



Il tram moderno della grande Atene (Giochi Olimpici 2004)

The modern tram in great Athens (Olympic Games 2004)

Prof. Ing. Konstantinos VOGIATZIS^(), Dott. Ing. Patrick CARELS^(**)*

1. Introduzione

La tramvia di Atene è complessivamente lunga 48 km (di singolo binario) e riduce drasticamente i tempi di percorrenza dal centro cittadino verso la regione costiera dove sono situati molti dei principali Siti Olimpici Ateniesi. Il progetto e l'installazione di questo nuovo sistema tranviario ha richiesto una cura particolare in riferimento al rumore e alle vibrazioni e, previa analisi dei sistemi disponibili e referenziati, è stata scelta una soluzione semplice, veloce, versatile ed efficace in grado di garantire elevate prestazioni: la tecnologia CDM-Prefarail®. Tale sistema prevede che i binari siano isolati in modo continuo e privi di organi di fissaggio meccanico, e ciò in virtù delle caratteristiche dimensionali, fisiche e meccaniche dei particolari profili di completo rivestimento delle singole rotaie.

Per soddisfare al meglio aspettative in termini di mitigazione dell'impatto vibroacustico, sono state progettate tre diverse soluzioni, ciascuna con uno specifico modulo di elasticità risultante del binario.

Le misurazioni in-situ hanno confermato l'assoluta conformità dei risultati alle specifiche tecniche.

2. Il progetto del tram di Atene: descrizione generale

Nell'agosto 2004 i Giochi Olimpici sono tornati laddove tutto era cominciato, la Grecia.

Atene, la meravigliosa capitale della Grecia, affonda le proprie radici profondamente nella storia e nella leggenda ed era dunque il luogo ideale per ospitare le Olimpiadi del 2004 (fig. 1).

1. Introduction

The Athens Tramway is a 48 km light rail system that significantly improves the access from the city centre to the coastal region, where many of the important "Athens Olympic Venues" are situated. The design and installation of this new Tram system required extreme care with regard to noise and vibration.

A simple and efficient, low noise and vibration embedded track solution, using fastener-less CDM Prefarail® technology was implemented. The concept is based on the rails being completely encapsulated in an elastic jacket with special shape and stiffness characteristics of the single rails.

Three types of track solution, with different track moduli, were designed to meet the relevant noise and vibration criteria.



Fig. 1 – Il Partenone ad Atene. *The Parthenon in Athens.*

^(*) University of Thessaly, Department of Civil Engineering.

^(**) CDM nv/sa Belgium.

Tuttavia, come molte capitali europee, questa città ha un traffico molto congestionato ed è caratterizzata da problemi di trasporto e di inquinamento atmosferico e acustico (ref. 6.3).



Fig. 2 – Tram Sirio-LRV. *Sirio-LRV Tram.*

Uno dei più importanti progressi raggiunto recentemente ad Atene nell'ambito delle infrastrutture per i trasporti urbani di massa, è il nuovo sistema tramviario, attualmente in pieno esercizio (ref. 6.13).

La tramvia di Atene è complessivamente lunga 48 km (di singolo binario) e migliora drasticamente l'accesso in entrambe le direzioni, dal centro cittadino verso la regione costiera dove sono state costruite molte importanti installazioni olimpiche. Il progetto GATP ("Greater Athens Tramway Project", tram moderno della grande Atene) prevede la realizzazione di 3 nuove linee e di un nuovo deposito:

- S1: lungo la costa da nord a sud, dal Pireo (porto principale di Atene) a Faliro;
- S2: dalla costa verso il centro della città;
- S3: lungo la costa più a sud, da Farilo a Glyfada;
- il deposito dei tram realizzato nel sito che in precedenza ospitava l'aeroporto internazionale di Atene, che si connette alla linea S3.

Il progetto è stato concepito nell'anno 2000 ed è stato assegnato dal proprietario permanente della linea, tram S.A., a 3 principali società internazionali:

- La fornitura dei tram – 35 veicoli AnsaldoBreda (Tram Sirio-LRV– figg. 2 e 3): a 3 carrelli, lunghi 31.9 m, con carico assiale massimo di 120 kN - 197 passeggeri.
- La costruzione dell'infrastruttura tramviaria e delle relative opere elettro-meccaniche per le linee S1, S2 e S3 + deposito, inclusi 3 anni di assistenza, al consorzio TIJV, joint venture tra Terna, una delle principali società di costruzione della Grecia, e Impregilo, importante società italiana di costruzioni.

The in-situ measurements showed full compliance with the specifications.

2. The Athens tram project: a general description

In August 2004 the Olympic Games returned to the place where it all began, Greece. Athens, the beautiful capital of Greece, is steeped in history and legend and was the perfect place for the 2004 Olympics (fig. 1).

However, like many major European cities, it suffers from dreadful congestion, atmospheric and noise pollution and transport problems (ref. 6.3). One of the most important recent improvements to the mass media urban infrastructure in Athens is the new Tramway system which is currently in full operation (ref. 6.13).

The Athens Tramway is a 48 km light rail system that dramatically improves the access from the city centre to the coastal region, where many important Olympic installations were constructed, as well as to the heart of the city centre.

The Greater Athens Tramway Project (GATP) consists of 3 new lines and a new depot:

- S1: along the coast from north to south from Piraeus (the main port of Athens) to Faliro;
- S2: from the coast to the city centre;
- S3: along the coast going further south from Farilo to Glyfada;
- The Tramway Depot - located at the site of the former Athens International Airport which connects into S3.

The project was conceived in the year 2000 and the permanent way owner, Tram S.A., awarded 3 major international tenders:

- the supply of the rolling stock - 35 AnsaldoBreda vehicles (Sirio-LRV Tram – figg. 2 e 3): a 3-bogie, 31.9 m long with 120 kN maximum axle load - 197 passengers;



Fig. 3 – Vista aerea del tram Sirio-LRV (Marina Alimos). *Aerial view Sirio-LRV Tram (Marina Alimos).*

- La gestione della costruzione del progetto al consorzio nato tra Asprofos S.A. e MIVB/STIB (Società dei Trasporti Pubblici Belga).

Il programma di scadenze imposto dai Giochi Olimpici era molto rigido e richiedeva tempi di realizzazione dell'armamento estremamente brevi, come ad esempio 18 mesi per 48 km di singolo binario, assicurando nel contempo di evitare assolutamente danni ai siti archeologici sensibili (per es. l'Arco Romano di Adriano), sia durante la costruzione che in esercizio, e tenendo inoltre in considerazione possibili sbalzi di clima e cambiamenti atmosferici nell'area dei lavori. Inoltre è stato implementato un sistema completamente antisismico con protezione fino a 1g di accelerazione laterale, anche nelle aree con platee flottanti.

3. Criteri per il rumore e le vibrazioni

La determinazione di criteri appropriati e dei relativi limiti per i livelli di vibrazioni accettabili in relazione all'uso di edifici o aree sensibili, la protezione acustica e l'eliminazione di disturbi alle persone provocati dal transito di tram e metro non sono ancora considerati nell'attuale legislazione Greca in materia di controllo del rumore. Nell'ambito del progetto per il tram di Atene, sono stati revisionati vari standard, inclusi i criteri di vibrazioni accettabili e le protezioni di monumenti storici e rovine estremamente fragili dell'epoca Ellenistica & Romana. Il dato comunemente accettato era che la velocità di vibrazione misurata in termini di p.p.v. (peak particle velocity) fosse il valore che descriveva e permetteva di determinare al meglio il potenziale di danneggiamento degli edifici (ref. 6.8).

Studi recenti di valutazione dell'impatto ambientale effettuati in Grecia, per la costruzione di diverse ferrovie urbane, suggeriscono l'utilizzo degli standard sopra menzionati oltre che l'adozione di criteri specialistici per determinare il disturbo alle persone, basati sui rispet-

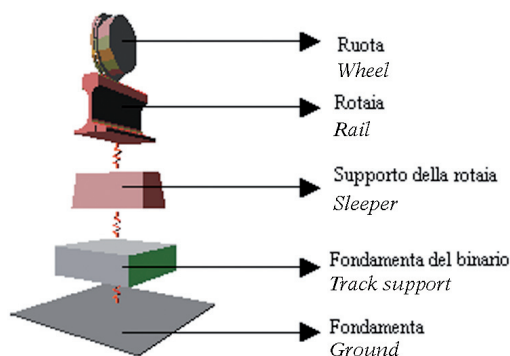


Fig. 4 – Livelli di Intervento di Isolamento N&V. *N&V Isolation Intervention Levels.*

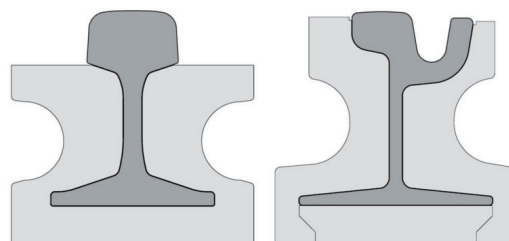


Fig. 5 – Rivestimento elastico (tipo Prefarail - Classic). *Elastic jacket (Prefarail- Classic type).*

- the construction of the track infrastructure and related electro-mechanical works of S1, S2 and S3 + depot, including 3 years maintenance, awarded to the consortium TIJV, a joint venture between Terna, one of the major construction companies in Greece and Impregilo, a large Italian construction firm;
- the project's construction management to a consortium between Asprofos S.A. and MIVB/STIB (Brussels Public Transport Company).

The 'Olympic' time schedule was very tight requiring extremely fast methods of rail construction, i.e. 48 kilometres of single track in approximately 18 months, ensuring, completely, the avoidance of possible damage to sensitive archaeological sites (i.e. Roman Hadrian Gate), both during construction and operation, and also taking into account possible climate swings and weather changes in the Athens area. Furthermore, a full anti seismic protection system was implemented requiring protection up to 1g of lateral acceleration. This included areas with anti-vibration mitigation measures such as floating slabs.

3. Noise & Vibration Criteria

The determination of appropriate criteria and relevant limits for acceptable vibration levels for sensitive building & land uses, acoustic protection and the elimination of human annoyance due to tram and metro project's operation, are not yet included in the existing Greek noise abatement legislation. Within the Athens Tram project, various standards were reviewed, including criteria for acceptable vibration and the protection of ancient Hellenistic & Roman historic ruins and monuments, which are extremely fragile.

The consensus was that the vibration velocity measured in terms of peak particle velocity, (p.p.v.), is the best descriptor available for characterizing the potential for building damage (ref. 6.8).

Recent Environmental Impact Assessment Studies in Greece, regarding various urban rail construction, suggest the use of the above criterion as well as specialized

tivi standard britannici (reff. 6.11 e 6.12). Dati noti sulle vibrazioni indotte dal terreno raccomandano 50 mm/sec come limite di vibrazione massimo di sicurezza durante le operazioni di abbattimento con esplosivi. Per il progetto tram sono stati fissati criteri per le vibrazioni provocate da attività di costruzione, basati sul rapporto di Chaba [5], unitamente ai criteri introdotti per la protezione durante gli scavi dei monumenti antichi di elevato valore. Inoltre sono stati introdotti i limiti di vibrazione da rispettare per evitare disturbi alla comunità.

Per il progetto del tram Atene sono stati adottati i seguenti criteri N&V (Noise & Vibration):

- livello massimo di rumore trasmesso attraverso il terreno all'interno di abitazioni residenziali ed edifici e/o di aree di pertinenza e causato dal transito del tram: 40dB(A) nell'intervallo di frequenza da 10 a 200 Hz;
- livello massimo di rumore trasmesso attraverso il terreno all'interno di edifici sensibili e/o di aree di perti-

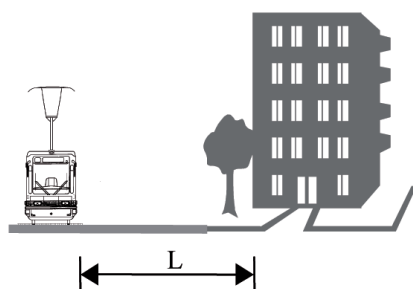


Fig. 6a – Rapporto tra il tram e l'edificio. Relationship between Train and Building.

nenza (teatri, sale da concerto, ecc.) e causato dal transito del tram: 35 dB(A) nell'intervallo di frequenza da 10 a 200 Hz;

- p.p.v. (peak particle vibration velocity) massima consentita all'interno di abitazioni residenziali ed edifici e/o di aree di pertinenza e causata dal transito del tram: 0,5 mm/sec nell'intervallo di frequenza da 10 a 100 Hz;
- p.p.v. (peak particle vibration velocity) massima consentita per la protezione di siti archeologici e rovine, e causata dal transito del tram: 0,2 mm/sec nell'intervallo di frequenza da 10 a 100 Hz;
- emissioni di rumore massime consentite per T = 24 ore (per 15 passaggi/ora): $Leq(T) \leq 67$ dB(A) all'edificio più vicino.

4. Parametri di progetto relativi alle misure di mitigazione N&V

Sulla base dell'analisi dell'acustica ambientale e degli studi di valutazione del progetto (ref. 6.4, 6.5), e per sod-

critério for human annoyance, based on the relevant British Standards (ref. 6.11 & 6.12). Existing data on ground vibration recommend 50 mm/sec as a safe maximum vibration limit during blasting operations. A set of criteria for vibration caused by construction activities, based on Chaba report, were assessed for the Tram project, along with criteria introduced for the protection of ancient monuments of high cultural value, during Tram excavations. Furthermore, vibration limits for avoidance of disturbance to the community were also introduced.

For the Athens Tram project the following N&V (Noise & Vibration) criteria were adopted:

- max permissible ground borne noise level from train operation inside dwellings/residential buildings and/or relevant land uses: 40dB(A) in the frequency range 10 to 200 Hz;
- max permissible ground borne noise level from train operation inside sensitive buildings and/or relevant sensitive land uses: (theatres, concert halls, etc.): 35 dB(A) in the frequency range 10 to 200 Hz;

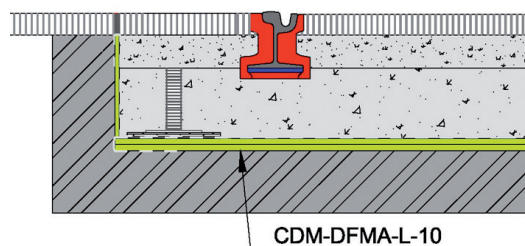


Fig. 6b – CDM-Prefarail-Classic.

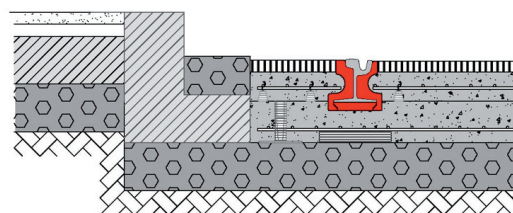


Fig. 6c – CDM-Prefarail-Comfort + DFMA-L10.

- max permissible peak particle vibration velocity from train operation inside dwellings/residential buildings and/or relevant land uses: 0,5 mm/sec in the frequency range 10 to 100 Hz;
- max permissible peak particle vibration velocity from train operation for the protection of archaeological sites and ruins: 0,2 mm/sec in the frequency range 10 to 100 Hz;

disfare le specifiche N&V sopra riportate, sono state progettate 3 soluzioni per entrambi i tipi di profilo di rotaia utilizzati. Tali soluzioni avevano diversi moduli di elasticità del binario (definiti come $2x$ il modulo di ciascuna rotaia [MN/m/lm-rail]). Il sistema proposto (fig. 4) era basato sull'intervento tra rotaia e supporto della rotaia, introducendo una tecnologia di isolamento continuo senza fissaggio meccanico CDM-Prefarail® abbinata a sistemi elastomerici CDM. Gli aspetti principali del sistema sono stati presentati a livello internazionale in diverse pubblicazioni e conferenze (ref. 6.1).

Questa soluzione (fig. 5) prevede che i binari siano isolati in modo continuo e che siano privi di organi di fissaggio meccanico, e ciò in virtù delle caratteristiche dimensionali, fisiche e meccaniche dei particolari profili di completo rivestimento delle singole rotaie, i cui moduli di elasticità risultanti possono essere scelti e adattati in funzione delle specifiche necessità. I profili per il completo rivestimento sono costituiti da elastomero granulare sintetizzato ad alta densità, additivato da resine poliuretatiche. Il sistema, una volta installato e racchiuso dal cemento e dalla finitura stradale, fornisce supporto su ogni lato della rotaia e fa sì che vengano rispettati i rigidi criteri di supporto verticale e laterale.

Per il progetto del tram di Atene sono stati utilizzati entrambi i tipi di profilo di rotaia:

- S-49 sezione di rotaia vignola in caso di sede dedicata (principalmente sulle linee S1 e S3);
- Ri60N sezione di rotaia a gola in caso di sede promiscua (principalmente sulla linea S2).

Di seguito vengono illustrate le misure di mitigazione proposte e le relative specifiche di isolamento, in funzione della distanza dal recettore più vicino.

Per recettori $L > 30m$ (fig. 6a) è stato utilizzato il sistema CDM-Prefarail-Classic® (fig. 6b). Esso consiste in un rivestimento completo ma di tipo "orinario". Questa soluzione offre frequenze di risonanza comprese tra 60-80 Hz e deflette al passaggio dei tram < 0.8 mm.

Per recettori $30m > L > 10m$ è stato utilizzato il sistema CDM-Prefarail-Comfort®. Esso consiste sempre in un rivestimento completo ma con una sagoma modificata e comprendente una particolare striscia elastomerica sotto la rotaia per un maggior contributo in termini di isolamento delle vibrazioni. Questa soluzione offre frequenze di risonanza comprese tra 35-40 Hz e deflette al passaggio dei tram < 1.5 mm.

Per recettori $L < 10m$, è stato usato il sistema CDM-Prefarail-Comfort® abbinato al materassino antivibrante sottoplatea CDM-DFMA-L10® (fig. 6c). Questa soluzione offre frequenze di risonanza di 14 Hz e deflette al passaggio dei tram ≤ 2.0 mm. Questo sistema complesso (ref. 6.5, 6.6 e 6.9) è stato calcolato ed esaminato con un modello di calcolo ad elementi finiti (fig. 7), in modo da dimostrare chiaramente che sarebbe stata rispettata la perdita per inserimento di 20dBV a 63Hz, richiesta. Il dia-

- max permissible airborne noise emissions for $T = 24$ hours (for 15 passages / hour): $Leq(T) \leq 67dB(A)$ at the nearest building.

4. N&V Mitigation Measures Design Parameters

Based on project's environmental acoustic analysis and evaluation studies (ref. 6.4, 6.5), in order to meet the above N&V specifications, 3 types of track solutions were designed for both types of rail profile used. These 3 track solutions had different track moduli (defined as $2x$ the rail modulus [MN/m/lm-rail]). The proposed system (see fig. 4), was based upon intervention between rail and rail support, introducing a low noise and vibration embedded rail solution using the fastener-less Prefarail® technology combined with CDM-elastomer systems. The basic aspects of the system have been internationally presented in various publications and conferences (ref. 6.1).

This solution (fig. 5) consists of a rail that is completely encapsulated in an elastic jacket with a unique shape and adapted stiffness characteristics. The jackets are manufactured from resin-bonded rubber using granules that are made from 100% re-cycled tires. The system, when installed in concrete and the road finish, provides support to all sides of the rail and allows the stringent vertical and lateral support criteria to be met.

An additional anti vibration strip is also implemented for the Comfort type. For the Athens Tram project, two types of rail profile were used:

- S-49 vignola rail section for dedicated track solutions (mainly on lines S1 and S3);
- Ri60N grooved rail section for multimodal embedded track solutions (mainly on line S2).

Following is an overview of mitigation measures proposed and relevant isolation specifications, in function of the distance to the nearest receptor.

- For receptor $L > 30m$ the Prefarail Classic® system was used (fig. 6b). This consists of jackets without any additional vibration isolation material beneath the rail. This solution offers resonance frequencies 60-80 Hz. and deflects under moving trams < 0.8 mm.
- For receptor $30m > L > 10m$ the Prefarail Comfort® system was used. This consists of an adapted shape of jackets with less obstruction for vertical movement in combination with a vibration isolation strip directly beneath the rail. The rail deflects under moving tram < 1.5 mm and resonates 35-40 Hz.
- For receptors $L < 10m$, the Prefarail Comfort® system is used along with a CDM-DFMA-L10® floating slab-track (fig.6c). In this case the rail deflects 2 mm and the track system resonates at 14 Hz. This complex solution (ref. 6.5, 6.6 & 6.9) was calculated and evaluated with an FE model (fig.7), in order to clearly show that the

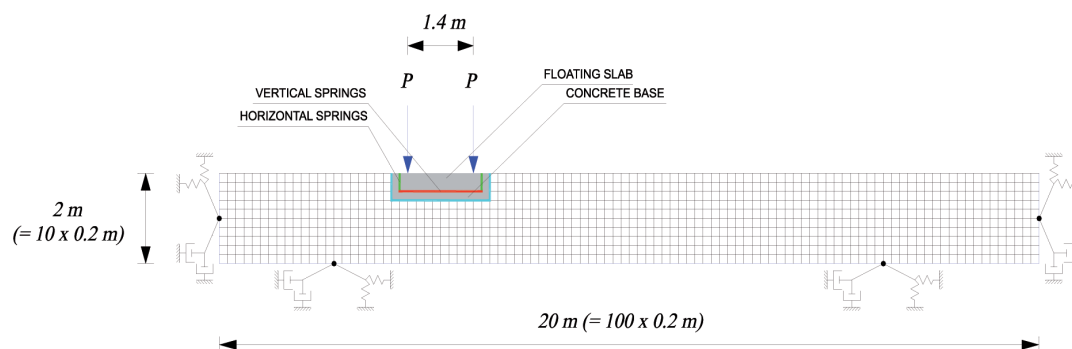


Fig. 7 – Modello di calcolo del sistema. *Finite element model.*

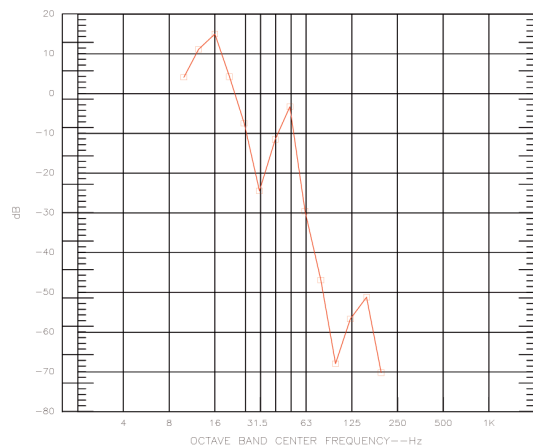


Fig. 8 – Curva di attenuazione FS nell'intervallo di frequenza da 10 a 200 Hz. *FS attenuation curve in the frequency range of 10 to 200 Hz.*

gramma della fig. 8 mostra l'efficacia di attenuazione FS nell'intervallo di frequenza da 10 a 200 Hz.

5. Sequenza di progetto e installazione – Risultati delle operazioni

5.1. Fasi 1 e 2 – Produzione e controllo qualità dei rivestimenti

I rivestimenti realizzati con RR (Resin bonded Rubber) CDM-49 vengono prodotti in speciali stampi, costruiti appositamente per adattarli alla forma desiderata (fig. 9a). Gli elementi costitutivi (a) granuli di gomma a granulometria

required insertion loss of 20dBV at 63Hz would be met.

The diagram in fig. 8 presents the FS attenuation capabilities in the frequency area of 10 to 200 Hz.

5. Project sequence & installation – Operation results

5.1. Phases 1 & 2 – Production & Quality control of the jackets

Jackets made from CDM-49 resin bonded rubber (RBR) are manufactured in special moulds, made specifically to fit the desired rail shapes (fig. 9a). The constituting elements (a) single source (post-consumer tires) rubber granules with defined granulometry and (b) PUR-resin, are submitted to a stringent QC process prior to production. Each batch of jackets is quality controlled to ensure that the allowable tolerances on the static and dynamic track moduli are met (fig. 9b).

Two tests were developed to test the performance of the system:

- a test measuring static and dynamic E-modulus of the constituting material, based upon RATP-UV35 specification;



Fig. 9a – Rivestimenti CDM-49. *CDM-49 Jackets.*

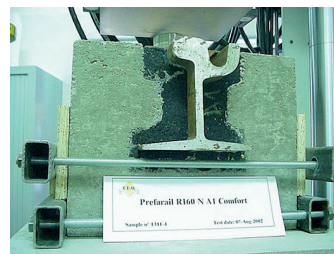


Fig. 9b – Test PSP nel laboratorio CDM. *PSP test in CDM lab.*

definita derivanti da singola fonte (pneumatici post-consumer) e (b) resina PUR, vengono sottoposti a un rigido processo di CQ prima della produzione. Ciascun lotto di rivestimenti subisce il controllo qualità per assicurare che siano rispettate le tolleranze consentite e risultanti in termini di modulo di elasticità statica e dinamica del binario (fig. 9b).

Per valutare la prestazione del sistema massa-molla sono stati sviluppati due test:

- un test per la misurazione statica e dinamica dei moduli di elasticità dei materiali costitutivi, sulla base delle specifiche RATP-UV35;
- una procedura di test, basata su quella definita da Deman [11] per valutare i moduli di elasticità statica e dinamica, verticali, longitudinali e trasversali, di uno "Small Scale Sample" del sistema finito. Questa procedura è stata verificata ed omologata dopo un complesso iter di analisi comparative tra diversi SSS rispetto ad un "Large Scale Sample" preso a riferimento (ref. 6.2).

5.2. Fase 3 – Rivestimento della rotaia con i profili elastomerici

Le sezioni di rotaia lunghe 18 m, sia diritte che curve, (S49 e Ri60N) vengono preventivamente rivestite con il profilo CDM-49. Tale operazione è stata effettuata da Cyptramat e Dynacoustics (sub appaltatori locali) in un sito appositamente allestito all'interno del vecchio Aeroporto Internazionale di Atene (Hellinikon) (fig. 10).

5.3. Fase 4 e 5 – Installazione e getto di completamento in situ – Finitura binario/pavimentazione stradale

Il binario viene posato e allineato nei tre assi utilizzando i portalini di posizionamento GSF (Gauge-Support-Fixation) e i relativi accessori, in modo facile e veloce. L'attrezzatura GSF può essere adattata a qualunque tipo di rotaia.

Le rotaie vengono saldate e quindi rivestite anche in prossimità delle saldature con i profili CDM-49.

Dopo aver eseguito l'allineamento della rotaia nei tre assi (verticale, orizzontale, inclinato, ecc.), viene gettato un primo strato di cemento al di sotto dei portalini GSF. Essi vengono dunque rimossi. Successivamente è possibile applicare la finitura superficiale preferita (sampietrini, asfalto, cemento, manto erboso, ecc. (figg. 11, 12 e 13). L'intera opera di costruzione dei 48 km di singolo binario, incluso il deposito per 35 veicoli a Hellenikon, le linee di alimentazione, le stazioni ecc. è iniziata nell'ottobre 2002 ed è stata completata con successo nel Giugno 2004 (circa 20 mesi).

Particolari caratteristiche dell'infrastruttura includevano:

- rinforzo antisismico e protezione del binario con e



Fig. 10 – Rotaie rivestite nell'aeroporto di Hellinikon. *Jacqueted rails at Hellinikon worksite.*

- a Prefarail System Performance (PSP) test procedure based upon the procedure, as defined by Deman, is carried out in lab. This procedure allows the track-modules of jacketed rail embedded in concrete to be evaluated (vertical static and dynamic track-modulus) on a small scale sample of the final system. This procedure was verified and homologated after a series of comparative tests between different SSS respect to a Large Scale Sample taken as reference (ref. 6.2).

5.2. Phase 3 – Pre-coating the rail with the jackets

The 18m long rail profiles, both straight and curved, (S49 and Ri60N) are pre-coated with CDM-49 jackets. This operation was carried out in a special worksite in the old Athens International Airport (Hellinikon) by Cyptramat and Dynacoustics (local sub contractor) (fig.10).

5.3. Phase 4 & 5 – Installation & concreting on site - Finishing of track/road paving

The track is installed using GSF (Gauge-Support-Fixation) equipment. This equipment allows fast and



Fig. 11 – Installazione & copertura in cemento (sezione Zappion). *Installation & concreting (Zappion section).*



Fig. 12 – Installazione di rotaia ricoperta con manto erboso completata. *Completed installation of Grass Track.*

senza platea flottante contro terremoti con magnitudo 0.5g;

- manto erboso di copertura con sistema automatico di irrigazione;
- ampi passaggi in catenaria per il transito di veicoli di grandi dimensioni (fig. 13).

5.4. Realizzazione dei 'Soundstop' e dei 'Seismic' stop

Per limitare le vibrazioni trasmesse fra le singole piattaforme flottanti sono stati progettati, tramite interposizione di materassini in Resin bonded Rubber, dei 'sound stop', realizzati lungo la tratta e posizionati ogni 6 m.

Abbinati a questi dispositivi sono stati studiati dei 'Seismic stopper' con il preciso scopo di limitare le vibrazioni durante i terremoti, smorzando le vibrazioni delle piattaforme flottanti.

Anche i 'seismic stopper' sono realizzati in piastre elastomeriche rivalorizzate, con appropriate caratteristiche fisiche smorzanti, posizionati ogni 12 m (figg. 14 e 15).

5.5. Verifica di prestazione dei materiali installati – Misurazione delle vibrazioni

Le misurazioni delle vibrazioni sono state effettuate prima della piena operatività del sistema tramviario in diversi punti posti sulla linea S2 (Kasomouli Street – FST + Prefarail-Ri60N-Comfort) e sulla linea S3 (Glyfada Pavlou Street–Prefarail-S49-Classic) (fig. 16). I grafici delle figg. 17a, b e c presentano i risultati relativi al sistema CDM-Prefarail-Classic a diverse distanze dal binario (1m –invert - 7,5 m & 30m dall'asse del binario), e a diverse velocità del tram (rispettivamente: 20, 40 e tra 50 e 60 km/h). I risultati delle misurazioni indicano la piena conformità ai criteri N&V, con un disturbo di soli 16,7-18,5 dB(A) misurati a una distanza di ricezione di 30m.

straightforward track laying and alignment. The GSF equipment can be adapted to each type of rail profile.

The rails are welded and then treated with additional CDM-49 resin-bonded jackets.

After track alignment (vertical, horizontal, cant etc.) a first layer of concrete is poured to the underside of the GSF grips. The GSF are then removed. Then the final layer of concrete or road finish or grass can be applied (see example fig.11, 12 & 13). The whole operation to build 48 km single track (including depot for 35 vehicles at Hellenikon, powerlines, substations etc.) started in 10/2002 and was successfully finished in 6/2004 (approx. 20 months).

Special features of the track infrastructure included:

- seismic reinforcement and protection for normal track and floating slab-track to be resistant against earthquakes with 0.5g;



Fig. 13 – Porta di passaggio per imbarcazioni a Glyfada. *Port Passage for boats in Glyfada.*



Fig. 14 – Preparazione del fondo e predisposizione zona seismic stopper. *Preparing the bottom support and reservations for seismic stoppers.*

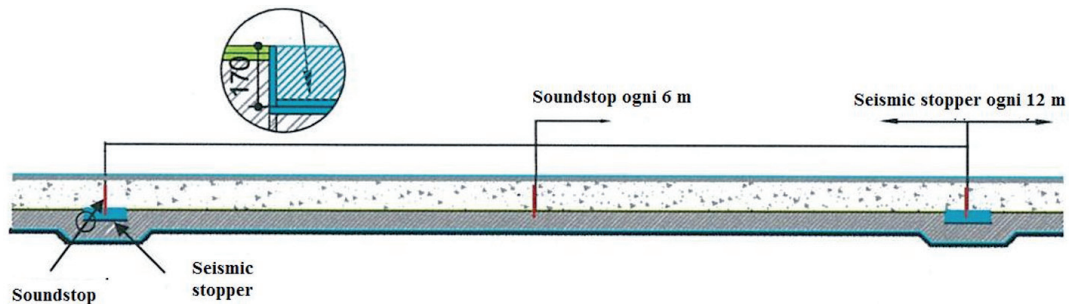


Fig. 15 – Dettaglio dei seismic stopper. Detail of seismic stopper.

La tabella 1 mostra i principali risultati in relazione ai criteri N&V sulla linea S2 (Kasomouli) nei punti in cui gli edifici sono maggiormente vicini al tram, dimostrando piena conformità alle specifiche. E' interessante notare che l'abbattimento dei livelli di N&V è più o meno lo stesso sia per la soluzione complessa CDM-DFMA + CDM-Prefarail-Comfort che per la soluzione semplice CDM-Prefarail-Comfort, ma non alla stessa distanza. Con la soluzione complessa CDM-DFMA + CDM-Prefarail-Comfort

- grass track with automatic watering system;
- large vehicle passage gate in catenary (shown on fig. 13 – Glyfada Port Passage for boats).

5.4. Realization of 'Soundstops' and of 'Seismic' stoppers

In order to reduce the vibration transmission between the single floating slab tracks, 'sound stops' were designed by interposing Resin bonded Rubber mats every 6 m along the whole stretch.

Together with the sound stops also some 'Seismic stoppers' to damp the vibrations of the floating slab tracks during earthquakes are installed every 12 m.

Also 'seismic stoppers' are realized using the same recycled elastomer.

With specific damping characteristics (fig. 14 and 15).

5.5. Verification of installed Performance - Vibration measurements

Vibration measurements were executed prior to full operation of the system at various locations on line S2 (Kasomouli Street – FST + Prefarail-Ri60N-Comfort) and line S3 (Glyfada Pavlou Street – Prefarail-S49-Classic) (fig. 16). The graphs in fig. 17a, b and c present the relevant results for the Prefarail Classic® system at various distances from the track (1m -invert-, 7,5m & 30m from track axis), and for various tram velocities (respectively: 20, 40 & >50 to 60 Km/h). The measurement results indicate full compliance with N&V criteria, with only 16,7-18,5 dB(A) measured at a 30m receptor distance.

Table 1 shows an overview of the main N&V results in S2 (Kasomouli) at the three closest buildings to the Tram, showing full compliance with the specifications. It is interesting to highlight that the N&V levels are more or less the same for both FST/Prefarail-Comfort and Prefarail-



Fig. 16 – Siti delle misurazioni. Measurements locations.

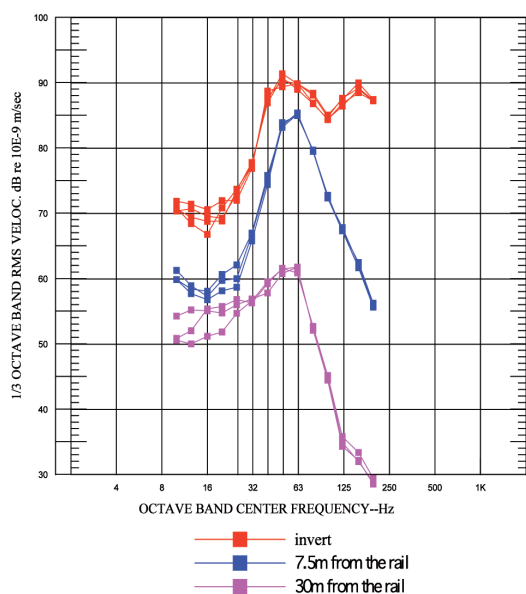


Fig. 17a – Risultati delle misurazioni delle vibrazioni – Glyfada Pavlou Street. *Vibration measurement results – Glyfada Pavlou Street*
Velocità / speed = 20 km/h
GBNoise at 30 m = 16,7 dB(A)

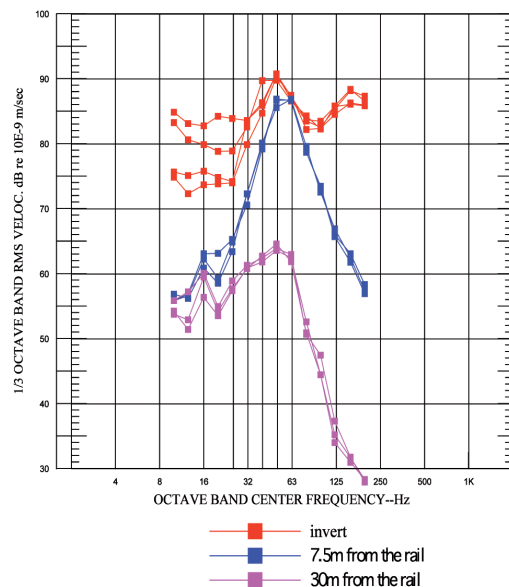


Fig. 17b – Risultati delle misurazioni delle vibrazioni – Glyfada Pavlou Street. *Vibration measurement results – Glyfada Pavlou Street*
Velocità / speed = 40 km/h
GBNoise at 30 m = 18,0 dB(A)

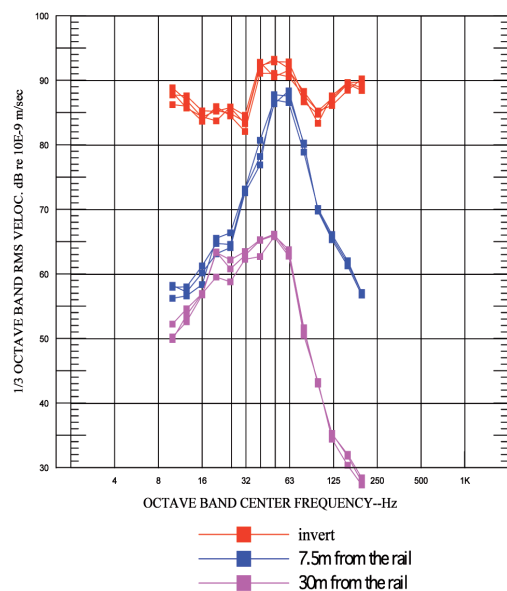


Fig. 17c – Risultati delle misurazioni delle vibrazioni – Glyfada Pavlou Street. *Vibration measurement results – Glyfada Pavlou Street*
Velocità / speed = 50-60 km/h
GBNoise at 30 m = 18,5 dB(A)

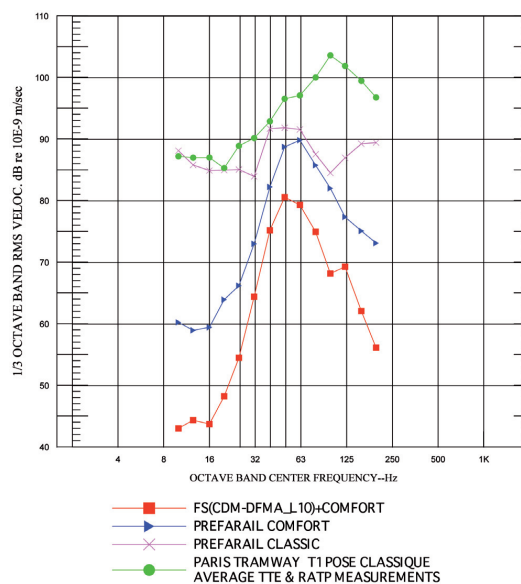


Fig. 18 – Confronto tra risultati delle misurazioni delle vibrazioni. *Overall vibration measurement results.*

TABELLA 1

TRAMVIA DI ATENE (AREA DI VIA KASOMOULI) – LIVELLI DI RUMORE TRASMESSO ATTRAVERSO IL TERRENO (GROUND-BORNE NOISE) & VALORI DI VELOCITÀ DI VIBRAZIONE ALL'INTERNO DEGLI EDIFICI POSTI PIÙ VICINO AL TRAM
ATHENS TRAMWAY (KASOMOULI ROAD ZONE) GROUND TRANSMISSION NOISE LEVELS & GROUND-BORNE NOISE) AND VIBRATIONAL SPEED INSIDE BUILDINGS CLOSER TO TRAMWAY

Posizione <i>Position</i>	Livello GB Noise (dB(A)) Velocità vibraz. in mm/sec <i>GB Noise Level</i> <i>Vibrational speed in m/s</i>	Punto della misurazione: Edificio residenziale <i>Point of measurement</i> <i>residential building</i>	Soluzione <i>Solution</i>
1	24,3 dB(A) 0,011 mm/sec	Interno dell'edificio residenziale più vicino a 4,0m dalla rotaia esterna <i>Inside residential closer building</i> <i>4.0 m from outer rail</i>	CDM-DFMA-L10® + CDM-Prefarail-Comfort®
2	21,6 dB(A) 0,002 mm/sec	Interno dell'edificio residenziale più vicino a 12,50m dalla rotaia esterna <i>Inside residential closer building</i> <i>12,50 m from outer rail</i>	CDM-Prefarail-Comfort®
3	26,7 dB(A) 0,012 mm/sec	Interno dell'edificio residenziale più vicino a 10,0m dalla rotaia esterna <i>Inside residential closer building</i> <i>10,00 m from outer rail</i>	CDM-Prefarail-Comfort® (con massa aumentata) <i>(with increased mass)</i>

l'abbattimento dei livelli di N&V viene raggiunto a 4 m dalla rotaia esterna, mentre con la soluzione "semplice" CDM-Prefarail-Comfort occorre spostarsi a 12.5m per raggiungere lo stesso abbattimento dei livelli di N&V.

La fig. 18 mostra una serie di misurazioni delle vibrazioni effettuate a 1 m dalla rotaia esterna per i diversi sistemi di infrastruttura confrontati con il sistema di binario tradizionale RATP (costituito da traversine bi-blocco rivestite in elastomero con supporti discreti ogni 750 mm, elastomeri sottorotaia SNCF 9 mm e rotaie con profili di rivestimento elastomerico). Occorre evidenziare che le misurazioni relative alla soluzione CDM-Prefarail-Classic (rotaia S49 sulla linea S3) sono state effettuate su una linea ancora nuova e usata molto poco, laddove le altre misurazioni sono state effettuate su linee in esercizio da almeno 4 mesi. In generale i seguenti livelli massimi vengono misurati a 1 m dalla rotaia esterna:

CDM-Prefarail-Classic® = circa 97 dBV (rif.E-9 m/sec);

CDM-Prefarail-Comfort® = circa 90 dBV (rif. E-9 m/sec);

CDM-DFMA-L10® + CDM-Prefarail-Comfort® = circa 80 dBV (rif.E-9 m/sec).

Comfort solutions, but not at the same distance; with a combined FST/Prefarail Comfort the N&V level is reached at 4m from the external rail, whilst with single Prefarail-Comfort solution one has to move to 12.5m to reach the same N&V level.

The last fig. 18 shows in an overview of vibration measurements at 1 m from external rail for different tram infrastructure systems in comparison with the classic track system at RATP (embedded twinblock-sleeper track with discrete supports every 750 mm / railpads SNCF 9 mm – rails with web-chambers). It needs to be highlighted that the Prefarail-Classic measurements (S49 rail on S3 line) were recorded on a new hardly used line, whereas the other measurements were taken on lines after minimum 4 months of operation. In general the following max. levels have been measured at 1 m from external rail

Prefarail-Classic = approx. 97 dBV (ref.E-9 m/sec)

Prefarail-Comfort = approx. 90 dBV (ref. E-9 m/sec)

FST-DFMA-L10 + Prefarail-Comfort = approx. 80 dBV (ref.E-9 m/sec)

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] P. CARELS, "Low Vibration & Noise track systems with tunable properties for modern LRT/streetcar track on surface in urban areas", 7th IWRN – Portland Maine, (Oct. 2001).
- [2] D2S International report nr.B642/R01 dd.11/08/2003 "Prefarail Rail Fixation System – Detailed Static and Dynamic Analysis with FEM Verification", (Aug. 2003).
- [3] ET&T Consulting Engineers Ltd, "EIA Study for noise and vibration from Athen's Tram", (Oct. 2000).
- [4] ET&T Consulting Engineers Ltd, "Special Noise & Vibration Final Study for the operation of Athen's Tram", (May 2001).

- [5] TTC Traffic & Transportation Consultants Ltd "Groundborne noise and vibration study from the operation of Athen's Tram. Implementation study of floating slab at: «Kassomouli», «Gouveli» and «Panagitsa locations» - Evaluation of Cypramat- Comfort efficiency for the Sirio/AnsaldoBreda", (April 2003).
- [6] C. VOGIATZIS, N. ELIOU, H. MOUZAKIS, "Evaluation of Anti-vibration measures for the protection of Handrian gate during new Athens Tram Operation", 4th International Exhibition and Conference on Environmental Technology Helico 03 – Athens, January, (Feb. 2003).
- [7] C. VOGIATZIS, N. ELIOU, "Research program of noise measurements from the operation of Sirio/AnsaldoBreda Athen's Tramway" University of Thessaly, Department of Civil Engineering, Pedion Areos, 38821 Volos, Greece, (June 2004).
- [8] C. VOGIATZIS, H. MOUZAKIS, "Criteria for vibration from railway & light rail transportation projects construction for the protection of buildings and the avoidance of annoyance"
- [9] C. VOGIATZIS, S. CHAIKALI, "Vibration & Ground borne Noise criteria & Mitigation Measures at Athens Tramway", 11th International Congress on Sound & Vibration – St.Petersbourg Russia, (5-8 July 2004).
- [10] H.E. Von Gierke, Guidelines for Preparing Environmental Impact Statements on Noise, Committee on Hearing, Bioacoustics, and Biomechanics Assembly for Behavioral and Social Sciences (CHABA), Working Group 69, For : National Research Council, NTIS AD A044384, (1977).
- [11] British Standard BS 7385 : Part 1 : 1990, ISO 4866 : 1990 - Evaluation and Measurement for Vibration in Buildings", Part 1. Guide of measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings.
- [12] British Standard BS 6472: 1992 - Evaluation of human exposure to vibration in buildings (1Hz to 80 Hz).
- [13] G. CACCIA, F. MOLINARI, "Il ritorno del tram ad Atene", n. 5 Ingegneria Ferroviaria (May 2004).
- [14] C. ANASTASOPOULUS, "Letter of satisfaction", Tram A.E., Prot. Numb. 355 (July 2007).



6141-05

Perseo



COLLEGIO INGEGNERI FERROVIARI ITALIANI - 1899



DISPONIBILI N. 50 ESEMPLARI AL QUARZO

PREZZO: € 130,00 IVA inclusa per i Soci;
 € 160,00 IVA inclusa per i non Soci e abbonati alle riviste IF-TP;
 più € 10,00 spese di spedizione.

Condizioni di pagamento: pagamento anticipato sul c.c.p. N. 31569007 intestato a Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani – Via Giolitti, 48 – 00185 Roma, indicando la causale di versamento, oppure tramite bonifico bancario: INTESA SAN PAOLO - IBAN: IT80 003069 03235 1000000000008 - BIC: IBSPITTM.

Per informazioni e ordini contattare Sig. Stefano Leonetti FS. 970-6825 064742986 – Fax 064742987 – e-mail: amministrazione@cifi.it