



Valutazione teorico-sperimentale del comportamento delle barriere antirumore su linee ad alta velocità

Dott. Ingg. Luigi EVANGELISTA^(), Angelo VITTOZZI^(**), Gianluca SILVESTRI^(***)*

SOMMARIO – Con l'avvento in Italia delle nuove linee AV, Italferr, la società di Ingegneria delle Ferrovie dello Stato, a valle delle prime esperienze tedesche su linee AV, ha condotto una prima serie di studi teorici e sperimentali sulla linea AV Roma-Napoli nel campo dell'eccitazione fluidodinamica e della risposta delle barriere antirumore al passaggio del treno. Il treno, nel percorrere la linea ferroviaria, deve perforare un fluido, il quale aumenta la sua resistenza all'aumentare della velocità del treno stesso; tale movimento provoca un campo di pressione ortogonale alla barriera antirumore che, con legge sinusoidale, eccita la risposta dinamica della stessa e mette alla prova la sua resistenza statica e a fatica. Tale fenomeno diventa particolarmente significativo per i treni delle linee AV, che viaggiano a velocità di 300 km/h. Lo studio condotto da Italferr, illustrato nella memoria, è diventato la base per la progettazione delle barriere antirumore lungo le nuove linee ferroviarie AV e per l'adeguamento di quelle già realizzate.

Premessa

Nell'inverno 2003 si ebbe notizia dalla stampa che sulla linea AV Francoforte-Colonia (l'unico tratto di linea AV della Germania esercito a 300 km/h) si erano osservati degli inconvenienti relativi alle barriere antirumore, a poche settimane dall'entrata in servizio della linea, su una lunghezza di linea di circa 25 km (fig. 1). Tali anomali comportamenti strutturali delle barriere si erano verificati nonostante la progettazione e l'esecuzione avessero puntualmente rispettato le normative e regolamenti esistenti.

^(*) Italferr - Direzione Tecnica, Responsabile U.O. Ingegneria delle Infrastrutture.

^(**) Italferr - Direzione Tecnica, U.O. Strutture, Capo Settore Progettazione e collaudo strutture metalliche e dispositivi speciali.

^(***) Italferr - Direzione Tecnica, U.O. Strutture, Progettista strutture metalliche.



Fig. 1 – Passaggio di un treno ICE accanto ad un tratto danneggiato di barriera antirumore (interasse montanti pari a 5 m) della linea AV Francoforte-Colonia.

Tale inconveniente, che costrinse le Deutsche Bahn (DB) a limitare la velocità massima a 250 km/h, ha indotto Italferr ad avviare dei contatti con il gestore dell'infrastruttura tedesca e ha reso possibile verificare direttamente quanto accaduto.

Per comprendere il fenomeno le DB eseguirono delle misure sperimentali rilevando sia l'andamento delle pressioni nel tempo, sia le risposte degli elementi strutturali in termini di deformazioni e accelerazioni.

Mentre le misure hanno evidenziato che le azioni (sovrappressioni aerodinamiche) erano in linea con le prescrizioni normative europee, le risposte (sollecitazioni e spostamenti) erano di gran lunga superiori a quelli ricavati dall'analisi statica equivalente, eseguita applicando "staticamente" pressioni pari al valore massimo misurato. In particolare, a fronte di una pressione massima misurata di 0.48 kN/m², cui sarebbe dovuta corrispondere una freccia in sommità del montante pari a 15 mm con un schema statico di mensola incastrata alla base, erano stati misurati spostamenti in sommità circa 3-3.5 volte maggiori. Ciò ha consentito di individuare l'esistenza di una forte interazione dinamica barriera-convoglio, con notevoli amplificazioni dinamiche, assolutamente non contemplate nella norma in vigore. Questa interazione "aerodinamica" era stata la causa della rottura e del successivo distacco dei pannelli.

Inoltre l'esame delle time history di risposta strutturale ha identificato un grande numero di cicli effettuati dagli elementi costituenti la barriera rispetto a quelli dell'input di pressione, evidenziando la potenziale rilevanza del fenomeno della fatica, anch'esso non esplicitamente contemplato in normativa, in accoppiamento all'amplificazione dinamica.

1. Le barriere antirumore delle linee AV in Italia

In Italia, le barriere progettate su linee AV sono costituite da una tipologia frutto di anni di applicazione su linee ordinarie, in cui la velocità di progetto della linea era quasi sempre inferiore ai 200 km/h.

Tale tipologia, simile concettualmente a quella presente sulla linea Colonia-Francoforte, ma profondamente diversa nelle dimensioni, è costituita da profili in acciaio del tipo HE, posti ad interasse di 3m (contro i 5m delle barriere tedesche), opportunamente vincolati alla base con tirafondi, in modo da realizzare una mensola incastrata alla base. Tra le ali del profilo di due montanti consecutivi sono inseriti i pannelli antirumore, i quali sono principalmente di tre tipologie: in metallo (alluminio, acciaio inox o acciaio zincato), in calcestruzzo e in materiale trasparente (vetro o PMMA (polimetilmetacrilato)), di seguito brevemente descritti.

A. Il pannello di metallo è alto 0.50 m ed è costituito da due lamiere ripiegate sui bordi, ciascuna di spessore variabile a seconda del materiale adottato (1.5 mm per l'al-

luminio e l'acciaio zincato, mentre per l'acciaio inox 1.2 mm); la lamiera lato binari è forata, quella esterna è piena; tra le due lamiere è interposto il materiale fonoassorbente (figg. 2 e 3).



Fig. 2 – Esempio di barriera con pannelli in alluminio.

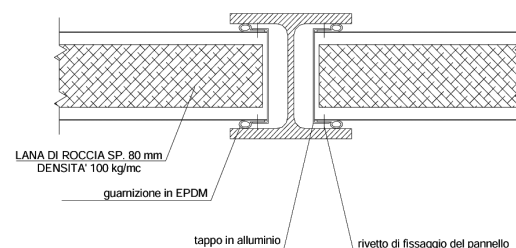


Fig. 3 – Barriera in alluminio: esempio tipico della connessione tra pannello e montante.

B. Il pannello di calcestruzzo ha un'altezza variabile tra 0.50 e 2.00 m; il pannello è costituito da due strati, uno in calcestruzzo strutturale, l'altro in calcestruzzo alleggerito fonoassorbente, posto dal lato binari (figg. 4 e 5).

C. Il pannello trasparente (vetro o PMMA) ha un'altezza variabile tra 1.00 e 2.00 m; il pannello è costituito da una lastra di materiale trasparente, montato come nelle figg. 6 e 7.

Le diverse tipologie di pannello vengono usate nelle barriere anche in combinazione tra loro, in funzione della progettazione ambientale e dei costi.

2. Iniziative intraprese dalle Ferrovie dello Stato

Le notizie citate in premessa provenienti dalle DB sono arrivate in Italia quando la fase progettuale e realizzativa delle barriere antirumore sulla linea AV Roma-Napo-



Fig. 4 – Esempio di barriera con pannelli in calcestruzzo.

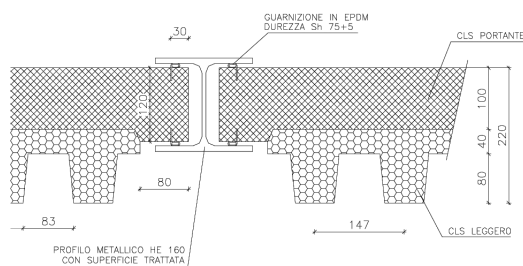


Fig. 5 – Barriera in calcestruzzo: esempio tipico della connessione tra pannello e montante.

li era in fase conclusiva, mentre si era nel pieno della progettazione delle barriere antirumore delle nuove tratte AV Torino-Milano, Bologna-Milano e Firenze-Bologna.

Visto che la tipologia di barriere presente in Italia era simile, anche se con un interesse montante minore rispetto a quella tedesca (e quindi in grado di fornire maggiori garanzie sulla stabilità dei pannelli), le Ferrovie italiane hanno messo in campo una serie di iniziative che di seguito si richiamano:

- considerando che le specifiche di progetto delle barriere prevedevano approcci esclusivamente statici, in mancanza di una sperimentazione diretta sulle linee AV italiane, RFI, in collaborazione con Italferr, ha emanato delle prescrizioni tecniche integrative e provvisorie per la progettazione delle barriere antirumore (Lettera RFI prot. RFI/DIN/IC/009/239 del 24/03/04);
- contemporaneamente, Italferr ha avviato con l'Università di Roma "La Sapienza" una fase di misure in campo sulle barriere della linea AV RM-NA, in occasione delle prime corse prova (fine 2004 e inizio 2005), durante il pre-esercizio e l'esercizio commerciale, al fine di determinare il reale andamento delle pressioni aerodinamiche (azioni), delle accelerazioni e delle deformazioni-momenti (risposte), completata nel 2007;
- successivamente, Italferr ha avviato una collaborazione con il Politecnico di Milano, al fine di valutare mediante modelli analitici, nonché mediante misure in

galleria del vento, l'effetto del passaggio del treno sulle barriere antirumore, con particolare riguardo alla combinazione di quest'ultimo con il vento.

2.1. Prescrizioni tecniche integrative e provvisorie per la progettazione delle barriere antirumore

Prima di emettere una norma in grado di comprendere gli effetti emersi dall'esperienza tedesca sulle barriere delle linee AV, Italferr, in collaborazione con RFI, ha ri-



Fig. 6 – Esempio di barriera con pannelli superiori in PMMA.

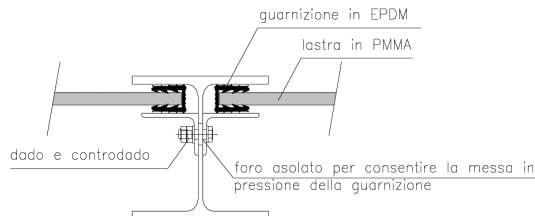


Fig. 7 – Barriera con pannelli in PMMA: esempio tipico della connessione tra pannello e montante.

cercato i risultati di eventuali altre misure eseguite in precedenza sulle barriere antirumore al passaggio del treno; in questa fase di ricerca è emerso che le uniche misure disponibili sulle barriere erano quelle di pressione fatte sulla Direttissima RM-FI negli anni 1992-1994; non erano pertanto disponibili misure sulla risposta delle barriere al passaggio del treno.

L'esame di tali misure ha comunque permesso di rilevare che le pressioni erano sostanzialmente in linea con quelle previste dalla norma ferroviaria e dall'Eurocodice (cfr. UNI ENV 1991-3, punto 6.6.2), in cui i valori caratteristici dell'azione $\pm q_{ik}$, relativi a superfici verticali parallele al binario sono forniti in fig. 8; tali valori sono relativi a treni con forme aerodinamiche sfavorevoli; per i casi di forme aerodinamiche favorevoli questi valori devono essere corretti per mezzo di un fattore k_1 , ove:

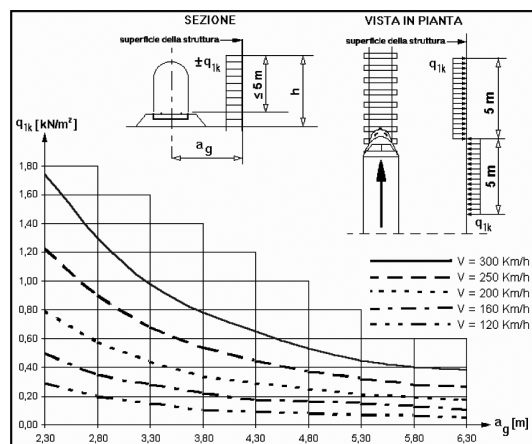


Fig. 8 - Valori caratteristici delle azioni q_{ik} per superfici verticali parallele al binario.

$k_1 = 0.85$ per convogli formati da carrozze con sagoma arrotondata;

$k_1 = 0.60$ per treni aerodinamici (es. ETR).

Basandosi pertanto sulle misure effettuate sulla Direttissima e sulle prime misure sperimentali tedesche (nella fig. 9 si riporta un andamento nel tempo della pressione rilevata sulle stesse al transito di due treni ICE in composizione), Italferr ha avviato una intensa fase di studio attraverso complesse modellazioni numeriche bidimensionali e tridimensionali (fig. 10), sulla cui base RFI ha emanato le "Prescrizioni tecniche integrative e provvisorie per la progettazione delle barriere antirumore" (Lettera RFI prot. RFI/DIN/IC/009/239 del 24/03/04), di cui nel seguito, in corsivo, se ne riporta un estratto.

a) *Le barriere antirumore e le loro strutture di sostegno, devono essere progettate per resistere alle seguenti azioni orizzontali:*

- *Effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli ferroviari,*
- *Azione del vento.*

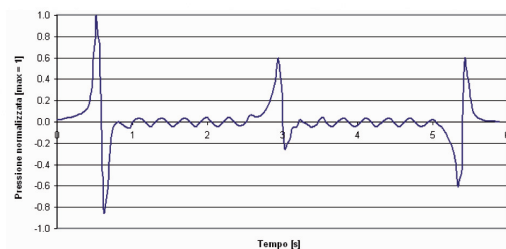


Fig. 9 – Andamento normalizzato (valore massimo pari ad 1), della pressione ricavata sulle barriere tedesche.

Per le prime si dovrà far riferimento al punto 1.4.6 dell'istruzione I/SC/PS-OM/2298 del 2/06/95 aggiornata al 13/01/97

In ogni caso la somma della pressione di tali azioni non potrà essere assunta di valore inferiore ai seguenti:

- Per linee con velocità massima $V_{max} \leq 160$ km/h;

Sia per le verifiche statiche che per quelle di deformabilità si dovrà assumere il valore minimo $P_{tot} = P_{vento} + P_{aerod.} = 1.5$ kN/m²;

- Per linee con velocità massima 160 km/h $< V_{max} < 200$ km/h;

Per le verifiche statiche si dovrà assumere il valore minimo

$$P_{tot-stat} = P_{vento} + P_{aerod.} = 1.5 \text{ kN/m}^2.$$

Per le verifiche di deformabilità si dovrà assumere il valore minimo

$$P_{tot-din} = P_{vento} + P_{aerod.} = 2.5 \text{ kN/m}^2.$$

- Per linee con velocità massima $V_{max} \geq 200$ km/h.

Sia per le verifiche statiche che per quelle di deformabilità si dovrà assumere il valore minimo $P_{tot} = P_{vento} + P_{aerod.} = 2.5$ kN/m².

- b) *Per le sole linee AV/AC con velocità ≥ 200 km/h occorre verificare che non si instaurino condizioni di risonanza delle barriere antirumore, sottoposte ad un'azione dinamica rappresentata dalla Time History delle pressioni rappresentata nella fig. 11, il cui valore di picco deve essere determinato sulla base del punto 1.4.6 dell'istruzione I/SC/PS-OM/2298 del 2/06/95 aggiornata al 13/01/97 e le cui ascisse devono essere calibrate in funzione della velocità di transito del treno. Dall'esame delle risposte dinamiche delle barriere occorrerà verificare che il coefficiente d'amplificazione dinamica sia ≤ 2.0 . Le analisi dinamiche dovranno essere eseguite con velocità d'avan-*

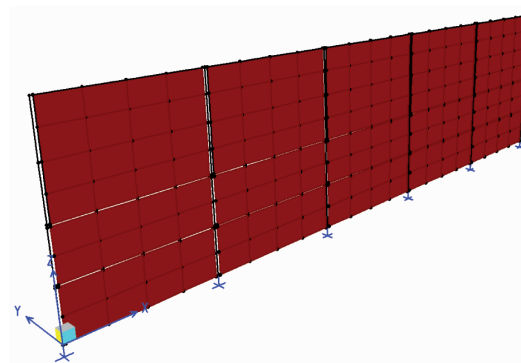


Fig. 10 – Esempio di modellazione FEM tridimensionale di una barriera antirumore (in rosso sono rappresentati i pannelli modellati con elementi shell opportunamente connessi ai montanti, simulati con elementi frame).

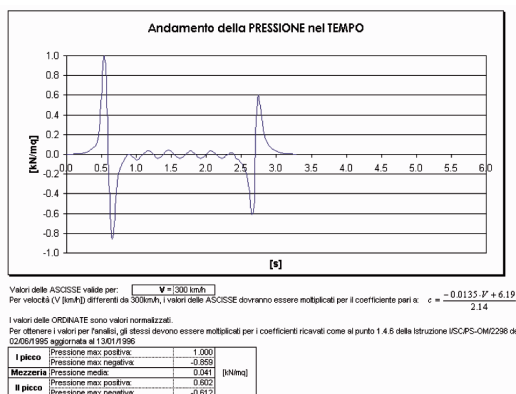


Fig. 11 – Time History delle pressioni per la verifica di condizioni di risonanza.

zamento variabile da $V=200 \text{ km/h}$ a $V=V_{max}$ con incremento di 10 km/h .

- c) Per tutte le tipologie di barriere occorrerà effettuare le verifiche a fatica dei montanti dei pannelli e dei relativi collegamenti (bullonature, saldature e rivettature) considerando le azioni derivanti dalle pressioni aerodinamiche associate al transito dei convogli ferroviari di cui punto 1.4.6 dell'istruzione I/SC/PS-OM/2298 del 2/06/95 aggiornata al 13/01/97, verificando che i $\Delta\sigma$ siano inferiori al $\Delta\sigma_p$ di riferimento diviso il coefficiente di sicurezza $\gamma_m = 1.25$. Analogo discorso per le sollecitazioni di taglio.

Per le linee AV/AC il controllo verrà eseguito con i valori di $\Delta\sigma$ risultanti dall'analisi dinamica se superiori a quelli della citata istruzione, verificando che gli stessi siano inferiori al $\Delta\sigma_p$ di riferimento diviso il coefficiente di sicurezza γ_m .

Scopo del documento di RFI era quello di fornire uno strumento immediato e conservativo per la progettazione delle barriere antirumore, in particolare per quelle su linee AV, in una fase particolarmente delicata di avvio delle prime linee all'esercizio commerciale.

2.2. La sperimentazione sulla RM-NA

La sperimentazione sulla RM-NA è stata effettuata su tutte le tipologie di barriere presenti sulla linea: barriere con pannelli interamente in calcestruzzo, barriere con pannelli interamente in alluminio e barriere con pannelli in calcestruzzo nella parte bassa e PMMA nella parte superiore. L'altezza delle barriere monitorate era pari a 4m, con una distanza dall'asse binario più vicino di 4.32m.

Sono state misurate la pressione sui pannelli, accelerazioni e deformazioni sui pannelli e sui montanti; nella fig. 12 è riportata una foto che mostra la localizzazione della strumentazione utilizzata per le prove.



Fig. 12 – Localizzazione della strumentazione sulle barriere in alluminio.

2.2.1. La forzante

Al fine di poter bene caratterizzare la forzante, sono state eseguite misure delle variazioni di pressione dell'aria indotte dal passaggio del treno a diverse velocità. La strumentazione utilizzata consisteva in trasduttori di pressione differenziali. Le loro principali caratteristiche sono riassunte in tabella 1.

TABELLA 1

PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI TRASDUTTORI DI PRESSIONE

| | |
|--|-------------------------------|
| Range di pressione | 0 - 0.8 psi (1 psi = 6895 Pa) |
| Tensione di alimentazione | 5 V CC |
| Tensione in uscita | 0.5 - 4.5 V |
| Bandwidth | (-3 dB): CC a 1 kHz |
| Protezione alle interferenze elettromagnetiche (EMI) e radio (RFI) | 100 V/m |
| Resistenza allo shock | 100 g, 11 msec, 1/2 seno |
| Resistenza alla vibrazione | 10 g picco, 20 a 2000 Hz |

Per fissare le prese di pressione sono stati praticati dei fori del diametro di 1 cm circa, passanti nel pannello. Vista la lunghezza del foro (12 cm circa), è stato necessario munire la presa di pressione dei trasduttori, di un tubo in pvc opportunamente vincolato nei fori passanti (fig. 13), al fine di poter leggere la pressione esattamente al filo del pannello lato binario.

I trasduttori di pressione sono stati fissati su due campi di barriera seguendo lo schema indicato nella fig. 14; poiché la strumentazione aveva lo scopo di analizzare sia l'andamento della pressione lungo l'altezza della barriera sia l'andamento in direzione longitudinale, la stessa è stata posizionata sia lungo una verticale sia in direzione orizzontale.

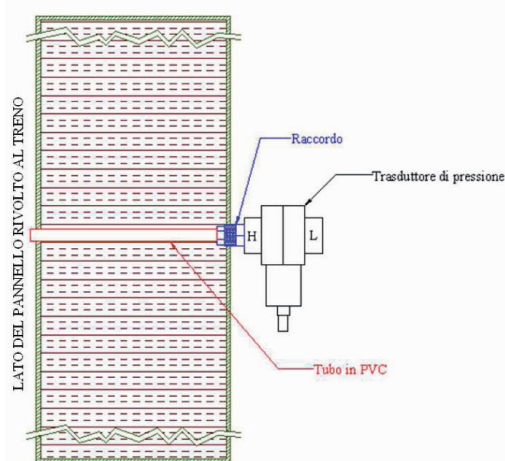


Fig. 13 – Fissaggio del trasduttore di pressione sulla barriera in alluminio.

Dall'analisi delle misure effettuate è emerso che il passaggio del treno induce una forte variazione della pressione dell'aria in corrispondenza delle barriere: nel seguito, per pressione positiva si intende un incremento della pressione dell'aria (sovrappressione), mentre per pressione negativa si intende una diminuzione della pressione dell'aria (depressione).

L'andamento nel tempo della pressione in ciascun punto di misura è qualitativamente simile: consiste di due impulsi non-simmetrici associati all'entrata e all'uscita del treno, collegati da oscillazioni di ampiezza inferiore rispetto ai picchi (fig. 15).

Gli impulsi presentano entrambi un picco in sovrappressione ($p > 0$ in A e in D) ed uno in depressione ($p < 0$ in B e in C). Il primo impulso (AB), associato all'entrata del treno, è in ogni caso più intenso di quello di uscita (AD).

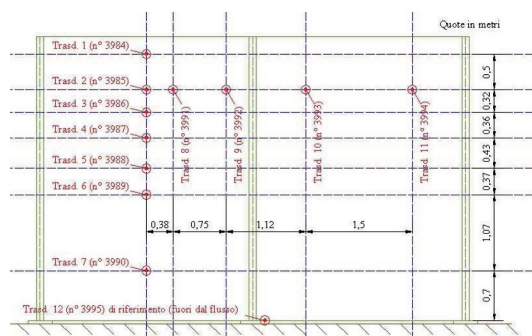


Fig. 14 – Ubicazione dei trasduttori di pressione sulla barriera in alluminio.

Nell'impulso di entrata, la massima variazione di pressione è positiva e si verifica nel picco A, mentre invece nell'impulso di uscita la massima variazione di pressione è negativa e si verifica nel picco C. Nel tratto intermedio si verificano oscillazioni di minore intensità.

A titolo di esempio, si riporta, nella fig. 16, la registrazione del sensore 7 di fig. 14 sulle barriere in alluminio nel passaggio del treno alla velocità di circa 290 km/h.

Si noti che:

- il segnale è grossolanamente sinusoidale;
- il numero di sinusoidi comprese tra la prima onda (ingresso del locomotore di testa) e l'ultima onda (uscita del locomotore di coda) è uguale al numero delle carrozze che compongono il treno;
- la distanza tra due massimi successivi è funzione della velocità di avanzamento del treno.

Pertanto:

- gli effetti sulle barriere di un treno avente composizione differente da quello usato per la prova (2 motrici + 8 carrozze) debbono essere valutati variando il numero di sinusoidi intermedie per allinearli al numero di carrozze presenti;
- l'asse dei tempi del segnale deve essere scalato in misura inversamente proporzionale al rapporto tra l'effettiva velocità del treno e la velocità del treno di prova (300 km/h).

I massimi valori si hanno nel primo picco (punto A) e sono positivi (spinta del treno in arrivo). L'impulso è asimmetrico verso la parte positiva $p_A > p_B$ con un'asimmetria che varia tra il 10 ed il 20% del valore massimo.

L'andamento dei massimi delle pressioni non è costante lungo l'altezza. I valori maggiori come è intuitivo immaginare, si riscontrano infatti nella parte bassa con un andamento in funzione della quota da terra ben approssimato da una cubica, come riportato nella fig. 17.

Il valore massimo di 412.5 Pa si riscontra nel sensore più basso (7); l'estrapolazione dei valori al piede della barriera sono 423.2 Pa e -331.1 Pa rispettivamente.

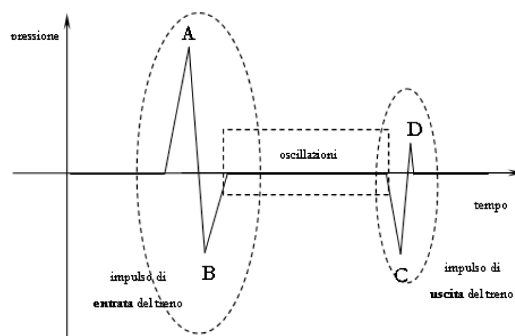


Fig. 15 – Descrizione schematica dell'andamento delle pressioni in un punto di misura al passaggio di un treno.

Per le barriere in calcestruzzo, al cui passaggio il treno viaggiava alla velocità di 295 km/h, è emerso invece l'andamento di fig. 18.

Il valore massimo di 457.7 Pa si riscontra nel sensore posto ad una quota di 1.08m da terra.

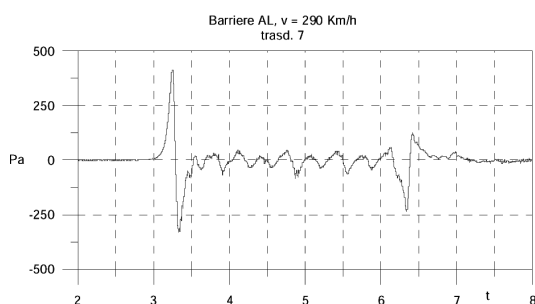


Fig. 16 – Registrazione tipica della pressione aerodinamica al passaggio del treno su una barriera in alluminio.

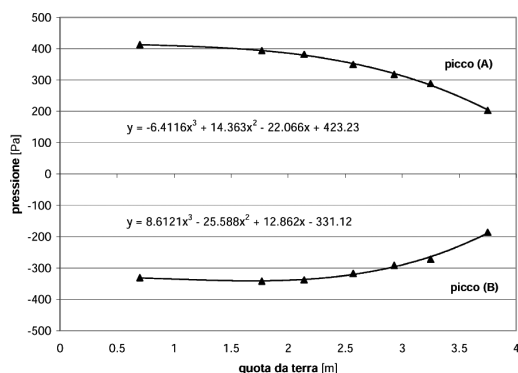


Fig. 17 – Distribuzione dei massimi dell'impulso di entrata lungo la verticale - Barriere in alluminio.

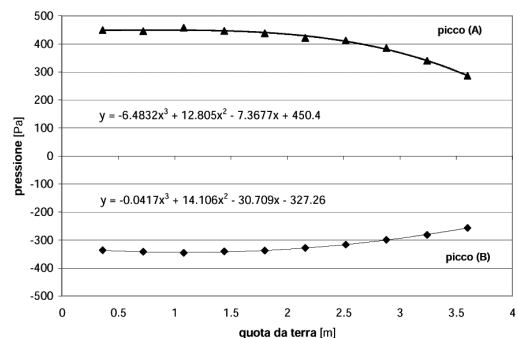


Fig. 18 – Distribuzione dei massimi dell'impulso di entrata lungo la verticale nella sperimentazione di una barriera con pannelli in calcestruzzo.

Le massime variazioni di pressione provocate dall'uscita del treno sono di segno negativo. L'impulso è asimmetrico verso la parte negativa con un'asimmetria che varia tra il 40 ed il 70% del valore in C, quindi sensibilmente maggiore rispetto al picco di entrata.

L'andamento dei massimi delle pressioni non è costante lungo l'altezza, con i valori maggiori nella parte bassa. L'andamento dei massimi in funzione della quota da terra è ben approssimato da una cubica come riportato nella fig. 19.

Nella fig. 20 è riportata la visualizzazione tridimensionale delle pressioni agenti sui pannelli, nel caso di barriere in alluminio.

Relativamente alla valutazione dell'andamento delle pressioni in direzione longitudinale con riferimento al

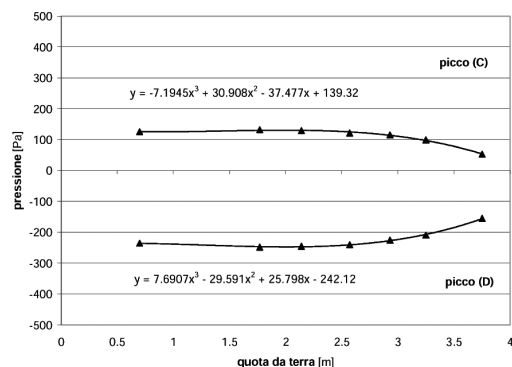


Fig. 19 – Distribuzione dei massimi dell'impulso di uscita lungo la verticale - Barriere in alluminio.

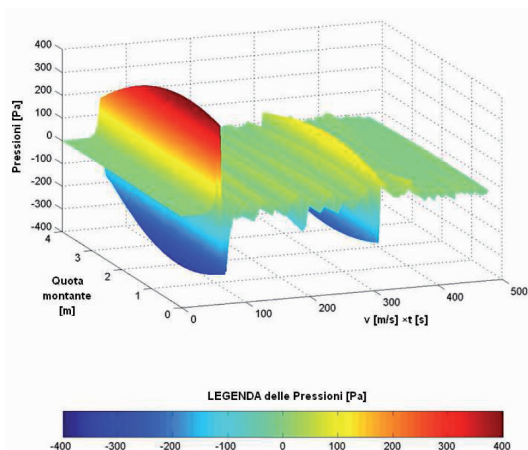


Fig. 20 – Visualizzazione tridimensionale delle pressioni agenti sui pannelli in alluminio al passaggio del treno alla velocità di 290 km/h [1].

passaggio con $v=290$ km/h, si considerano i quattro trasduttori 2, 8, 9, 10, 11 della fig. 14, posti sull'orizzontale a quota 3.25m da terra.

Si evidenziano, al riguardo, andamenti nel tempo sostanzialmente analoghi. Visualizzando più in dettaglio (fig. 21) le registrazioni in prossimità dell'impulso di entrata del treno appare chiaro lo sfasamento temporale tra i vari sensori.

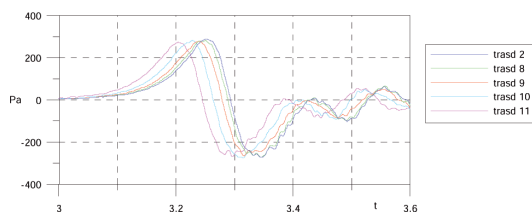


Fig. 21 – Barriere alluminio. Sfasamento temporale tra i sensori posti alla stessa quota (impulso AB) [ii].

Se, in particolare, si fissa l'attenzione sui sensori estremi (2 – 11), posti a distanza di 3.75 m (fig. 22) il picco massimo dell'impulso di entrata del treno si riscontra, sui due sensori, ad un intervallo temporale di 0.0486 s. Il treno, alla velocità di 290 km/h (velocità rilevata dalle cellule fotoelettriche) percorre la distanza tra i sensori in $\Delta t = \Delta s / v = (3.75 / 290) \cdot 3.6 = 0.047$ s. Da ciò emerge che l'onda di pressione si propaga con una velocità praticamente uguale a quella del treno.

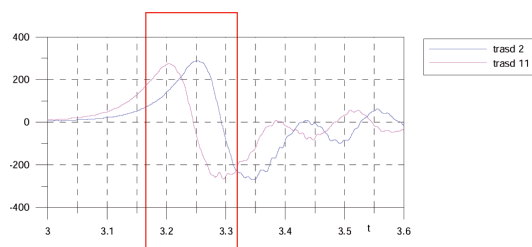


Fig. 22 – Zoom della figura 21 in prossimità del picco A [ii].

2.2.2. Confronto con le prescrizioni tecniche

E' utile a questo punto effettuare un confronto dei dati di pressione ricavati in campo con quelli riportati nei grafici dell'Istruzione I/SC/PS-OM/2298 del 2/6/95, aggiornata al 13/01/97, richiamata nelle prescrizioni tecniche integrative e provvisorie per la progettazione delle barriere antirumore di RFI.

Per quanto riguarda il valore della pressione del punto A, essendo il binario ad una distanza d pari a 4.32 m dalla barriera per $v=290$ km/h si ottiene dall'istruzione sopra citata:

$$q_{ik} = 1.95 \cdot 10^{-5} \cdot v^2 \cdot (2.3/d)^{1.58} \quad (1)$$

$$q_{ik} = 1.95 \cdot 10^{-5} \cdot 290^2 \cdot (2.3/4.32)^{1.58} = 0.610 \text{ kPa} \quad (2)$$

$$p_A = 0.6 \cdot q_{ik} = 0.366 \text{ kPa} = 366 \text{ Pa} \quad (3)$$

e pertanto si possono fare le considerazioni riportate di seguito.

L'approssimazione cubica della distribuzione delle pressioni rilevate sperimentalmente del picco A (vedi fig. 17) lungo l'altezza

$$p_A(x) = -6.4116 x^3 + 14.36 x^2 - 22.066 x + 423.22 \quad (4)$$

fornisce una risultante pari a 1412.5 N/m ed un momento risultante alla base del montante pari a 2521.2 Nm/m.

La pressione uniformemente distribuita equivalente in termini di risultante T risulta

$$p_{eq,T} = 1412.5 / 4 = 353 \text{ Pa} \quad (5)$$

mentre in termini di momento risultante alla base M risulta

$$p_{eq,M} = 2 \cdot (2521) / 4^2 = 315 \text{ Pa} \quad (6)$$

Il valore fornito dall'Istruzione I/SC/PS-OM/2298, pari a 366 Pa, è quindi prossimo, leggermente in favore di sicurezza, rispetto al valore della pressione uniforme equivalente in termini di taglio alla base del montante.

Per ciò che concerne le prove sulle barriere in calcestruzzo, si fa presente che l'approssimazione cubica della distribuzione delle pressioni misurate nel picco A (vedi fig. 18) lungo l'altezza

$$p_A(x) = -6.4832 x^3 + 12.805 x^2 - 7.3677 x + 450.4 \quad (7)$$

fornisce una risultante pari a 1600.9 N ed un momento risultante pari a 2937.8 Nm.

La pressione uniformemente distribuita equivalente in termini di risultante T risulta:

$$p_{eq,T} = 1600.9 / 4 = 400.2 \text{ Pa} \quad (8)$$

mentre in termini di momento risultante alla base M si ottiene:

$$p_{eq,M} = 2 \cdot (2937.8) / 4^2 = 367.2 \text{ Pa} \quad (9)$$

Anche in questo caso il valore fornito dall'Istruzione FS sopra citata è quindi molto prossimo, leggermente in sfavore di sicurezza, rispetto al valore della pressione uniforme equivalente in termini di taglio alla base.

2.2.3. La risposta

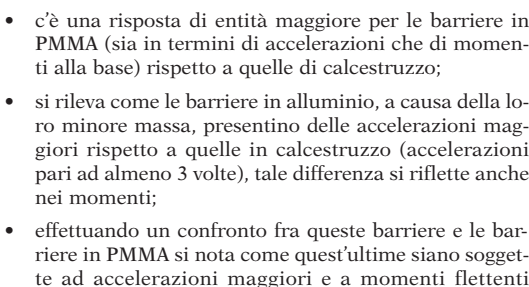
Al fine di caratterizzare la risposta delle barriere sono state effettuate misure di accelerazione, mediante trasduttori di tipo piezoelettrico, di cui in tabella 2 si riportano le principali caratteristiche, e di deformazione mediante strain-gage.

TABELLA 2

PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI TRASDUTTORI DI ACCELERAZIONE

| | |
|----------------|-------------|
| Fondo scala | 5 g |
| Banda passante | 0.5-2000 Hz |
| Risoluzione | 5 μ g |
| Sensitività | 1000 mV/g |

La risposta dei montanti è molto diversa al variare della tipologia di pannello; in particolare:



Le figg. 25, 26 e 27 mostrano le storie di accelerazione, mentre le figg. 28, 29 e 30 quelle di momento sollecitante, rispettivamente in sommità del montante e alla base dello stesso. Si fa presente che le registrazioni riportate nelle suddette figure sono relative a velocità differenti, sia perché eseguite durante corse prova, sia per la diversa ubicazione delle stesse.

INGEGNERIA FERROVIARIA

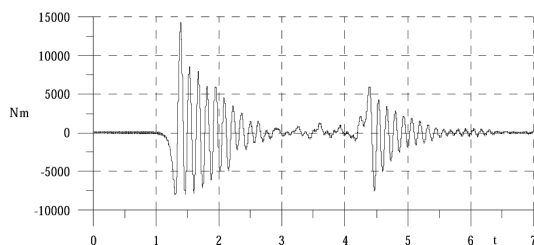


Fig. 28 – Barriere in alluminio ($v = 290$ km/h) – Momento alla base del montante [ii].

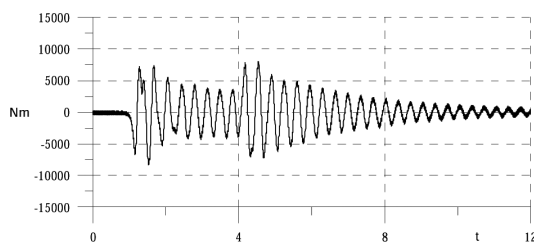


Fig. 29 – Barriere in calcestruzzo ($v = 295$ km/h) – Momento alla base del montante [ii].

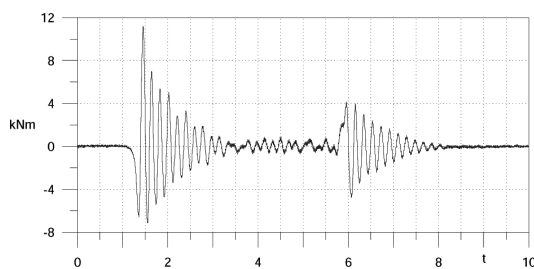


Fig. 30 – Barriere in calcestruzzo-PMMA ($v = 270$ km/h) – Momento alla base del montante [ii].

maggiori, confermando il risultato riscontrato nella prima serie di inversa proporzionalità fra massa delle barriere e accelerazioni-momenti.

Dalle misure in campo è inoltre emerso che:

- il comportamento in termini di accelerazione e momento, riscontrato alle velocità inferiori, è qualitativamente simile;
- il pannello non presenta una risposta dinamica propria significativa, cioè il pannello ha una risposta dinamica coincidente con quella impostagli dal montante, senza una sua propria amplificazione (tale comportamento è valido per tutte le tipologie di barriera);
- il coefficiente di smorzamento è variabile tra il 4% delle barriere in alluminio e calcestruzzo-PMMA e circa il 2% delle barriere in calcestruzzo; all'interno delle misure per ogni singola tipologia sono stati rilevati valori non sempre concordi; tali discrepanze sono dovute

alle tolleranze della connessione pannello-montante, realizzata con guarnizioni in gomma EPDM (un elastomero da polietilene).

2.3. Valutazioni teoriche ed in galleria del vento

La sperimentazione effettuata dall'Università di Roma "La Sapienza" sulle barriere antirumore della linea AV RM-NA è partita durante le corse prova della linea, in cui il numero esiguo di treni e la variabilità della velocità di passaggio degli stessi, ha reso molto difficile la sperimentazione.

Pertanto, contemporaneamente alle misure sulla RM-NA, Italferr ha deciso di aprire anche una collaborazione con il Politecnico di Milano, il quale ha fornito un prezioso contributo all'individuazione dell'azione dovuta al passaggio del treno, con particolare riguardo alla sua combinazione con l'azione vento, effettuando una fase analitica e una fase di sperimentazione nella galleria del vento.

In particolare è stata condotta un'analisi del campo di pressione che si instaura al transito di un convoglio ferroviario nei pressi di una barriera fonoassorbente, mediante simulazioni di fluidodinamica computazionale (CFD), necessaria per poter tarare i risultati in galleria del vento. Le simulazioni sono state condotte utilizzando un codice di calcolo commerciale su un dominio tridimensionale.

Il dominio di calcolo (fig. 31) rappresenta una scatola rettangolare fissa contenente la barriera che viene attraversata dal treno in moto utilizzando la tecnica delle "sliding mesh" implementata nel codice di calcolo adottato. Tale tecnica permette di fare scorrere una griglia di calcolo relativamente ad un'altra griglia di calcolo mediante piani di interfaccia. È in tal modo possibile associare come condizioni al contorno una velocità relativa tra gli oggetti contenuti all'interno delle due griglie di calcolo.

Nelle simulazioni in assenza di vento laterale la pressione in ingresso è imposta pari a quella atmosferica, come quella di uscita. Il flusso si instaura a causa della condizione di moto relativo tra la superficie del treno e le altre celle. Nelle simulazioni in presenza di vento viene imposto, invece, un salto di pressione tra ingresso ed uscita in modo da instaurare un flusso, all'interno del dominio di

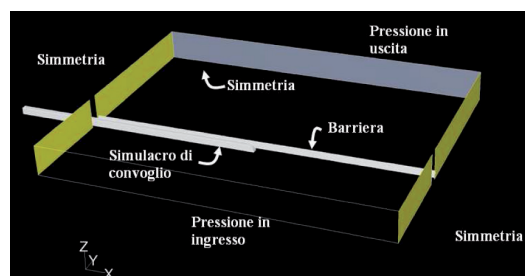


Fig. 31 – Dominio di calcolo con il codice CFD [iii].

calcolo, trasversale al moto del treno. A titolo d'esempio, la fig. 32 illustra il campo vettoriale di velocità dell'aria, in presenza del simulacro di treno in transito, ottenuto dal calcolo con il codice anzidetto.

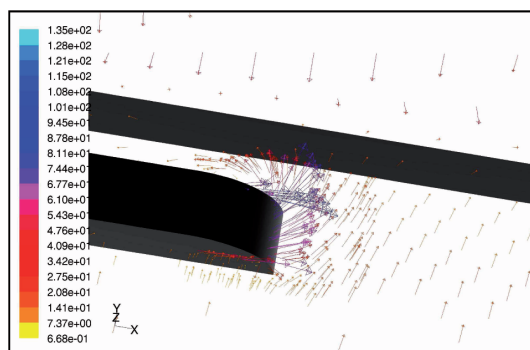


Fig. 32 – Esempio di output di calcolo con il codice CFD, con simulacro di treno in transito [iii].

2.3.1. In assenza di vento laterale

Si riporta in fig. 33 l'andamento temporale delle pressioni monitorate in una sezione della barriera in corrispondenza del transito di un convoglio a 300 km/h. In figura sono confrontate le sovrappressioni registrate a diverse quote da terra ($z=0.5 \div 4$ m) che mostrano come i valori di picco tendano a ridursi in modulo all'aumentare dell'altezza.

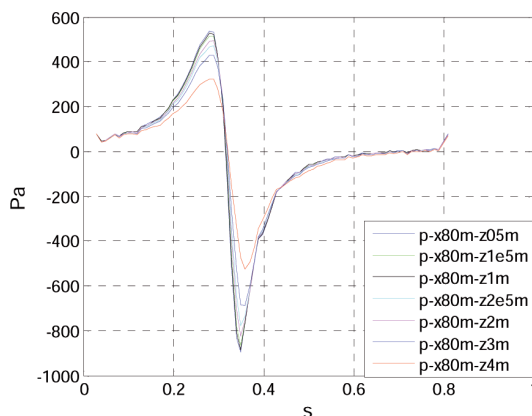


Fig. 33 – Andamento delle pressioni nel tempo in una sezione a diverse quote z [iii].

In fig. 34 è mostrato il campo di pressione che si instaura sulla barriera al transito del convoglio. Sono ben identificabili la zona di sovrappressione colorata di rosso davanti alla testa del treno ed una zona in depressione affacciata lateralmente alla testa del treno. Si nota inoltre il

diminuire della sovrappressione all'aumentare della quota da terra.

In fig. 35 è riportato il campo di pressione in un piano orizzontale intersecante il treno e la barriera ad una quota di 2.5 m da terra. È possibile notare come l'effetto della barriera renda asimmetrico il campo di pressione attorno allo sviluppo longitudinale del treno.

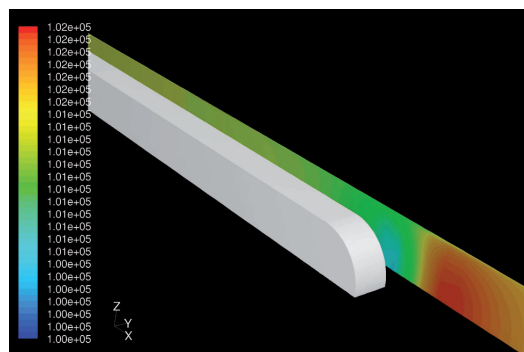


Fig. 34 – Campo di pressione che si instaura sulla barriera al transito del convoglio [iii].

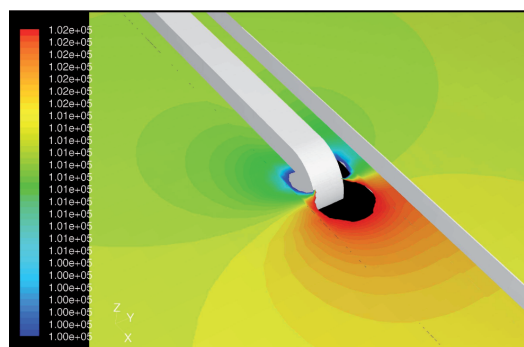


Fig. 35 – Campo di pressione che si instaura attorno al treno in transito – sezione piana a $z=2.5$ m di quota [iii].

2.3.2. In presenza di vento laterale

Come esempio dei risultati ottenuti, si riporta in fig. 36 l'andamento temporale delle pressioni monitorate in una sezione della barriera in corrispondenza del transito di un convoglio a 300 km/h in presenza di un vento laterale di 30 m/s. In figura sono confrontate le sovrappressioni registrate a diverse quote da terra, che mostrano come, a partire da un valore di pressione medio diverso da zero dovuto all'effetto del vento che impatta sulla barriera, si nota un effetto di schermo offerto dal transito del convoglio che fa diminuire il valore di pressione fino a valori inferiori alla pressione atmosferica. La pressione dopo l'effetto di depressione dovuto al passaggio della testa del treno tende a riportarsi a valori di pressione atmosferica conti-

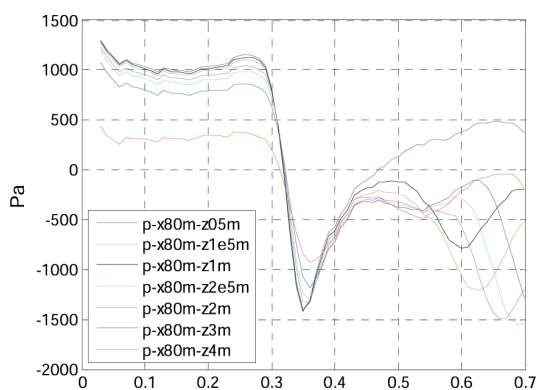


Fig. 36 – Transit del treno con vento laterale - Andamento delle pressioni nel tempo in una sezione a diverse quote [iii].

nuando a sfruttare l'effetto di schermo dovuto al treno.

Infine, al termine delle simulazioni con codice di calcolo CFD, sono state condotte delle prove in galleria del vento per verificare sperimentalmente la variazione del campo di pressione che si instaura sulla barriera fonoassorbente in presenza di vento laterale al passaggio di un convoglio ferroviario. Le prove sono state condotte presso la Galleria del Vento del Politecnico di Milano nella sezione di prova a strato limite.

È stato riprodotto in scala 1:10 un tratto di linea attrezzato con una barriera e sono state registrate le pressioni agenti su tali barriere in alcuni punti di misura per diverse direzioni di provenienza del vento.

Il set-up di misura consiste in uno scenario di prova costituito da un tratto di linea riprodotto in scala 1:10.

In fig. 37 è riportata un'immagine dello scenario di prova installato in galleria del vento.



Fig. 37 – Modello in prova in galleria del vento [iii].

Su tale tratto di linea è posizionato un modello di treno costituito da un locomotore più uno spezzone di 1/3 di carrozza rimorchiata. A distanza di 0.4 m (in scala modello, 4 m al vero) dall'asse del binario è posizionata una barriera costituita da un asse di legno lungo 5 m (in scala modello, 50 m al vero), alto 0.4 m (in scala modello, 4 m al vero), dello spessore di 0.01 m (in scala modello, 0.1 m al vero).

Lo scenario è installato su di un pannello circolare posizionato ad una quota di 0.3 m dal pavimento della camera di prova al fine di eliminare lo strato limite che si genera sul pavimento della galleria del vento nella sezione di prova e per riprodurre uno a partire dalla quota del piano del binario.

Nella zona in prossimità della testa del locomotore sono state predisposte sulla barriera 32 trasduttori di pressione (fig. 38).



Fig. 38 – Distribuzione dei 32 trasduttori di pressione sul modello della barriera - Vista dal lato esterno della barriera [iii].

Le conclusioni di questi complessi studi sono state le seguenti: seguendo un approccio sia numerico, con l'ausilio di codici di calcolo CFD, sia sperimentale, con prove in galleria del vento, si sono ricavate le fluttuazioni della pressione agente sulle barriere antirumore in concomitanza al passaggio di treni AV a 300 km/h ed in presenza di vento trasversale agente sopravento rispetto al lato di percorrenza del treno; per vento trasversale di 30 m/s l'aumento picco-picco della fluttuazione di pressione raggiunge valori di 1.75 volte quello rilevato in assenza di vento, salendo ad un valore di 2.5 volte con vento laterale di 46 m/s; tali valori risultano comunque inferiori ai carichi statici di progetto: tale circostanza ha confermato quanto riportato nelle prescrizioni tecniche integrative e provvisorie per la progettazione delle barriere antirumore del 24/03/04, in cui il massimo carico per le verifiche di resistenza era stato assunto pari alla somma del carico dovuto al vento e alla pressione aerodinamica dovuta al passaggio del treno.

3. RM-NA, adeguamento delle barriere: studi teorici ed in campo

Dopo che le indicazioni progettuali delle prescrizioni tecniche integrative e provvisorie per la progettazione delle barriere antirumore del 24/03/04 sono state confermate dalla sperimentazione della RM-NA e dagli studi teorici e sperimentali in galleria del vento, sono state analizzate le uniche barriere già montate, quelle sulla RM-NA, al fine di indagarne la vita a fatica.

A tal proposito sono stati utilizzati modelli analitici che permettessero di stabilire con buona approssimazione la vita a fatica delle barriere della RM-NA.

Le metodologie di calcolo adottate sono state: a) uno schema di calcolo ad elementi tipo 'trave' per riprodurre la dinamica della struttura soggetta alle azioni delle pressioni "dinamiche" al fine di ricavare la storia temporale delle azioni flettenti alla base della colonna; b) una modellazione raffinata ad elementi finiti (fig. 39) per riprodurre lo stato di sollecitazione agente nei cordoni di saldatura (figg. 40 e 41).

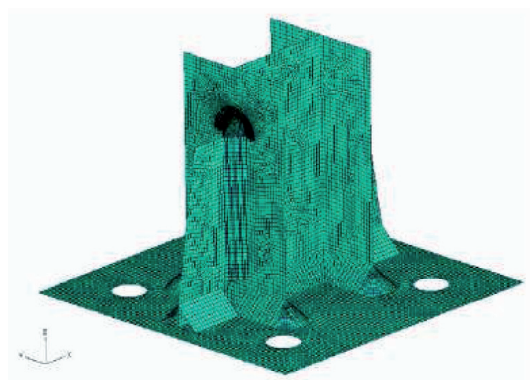


Fig. 39 – Modello agli elementi finiti della base del montante della barriera [iv].

Dallo stato di sollecitazione in funzione del tempo così ricavato sono stati quindi dedotti i cicli affaticanti dovuti al singolo passaggio del treno. Tali cicli affaticanti, sulla base delle curve di resistenza dell'Eurocodice 3 (fig. 42), hanno quindi permesso di ricavare la stima della vita a fatica sulla base di un calcolo di danneggiamento.

Tali analisi hanno mostrato che le barriere della RM-NA dopo pochi anni di esercizio della linea, non avrebbero soddisfatto le verifiche a fatica in 2 punti: all'attacco del montante alla piastra di base e alla fine della costola di irrigidimento del montante alla base. In particolare si è ricavato che il punto più critico era quello alla base della colonna, in corrispondenza dell'apice superiore del cordone di saldatura dell'irrigidimento verticale.

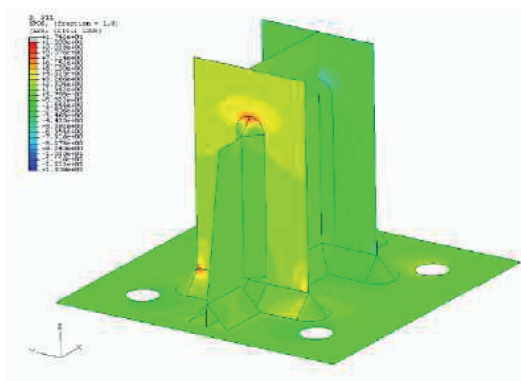


Fig. 40 – Distribuzione dello sforzo alla base del montante [iv].

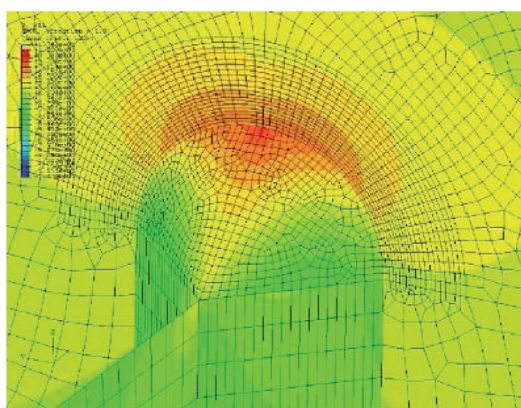


Fig. 41 – Dettaglio: concentrazione dello sforzo all'apice della saldatura della costola di irrigidimento [iv].

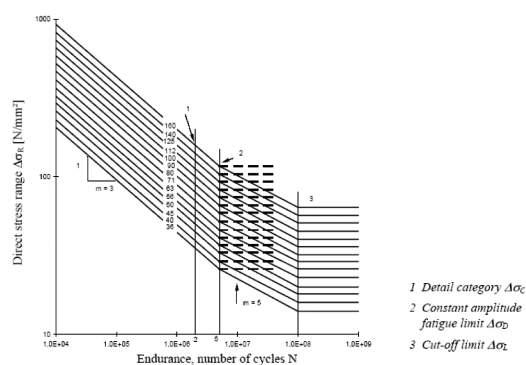


Fig. 42 – Curve di fatica dell'Eurocodice 3.

Sono stati quindi messi in campo studi e sperimentazioni per trovare una soluzione per contenere le sollecitazioni e trovare soluzioni tecniche di adeguamento.

3.1. Analisi dinamiche di una serie di montanti

Al fine di contenere la sollecitazione a flessione alla base del montante è stato scelto di collegare tutti i montanti tra loro alla loro estremità superiore, impiegando un corrente costituito da un profilo UPN 350 collegato ai montanti stessi come in fig. 43, così da formare una serie di portali da 3 m di luce ciascuno, costituenti la barriera che si sviluppa secondo l'asse z globale (fig. 44).

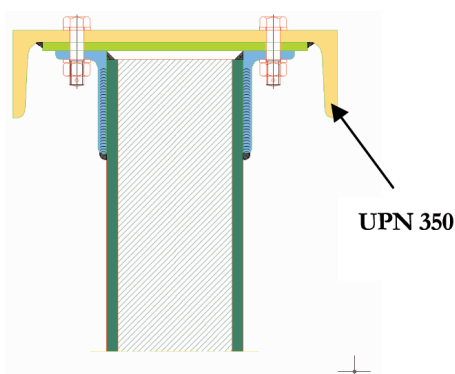


Fig. 43 - Collegamento superiore dei montanti con profilo UPN 350.

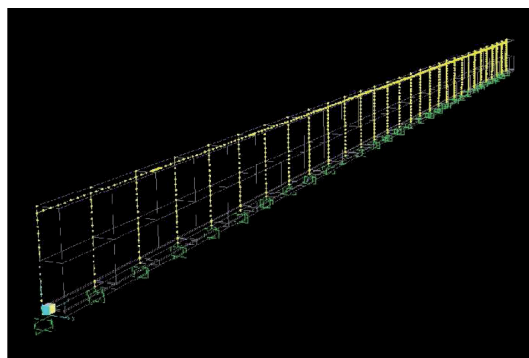


Fig. 44 - Modellazione FEM tridimensionale di una barriera antitumore con montanti collegati superiormente.

Le simulazioni del comportamento dinamico della barriera al passaggio del treno sono state effettuate con una barriera di 90 m di lunghezza (31 montanti).

Nelle figg. 45, 46, 47 e 48 si porta a confronto la risposta dinamica di quattro tipologie di barriera ed in particolare gli andamenti temporali del momento flettente alla

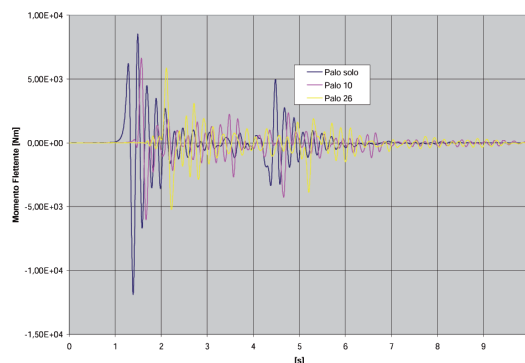


Fig. 45 - Barriera con pannelli di alluminio - Confronto tra montante (palo) singolo e 2 montanti di una barriera collegata superiormente [iii].

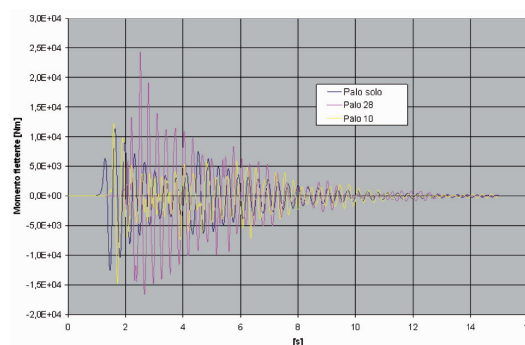


Fig. 46 - Barriera con pannelli di calcestruzzo - Confronto tra montante (palo) singolo e 2 montanti di una barriera collegata superiormente [iii].

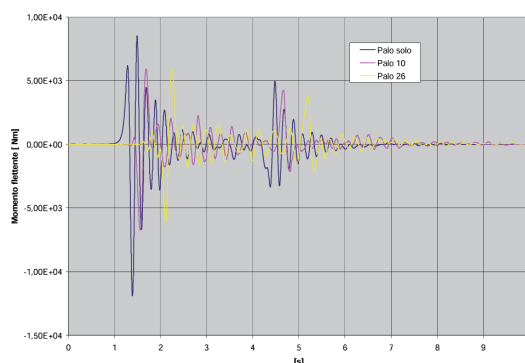


Fig. 47 - Barriera con pannelli di alluminio e PMMA - Confronto tra montante (palo) singolo e 2 montanti di una barriera collegata superiormente [iii].

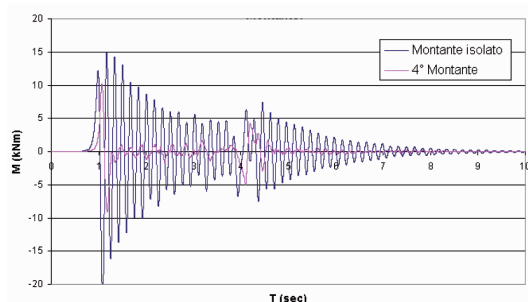


Fig. 48 – Confronto tra il momento flettente di un montante di una barriera interamente in calcestruzzo e il montante più sollecitato di una barriera collegata superiormente, costituita da 2m di pannelli di calcestruzzo e 2m di PMMA [iii].

base del montante isolato e a quelle di più montanti lungo la barriera stessa, contati nella direzione di marcia.

Da un esame dei diversi elementi si valuta che:

- nella barriera con pannelli in alluminio, rispetto alla situazione del montante isolato, il collegamento superiore determina una forte riduzione del momento flettente calcolato nei punti corrispondenti dei vari montanti inseriti in barriera (rispettivamente a 3 m, 27 m e 81 m dall'inizio barriera);
- nella barriera con pannelli in calcestruzzo, rispetto alla situazione del montante isolato, il collegamento superiore determina una notevole amplificazione del momento flettente calcolato nei punti corrispondenti dei vari montanti inseriti in barriera (rispettivamente a 27 m e 81 m dall'inizio barriera). La frequenza propria del montante isolato è di 7.7 Hz, frequenza che scende a ≈ 3 Hz nel caso di pannelli in calcestruzzo. Occorre a riguardo porre in evidenza che, per trarre vantaggio dal collegamento superiore dei pali di sostegno, il valore della frequenza propria del montante isolato (con la massa aggiunta corrispondente alla tipologia di pannelli presa in considerazione) deve risultare superiore a 4 Hz;
- nella barriera con pannelli in alluminio e PMMA, il momento flettente calcolato per la situazione del montante isolato risulta essere maggiore di quello calcolato nei punti corrispondenti di alcuni montanti inseriti in barriera (rispettivamente a 27 m e 78 m dall'inizio barriera);
- come indicato dall'analisi numerica, l'unione superiore dei montanti nel caso di barriere costituite da pannelli in calcestruzzo presenta il grave inconveniente dell'amplificazione degli effetti dell'onda di pressione causata dal passaggio del treno. Si è pertanto intervenuti sostituendo due pannelli superiori in calcestruzzo con altrettanti pannelli in PMMA. La simulazione del comportamento dinamico di una barriera così fatta, è riportata nella fig. 48, in cui si riportano a confronto i momenti flettenti calcolati alla base di un montante isolato con 4 pannelli di calcestruzzo e del montante più sollecitato inserito in

una barriera costituita da 2 pannelli di calcestruzzo e 2 pannelli in PMMA, nella quale è stato realizzato il collegamento superiore con il profilo UPN 350. Come si può notare, anche con questa formazione si ottiene un notevole effetto di riduzione dello stato di sollecitazione rispetto alla condizione di montante isolato.

3.2. Misure in campo – Confronto analitico-sperimentale

Per ulteriore conferma dei risultati analitici sono state effettuate delle prove in campo sulla tratta AV RM-NA al km 66.100 (binario dispari) su barriere antirumore costituite da 2 pannelli di alluminio e 2 pannelli di PMMA disposti superiormente.

La fig. 49 riporta l'andamento temporale della deformazione in $\mu\epsilon$ rilevata, al passaggio di un treno alla velocità di 293 km/h, da estensimetri posti sull'estradosso di due montanti, a 0.7 m di quota dalle basi degli stessi, prima che fosse messo in opera il collegamento superiore dei montanti tra loro.

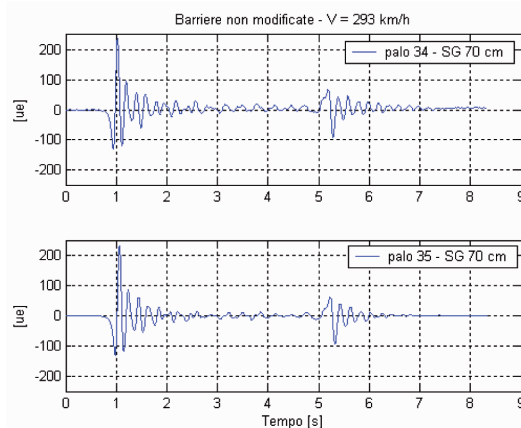


Fig. 49 – Barriera costituita da 2m di alluminio e 2m di PMMA – Deformazione a 0.7 m dalla base [iii].

L'andamento del moto libero del montante (successivo al passaggio completo del treno) evidenzia una pulsazione propria fondamentale di 5 Hz e uno smorzamento pari al 6÷7%, mentre mediamente la deformazione massima risulta pari a 230 $\mu\epsilon$.

Assunto un modulo elastico di $2.06 \cdot 10^{11}$ N/m² del materiale del montante, essendo il modulo di resistenza della sezione retta (HEB 160) nel piano d'inflessione pari a 311 cm³, il momento flettente che si ricava risulta pari a 14.7 kNm.

La fig. 50 illustra invece l'andamento nel tempo delle deformazioni negli stessi punti indicati in precedenza, dopo la messa in opera del corrente superiore di collegamento

delle sommità dei montanti. Come si può notare l'entità media della deformazione massima prodotta dal passaggio del treno a 293 km/h è pari a 52 μe notevolmente ridotta (da 4 a 5 volte) rispetto alla condizione in assenza di corrente superiore. Di conseguenza, nei punti estensimetrici si può stimare agire un momento flettente massimo pari a 3.3 kNm.

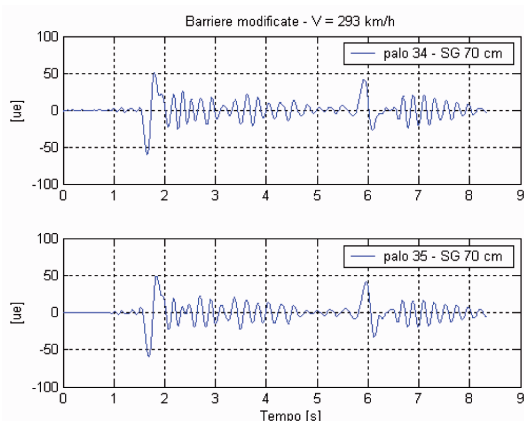


Fig. 50 - Barriera collegata superiormente, costituita da 2m di alluminio e 2m di PMMA - Deformazione a 0.7 m dalla base [iii].

A conclusione si può osservare quanto segue:

- le simulazioni del comportamento dinamico delle barriere, effettuate mediante modelli FEM, mostrano come l'introduzione di un collegamento delle estremità superiori dei montanti possa determinare una notevole riduzione del momento flettente provocato nel montante stesso dall'azione del campo di pressione provocato dal passaggio dei treni; ciò ha in particolare effetti migliorativi per ciò che riguarda il cemento a fatica del montante e dei cordoni di saldatura presenti nella struttura di base del montante stesso;
- questo miglioramento dello stato di sollecitazione, legato alla presenza del corrente superiore di collegamento, si manifesta però solo se, per velocità del treno di 300 km/h, la frequenza propria della barriera risulta maggiore di un valore di soglia, stimabile attorno a 4 Hz. Sotto questo valore, come si vede ad es. nel caso simulato delle barriere con pannelli in calcestruzzo, la propagazione del modo flessionale corrispondente alla frequenza propria della barriera avviene in fase con l'avanzamento dell'onda di pressione, risultando così invece di tipo espansivo; per frequenze maggiori della soglia indicata, l'onda di pressione esercita un'azione smorzante sulla propagazione della vibrazione lungo la barriera;
- il comportamento simulato della dinamica della barriera con formazione di pannelli di alluminio e PMMA è risultato soddisfacente in termini di riduzione delle sollecitazioni a flessione rispetto alla situazione di montante isolato; una barriera con questa formazione

è stata messa in opera su una tratta sperimentale della linea AV RM-NA ed è stata oggetto di una campagna sperimentale che ha confermato un miglioramento del comportamento dinamico dei montanti anche superiore a quello ottenuto dal calcolo, presentando una riduzione anche di 4÷5 volte dello stato di sollecitazione; questa drastica riduzione elimina il problema di possibili rotture a fatica alla base del montante, fornendo ad essi una vita utile pari ad almeno 20 anni.

4. Conclusioni

Il lavoro svolto ha consentito di far emergere un fenomeno estremamente complesso. In particolare, la sperimentazione condotta sulla RM-NA e gli approfondimenti successivi hanno permesso di:

- verificare la validità delle prescrizioni tecniche integrative e provvisorie per la progettazione delle barriere antirumore emesse da RFI nel 2004;
- risolvere i problemi specifici delle barriere antirumore della tratta, progettata rispettando le normative e i regolamenti antecedenti il 2004.

Parallelamente, le metodologie di sperimentazione e di calcolo utilizzate per trattare questo argomento hanno dato spunto per indagare il comportamento dinamico al passaggio del treno di altre tipologie di strutture o apparecchiature presenti in prossimità delle linee AV.

I risultati conseguiti nelle attività illustrate in questo articolo sono risultati molto utili ed interessanti e, al contempo, lasciano intravedere ulteriori elementi di approfondimento. In particolare, considerando che i dati sperimentali relativi alla tratta RM-NA si riferiscono esclusivamente a barriere aventi altezza H pari a 4 m (la massima presente sulla tratta) e distanza dall'asse del binario più vicino pari a 4.3 m, si ravvisa l'opportunità di operare ulteriori campagne di misura su barriere di altezza maggiore poste a diverse distanze dall'asse-binario.

L'allargamento della base di dati sperimentali potrà consentire oltre ad una ulteriore conferma della validità del metodo messo a punto e sperimentato in questa applicazione, anche la formulazione di una legge di variazione in altezza della pressione aerodinamica associata al transito del convoglio ferroviario "p" in funzione di diversi parametri:

$$p = f(v, d, h, H, M) \quad (10)$$

dove: v è la velocità del treno, d è la distanza della barriera dall'asse del binario, h è la distanza da terra del punto considerato, H è l'altezza massima della barriera e M indica il materiale dei pannelli antirumore.

A tale proposito, è stata pianificata un'ulteriore serie di sperimentazioni sulle altre tratte AV, a partire dalla Torino - Novara, caratterizzata dalla presenza di barriere di altezza massima fino a 5.50 m e diverse distanze delle barriere dal binario (4.1÷5.26 m). I risultati di questo studio saranno oggetto di un successivo articolo.

- [i] Prof. G. GUJ, Prof. F. STELLA - 31.03.05 - Analisi dinamica delle barriere fonoassorbenti della linea AV RM-NA sotto l'azione aerodinamica prodotta dal passaggio del treno "Misura delle pressioni su due tipologie di barriere (calcestruzzo ed alluminio)".
- [ii] Prof. F. VESTRONI - 31.03.05 - Analisi dinamica delle barriere fonoassorbenti della linea AV RM-NA sotto l'azione aerodinamica prodotta dal passaggio del treno "Prove sperimentali su due tipologie di barriere (calcestruzzo ed alluminio) ed elaborazione dei risultati".
- [iii] Prof. G. DIANA, Prof. B. PIZZIGONI, Ing. D. ROCCHI, Ing. M. BELLOLI - 22 Giugno 2006 - Comportamento dinamico dei montanti di sostegno di barriere fonoassorbenti della linea AV RM-NA.
- [iv] Prof. S. BERETTA, Prof. G. DIANA, Prof. B. PIZZIGONI - 12 Dicembre 2005 - Valutazione del comportamento dinamico ed a fatica dei montanti di sostegno per barriere fonoassorbenti della linea AV RM-NA.
- [3] Eurocode 3: "Design of steel structures" - Part 1-9: Fatigue - Agosto 2005.
- [4] Codice di calcolo COSMOSM v.2.9, "Structural Research & Analysis Corporation", 2003.
- [5] Codice di calcolo SAP2000 NonLinear Version, "Computer and Structures", Inc. - 1995 University Ave. Berkeley, CA.
- [6] A.K. CHOPRA - "Dynamics of Structures - Theory and Applications to Earthquake Engineering". Prentice Hall, 2001.
- [7] R.W. CLOUGH, J. PENZIEN. "Dynamics of Structures". McGraw-Hill, New York, 1993.
- [8] NIEMI E., "Stress Determination for Fatigue Analysis of Welded Components", Abington Publishing, 1995.
- [9] RADAJ D. and C.M. SONSINO, "Fatigue Assessment of Welded Joints by Local Approaches", Abington Publishing, 1998.
- [10] ASTM E1049-85(2005) "Standard practices for Cycle Counting in Fatigue Analysis", ASTM, 2005.
- [11] IIW, "Recommendations on Fatigue of Welded Components", doc. XIII-1539-95, International Institute of Welding, 1995.
- [12] MADDOX S.J., "Hot-Spot Stress Design Curves for Fatigue Assessment of Welded Structures", doc. XIII-1819-00/XV-1090-01, International Institute of Welding, 2002.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Lettera di RFI (Prot. RFI/DIN/IC/009/239) - 24/03/04 - "Prescrizioni tecniche integrative e provvisorie per la progettazione delle Barriere Anti Rumore".
- [2] Istruzione F.S. I/SC/PS-OM/2298 del 2/06/1995, Testo aggiornato il 13/01/1997 - "Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo".

Sommaire

EVALUATION THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTALE DU COMPORTEMENT DE LA BARRIÈRE ANTI-BRUIT SUR LES LIGNES A GRANDES VITESSES

Avec l'avènement en Italie des nouvelles lignes à Grande Vitesse, Italferr, la société d'Ingénierie du Réseau ferroviaire Italien, en aval des premières expériences allemandes sur les lignes à Grande Vitesse, a conduit une première série d'études théoriques et expérimentales sur la LGV Rome-Naples dans le champ de l'excitation fluïdo-dynamique et de la réponse des barrières anti-bruit au passage du train. Le train, pendant son passage sur la ligne ferroviaire, doit perforer un fluide, le quel fluide augmente de résistance lorsque le train lui-même accélère. Un tel mouvement provoque un champ de dépression orthogonale au niveau de la barrière anti-bruit. Cette dépression, de par la loi sinusoidale, excite la réponse dynamique de la barrière et met à la preuve sa résistance statique et sous effort.

Un tel phénomène devient particulièrement significatif pour les trains de la LGV, qui voyagent à une vitesse de 300km/h. L'étude conduite par Italferr, reconnue désormais, est devenue la base de la conception des barrières anti-bruit le long des nouvelles lignes à grande vitesse et pour la restructuration de celles existantes.

Summary

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE NOISE BARRIER BEHAVIOUR ON HIGH SPEED LINES

Italferr, the engineering branch of the Italian Railway Company, further to the first German experiences on high speed lines, has carried out a preliminary series of theoretical and experimental tests on the new Rome-Naples High Speed line, concerning the fluid-dynamic excitation and the noise barrier response at the passing of the train.

Trains running a railway line cut a fluid vein that increase its resistance at the increase of the train speed; this movement creates a pressure field, orthogonal to the noise barrier, that excites, with a sinusoidal mode, the dynamic response of the barrier itself and tests its static response and its fatigue response. This phenomenon reveals particularly important for high speed train running at 300 km/h. The research study carried out by Italferr and illustrated in this paper has become the base for the design of the noise barriers to be installed alongside the new Italian High Speed railway lines and for the modification of the existing barriers.

Inhaltsübersicht

THEORETISCHE UND EXPERIMENTELLE BEWERTUNG DES BETRAGENS VON SCHALLSCHUTZWÄNDEN AUF HOCHGESCHWINDIGKEITSLINIEN

Italferr, eine im Ingenieurwesensfeld tätige Firma der FS Gruppe, hat eine erste Reihe von theoretischen und experimentellen Forschungen auf der Hochgeschwindigkeitslinie Rom-Neapel geführt, deren Ziel das mechanischen Benehm der Schallschutzwänden bei einer Zugfahrt zu erklären war. Der Zug erregt einen Luftdruckfeld, der senkrecht den Schallschutzwänden wirkt; dadurch die Schallschutzwände einer sinusförmigen Schwingbeanspruchung unterziehen, die auf die Probe ihre Dauerfestigkeit stellt. Dieses Phänomen ist bedeutungsvoll für Hochgeschwindigkeitslinien wo die Züge auf 300 km pro Stunde verkehren. Auf Grund der Forschungsergebnisse wurden neue Richtlinien für das Projekt der Schallschutzwänden entwickelt so wie für die Ausgleichung von denen schon im Betrieb.