

SOVRASTRUTTURE TRANVIARIE MODULARI: CRITICITÀ E SOLUZIONI INNOVATIVE

Fiori F.

*Dottore di Ricerca, DIIAR - Sezione Infrastrutture Viarie, Politecnico di Milano,
federico.fiori@polimi.it*

Mariani E.

*Dottorando di Ricerca, DIIAR - Sezione Infrastrutture Viarie, Politecnico di Milano,
edoardo.mariani@mail.polimi.it*

ABSTRACT

Molte amministrazioni delle grandi aree urbane rivolgono un crescente interesse al miglioramento della qualità ambientale, adottando provvedimenti e strategie di riduzione dell'inquinamento. A tale scopo vengono intraprese diverse politiche di gestione del traffico e di incentivo all'abbandono del veicolo privato a favore dei sistemi di trasporto collettivo. Molte città italiane, sulla base di più che positive esperienze straniere, sono interessate al mezzo tranviario come modalità di trasporto particolarmente adatta al contesto urbano.

La realizzazione e l'ammodernamento di tale sistema non può prescindere dalla risoluzione di problemi infrastrutturali e di integrazione con la viabilità esistente, soprattutto nel contesto urbano, in cui la sede stradale spesso richiede il transito promiscuo.

Con la presente memoria gli autori descrivono lo stato dell'arte inerente l'armamento tranviario in sede promiscua.

Dal momento che il deterioramento della capacità portante del binario in sede promiscua è risultato essere una delle maggiori cause del decadimento delle condizioni di sicurezza per la circolazione, in particolar modo per le utenze deboli (veicoli a due ruote), si descrivono alcune metodologie per la diagnostica del sistema armamento-pavimentazione nonché alcune tecniche evolute per la manutenzione della pavimentazione adiacente al binario finalizzate all'incremento della sicurezza alla circolazione.

Si descrivono inoltre le più importanti metodologie costruttive innovative, caratterizzate dall'uso di soluzioni tipologiche modulari, di elevato pregio estetico e studiate al fine di aumentare la sicurezza della circolazione, allungare gli intervalli manutentivi, ridurre le vibrazioni e il rumore prodotti dall'esercizio tranviario.

KEYWORDS: Sede promiscua, tranvia, armamento modulare, pavimentazione a elementi

1 INTRODUZIONE

La sempre più crescente sensibilità ambientale volta al miglioramento della qualità della vita, induce le amministrazioni delle grandi aree urbane a trovare soluzioni in grado di mitigare le problematiche collegate all'inquinamento di tipo atmosferico ed acustico. Sono state pertanto intraprese diverse politiche di gestione del traffico con incentivo all'abbandono del veicolo privato a favore dei sistemi di trasporto collettivo. Sulla base di esperienze positive di altri paesi si tende a privilegiare il mezzo tranviario quale sistema di trasporto pubblico locale in ambito urbano. Anche nel contesto italiano molte città sono interessate ad introdurre questo modo di trasporto, come ad esempio Firenze, mentre altre, come Milano (Figura 1), lo utilizzano da molti decenni potenziandolo continuamente in funzione della crescente domanda.

Oltre all'ammodernamento del veicolo tranviario, vi è una costante evoluzione delle tecniche costruttive dell'armamento volte alla realizzazione di soluzioni dotate di elevato pregio estetico e alti standard di sicurezza per la circolazione, caratterizzate dall'allungamento degli intervalli manutentivi e dalla riduzione della rumorosità e delle vibrazioni indotte. Le tecniche modulari, descritte in seguito, costituiscono la soluzione tipologica più innovativa e meglio rispondente alle esigenze evidenziate.

La presenza in molti contesti urbani di decine di chilometri di sovrastrutture tranviarie, anche di notevole pregio storico, costruite con tecniche tradizionali (ballast di tipo ferroviario, traverse, rotaie con attacco diretto, masselli in pietra, sigillatura in mastice bituminoso, ecc...) ha incentivato la nascita e lo sviluppo di nuove metodologie per la diagnostica del sistema armamento-pavimentazione e la messa a punto di innovativi sistemi di manutenzione della sovrastruttura adiacente al binario finalizzati alla riduzione dei molto diffusi fenomeni di dissesto, il tutto a vantaggio della sicurezza di circolazione.



Figura 1 - Esempio di sede tranviaria in sede promiscua (Milano)

Nel contesto urbano quest'ultimo aspetto analizzato riguarda soprattutto il rischio per la circolazione delle utenze deboli, in primo luogo i ciclisti, a causa di irregolarità del piano di rotolamento originate dalla presenza di fenomeni di dissesto della pavimentazione.

Nel seguito saranno descritte esperienze volte alla ricerca dei fattori maggiormente responsabili di eventi incidentali che interessano veicoli a due ruote e all'ottimizzazione di nuove procedure di diagnostica e manutenzione innovative.

La ricerca si è poi focalizzata sull'analisi dello stato dell'arte delle nuove metodologie costruttive caratterizzate dall'utilizzo di elementi modulari per la realizzazione della sovrastruttura tranviaria.

2 I DISSESTI DELLA PAVIMENTAZIONE IN ADIACENZA ALLA LINEA TRANVIARIA E I RISCHI PER LA CIRCOLAZIONE

L'analisi dei dissesti che affliggono le differenti soluzioni tipologiche utilizzate per la realizzazione della sovrastruttura tranviaria in sede promiscua ha permesso di identificare diverse tipologie, tra le quali le più frequentemente riscontrate sono per pavimentazioni ad elementi:

- formazione di ormaie più o meno evidenti;
- dentellamento, ossia spostamento superficiale di più masselli in sequenza;
- sconnessioni puntuali causate dallo spostamento superficiale di un singolo massello;
- asportazione di elementi costituenti lo strato superficiale della pavimentazione;
- cedimento della pavimentazione ai lati del binario (Figura 2);
- eccessiva apertura dei giunti;
- eccessiva profondità dei giunti;
- asportazione, parziale o totale, della sigillatura all'interno dei giunti;
- rottura totale dei dispositivi di raccolta e allontanamento delle acque meteoriche;

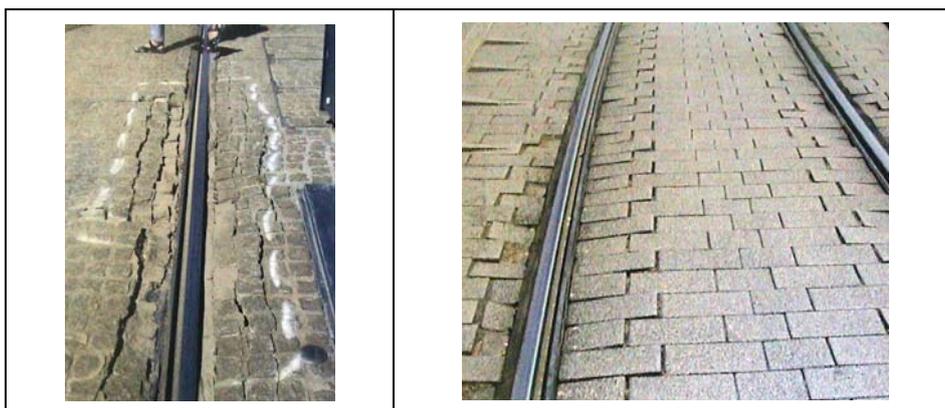


Figura 2 - Esempi di cedimento della pavimentazione ai lati del binario [1]

mentre per pavimentazioni in conglomerato bituminoso (soprattutto in prossimità delle traverse in armamenti a posa discontinua):

- fessurazione dello strato in conglomerato bituminoso;
- deformazione permanente del conglomerato bituminoso.

L'irregolarità della pavimentazione (ascrivibile a fenomeni di dissesto), alla quale si aggiunge sia la scarsa aderenza tra pneumatico e rotaia sia la forma geometrica del binario, rappresenta in particolare per le utenze deboli (cicli e motocicli) un evidente elemento di rischio alla loro circolazione.

L'effetto di discontinuità del piano viabile può essere valutato attraverso l'utilizzo di modelli parametrici multimodali, considerando l'azione di differenti aspetti come la velocità di percorrenza, la traiettoria, il tipo e grado di dissesto (Figura 3). L'implementazione di tali modelli prevede un'elevata attenzione nella modellazione del corpo umano, il quale riveste un ruolo fondamentale nell'affidabilità della simulazione, del profilo del pneumatico e del coefficiente di aderenza tra ruota e superficie di appoggio (valutato in genere nella condizione più critica di superficie bagnata).

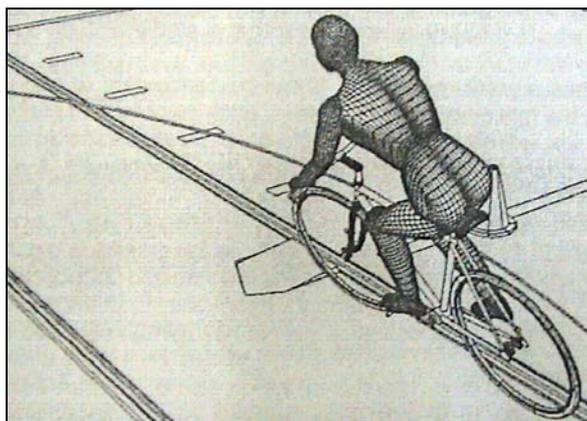


Figura 3 - Modello multimodale utente-ciclo-pavimentazione [4]

I dati ottenuti dalle analisi numeriche condotte offrono la possibilità di definire soglie di rischio raggiunte le quali risulta opportuno intraprendere adeguate attività manutentive [4]. Dalle simulazioni è infatti emerso che:

- in caso di traiettoria rettilinea non sono tollerati elementi della pavimentazione che presentino sollevamento o affossamento superiore a 30 mm, discontinuità tra 20 e 30 mm sono accettabili per velocità di percorrenza inferiore a 20 km/h infine sono ammesse velocità di transito fino a 50 km/h se l'irregolarità localizzata del piano viabile è inferiore a 20 mm;
- nel caso di movimento in curva è in generale consigliabile il transito ad una velocità inferiore a 40 km/h anche in presenza di discontinuità al più di 10 mm, un livello di rischio accettabile si ottiene in presenza di pavimentazioni con irregolarità localizzate comprese tra 10 e 20 mm purché sia limitata a 20 km/h la velocità dei cicli.

L'importanza di tali informazioni consiste nella facilità con la quale si è in grado di stabilire il livello di rischio raggiunto, operazione espletabile mediante il rilievo visivo e la misura con regolo delle discontinuità presenti sulla pavimentazione.

3 LE PRINCIPALI TECNICHE MANUTENTIVE

La manutenzione delle sedi tranviarie ammalorate è stata comunemente affrontata con semplici soluzioni atte al riassetto della pavimentazione allo scopo di ripristinare temporaneamente le caratteristiche superficiali. E' emersa però la necessità di eseguire una fase iniziale di diagnostica volta a identificare le cause scatenanti i dissesti, al fine di scegliere l'ideale tecnica manutentiva. Tale attività si articola in tre macrofasi:

- rilievo visivo dello stato della pavimentazione;
- analisi di laboratorio dei materiali di allettamento;
- rilievi strumentali delle deflessioni del binario tranviario.

Il rilievo visivo permette di identificare una correlazione tra l'entità e la diffusione dei dissesti con la deflessione della rotaia. Tale procedura può essere eseguita con il supporto di cataloghi di dissesto delle pavimentazioni costituite da masselli o elementi lapidei appositamente messi a punto per tranvie in sede promiscua [2]. Particolare attenzione deve essere posta alla valutazione dello stato dei giunti, infatti la loro irregolarità o la mancanza di sigillante promuove l'infiltrazione dell'acqua meteorica all'interno della sovrastruttura la quale, in presenza di ulteriori fattori di degrado, è in grado di accentuare il fenomeno di dissesto.

Le prove di laboratorio condotte sui materiali prelevati in sito sono prevalentemente volte alla determinazione della composizione granulometrica della sabbia costituente lo strato di allettamento dei masselli. Infatti un contenuto elevato di materiale fino impedisce all'acqua piovana di drenare, causando così la formazione di ristagni al di sotto dei masselli con conseguente migrazione di materiale. Tale spostamento è causato dal fenomeno di pompaggio ("pumping") al di sotto dei masselli di materiale proveniente dai giunti, dalla base, dallo strato di allettamento e di sottofondo, tanto maggiore quanto più sono elevate le deflessioni cicliche dell'armamento tranviario per effetto del passaggio dei tram.

I rilievi strumentali delle deflessioni permettono di ricavare il grado di dissesto della pavimentazione attraverso il valore di deflessione della rotaia. Attraverso studi effettuati presso il Politecnico di Milano [3, 4, 5, 6] è stato verificato che una metodologia di indagine idonea per la determinazione di tale grandezza può essere il deflettometro a massa battente (FWD). Esso consente di mantenere costante l'entità del carico applicato, riuscendo peraltro a raggiungere valori tali da poter essere paragonati a quelli di esercizio delle vetture tranviarie ed eliminando il problema del sistema di riferimento della misura di spostamento. Valori di deflessione modesti (inferiori ai 900 micron per carico massimo di 50 KN) per armamento tradizionale [3] corrispondono a buone condizioni di portanza del sottofondo e non producono fenomeni di dissesto della pavimentazione adiacente che pertanto conserva caratteristiche di regolarità adeguate al transito in sicurezza. Al contrario valori elevati di deflessione della prova FWD, superiori ai 1000 micron [3], coincidono con aree della pavimentazione caratterizzate da maggior dissesto oppure non ancora soggette a degrado ma che presumibilmente saranno oggetto di futuro rapido deterioramento a causa della scarsa portanza mostrata.

Grazie alla messa a punto delle tecniche diagnostiche sopra descritte è stato possibile mettere a punto tecniche manutentive innovative capaci di rallentare considerevolmente lo sviluppo del dissesto e renderlo meno pericoloso.

La metodologia di intervento di maggiore interesse prevede l'uso di resine poliuretatiche come stabilizzante e sigillante dei giunti di pavimentazioni costituite da masselli in sostituzione della tradizionale sabbia, la quale, pur garantendo la collaborazione strutturale tra elementi adiacenti (interlock), ha il difetto di risultare facilmente asportabile e permeabile all'acqua, favorendo la formazione di irregolarità puntuali della pavimentazione. La resina invece consente una migliore sigillatura degli stessi giunti, impedendo all'acqua meteorica di infiltrarsi all'interno della sovrastruttura. Inoltre tale materiale è in grado di garantire stabilità al collegamento giunto-massello (interlock), rendendo la sovrastruttura maggiormente elastica e, grazie alla possibilità di realizzare un "sistema continuo a cerniera", ottenere una pavimentazione capace di subire deformazioni permanenti non più caratterizzate da scalini puntuali (dentellamento), ma caratterizzati da lunghezze d'onda compatibili con il transito in sicurezza degli utenti. La configurazione deformata, conseguente al deterioramento della linea tranviaria, coinvolge in tal modo più elementi adiacenti creando dissesti con lunghezze d'onda compatibili con una sicura circolazione.

Al fine di ridurre ulteriormente il rischio di innesco del processo di "pumping", ossia lo spostamento di materiale fino nello strato sottostante i masselli, è utile la posa in opera come strato di allettamento di materiali controllati granulometricamente (contenuto di fino inferiore all'1%) e, allo scopo della sua preservazione, l'interposizione di geotessile alla base dello stesso per impedire la risalita di materiale fino dagli strati inferiori.

4 L'ARMAMENTO TRANVIARIO IN SEDE PROMISCUA

L'armamento tranviario può essere classificato in base al tipo di appoggio dei binari che può essere continuo (la rotaia appoggia tipicamente su una platea in calcestruzzo per tutta la sua lunghezza), oppure discontinuo (questo ultimo caso è simile a quello dell'armamento ferroviario, con appoggi costituiti da traverse o da sole ancorate al piano di appoggio in calcestruzzo). La scelta del tipo di posa dell'armamento tranviario determina la tipologia di rivestimento superficiale della pavimentazione ed influenza la durabilità e la programmazione della manutenzione della stessa.

L'armamento deve rispondere alle sollecitazioni del materiale rotabile garantendo le migliori condizioni di transito, di confort e di sicurezza per la circolazione. Inoltre esso deve consentire un buon inserimento nel contesto urbano, deve garantire costi di costruzione non eccessivi, economia di servizio e di manutenzione soprattutto per quanto concerne la sostituzione delle rotaie, riducendo quanto più possibile i tempi di arresto del servizio.

4.1 L'armamento

Il dimensionamento dell'armamento dipende innanzitutto dalla tipologia del materiale rotabile in transito che si trova a percorrerla. Noti gli spettri di carico annuali medi è possibile verificare l'armamento rispetto al fenomeno di fatica. Gli effetti dinamici del carico possono essere considerati incrementando i valori statici misurati

per un coefficiente pari a 1,3 determinato sulla base di numerose esperienze e prove sperimentali. I sovraccarichi dinamici sono da ascrivere alla presenza delle masse sospese e non sospese, alla irregolarità del piano di rotolamento e alla disomogeneità delle condizioni di appoggio e di portanza.

In funzione degli obiettivi attesi è necessario adottare soluzioni tipologiche di posa dell'armamento tali da garantire un'adeguata qualità ambientale, nel dettaglio si focalizza l'attenzione sul piano di appoggio della sovrastruttura, sul sistema di attacco della rotaia e sul giunto tra pavimentazione e rotaia. In particolare il controllo e la riduzione delle vibrazioni contribuisce a prolungare la durata della pavimentazione in adiacenza alle rotaie.

La posa su appoggi continui si effettua in genere con rotaie di altezza pari a 18 cm e di tipo RI60 o NP4 collegate trasversalmente con travi metalliche.

I vantaggi di questo tipo di posa sono da ricercarsi soprattutto nel fatto che lo spessore utile per la realizzazione della pavimentazione è di 15 cm circa, inoltre questo tipo di rotaie è caratterizzato da un elevato momento di inerzia cui conseguono basse deflessioni dell'armamento ed una elevata ripartizione e diffusione dei carichi tranviari, a tutto vantaggio della durata della pavimentazione adiacente.

Nella posa su appoggi discontinui la rotaia è appoggiata su traverse o su selle metalliche fissate inferiormente a una base in calcestruzzo. La distanza tra le traverse o tra le selle di appoggio è variabile tra 60 e 75 cm per tratti rispettivamente in curva e in rettilineo. La presenza delle traverse influenza la posa della pavimentazione ad elementi, in corrispondenza dei punti di ancoraggio tra rotaia e traversa, infatti, per la presenza degli elementi di protezione dei bulloni di fissaggio e del letto di posa, l'altezza utile per gli elementi della pavimentazione si riduce a non più di 9 cm (Figura 4), altezza che non sempre risulta compatibile con i carichi in transito.

In conclusione si può affermare che la posa su appoggi discontinui, traverse o selle, è molto penalizzante per l'utilizzo di pavimentazioni a elementi in corrispondenza dell'armamento tranviario.

Le soluzioni possibili per aumentare lo spessore utile per gli elementi della pavimentazione sono:

- l'utilizzo di rotaie alte;
- la realizzazione di incavi nell'elemento di pavimentazione in corrispondenza della bullonatura di attacco rotaia-traversa (Figura 4);
- la realizzazione di un elemento prefabbricato dentro il quale alloggiare la rotaia (Figura 5);
- il ricorso ad un sistema di tipo composito con profilati metallici.

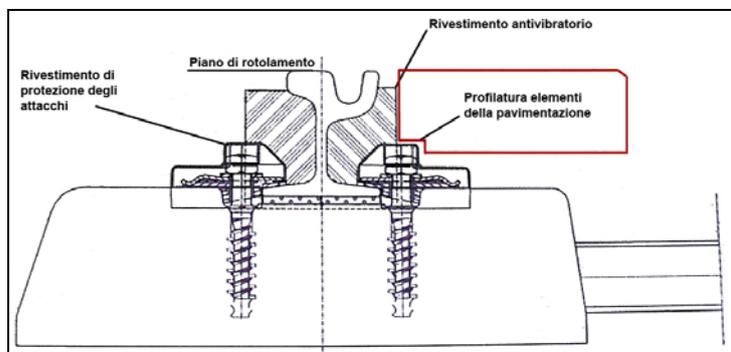


Figura 4 - Schema di posa degli elementi adiacenti la rotaia [1]

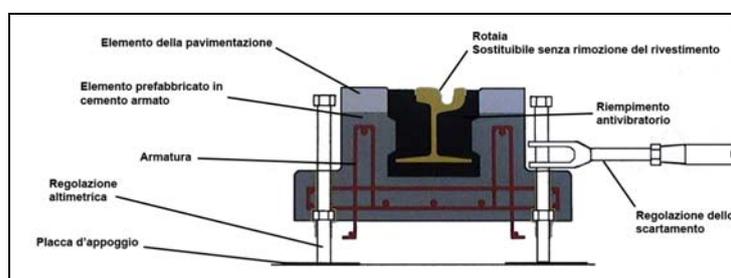


Figura 5 - Posa della rotaia all'interno di un elemento prefabbricato [1]

I giunti tra rotaia e pavimentazione (Figura 6) sono i più sollecitati e la loro inefficacia è tra le prime cause di dissesto della pavimentazione di ricoprimento.

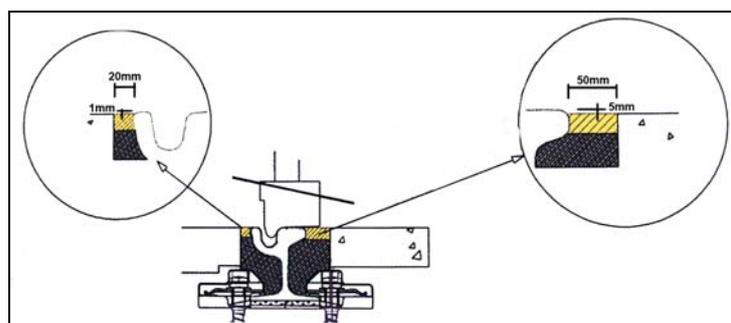


Figura 6 - Particolare costruttivo del giunto rotaia-pavimentazione [1]

I materiali impiegati per la loro realizzazione devono: garantire buona impermeabilità e buona adesione a differenti supporti (acciaio, pietra, calcestruzzo), assorbire i movimenti differenziali tra rotaia e pavimentazione, mantenere inalterate le loro proprietà meccaniche al variare della temperatura, avere un buon isolamento

elettrico, essere facilmente riparabili e infine avere un colore che ben si inserisca nel contesto urbano.

I materiali che meglio si prestano per tali scopi sono costituiti da resine poliuretatiche. La sigillatura di giunto deve essere più larga del piano di rotolamento in genere di 5mm onde evitare che venga asportata, la larghezza del giunto tra rotaia e pavimentazione è in genere di 50mm ma può essere anche inferiore (Figura 6).

4.2 Cenni sui fenomeni acustici e vibratorii indotti dalle tranvie

L'intensità del rumore tranviario, in funzione dell'età del parco rotabile, presenta un andamento parabolico, ossia aumenta molto rapidamente nei primi anni e successivamente cresce più lentamente. Il disturbo arrecato è influenzato in gran parte da:

- la geometria della strada ferrata, con il termine "geometria" si intendono il non perfetto allineamento delle rotaie e il mancato buon dimensionamento delle curve di transizione (clotoidi) in funzione del raggio delle curve circolari;
- il degrado del contatto ruota-rotaia (eccentricità delle ruote, andamento ondulatorio del binario, ecc...);
- il transito dei veicoli tranviari su elementi di discontinuità della rete, come gli scambi;
- la tipologia di strada all'interno della quale è inserita la linea tranviaria;
- la natura del piano viabile nel quale il binario è inserito, è possibile rilevare differenze tra le diverse tipologie anche superiori ai 5dB.

Le soluzioni adottate per la riduzione del rumore generato dall'esercizio tranviario sono:

- una regolare manutenzione delle rotaie;
- la lubrificazione delle rotaie;
- l'inserimento di giunti ammortizzatori all'interno della pavimentazione;
- la riduzione puntuale della velocità di esercizio.

La propagazione delle vibrazioni proveniente dall'eccitazione dinamica delle rotaie si trasmette alla pavimentazione adiacente; i fenomeni vibratorii di origine tranviaria sono caratterizzate da energia variabile fra 60 e 80 dBv e frequenza compresa tra 40 e 200Hz. L'ampiezza e la densità spettrale dipendono essenzialmente dal tipo di materiale rotabile, dalla geometria della via ferrata, dallo stato dell'armamento e dal tipo di pavimentazione adiacente.

Le vibrazioni sono trasmesse attraverso suolo e pavimentazione alle strutture di fondazione degli edifici adiacenti alla linea tranviaria, provocando disturbo dello stato psico-fisico delle persone. Questo disagio può essere sia di tipo vibratorio (sensazione tattile) sia acustico.

L'effetto di smorzamento delle vibrazioni dipende dall'omogeneità del mezzo nel quale esse si propagano. In caso di sottosuolo omogeneo l'attenuazione dell'intensità delle vibrazioni è funzione della distanza, per le onde superficiali tale grandezza può essere considerata pari a 1dBv/m, questo valore è però fortemente influenzato dalle discontinuità e dalla eterogeneità del sottosuolo.

L'isolamento del binario dalla pavimentazione adiacente attraverso l'adozione di giunti smorzanti riduce considerevolmente la propagazione delle vibrazioni.

5 LE TECNICHE COSTRUTTIVE MODULARI

Le tecniche modulari rappresentano oggi una soluzione ampiamente diffusa per la costruzione di nuove infrastrutture tranviarie; esse sono chiamate “modulari” perché vengono realizzate mediante la disposizione in serie di un modulo standard, che può essere costruito in stabilimento, e successivamente posato a realizzare la sovrastruttura.

Le tipologie di armamento modulare possono essere classificate in funzione del tipo di appoggio della rotaia (di altezza in genere da 14 a 18 cm): in caso di appoggio continuo i binari sono fissati per tutta la loro lunghezza su una platea in calcestruzzo (Figura 7) mentre si ricorre ad appoggi discontinui (Figura 8) in caso contrario. La pavimentazione può essere costituita da masselli in calcestruzzo o pietra posati su uno strato di allettamento in sabbia o malta cementizia secondo le tipologie. In entrambe le soluzioni è importante isolare il binario dalla pavimentazione adiacente attraverso idoneo materiale ad elevata deformabilità e coefficiente di smorzamento. Come si può notare in Figura 7 lo schema di isolamento della rotaia dalla pavimentazione adiacente può essere realizzato con diverse soluzioni. Se ne riportano tre diverse tipologie che si caratterizzano o per la realizzazione di una sede di contenimento della rotaia in calcestruzzo o profilati metallici, oppure attraverso l'interposizione di materiali capaci di garantire la non trasmissione delle vibrazioni dalla rotaia agli elementi della pavimentazione adiacente. È possibile ricorrere all'utilizzo di calcestruzzo poroso per la realizzazione del piano di appoggio che agevola lo smaltimento delle acque di piattaforma e all'interposizione di un geotessuto tra platea e strato di allettamento in sabbia onde prevenire il fenomeno di risalita dei fini, causa di numerosi dissesti della pavimentazione.

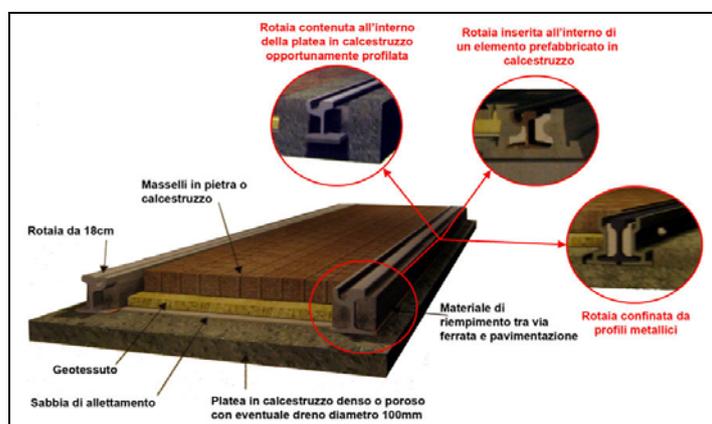


Figura 7 - Schema di soluzione modulare con appoggio continuo [1]

In Figura 8 si riporta un esempio di sistema modulare con appoggi discontinui. Anche in questo caso la pavimentazione può essere costituita da masselli in calcestruzzo o in pietra posati su di un letto di sabbia di granulometria controllata, onde evitare la presenza di materiali fini. Lo strato viene separato dal sottostante in materiale poroso

attraverso un geotessuto con funzione filtrante ed anticontaminante, sempre per evitare la migrazione di fini. Nello strato poroso viene in genere alloggiato un dreno circolare di diametro 80/100 mm per la raccolta delle eventuali acque di infiltrazione.

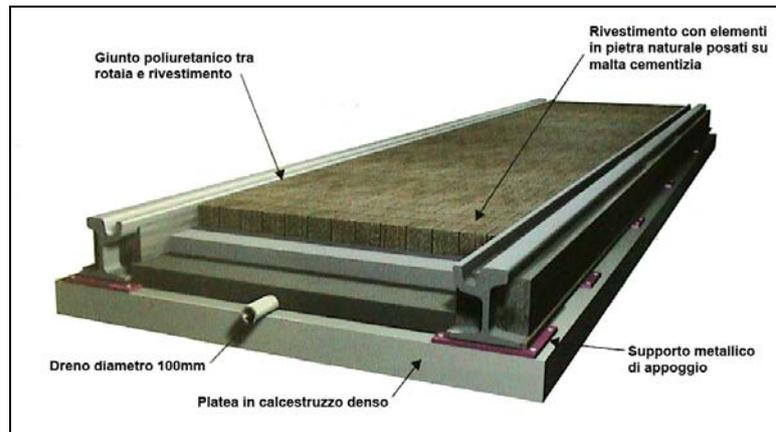


Figura 8 - Schema di soluzione modulare con appoggi discontinui [1]

Per entrambe le tipologie di appoggio della rotaia particolare attenzione deve essere posta al riempimento dei giunti con idoneo materiale sigillante al fine di limitare la penetrazione di acque piovane all'interno della sovrastruttura.

In sintesi si può affermare che al fine di poter resistere ai carichi di traffico, le pavimentazioni in sede tranviaria promiscua costituite da elementi devono essere realizzate rispettando alcune specifiche di messa in opera di seguito elencate:

1. la sovrastruttura in adiacenza alla linea tranviaria deve essere dimensionata in funzione delle sollecitazioni derivanti dal traffico veicolare;
2. lo spessore della pavimentazione, in particolare dello strato di allettamento, deve essere costante onde evitare la formazione di cedimenti differenziali;
3. in caso di presenza di traffico pesante è sconsigliabile la posa dei masselli su malta cementizia ed è assolutamente da evitare l'utilizzo di elementi in calcestruzzo;
4. per contrastare le forze orizzontali generate dal traffico veicolare la pavimentazione deve essere confinata da cordoli laterali adeguatamente vincolati;
5. per le pavimentazioni in pietra naturale gli elementi devono essere realizzati a spacco ed i giunti tra essi non devono risultare superiori a 5mm al fine di garantire una collaborazione strutturale;
6. i dispositivi di drenaggio devono consentire la raccolta delle acque di infiltrazione all'interno del letto di posa, inoltre tali dispositivi devono garantire la loro pulizia senza difficoltà;

7. la disposizione degli elementi deve essere scelta al fine di contrastare le sollecitazioni orizzontali, evitando la formazione di giunti longitudinali continui (Figura 9)



Figura 9 - Tipologie ottimali di disposizione degli elementi costituenti la pavimentazione

6 CONCLUSIONI

La scelta di investire nel trasporto pubblico locale da parte di molte amministrazioni locali, ha prodotto un crescente interesse allo sviluppo del mezzo tranviario quale sistema di trasporto pubblico in ambito urbano.

La realizzazione di nuove linee tranviarie urbane trova nelle tecniche modulari una soluzione capace di:

- ridurre drasticamente la formazione di dissesti sulla pavimentazione adiacente alla linea tranviaria;
- ridurre la trasmissione delle vibrazioni ed il rumore che si trasmettono dal binario alla pavimentazione adiacente e quindi alle strutture a fianco della tranvia, grazie all'interposizione tra rotaia e pavimentazione di smorzatori costituiti da materiali visco-elastici;
- diminuire gli interventi di manutenzione, inibendo l'infiltrazione di acque meteoriche all'interno della sovrastruttura grazie alla chiusura dei giunti con sigillanti.

Tali tecniche, facendo uso di schemi prestabiliti e di moduli prefabbricati, sono inoltre caratterizzate da una maggiore facilità di realizzazione rispetto alle soluzioni tradizionali e permettono una riduzione dei tempi di realizzazione, quest'ultimo aspetto molto importante in ambito urbano.

BIBLIOGRAFIA

- [1] AA.VV., (2004), Matériaux modulaires, Plates-formes de tramway - Pathologie et conception - Tome 1, CERTU - Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, Lyon-France
- [2] Crispino M., (2001), Proposta di catalogo dei dissesti ed indice di stato per pavimentazioni in pietra a masselli, Quaderno Scientifico della Sezione STM, vol. n°2, Politecnico di Milano, Milano-Italia

- [3] Crispino M., Da Rios G., (2002a), Misure deflettometriche per l'analisi del degrado di pavimentazioni a masselli con interposti binari tranviari, XII Convegno SIIV, Parma-Italia
- [4] Crispino M., Da Rios G., Fiori F., Papetti M., (2004), A new technique to increase the safety of stone pavements through controller evolution of unevenness, II International Congress SIIV, Firenze-Italia
- [5] Crispino M., Venturini L., (2002b), Sistemi innovativi di sigillatura strutturale di pavimentazioni lapidee a masselli in presenza di binari tranviari, XII Convegno SIIV, Parma-Italia
- [6] Da Rios G., Fiori F., (2003), Analisi numerico sperimentale per la caratterizzazione del binario tranviario, XIII Convegno SIIV, Padova-Italia
- [7] Esveld C., (2001), Modern Railway Track - Second edition, MRT-Productions, AH Zaltbommel-The Netherlands
- [8] Bos J.A., (1999), Low Noise Track, Rail International/Schienen der Welt Vol. 30 No.1, pp. 17-22
- [9] Cope G.H., (1993), British railway track: design, construction and maintenance, The Permanent Way Institution, Echo Press, England
- [10] Mills G., (2001), New tramways in France: the case of Montpellier, Transport Reviews Volume 21, Issue 1, pp. 337-352