: | 15%         |

Il Committente si riserva la facoltà di eseguire ogni ulteriore prova ritenuta opportuna per la verifica delle caratteristiche dei predetti materiali.

### 2.4.2 - ACCESSORI METALLICI

Tutti gli elementi metallici non precedentemente contemplati (viti, dadi, rivetti, rondelle elastiche, distanziatori, tirafondi, ecc.) devono essere scelti avendo cura di evitare problemi di corrosione catodica dovuta al diverso valore del potenziale elettrochimico dei materiali a contatto. In particolare, in presenza di pannelli in alluminio o in acciaio, gli elementi accessori devono essere in acciaio inossidabile (ad eccezione delle piastre di base per le quali vale quanto indicato per i montanti).

Per quanto riguarda i tirafondi, il materiale dovrà avere caratteristiche meccaniche non inferiori a quelle del tipo Fe37BkB della Norma UNI 7356 mentre le piastre di base saranno realizzate con acciaio con caratteristiche meccaniche non inferiori a quelle del tipo S235JR secondo la norma UNI EN 10025 Ed.1/1995 (ex Fe 360B secondo la norma UNI EN 10025 Ed.2/1992)..

I bulloni dovranno appartenere alla classe di resistenza 8.8 della norma UNI EN 20898 associata nel modo indicato nel prospetto 2 - III della CNR-UNI 10011/88.

#### 2.4.3 - PORTE DI SERVIZIO

Le porte di servizio, se richieste, devono essere apribili verso l'esterno rispetto alla sede ferroviaria e realizzate, di norma, con gli stessi pannelli costituenti la barriera acustica. In corrispondenza di tali porte devono essere previste scale di servizio secondo le norme di sicurezza vigenti.

Non sono richiesti valori minimi dei coefficienti di assorbimento acustico mentre deve essere garantito un indice di fonoisolamento minimo di 24 dB, determinato secondo le norme ISO 140-3 ed ISO 717-1.

Le porte dovranno avere dispositivi di apertura azionabili dall'esterno con l'uso di chiavi. All'interno dovranno essere previsti dispositivi di apertura senza l'uso di chiavi ed un maniglione di tipo "antipanico".

Ove ne sia previsto l'impiego, la progettazione di dette porte di servizio e la loro dislocazione lungo la barriera, dovrà essere preventivamente approvata dal Committente.

### 3 - BARRIERE

#### 3.1 - CARATTERISTICHE ACUSTICHE

Al fine della valutazione di accettabilità provvisoria e definitiva della barriera dal punto di vista del comportamento acustico, dovranno essere eseguite, rispettivamente, prove di perdita per inserzione (Insertion Loss) in campo libero con la barriera montata secondo la configurazione sottospecificata e con una sorgente puntiforme, rispettando la metodologia indicata al successivo punto a), e di perdita per inserzione in opera, secondo la metodologia indicata al successivo punto b).

a) Prova di perdita per inserzione (Insertion Loss) in campo libero (accettabilità provvisoria).

La prova va eseguita in un prato piano con erba o vegetazione di altezza non superiore a 5 cm, privo di ostacoli acustici nel raggio di almeno 50 m dalla barriera.

La barriera, realizzata con i pannelli inseriti negli apposti montanti, dovrà avere un'altezza di 3,00 m ed una lunghezza di 18,00 m.

I pannelli della fila inferiore andranno posati su un letto di sabbia o sul terreno vegetale livellato al fine di assicurare la necessaria ermeticità acustica nella zona di appoggio.

Le misure vanno eseguite in corrispondenza del montante centrale utilizzando una sorgente campione di rumore bianco e rosa e un ricevitore posti nelle posizioni indicate in Fig. 2.

Le misure devono essere condotte in bande d'ottava nel campo 125-4000 Hz usando la caratteristica dinamica Fast. E' inoltre richiesta la misura globale utilizzando il filtro di ponderazione A sempre con la caratteristica dinamica Fast.

La perdita per inserzione in campo libero viene calcolata, per ognuna delle bande d'ottava e per il valore globale ponderato A, con la formula:

$$\Delta L = L_{p_0} - L_p$$

dove:

$L_{p_0}$  = livello di pressione sonora nella posizione di misura in assenza di barriera;

$L_p$  = livello di pressione sonora nella posizione di misura in presenza di barriera.

La perdita per inserzione della barriera in corrispondenza dei punti di misura dovrà essere di almeno: 22 dB(A) a 3 m, 18 dB(A) a 10 m e di 16 dB(A) a 25 m, sia per il rumore bianco sia per il rumore rosa.

Ai fini della misura le letture risulteranno valide solo se superiori di almeno 10 dB(A) al valore del rumore residuo. Inoltre, durante le misurazioni, dovrà essere garantita l'assenza di altre fonti di rumore significative che potrebbero incidere sul rumore residuo stesso.

La velocità del vento, nella zona di prova, dovrà essere inferiore a 5 ms<sup>-1</sup>. Inoltre, nelle due condizioni di misurazione, in presenza ed in assenza di barriera, la differenza delle velocità secondo la direzione sorgente-ricevitore, non dovrà essere maggiore di 2 ms<sup>-1</sup>.

Nel caso in cui la sorgente sonora sia costituita da più altoparlanti, essi dovranno avere il loro asse alla stessa altezza e il diametro dell'altoparlante maggiore non dovrà essere superiore a 0,15 m. La sorgente dovrà essere il più possibile omnidirezionale o avere almeno una simmetria rotazionale intorno al proprio asse orizzontale. Le caratteristiche di direzionalità verticale e orizzontale degli altoparlanti dovranno essere misurate in loco e riportate nel verbale di misura.

Per la determinazione delle caratteristiche di direzionalità, la sorgente sonora è posta nella sua posizione normale ed il microfono, nella posizione di riferimento (0°), sull'asse orizzontale dell'altoparlante, ad 1 m dalla base maggiore del cono dell'altoparlante stesso. Successivamente vengono effettuate misurazioni nei due piani orizzontale e verticale a 0°, ±20° e ±40° ed i risultati devono rispettare quanto indicato nella seguente tabella:

Banda d'ottava f centrale (Hz)	$\Delta L$ ammissibili (dB)		
	0°	$\pm 20^\circ$	$\pm 40^\circ$
125-250	referimento	+0.5 -1	+0.5 -2
500-1000	referimento	+0.5 -3	+0.5 -4
2000-4000	referimento	+0.5 -4	+0.5 -5

Tutta la strumentazione dovrà rispondere alle caratteristiche previste dalla norma IEC 651 (classe I), ovvero CEI 29-1, per i misuratori di livello sonoro o dalla IEC 831 se vengono utilizzati fonometri integratori. I filtri di banda d'ottava dovranno essere in accordo con la IEC 225. Il microfono di misura dovrà avere il diametro non maggiore di 1/2 pollice.

Il valore dell'attenuazione sonora dovrà essere presentato in forma tabellare e grafica, rappresentando l'andamento del livello sonoro in funzione della frequenza.

b) Prove di perdita per inserzione della barriera in opera (accettabilità definitiva).

Le prove consisteranno nella determinazione della perdita per inserzione media  $\Delta_i$  (in dB(A)) nei punti di misura di seguito specificati.

Si distinguono due situazioni:

- 1) linee esistenti;
- 2) linee di nuova costruzione o linee esistenti interessate da raddoppi, quadruplicamenti, velocizzazioni, etc..

Nella situazione 1), in assenza e presenza della barriera, per ogni punto  $P_i$  di misurazione saranno rilevati i livelli di esposizione  $L_{AE}$  per un numero complessivo di transiti di rotabili pari almeno a 40 equamente distribuiti sul binario più vicino e più lontano dalla barriera.

La tipologia dei convogli sarà costituita da treni viaggiatori (IC, Espressi, IR, ecc.) e merci con una ripartizione sul numero totale dei transiti pari rispettivamente al 75% e al 25%. I valori misurati per ogni transito saranno utilizzati per calcolare le medie aritmetiche delle perdite per inserzione relative ai transiti di treni viaggiatori e di treni merci. I due valori così ricavati saranno utilizzati per determinare il valore di attenuazione globale  $\Delta_i$ , nei singoli punti  $P_i$ , con la stessa ripartizione di traffico viaggiatori/merci presa in considerazione per il progetto acustico della barriera.

I punti di misura  $P_i$  (almeno tre) saranno posti, in linea di massima, in un piano mediano rispetto all'intera lunghezza della barriera alle distanze di 10 e 25 metri dalla mezziera del binario più vicino (lato misura) e all'altezza, riferita al p.d.f., rispettivamente di 1,5 metri (per  $d=10$  m) e di 3,5 e 6,5 metri (per  $d=25$  m).

Nella situazione 2) non ha significato l'effettuazione di misurazioni in assenza di barriera in quanto la situazione acustica successiva alla realizzazione o al potenziamento della linea è radicalmente diversa da quella antecedente. La prova, pertanto, sarà eseguita con il cosiddetto "metodo indiretto": le misurazioni saranno effettuate contemporaneamente in punti in corrispondenza della barriera e in un sito 'analogo', con gli stessi criteri previsti per il caso di linee esistenti (punti di misurazione, numero di transiti, grandezze da rilevare, determinazione della perdita per inserzione media, ecc.).

Prima di effettuare le misurazioni, comunque, occorre verificare che i due siti abbiano le stesse caratteristiche acustiche. A tale scopo si procede al confronto tra i livelli di esposizione ad almeno 10

transiti di convogli ferroviari, per ciascun binario, in due punti alla stessa altezza rispetto al piano del ferro ed alla stessa distanza dalla linea ferroviaria, uno in corrispondenza della barriera ed un altro nel sito 'analogo'. La posizione dei due punti di misurazione deve essere tale che, in corrispondenza della barriera, i livelli di pressione sonora indotti dai transiti dei convogli ferroviari non risentano dell'effetto schermante della barriera stessa. Detti punti sono posti ad una distanza dalla linea ferroviaria maggiore di quella della barriera e ad un'altezza sul piano del ferro tale che l'angolo di elevazione del microfono rispetto alla rotaia più vicina sia maggiore dell'angolo di elevazione del bordo superiore della barriera per almeno 10°.

La media delle differenze tra i livelli di esposizione rilevati nei due siti non deve risultare maggiore di  $\pm 1$  dB in ogni banda di frequenza d'ottava nel campo 125-4000 Hz e globalmente in ponderazione A. In presenza di valori maggiori si applicano, durante la prova di perdita per inserzione, dei termini correttivi (pari alla predetta media) ai valori rilevati nei punti di misurazione in corrispondenza della barriera o del sito 'analogo'.

I valori della perdita per inserzione globale, nei punti  $P_i$ , non dovranno essere inferiori a quelli risultanti dagli elaborati di progetto.

## **3.2 - CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE**

### **3.2.1 - GEOMETRIA DELLE BARRIERE**

La geometria sarà indicata negli elaborati grafici di progetto che dovranno essere sottoposti all'approvazione del Committente.

Nella redazione del progetto si dovrà tener conto che, anche in caso di montaggio scalettato, la distanza da terra del bordo superiore dei pannelli sia ovunque non inferiore a quella ottimale prevista ai fini dell'attenuazione richiesta.

L'estremità libera delle barriere deve essere scalettata, di norma, con passi non maggiori di 0,5 m fino a raggiungere una quota non superiore a 1 m sul piano del ferro. Nel caso in cui l'altezza delle barriere diminuisca con continuità, l'inclinazione, di norma, non dovrà essere maggiore di 1:8.

Le barriere dovranno essere poste ad opportuna distanza dalla più vicina rotaia in modo da consentire un agevole uso delle infrastrutture ferroviarie e da ottimizzare l'abbattimento di energia sonora.

Le barriere dovranno essere posizionate esternamente al sentiero pedonale in modo da assicurarne il libero accesso dal binario. La distanza dell'asse del sentiero pedonale dal bordo interno della più vicina rotaia è prescritta dal Regolamento di attuazione della Legge 26/04/1974 n.191 sulla prevenzione degli infortuni sul lavoro nei servizi e negli impianti gestiti dall'Azienda Autonoma delle Ferrovie dello Stato.

Eventuali deroghe a tale disposizione dovranno essere sottoposte all'approvazione del Committente. In ogni caso la distanza tra la parete della barriera lato binario e l'asse del binario non può essere inferiore a 2.10 metri.

Nel caso in cui si rendano necessarie interruzioni di barriera, ogni interruzione deve essere protetta da uno schermo opportunamente arretrato e di lunghezza almeno pari all'interruzione più due volte la distanza fra la barriera principale e la barriera arretrata.

Tali interruzioni, da adottare solo se strettamente necessarie, dovranno essere comunque preventivamente approvate dal Committente.

### **3.2.2 - PARTICOLARITÀ COSTRUTTIVE DELLE BARRIERE**

I materiali costituenti le barriere devono essere forniti nei colori che saranno indicati dal Committente.

Fra i montanti e i pannelli e tra pannello e pannello devono essere previste guarnizioni acusticamente ermetiche da descrivere negli elaborati di progetto mentre tra pannelli e fondazioni in calcestruzzo devono essere previsti elementi sigillanti.

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.

Dovranno essere adottate soluzioni costruttive tali che i montanti possano essere rimossi senza che occorra la demolizione della relativa fondazione. I getti di bloccaggio dovranno essere effettuati con idonee malte cementizie di tipo reoplastico.

Tra il materiale fonoassorbente e la faccia anteriore e posteriore del pannello deve essere previsto, mediante distanziatori, un interstizio che faciliti al massimo lo scolo delle acque, permettendone per aerazione il rapido asciugamento in modo da non pregiudicare l'efficienza fonoassorbente del materiale stesso.

Il materiale fonoassorbente deve essere assicurato in modo tale da evitarne spostamenti e piegature e deve essere protetto in modo che non possa impregnarsi d'acqua e non possa essere facilmente danneggiato.

Dovranno essere previsti dei dispositivi atti a impedire l'asportazione dei pannelli.

### 3.2.3 - STATICA DELLE BARRIERE - CARICHI DI PROGETTO

Dovrà essere fornita la relazione di calcolo statico della barriera per la cui redazione si dovrà tener conto di quanto appresso indicato.

Dovranno essere presentati i calcoli di verifica di tutti gli elementi costituenti la barriera, comprese le relative fondazioni, nonché i calcoli di quelle opere preesistenti per le quali la posa in opera della barriera arreca un considerevole stato di maggiore sollecitazione.

#### **Azioni sulle barriere**

##### **Generalità**

Le barriere antirumore per impieghi ferroviari devono essere progettate secondo quanto prescritto dalle "Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" - Ministero dei Lavori Pubblici - DM 16 gennaio 1996 e successivi aggiornamenti.

Le azioni che non sono comprese nella norma citata, sono riportate nel seguito, unitamente ad alcune specifiche sulle combinazioni delle azioni e sui criteri di applicazione delle stesse.

##### **Azioni Permanenti**

Qualora la barriera sia composta da più pannelli sovrapposti, su ognuno di essi deve essere considerato il peso dei pannelli sovrastanti.

Qualora la struttura portante della barriera antirumore funga anche da supporto per gli impianti della trazione elettrica, i carichi permanenti portati da questi derivanti dovranno essere concordati di volta in volta preventivamente con le FS.

## **Azioni Variabili Orizzontali**

### Vento

Qualora la barriera antirumore debba essere installata su un ponte ferroviario, l'azione del vento verrà assunta come una pressione statica pari a  $2.5 \text{ kN/m}^2$ .

### Effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli ferroviari

Le azioni da considerare sono riportate nella norma "Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo" - Ferrovie dello Stato - Area Ingegneria e Costruzioni - Vice Direzione Progetti - Divisione Specialistica Civile e Armamento - Ponti e Strutture - Opere Metalliche - 2 giugno 1995 I/SC/PS-OM/2298, e successivi aggiornamenti.

Nel caso in cui la distanza tra la parete della barriera interna al binario e l'asse del binario sia compresa tra  $2.10 < a_g < 2.30$  metri, la pressione da considerare è quella ottenibile mediante estrapolazione lineare della curva riportata in tabella

### **Resistenza all'urto**

Si deve tener conto di situazioni particolari quali ad esempio la proiezione di pietrisco sulle barriere. Per questo caso la verifica può essere sostituita dall'esecuzione della prova riportata sul prEN 1794-1: 1998, allegato C.

### **Combinazioni di carico**

Per quanto riguarda le azioni del vento e degli effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli ferroviari dovrà essere considerata la peggiore condizione tra le seguenti:

1. azione aerodinamica sommata all'azione del vento, quest'ultima ridotta di un coefficiente pari a 0.6;
2. vento sommato alla pressione aerodinamica, quest'ultima ridotta di un coefficiente pari a 0.8.

Nel caso di barriere poste lungo linee con velocità maggiore o uguale a 200 km/h, si dovrà considerare sempre la somma delle due spinte (vento ed effetto aerodinamico).

### **Verifiche a Fatica**

Le verifiche a fatica si dovranno effettuare in base alla istruzione FS 44 f. Impiegando strutture in c.a e c.a.p. dovranno essere rispettate anche le limitazioni riportate nel DM applicativo sul c.a. e c.a.p. emanato in osservanza della legge 1086/71, nonchè, qualora significative, le disposizioni contenute nel Model code C.E.B. F.I.P. MC-90.

### **Requisiti concernenti le deformazioni**

La massima deformazione elastica dovuta ai carichi di progetto deve risultare inferiore a 1/150 dell'altezza libera di inflessione della struttura di sostegno.

Per quanto riguarda la deformazione dei pannelli, la stessa, sotto l'effetto dei carichi di progetto, dovrà essere tale da garantire comunque la stabilità dell'insieme costituito dai pannelli e dei relativi montanti.

In altre parole i pannelli deformati debbono rimanere contenuti nelle strutture di sostegno tenuto anche conto delle loro deformazioni.

### **Prova di stabilità delle barriere**

I pannelli dovranno essere sottoposti alla prova di stabilità riportata nel paragrafo 2.2, a seconda del materiale di cui gli stessi sono costituiti.

## 3.2.4 - BARRIERE SUI PONTI

Nel caso di insonorizzazione di ponti metallici la struttura portante dei pannelli dovrà essere preferibilmente distinta da quella delle travate metalliche e intorno ad esse e ai relativi apparecchi d'appoggio dovrà essere lasciato spazio sufficiente per l'effettuazione delle ispezioni e degli interventi di manutenzione. Si dovrà inoltre tener conto delle deformazioni delle travate metalliche sia per effetto dei sovraccarichi ferroviari che delle dilatazioni termiche.

Nella zona di giunto dei ponti dovrà essere prevista una doppia parete su due lati degli elementi affiancati ravvicinati il più possibile ma sempre in modo da permettere le libere dilatazioni dell'opera d'arte.

Le due pareti dovranno avere una sovrapposizione pari all'escursione massima del giunto maggiorata di almeno 50 cm e dovranno essere vincolate alle strutture in modo che non sia impedito il movimento di dilatazione del ponte.

Per dilatazioni inferiori a 5 cm si disporrà un giunto in neoprene tra i due montanti della barriera.

### 3.2.5 - PROTEZIONE ELETTRICA

I montanti metallici vanno ancorati al basamento di calcestruzzo proteggendone la parte immersa e, per almeno 10 cm, anche la parte che fuoriesce dal basamento mediante un opportuno mezzo isolante in modo da ostacolare il passaggio di correnti vaganti tra terra e barriera.

I singoli pannelli ed i montanti metallici devono essere collegati galvanicamente attraverso un cavo in rame di opportune dimensioni che corre lungo tutta la barriera.

Per le modalità di messa a terra e per il dimensionamento del suddetto cavo si dovrà far riferimento alla norma CEI 9.6 vigente.

Se la barriera viene posta in opera su un viadotto in c.a. la continuità metallica sia della barriera che del cavo in rame deve essere interrotta in corrispondenza dei giunti di dilatazione delle travate del viadotto ed il cavo dovrà essere collegato elettricamente all'armatura metallica del cemento armato in un solo punto per ogni travata.

### 3.3 - CARATTERISTICHE DI RESISTENZA AL FUOCO

Tutte le barriere devono garantire il seguente grado di resistenza al fuoco secondo la Circolare n. 91 del Ministero dell'Interno del 14/09/1961, il D.M. 30/11/83 e il D.M. 08/03/1985.

Esigenza minima: classe REI 30.

### 3.4 – PROTEZIONE AMBIENTALE

Ai fini della protezione dell'uomo e dell'ambiente, per tutti i materiali utilizzati per la realizzazione di barriere antirumore, si applicano le prescrizioni di cui al prEN 1794-2:1998, allegato C.

Per i materiali dovranno essere fornite anche le schede dei dati di sicurezza secondo il D.Lgs.16/7/1998, n.285. E' preferito il modello di scheda predisposto dal Committente (mod.Ferrovie dello Stato S.p.A. - T.MR/SVO-SL/PL-6<sup>a</sup> Edizione - Luglio 1995).

In ogni caso non è ammesso l'uso di materiali per la cui produzione occorrono le sostanze previste dagli elenchi riportati dal Decreto Ministero della Sanità 29 luglio 1994.

## **4 - BARRIERE VEGETALI**

### **4.1 - DUNA ANTIRUMORE**

E' costituita da un terrapieno opportunamente stratificato e ricoperto di essenze erbacee e/o arboree, compatibilmente con quanto previsto dal DPR 11 luglio 1980, n. 753 ("Nuove norme in materia di polizia, sicurezza e regolarità dell'esercizio delle Ferrovie e di altri servizi di trasporto").

Tale tipologia è prevedibile solo in presenza di ampi spazi a lato dell'infrastruttura ferroviaria. Al fine di ridurre la fascia d'ingombro del terrapieno può essere previsto l'uso di geogriglie e similari per aumentare la capacità di autosostegno del manufatto.

### **4.2 - MURI VEGETALI**

Sono manufatti artificiali costituiti da una struttura portante in cls, legno, materiali metallici, ecc. predisposti per contenere terreno e essenze vegetali.

Le specie vegetali debbono essere selezionate in base alle seguenti caratteristiche:

- patrimonio botanico locale;
- caratteristiche del terreno;
- condizioni bioclimatiche;
- tipologia del tracciato (sezione a raso, in rilevato, ecc.);
- contesto paesaggistico/antropico.

Le essenze vegetali dovranno, inoltre, essere individuate con l'obiettivo di garantire un rapido attecchimento. Dovrà inoltre essere previsto un sistema di irrigazione che garantisca la ricopertura vegetale del manufatto, per almeno 6 anni dall'installazione senza che siano da prevedersi interventi di manutenzione.

## **5 - BARRIERE COMPOSITE**

Le barriere antirumore composite sono formate da pannelli che possono avere caratteristiche diverse sia per quanto riguarda i materiali (calcestruzzo, metallo, legno, ecc.) sia per quanto riguarda la forma o i colori e vengono utilizzate per soddisfare particolari esigenze formali (inserimento ambientale, interruzione della monotonia dovuta ad eccessiva lunghezza della barriera, ecc.).

Esse vanno realizzate con i pannelli descritti al punto 2, ai quali si fa riferimento per le caratteristiche fisico-meccaniche ed acustiche.

## **6 - MANUTENZIONE**

Tutta la costruzione del manufatto dovrà essere tale da garantire che durante i primi 10 anni dopo il collaudo non si debbano eseguire lavori di manutenzione escludendo i lavori dovuti a cause accidentali.

L'Appaltatore deve fornire un piano di manutenzione a cui l'opera dovrà essere assoggettata dopo i primi 10 anni, specificando le attività da eseguire, e i relativi oneri, per ogni componente del manufatto.

Si dovranno adottare soluzioni costruttive e scelte di materiali in modo da minimizzare gli interventi di manutenzione. Quanto sopra risulterà da apposita relazione.

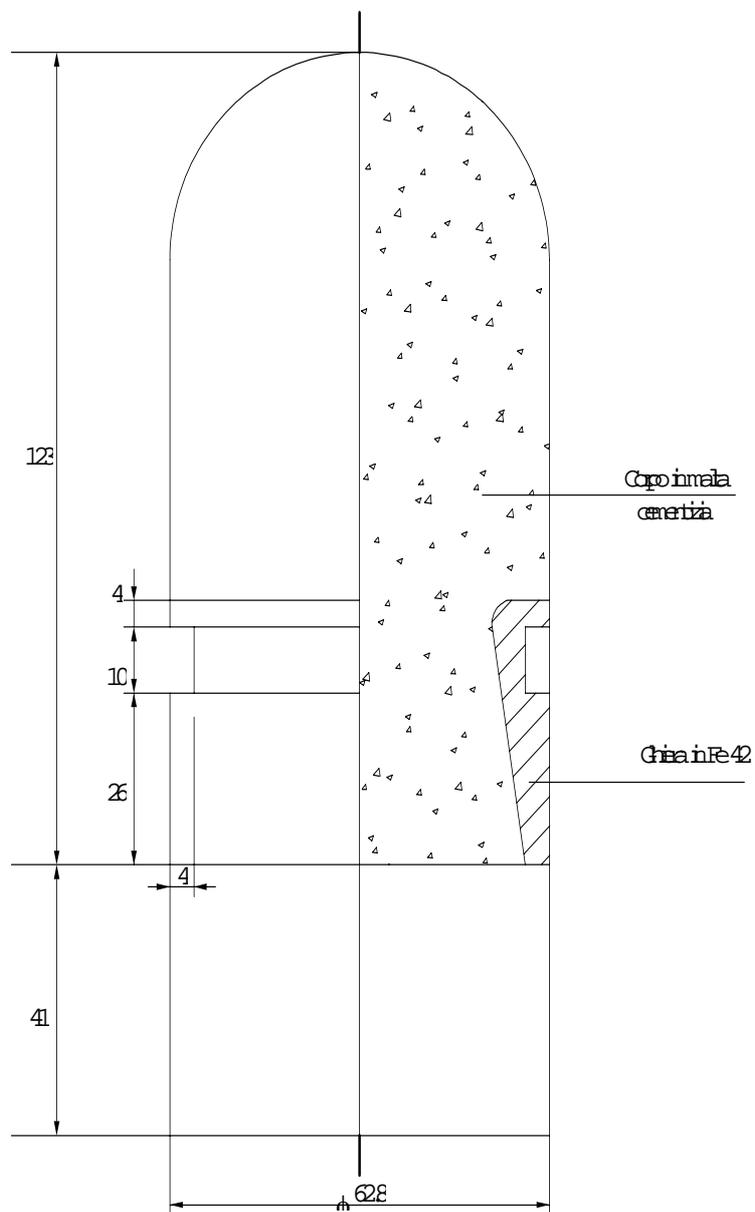
Il ciclo di manutenzione previsto deve poter essere effettuato con mezzi semplici senza pregiudicare il traffico ferroviario e senza causare danni.

La relazione di cui sopra dovrà comprendere in forma chiara e schematica le operazioni occorrenti per la sostituzione facile e rapida dei pannelli o di altri componenti la barriera.

## **7 - FORNITURE DI MATERIALI DI RISERVA**

Dopo il collaudo dell'opera, la Ditta può essere chiamata a fornire materiali di riserva alle strutture preposte alla manutenzione, per sostituire gli elementi danneggiati da incidenti. A tal fine la Ditta deve garantire, per i pezzi non reperibili direttamente sul mercato, una disponibilità di magazzino di almeno 10 anni dopo il collaudo. Il prezzo non dovrà essere superiore a quello dell'appalto aggiornato secondo gli indici revisionali legati al materiale ed alla eventuale mano d'opera. Al fine di rendere più agevole quanto sopra, l'Appaltatore fornirà un elenco dei principali elementi costituenti le barriere corredato dei rispettivi prezzi vigenti all'atto del Contratto d'Appalto e i prezzi di riferimento del materiale base e della mano d'opera.

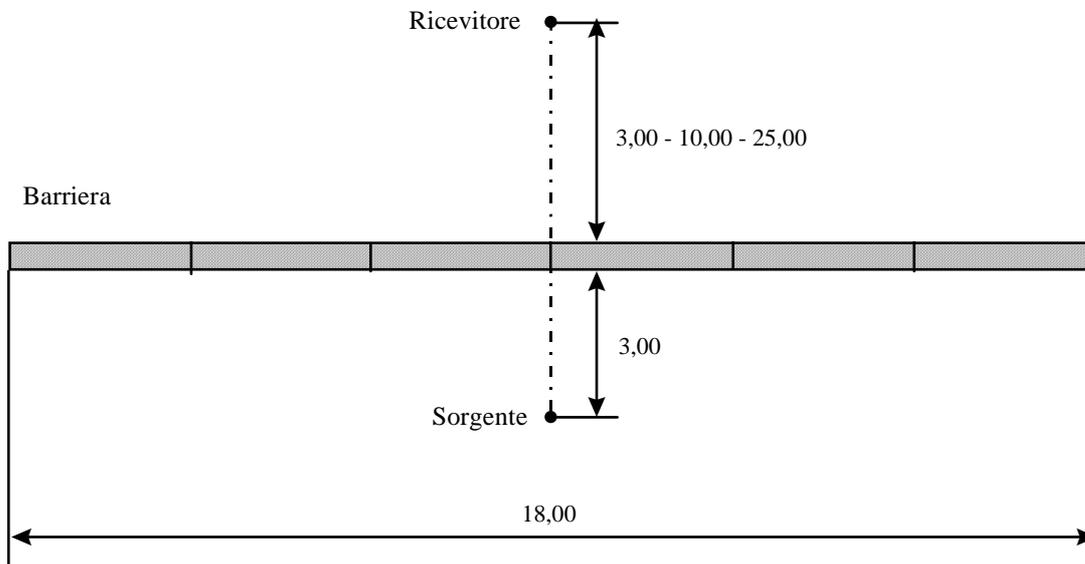
**Proiettile in malta cementizia**



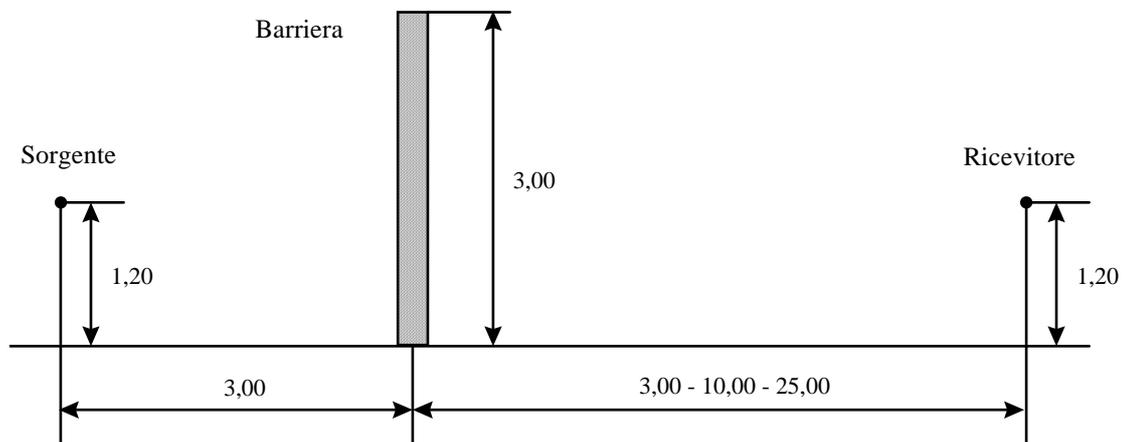
(Dimensioni in mm)

**Fig. 1**

### Planimetria schematica



### Sezione schematica



(Dimensioni in metri)

Fig. 2