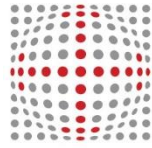




Comune di Pisa



Comune di San Giuliano Terme



**PISAMO**  
AZIENDA PER LA MOBILITÀ SPA

# SISTEMA TRANVIARIO DI PISA – LINEA 1 PIAZZA DEI MIRACOLI – OSPEDALE CISANELLO/CNR

## ARMAMENTO Armamento Relazione Armamento

	COMUNE DI PISA IL DIRIGENTE Ing. Maurizio Iannotta		PISAMO s.p.a. IL DIRETTORE TECNICO Ing. Alessandro Fiorindi		ARCHITECNA ENGINEERING s.r.l. COORDINATORE DELLA PROGETTAZIONE: Ing. Santi Caminiti
--	--	--	---	--	---

PROGETTISTI			

COMMESSA	FASE	CATEGORIA	DISCIPLINA	TIPO	NUMERO	REV.	NOME FILE
T R P I	I M	A R M	A R M	R L	0 0 1	A	TRPI-IM-ARM-ARM-RL-001-A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	DIC. 24	PRIMA EMISSIONE	A. AMBROSIO	P. CAMINITI	S. CAMINITI
B					
C					
D					

# Relazione armamento

## Sommario

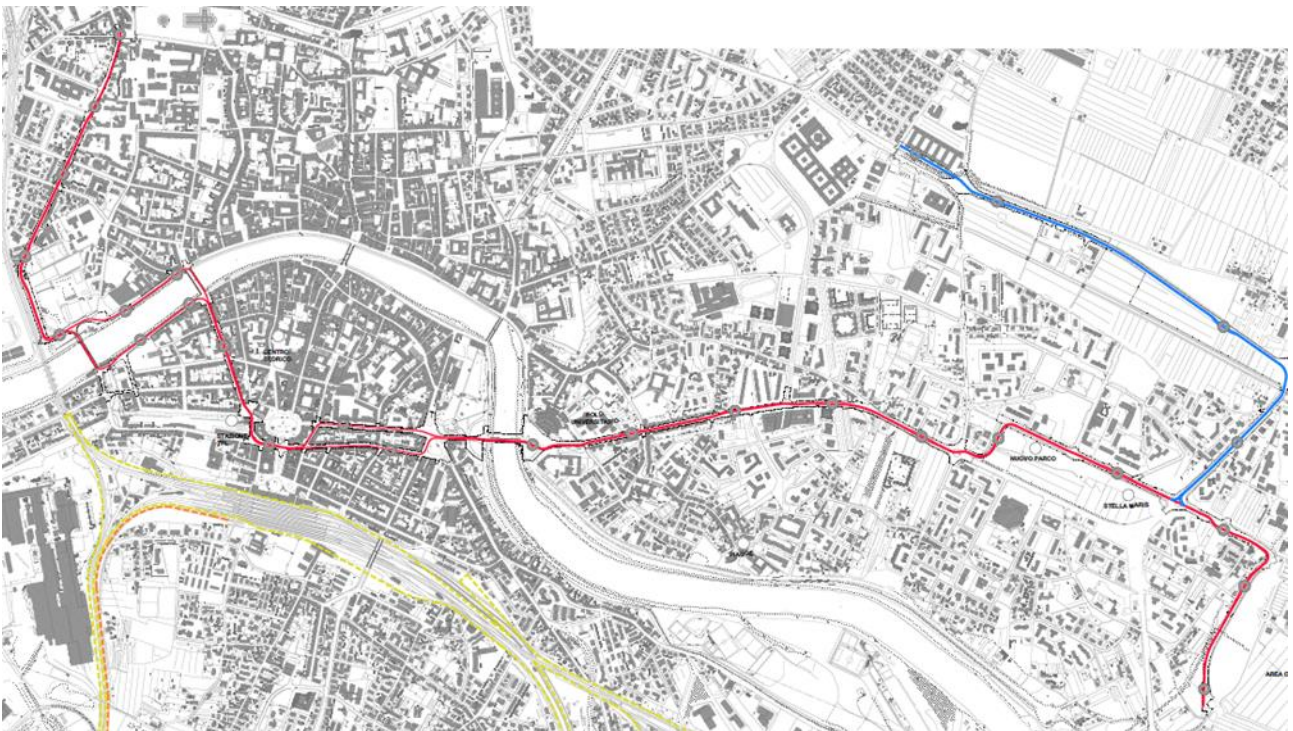
Relazione armamento .....	2
<b>Descrizione generale del progetto</b> .....	3
<b>Parametri di progetto e di esercizio</b> .....	4
<b>Contenimento delle vibrazioni e delle correnti vaganti</b> .....	5
Vibrazioni .....	5
<b>Correnti Vaganti</b> .....	7
Rumore.....	8
<b>Norme di Riferimento</b> .....	9
<b>Armamento con sistema ERS (EMBEDDED RAIL SYSTEM)</b> .....	10
<b>Assegnazione delle sezioni tipologiche di armamento sul tracciato base</b> .....	12
<b>Programma di sviluppo</b> .....	13
Sezione tipologica ARM-L0 .....	13
Sezione tipologica ARM-L2 .....	15
Sezione tipologica ARM-L3 .....	17
<b>Fasi di posa armamento con sistema ERS</b> .....	18
Incollaggio di rivestimenti elastiche e posa delle rotaie .....	19
Saldatura delle rotaie .....	19
Montaggio e pre-regolazione del binario.....	20
Installazione delle armature, attrezzature secondarie altre tecnologie .....	21
Cassero del binario e giunti di costruzione trasversali.....	21
Getto del calcestruzzo di bloccaggio .....	22
Rimozione degli elementi di regolazione .....	23
Controllo successivo il betonaggio e rifiniture .....	23
Posa del binario su soletta flottante Tipo L2 e L3 (Livelli 2 e 3) .....	23

## Descrizione generale del progetto

Il progetto prevede che la nuova linea tramviaria si collochi nel tessuto urbano centrale della città con gli obiettivi, da un lato, di offrire un'alternativa alla motorizzazione privata e ridurre l'inquinamento atmosferico da congestionamento del traffico, dall'altro, di collegare in maniera efficace tre punti di elevato interesse della città, quali piazza dei Miracoli, la stazione centrale (punto di arrivo del Pisa Mover che la collega con il terminal aeroportuale) e l'Ospedale Cisanello (oggetto di un importante ampliamento in corso di esecuzione che lo renderà uno dei più grandi poli ospedalieri del paese).

Lungo il percorso la linea tramviaria permetterà di raggiungere altri importanti punti di interesse e fonte di traffico privato, citando solo quelli direttamente lambiti dalla linea: il blocco scolastico che comprende tre scuole superiori in via Benedetto Croce, il Palazzo dei Congressi, il polo universitario delle facoltà di economia, agraria, ingegneria e farmacia, tutta la zona commerciale del quartiere di Cisanello, il parco della Cittadella ed il Consiglio Nazionale delle Ricerche CNR.

La stazione di capolinea subito dopo l'Ospedale di Cisanello, sarà collocata a ridosso dei grandi parcheggi, al momento a servizio dell'Ospedale, ma che, opportunamente ampliati, potranno funzionare da parcheggi scambiatori per il traffico in arrivo dalla S.G.C. Firenze - Pisa - Livorno, la cui uscita si trova a poche centinaia di metri, evitando l'ingresso in città a numerosi veicoli privati.



*Figura 1 - Corografia generale di progetto*

Il percorso tranviario, partendo dal capolinea di Piazza Manin, percorre via B. Pisano. La prima parte di tracciato presenta sede banalizzata per circa 200 m (binario singolo), attestandosi sul lato destro della sezione stradale (lato ospedale Santa Chiara), per poi continuare il percorso a centro strada, con sede riservata a doppio binario, fino ad arrivare in Piazza di Terzanaia.

Dalla rotatoria di piazza Terzanaia, il tracciato si dirama sui due lungarni. Un binario attraversa l'Arno passando per il ponte della Cittadella per poi svoltare a sinistra sul Lungarno S. Sonnino, mentre l'altro binario percorre Lungarno R. Simonelli per superare l'Arno sul Ponte Solferino. In piazza A. Saffi, i due binari si riuniscono e percorrono via F. Crispi attestandosi sul lato est della carreggiata stradale.

Giunti in Piazza Sant'Antonio, il tracciato prosegue in via S. Pellico per poi svoltare su via C. Battisti, in cui viene collocata una fermata che sarà utilizzata come punto di interscambio con la stazione centrale di Pisa ed il People Mover.

Il tracciato prosegue su via Francesco Bonaini e raggiunge piazza Guerrazzi, dove imbocca via Giuliano da Sangallo per superare l'Arno sul nuovo ponte, parte del presente progetto, realizzato sostituendo l'attuale ponte della Vittoria. Scesa dal nuovo ponte la linea attraversa piazza Caduti di Cefalonia e percorre via Giacomo Matteotti e via Carlo Matteucci per poi imboccare via Cisanello fino alla rotonda che regola l'incrocio con via di Padule e via Maccatella. Dopo la rotonda il progetto svolta verso via Italo Bargagna, costeggiando il costruendo parco urbano, per poi percorrere la stessa fino ad attraversare la rotonda Giulio Battistini ed arrivare in via Martin Lutero.

Dopo la fermata Martin Lutero il progetto di percorrere la stessa fino ad imboccare via Mario Luzi, dove sarà posizionato l'accesso principale del nuovo grande Polo Ospedaliero in corrispondenza del quale è prevista la fermata Ospedale Cisanello. Il progetto poi prevede che la tramvia prosegua fino all'attuale rotonda che gestisce l'incrocio tra via Mario Luzi e via Piero Trivella dove sarà posizionato il capolinea (fermata Kinzica).

Con il presente studio di fattibilità, si introduce una diramazione del tracciato verso il Comune di San Giuliano. Il percorso tranviario, da via Italo Bargagna, si inserisce nel tessuto urbano direzione Nord fino ad immettersi via Ferruccio Giovannini, nella quale il tram percorre la viabilità a centro strada fino ad immettersi nell'area verde posta a sud dello studentato "I Praticelli", nel quale viene collocato il capolinea del ramo di diramazione del tracciato. Tale fermata servirà principalmente per raccogliere tutta l'utenza proveniente dall'area del CNR, nella quale oltre a diversi istituti di ricerca, ospita anche lo stabilimento ospedaliero della Fondazione Gabriele Monasterio.

Lungo via F. Giovannini è previsto il collocamento del deposito tranviario che ospiterà uffici, un'officina ed altri edifici a servizio della linea. Nel medesimo lotto verrà collocato anche un grande parcheggio scambiatore che servirà da interscambio modale con il Trasporto Pubblico Locale, limitando di fatto l'ingresso in città di numerosi veicoli. Vicino al parcheggio sarà collocata una fermata in modo da rendere attrattiva la sosta per tutta l'utenza proveniente dai comuni limitrofi ed il successivo scambio con la nuova infrastruttura per entrare nel centro storico di Pisa.

## Parametri di progetto e di esercizio

Per parametri geometrici di progetto si è assunto quanto segue:

- Tipo di mezzo: veicolo tramviario bidirezionale;
- Scartamento: 1435 mm;
- Alimentazione elettrica: 750 V c.c.;
- Altezza delle banchine di fermata sul piano del ferro: 30 cm;
- Lunghezza delle banchine di fermata: 34,00m 28,00m
- Distanza tra la soglia della porta e l'orlo della banchina di fermata: 70 mm;
- Dislivello tra la soglia della porta e il piano di banchina di fermata: +50/-20 mm;
- Velocità massima: 70 Km/h;
- Pendenza massima longitudinale nelle fermate: 1,99 %;
- Raggio minimo planimetrico in linea: 20,00 m;
- Sopraelevazione in curva: non prevista;
- Raccordi di transizione: clotoidali;
- Massimo valore di accelerazione ammesso: 1,0 m/sec<sup>2</sup>;
- Massimo valore di contraccolpo: 0,5 m/sec<sup>2</sup>;

- Raggio minimo dei raccordi verticali concavi: 350,00 m;
- Raggio minimo dei raccordi verticali convessi: 350,00 m;
- Massimo valore di accelerazione verticale ammesso: 0,25 m/sec<sup>2</sup>;
- Interasse minimo intervvia non palificata: 3,20 m
- Interasse minimo intervvia palificata: 3,50 m

Per la simulazione dell'esercizio si assume una vettura tramviaria ordinaria a pianale ribassato con le seguenti caratteristiche:

Tensione di alimentazione	+750 Vcc
Possibilità di marcia autonoma (pacchi batterie)	No
Larghezza veicolo	2.400 mm
Larghezza in corrispondenza del pianale	Fino a 2.500 mm
Lunghezza cassa	≤ 27 metri
Altezza massima (pantografo al massimo)	6.100 mm
Altezza del pianale dal p.d.f. (100% pianale ribassato)	350 mm
Scartamento	1.435 mm
Massa e tara	UNI EN 11174
Posti totali (a 4 passeggeri per m <sup>2</sup> di superficie utile S1)	Minimo 170
Velocità massima	70 km/h
Accelerazione all'avviamento	Minimo 1,20 m/s <sup>2</sup>
Decelerazione massima freno di servizio	Minimo 1,30 m/s <sup>2</sup>
Pendenza massima superabile	Minimo 60‰
Raggio minimo percorribile in deposito	18 m
Raggio minimo percorribile in linea	20 m
Raggio minimo dei raccordi verticali concavi e convessi	300 m

## Contenimento delle vibrazioni e delle correnti vaganti

Nella città di Pisa ed in particolare nel tratto interessato dalla Linea oggetto di studio, che lambisce il centro della città, vi sono numerosi edifici storici (sensibili).

Pertanto, come avviene ormai in tutte le realizzazioni di trasporto pubblico di massa su rotaia, le vibrazioni propagate attraverso l'aria, il suolo e le strutture devono essere mitigate per ridurre il disturbo che si arreca sugli edifici limitrofi

Oltre a tale aspetto, valutata la ristretta sezione stradale e la conseguente vicinanza del tracciato agli edifici, si è resa necessaria una particolare sensibilità nell'approccio progettuale relativo alla realizzazione dell'armamento.

## Vibrazioni

La principale componente delle vibrazioni si trasmette attraverso il suolo mentre i rumori aerei che si propagano attraverso l'aria dipendono dal materiale rotabile e dalla finitura della superficie della sede.

La fonte delle vibrazioni è il risultato dell'interazione delle ruote con la rotaia e la loro trasmissione dipende da molti fattori quali, ad esempio:

- Il tipo di fissaggio della rotaia alla sua sede;
- La piastra di appoggio della rotaia;
- I materassini antivibranti sotto il getto di calcestruzzo;
- Eventuali cavità o i differenti gradi di compattazione del terreno di sedime;
- Eventuali accorgimenti per lo smorzamento delle vibrazioni nelle opere civili;
- Edifici con disposizioni antivibranti.

Le vibrazioni provenienti dal suolo, alla base di edifici sensibili, non dovrebbero superare i limiti fissati che vengono spesso normati mediante zonizzazioni specifiche. Tali valori dipenderanno dalla funzione dell'edificio e dalla sua distanza rispetto al binario.

Nei casi in cui tali valori dovessero superare i succitati limiti, a causa della sollecitazione creata dalla circolazione dei veicoli della linea tranviaria, si potrà installare un materassino di smorzamento, ove necessario, per ridurre fino a livelli accettabili le vibrazioni trasmesse dalle vetture.

Al momento non esiste nessuno standard a livello europeo che definisca esattamente i parametri di attenuazione delle vibrazioni dovute alla circolazione dei veicoli tranviari ma si fa usualmente riferimento per quanto possibile alle Norme UNI 9614 – Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo, UNI 9916 – Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, UNI 10985 – Vibrazioni su ponti e viadotti – Linee guida per l'esecuzione di prove e rilievi dinamici.

Normalmente si utilizzano differenti livelli di approfondimento in relazione al livello di progettazione per cui prima della esecuzione (progetto definitivo ed esecutivo) si potranno effettuare misurazioni in loco per determinare puntualmente i parametri di attenuazione in ogni sezione del tracciato.

Si potrà pertanto adottare un approccio personalizzato per ogni singola situazione, per determinare i requisiti dei livelli di attenuazione sui binari, in riferimento alla distanza tra edifici e binari, alla funzione dell'edificio ed alla sua sensibilità.

Qualsiasi edificio le cui fondamenta si trovino ad una distanza inferiore ai 12 metri dall'asse centrale del binario, richiederà delle speciali misure di attenuazione.

I risultati di questo primo approccio sono riportati sulle planimetrie con la indicazione delle tipologie di armamento tenendo conto dei seguenti fattori:

- Tipo di terreno su cui insisterà il binario (geologia);
- Posizione del binario rispetto alla sezione stradale (distanza tra asse e edifici);
- Categoria di destinazione dell'area (residenziale, commerciale, industriale).

Poniamo che  $d_1$  sia definita come la distanza tra l'edificio di destra e l'asse del binario di destra e  $d_2$  sia definita come la distanza tra l'edificio di sinistra e l'asse del binario di sinistra;  $d_{min}$  risulterà essere la distanza inferiore tra  $d_1$  e  $d_2$ . Secondo tale criterio il tipo di smorzamento acustico del binario sarà stabilito tenendo anche in considerazione l'ambiente e la posizione dell'area.

L'attenuazione del binario si calcolerà in analogia a quanto effettuato nelle Linee 2 e 3 (I lotto) di Firenze:

- $d_{min} > 12m$ : livello 0
- $d_{min} > 12m$  ma in area sensibile: livello 2
- $7 < d_{min} < 12m$ : livello 2
- $7 < d_{min} < 12m$  ma in area sensibile: livello 3
- $d_{min} < 7m$ : livello 3
- Centro storico: livello 3

Con questi livelli si definiranno le relative sezioni dell'armamento.

Nei casi in cui il livello di vibrazioni in condizioni base sia ammissibile si installerà un binario di riferimento (Livello 0). Nei casi in cui si richieda un livello medio di attenuazione si installerà un binario di riferimento con provvedimenti antivibranti (Livello 2). Nelle zone con sezioni particolarmente sensibili lungo la linea tranviaria si installerà un binario di riferimento con provvedimenti antivibranti ad elevate prestazioni (Livello 3).

Queste sezioni potranno essere verificate attraverso un software di simulazioni che si rifà ai principi standard di massa-molla adattandoli al caso della linea tranviaria. Questo software consente di confrontare la filtrazione delle vibrazioni di un binario, ottenuta mediante l'inserimento in loco di materiali antivibranti (materassino elastomerico, piastrine sottorotaia, ecc.) messi in relazione con un binario standard cosiddetto «di riferimento» ovvero senza resilienti e materassino (livello 0).

La differenza tra il binario ammortizzato e il binario standard nel trasmettere le vibrazioni consente di ricavare la perdita d'inserzione in dB e quindi di valutare la performance dei dispositivi antivibranti proposti nel tipo di binario ammortizzato.

Le vibrazioni dovute alle sollecitazioni del tram sono, per lo più, localizzate nella gamma di frequenze (0-200Hz) per cui le soluzioni di attenuazione normalmente utilizzate sono di norma adottate proprio per ridurre le vibrazioni nella gamma tra (30-200Hz) in cui sono considerate le più importanti (specialmente 1/3 ottava (31,5-125Hz)).

Le caratteristiche riguardanti il materiale rotabile che dovranno essere inserite per eseguire la simulazione saranno le seguenti:

- Carico per asse: 11t = 110kN
- Massa non sospesa per asse: 1,25t
- Veicolo a pianale ribassato con sospensione primaria all'interno della ruota.

Effettuata la scelta del sistema oltre alle prove "Ante Operam" è oggi consolidato l'uso di effettuare un programma di monitoraggi da effettuare nel primo periodo di esercizio, atti a certificare il raffronto con l'attuale situazione e la rispondenza del sistema alla vigente normativa (la norma UNI 9614, per gli effetti delle vibrazioni in relazione ai fenomeni fisici indotti nella persona, la norma UNI 9916, per gli effetti delle vibrazioni indotte negli edifici, ed infine, per gli aspetti vibrazionali che afferiscono il fenomeno acustico, la Legge 26/10/1995, n. 447, e relativo Regolamento di Esecuzione emanato con D.P.R. 18/11/1998, n. 459).

## Correnti Vaganti

Oltre all'attenuazione delle vibrazioni ad un moderno sistema di armamento oggi è anche richiesta la protezione dalle correnti vaganti.

Relativamente all'isolamento elettrico delle rotaie utilizzate sia come mezzo di trasmissione dei segnali che di alimentazione di potenza risulta determinante evitare qualsiasi contatto con elementi di elevata conducibilità elettrica quali essenzialmente i metalli.

Come noto infatti nei sistemi ferrotranviari in cui le rotaie di corsa assolvano anche la funzione di conduttore di ritorno, le correnti disperse rappresentano un problema difficilmente eliminabile con potenziale corrosione degli impianti stessi nonché delle strutture metalliche presenti in modo diffuso nel sottosuolo delle aree urbane.

Connesse all'esercizio tranviario sono inoltre da valutare le emissioni di campo elettromagnetico nell'intervallo 9kHz - 30MHz per il campo magnetico H (componente orizzontale) e 30MHz - 1 GHz per il campo elettrico E (componente verticale).

In conformità alle norme CEI EN 50121-2 (Emissioni dell'intero sistema ferroviario verso l'ambiente esterno), CEI 9-20/1 (Sistemi con tensione nominale di linea sino a 1500 V) CEI EN 50122-2 (Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane. Impianti fissi – Parte 2: protezione contro gli effetti delle correnti vaganti causate da sistemi di trazione a corrente continua) il binario dovrà essere elettricamente isolato rispetto alle correnti circolanti nella rotaia.

Per limitare al meglio i problemi connessi alla presenza di correnti elettromagnetiche risultano determinanti non solo gli elastomeri degli attacchi ed i profili di rivestimento delle rotaie ma anche l'eliminazione di ponti di elevata conduttanza elettrica tra le rotaie e tra queste e l'ambiente.

Nel fissaggio con componenti metallici delle singole rotaie alle traverse o alle platee e nella connessione tra le due rotaie si possono realizzare quelle situazioni che provocano sia cortocircuiti tra le rotaie che la dispersione di correnti di potenza all'ambiente.

L'isolamento del binario sarà garantito, a seconda della tipologia di armamento adottata, da:

- il sistema di fissaggio del binario, tale da garantire l'ancoraggio delle rotaie in modo continuo senza continuità elettrica con la base di calcestruzzo;
- i profili laterali in gomma lungo le rotaie con materiali a bassa resistenza, che attraverso la loro forma e la posa isolino la rotaia del binario rispetto alla piattaforma in calcestruzzo e rispetto al piano di finitura;
- i collegamenti rotaia-rotaia e binario-binario ad intervalli regolari usando cavi isolati;
- l'utilizzo di giunti isolanti sulla rotaia che riducano la lunghezza dei circuiti di ritorno delle correnti di trazione.

Queste prestazioni sono condizionate dalla esecuzione a perfetta regola d'arte delle altre tecnologie che riguardano il binario, in particolare per quanto riguarda i collegamenti equipotenziali, il tipo d'allacciamento elettrico, l'isolamento diretto delle parti riportate, le prestazioni del sistema di allontanamento delle acque meteoriche della sede (il che permetterà di evitare il ristagno e l'infiltrazione d'acqua attorno alla rotaia) e la realizzazione di una buona manutenzione del binario.

## Rumore

Il rumore è provocato dal contatto ruota/rotaia e dipende dal grado di ammaloramento dei binari e delle ruote.

Anche la rumorosità di tipo "solido" – regolamentata dalla Legge n. 447/1995 (Legge quadro sull'inquinamento acustico) e dai DPCM 01.03.91 (Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno) e DPCM 14.11.97 (Determinazione dei valori limite delle



sorgenti sonore) - risulta soggetta agli stessi principi della vibrazione, per cui risultano determinanti gli elastomeri degli attacchi e della platea flottante.

Si debbono infatti limitare le eccitazioni locali della rotaia in corrispondenza degli organi di attacco per ridurre l'emissione acustica della stessa in particolare con le vibrazioni trasversali del gambo; allo stesso fine si utilizzano profili in gomma che la rivestono totalmente disaccoppiandola meccanicamente dall'ambiente.

Risulta necessario evidenziare come un sistema elastico di attacco delle rotaie, nel limite ovviamente della sicurezza della circolazione, risulti determinante nel ridurre la formazione di difettosità quali la mazzatura delle rotaie e la sfaccettatura delle ruote, origini prime di vibrazioni e rumori dannosi sia ai passeggeri che ai residenti. Proprio per tali difettosità si rendono necessarie le onerose operazioni di manutenzione (molatura) che limitano l'utilizzabilità della linea e dei mezzi in circolazione.

Anche il rumore derivante dal sottocassa della vettura può essere notevolmente ridotto all'occorrenza con i sistemi di finitura grazie ai quali la rumorosità tende a diminuire sensibilmente.

## Norme di Riferimento

Qui di seguito vengono riportate le principali norme di riferimento per la progettazione del sottosistema armamento:

CEI EN 50122-2      Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane. Impianti fissi – Parte 2: protezione contro gli effetti delle correnti vaganti causate da sistemi di trazione a corrente continua.

CNR BU N. 146:      Determinazione dei moduli di deformazione  $M_d$  e  $M_d'$  mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare.

UNI EN 1992:2005    Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo.

D.M. Infrastrutture    17-01-2018 – Nuove norme tecniche per le costruzioni.

Circolare C.S.LL.PP.    n° 617 del 02-02-2009 – Circolare esplicativa nuove norme tecniche per le costruzioni.

UNI 9614:1990 Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo

UNI 9916:2004 Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici

UNI 10570:1997      Prodotti per l'isolamento delle vibrazioni. Determinazione delle caratteristiche meccaniche dei materassini e piastre

UNI 11059:2003      Elementi antivibranti – Materassini elastomerici per armamenti ferrotranviari – Indagini di qualifica e controllo delle caratteristiche meccaniche e delle prestazioni

UNI EN 13481-1:2006 Applicazioni ferroviarie – Binario – Requisiti prestazionali per i sistemi di fissaggio

UNI EN 14811:2006    Applicazioni ferroviarie – Binario – Rotaie per impieghi speciali – Rotaie a gola e profili di costruzione associati

UNI EN 13848-5:2008 Applicazioni ferroviarie – Binario – Qualità della geometria del binario Parte 5: Livelli di qualità geometrica

VDV OR 14:1995      VDV OberbauRichtlinien OR 14 – Weichen und Kreuzungen (Scambi ed Incroci)

- UNI EN 206-1:2006 Calcestruzzo – Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità
- UNI 11104:2004 Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità – istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1
- UNI EN 197-1:2007 Cemento – Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni
- UNI EN 10080:2005 Acciaio d'armatura per calcestruzzo – Acciaio d'armatura saldabile – Generalità
- UNI EN 1433:2008 Canalette di drenaggio per aree soggette al passaggio di veicoli e pedoni – Classificazione, requisiti di progettazione e di prova, marcatura e valutazione di conformità
- UNI EN 124:1995 Dispositivi di coronamento e di chiusura per zone di circolazione utilizzate da pedoni e da veicoli. Principi di costruzione, prove di tipo, marcatura, controllo di qualità.

## Armamento con sistema ERS (EMBEDDED RAIL SYSTEM)

L'ERS è un sistema di binario isolato su appoggio continuo con elasticità omogenea senza fissaggio meccanico. Il rivestimento elastico delle rotaie consiste in profili realizzati in un elastomero granulare sinterizzato ad alta densità. Incastrato nella piastra di calcestruzzo superiore del binario, fino ad uno spessore libero di 100 mm sotto il Piano del Ferro per la posa del rivestimento, l'ERS garantisce la tenuta geometrica e meccanica della via (posizione e scartamento) senza sistemi di fissaggio.

Con il sistema a “rotaie rivestite”, si provvede, mediante portalini metallici, al fissaggio ed alla calibrazione dei binari. L'allineamento del binario in orizzontale e verticale lungo gli assi X, Y, Z, viene realizzato prima di effettuare il getto di calcestruzzo nei vari strati. Lo strato finale di rivestimento può essere scelto in funzione delle esigenze architettoniche del contesto.

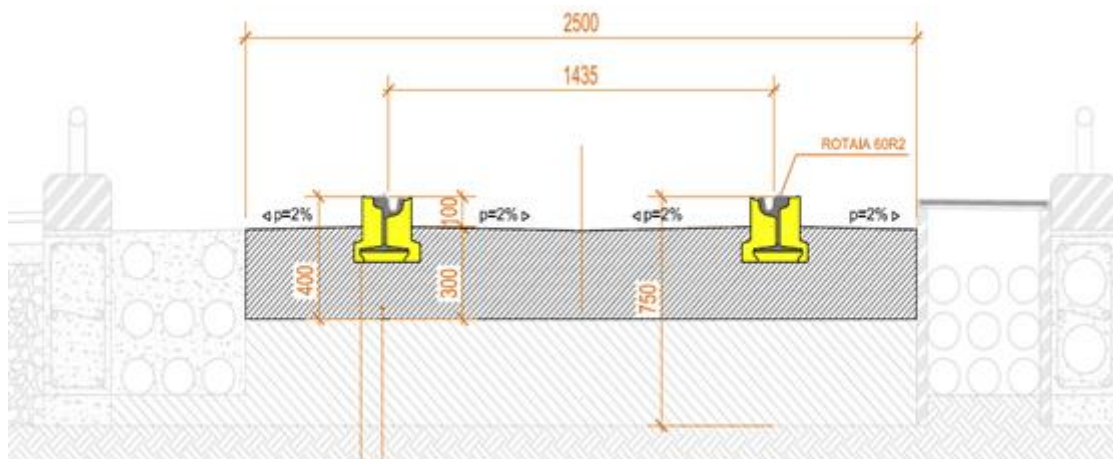


Figura 2 - Sistema ERS

Per ogni tipo di rotaia (nel nostro caso la 60R2) viene realizzata su misura una specifica forma di profilo avvolgente, che assicura una trasmissione ottimale di carico verso la struttura portante. Il principio è applicato soprattutto per binari interrati che utilizzano rotaie a gola in ambiente urbano con uso multimodale (traffico tranviario ed altro).

La forma del rivestimento elastico è adatta al tipo di rotaia e garantisce:

- un trasferimento ottimale del carico
- un isolamento vibro-acustico
- un isolamento elettrico

- un isolamento termico

Le dimensioni e rigidezza finali di profili di rivestimento in elastomero granulare saranno determinati sulla base delle prestazioni richieste per l’attenuazione delle vibrazioni.

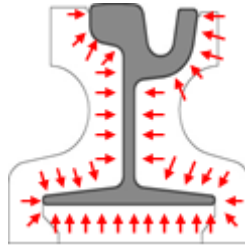


Figura 3 - Rotaia 60R2

Il sistema permette, grazie ad una striscia resiliente sotto rotaia e di una sagoma avvolgente elastomerica con differenti caratteristiche, la riduzione della trasmissione di vibrazioni all'ambiente con un fattore che varia approssimativamente da 7 a 15 dBV a seconda della richiesta.

Il coefficiente di attrito tra calcestruzzo e profilo in gomma dovrà essere minimo 0,6 e ciò è ottenibile grazie alla struttura aperta del profilo realizzato con granuli di gomma incollati con resina per cui il calcestruzzo entra nei pori e indurendosi garantisce l’aderenza richiesta.

Per rispettare le esigenze sulla propagazione delle correnti vaganti definite al livello del sistema, non si è prevista l'installazione di una guaina negli strati di calcestruzzo, ma piuttosto un isolamento efficiente alla base della rotaia. Considerando che le connessioni di continuità fra rotaia e rotaia e di segnaletica siano installate e collegate nelle norme dell'arte, l’ERS proposto per le linee 2 e 3 del tram di Firenze permetterà di ottenere le prestazioni richieste.

Prestazioni del Sistema ERS	
Parametro	Valore
Densità	950-1150 kg/m <sup>3</sup>
Modulo di elasticità statica	2.5 – 8.5 Mpa
Modulo di elastica dinamica (5 Hz. A 0.04 Mpa +/- 20%)	< 20 Mpa
Assorbimento d’acqua	< 5%
Resistività trasversale	> 10 <sup>8</sup> Ωcm

Nel caso di rivestimenti sensibili di tipo lastre o asfalto soggetti a forti sollecitazioni causate dal traffico (negli incroci stradali), potranno essere impiegati profili metallici contro il rivestimento elastico della rotaia per permettere l’accoppiamento della rotaia rispetto al rivestimento e aumentare in questo modo la tenuta d’insieme.

La forma e tipo del rivestimento elastico permettono di effettuare le operazioni di manutenzione e/o sostituzione della rotaia senza rompere i rivestimenti e le piastre di calcestruzzo.

## Assegnazione delle sezioni tipologiche di armamento sul tracciato base

L'assegnazione è stata effettuata analizzando le planimetrie (distanza tra gli edifici e i binari), nonché studiando in situ le caratteristiche dell'ambiente urbano e architettonico prospiciente le tre tratte in cui si è diviso l'intervento.

Le tipologie di smorzamento sono state differenziate, indipendentemente dal sistema di armamento prescelto e sono state identificate con le lettere L0, L2 ed L3 mentre per le tratte posate su opere d'arte preesistenti si è adottata la tipologia LOP.

Il tracciato assunto come riferimento è quello posto a base del presente documento.

Si sono differenziate le lunghezze di armamento proposte derivate essenzialmente dalla posizione del binario rispetto alla sezione stradale ed alla presenza di edifici sensibili.

Di seguito vengono riportate le assegnazioni suddivise per entrambe le ipotesi progettuali proposte:

ARMAMENTO BINARIO DX - LINEA 1					
nr.	TIPO	PROG. DA	PROG. A	LUNGHEZZA	NOTE
1	ARM-L0	0,0	89,0	89,00	
2	ARM-L0	89,0	117,0	28,00	Comunicazione doppia
3	ARM-L0	117,0	429,4	312,40	
4	ARM-L2	429,4	749,1	319,70	
5	ARM-L0	749,1	924,7	175,60	
6	ARM-L0	924,7	951,4	26,70	Diramazione doppia
7	ARM-L0	951,4	968,6	17,20	
8	ARM-L0	968,6	987,8	19,20	Diramazione doppia
9	ARM-L0	987,8	1515,2	527,40	
10	ARM-L0	1515,2	1543,2	28,00	Comunicazione semplice
11	ARM-L0	1543,2	1959,6	416,40	
12	ARM-L2	1959,6	2677,8	718,20	
13	ARM-L3	2677,8	2970,9	293,10	
14	ARM-L2	2970,9	3082,8	111,90	
15	ARM-L2	3082,8	3110,8	28,00	Comunicazione semplice
16	ARM-L2	3110,8	3194,3	83,50	
17	ARM-L0	3194,3	3412,0	217,70	
18	ARM-LOP	3412,0	3538,2	126,20	
19	ARM-L2	3538,2	3779,1	240,90	
20	ARM-L3	3779,1	4646,4	867,30	
21	ARM-L3	4646,4	4674,4	28,00	Comunicazione semplice
22	ARM-L3	4674,4	4903,5	229,10	
23	ARM-L0	4903,5	5026,0	122,50	
24	ARM-L2	5026,0	5233,5	207,50	
25	ARM-L0	5233,5	5809,4	575,90	
26	ARM-L2	5809,4	5941,0	131,60	
27	ARM-L2	5941,0	5969,0	28,00	Comunicazione semplice
28	ARM-L2	5969,0	6408,0	439,03	
29	ARM-L3	6408,0	6503,7	95,67	
30	ARM-L3	6503,7	6516,8	13,10	Scambio semplice
31	ARM-L3	6516,8	6692,2	175,40	

32	ARM-L3	6692,2	6702,6	10,40	Scambio semplice
33	ARM-L3	6702,6	6750,4	47,80	

ARMAMENTO BINARIO DX - DIRAMAZIONE CNR					
nr.	TIPO	PROG. DA	PROG. A	LUNGHEZZA	NOTE
1	ARM-L0	0,0	54,9	54,90	Diramazione doppia
2	ARM-L0	54,9	341,5	286,60	
3	ARM-L0	341,5	369,5	28,00	Comunicazione semplice
4	ARM-L0	369,5	962,9	593,40	
5	ARM-L0	962,9	972,5	9,60	Diramazione doppia
6	ARM-L0	972,5	990,1	17,60	
7	ARM-L0	990,1	999,7	9,60	Diramazione doppia
8	ARM-L0	999,7	1996,9	997,20	
9	ARM-L3	1996,9	2067,8	70,90	
10	ARM-L3	2067,8	2095,8	28,00	Comunicazione doppia
11	ARM-L3	2095,8	2182,0	86,20	

ARMAMENTO DEPOSITO			
nr.	TIPO	Quantità	Scambi
1	ARM-L0	2306	-
2	Pettine 8 vie	2	16
3	Pettine 5 vie	1	5
4	Pettine 2 vie	1	2
5	Pettine 6 vie	1	6
6	Pettine 3 vie	1	3
7	Comunicazione doppia	1	4
8	diramazione doppia	3	6

## Programma di sviluppo

### Sezione tipologica ARM-L0

La sezione tipo dell'armamento della tranvia definita L0 è composta da una rotaia incamiciata in profili avvolgenti in gomma che determinano un appoggio continuo elastico (definita con termine inglese "ERS/CRS Embedded Rail System / Continuous Rail System")

Il bloccaggio del binario avviene senza fissaggio meccanico, incastrando semplicemente le rotaie incamiciate in un getto di calcestruzzo, che a sua volta poggia su una piattaforma (piastra di fondazione). Il tutto viene posato su un suolo eventualmente bonificato qualora la resistenza del terreno di sedime non rispondesse alle prescrizioni capitolari.

La tipologia di armamento che viene utilizzata per il nuovo ponte della Vittoria (ARM-L0P) è analoga alla tipologia L0 con la sola differenza che la soletta di bloccaggio del sistema ERS è resa compartecipante con la soletta del ponte mediante connettori  $\phi 8/60 \times 60$ .

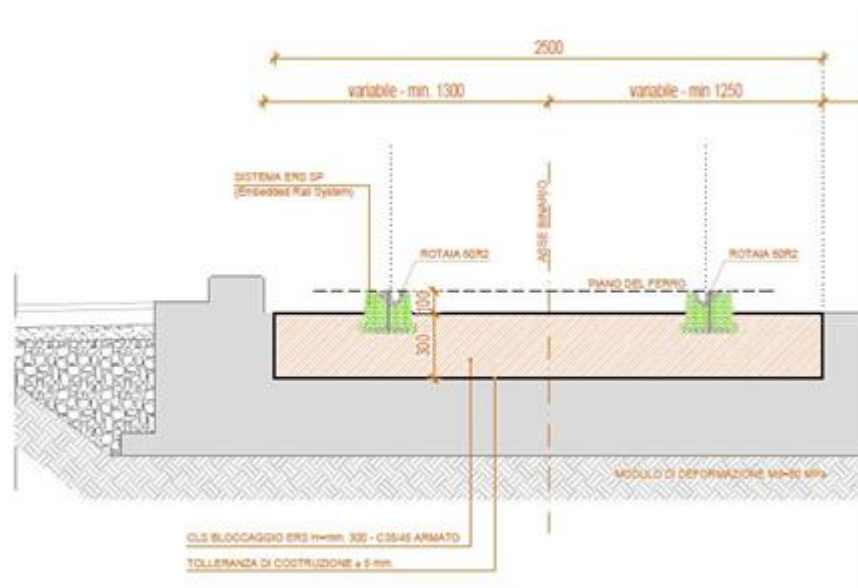


Figura 4 - Sez. tipologica ARM-L0

### Caratteristiche generali della Sezione tipo ARM-L0 “Livello 0”

Dimensioni tipiche della sezione:

- Larghezza: 2500 mm
- Altezza totale della sezione: 750 mm

Il sottofondo (terreno di sedime) dovrà avere un modulo di deformazione non inferiore a  $80\text{N/mm}^2$  (Mpa).

La piastra di fondazione è costituita da una soletta armata con calcestruzzo avente con resistenza alla compressione  $R_{ck} 25\text{kN/mm}^2$ .

Getto di bloccaggio del sistema ERS costituito da una piastra armata con calcestruzzo con resistenza alla compressione  $R_{ck}$  di  $35\text{kN/mm}^2$ :

- Altezza: 300 mm
- Larghezza nominale: 2500 mm

Supporto delle rotaie: Sistema ERS. Supporto elastico continuo delle rotaie.

- Rigidezza dinamica del supporto elastico continuo tra  $120\text{MN/m/mlr}$  e  $140\text{MN/m/mlr}$
- Coefficiente dinamico del supporto elastico continuo: 1,3

Profilo della rotaia: 60R2 (Inerzia  $I_{xx} = 3298.1\text{ cm}^4$ )

### Smorzamento “livello 0”

Si assume che la sezione tipo L0 non abbia uno specifico smorzamento delle vibrazioni malgrado la gomma che riveste le rotaie dia comunque un certo contributo in tal senso.

Eventualmente si volesse apprezzare comunque lo smorzamento che la gomma di rivestimento e di appoggio delle rotaie determinano nei confronti delle vibrazioni prodotte dal sistema, questo potrà essere determinato con modelli di calcolo in sede di progetto esecutivo

È comunque possibile variare la rigidezza della piastra sottorotaia ottenendo una gamma di prestazioni variabile che potrebbe essere affinata in fase di progettazione definitiva.

## Sezione tipologica ARM-L2

A partire dalla sezione tipo ARM-L0 corrispondente al livello 0 di smorzamento semplicemente interponendo materiali resilienti tra la piastra di fondazione ed il getto di bloccaggio si determinano, due sezioni ammortizzate con performance ordinate in base al grado di smorzamento richiesto:

- Il livello cosiddetto L2 «Livello 2» che corrisponde a uno smorzamento medio delle vibrazioni.
- Il livello cosiddetto L3 «Livello 3» che corrisponde a uno smorzamento elevato delle vibrazioni.

La sezione tipo ARM-L2 “Livello 2” si ottiene interponendo tra la piastra di fondazione ed il getto di bloccaggio un materassino elastomerico a medio smorzamento.

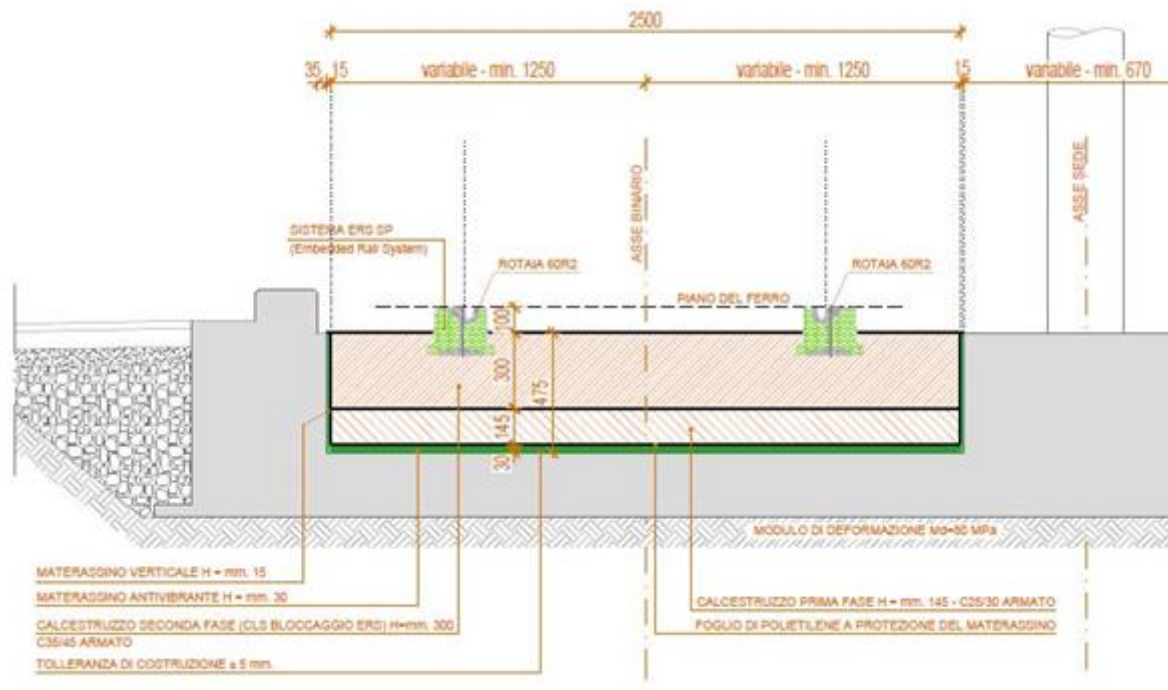


Figura 5 - Sez. tipologica ARM-L2

### Caratteristiche generali della Sezione tipo ARM-L2 “Livello 2”

Dimensioni tipiche della sezione:

- Larghezza: 2503 mm
- Altezza totale della soletta flottante: 779 mm (545 mm dal materassino alla rotaia)

Il sottofondo (terreno di sedime) dovrà avere un modulo di deformazione non inferiore a  $80\text{N/mm}^2$  (Mpa).

La piastra di fondazione è costituita da una soletta armata con calcestruzzo H avente con resistenza alla compressione  $R_{ck} 25\text{kN/mm}^2$ .

Caratteristiche della soletta “flottante” (analogamente a quanto proposto per le linee 2 e 3):

- Materassino elastomero (le caratteristiche del materassino elastomerico dovranno essere verificate nel progetto esecutivo).
- Larghezza: 2503mm
- Spessore: circa 15mm (lato vasca); circa 30mm (base vasca)
- Rigidità dinamica  $C_{dyn}$  = nella gamma dei  $30\text{MN/m}^3$

- Coefficiente di elasticità dei piastrini in gomma sottorotaia: 1,3
- Soletta di protezione del materassino in c.a. (cls con resistenza alla compressione  $R_{ck}$  di  $25\text{kN/mm}^2$ ) alta 145 mm e con larghezza nominale di 2500 mm
- Piastra di bloccaggio del sistema ERS in c.a. (cls con resistenza alla compressione  $R_{ck}$  di  $35\text{kN/mm}^2$ )

Pannelli laterali rigidi, ai lati della tranvia per isolare e separare i binari ammortizzati

Supporto delle rotaie: Sistema ERS Supporto elastico continuo delle rotaie.

- Rigidezza dinamica del supporto elastico continuo: tra  $120\text{MN/m/mlr}$  e  $140\text{MN/m/mlr}$
- Coefficiente dinamico del supporto elastico continuo: 1,3

Profilo della rotaia: 60R2 (Inertia  $I_{xx} = 3298.1 \text{ cm}^4$ )

### Smorzamento “livello L2”

L'efficienza dello smorzamento della sezione è stata stimata mediante simulazioni con massa-molla che confrontano la filtrazione delle vibrazioni del livello 2 con quella del binario standard cosiddetto «di riferimento».

La sezione tipo “Livello 2”, in analogia a quanto effettuato in linea 2 e 3, sarà utilizzata in aree in cui è richiesto un medio livello di attenuazione delle vibrazioni. Tale sistema si è rivelato ottimo in quelle sezioni tranviarie in cui la linea passa in centro città e la distanza tra gli edifici e la rotaia è contenuta tra 7 e 12 m o in aree sensibili con distanza inferiore a 12 m.

La sezione proposta per il livello 2 presenta una frequenza propria di 25 Hz. La perdita d'inserzione è efficace oltre la soglia di 25 Hz e superiore a 10dB per tutta la gamma di frequenza al di sopra dei 45 hertz. Nella gamma di frequenze 60-70 Hz si arriva a 17dB.

La sezione considerata presenta pertanto una media performance di smorzamento. L'elevata rigidità del sistema ERS/CRS è stata scelta in modo da limitare il guadagno d'inserzione positivo alla frequenza propria, mentre la bassa rigidità del materassino ha inteso ottenere un guadagno d'inserzione efficace.

Particolare attenzione è stata dedicata al guadagno d'inserzione nella gamma di frequenza tra 40 e 200 Hz in cui è più probabile che vari la frequenza propria degli edifici.

Il grafico riportato qui sotto indica il guadagno d'inserzione rispetto al binario di riferimento “Livello 0” per le frequenze [0-250Hz].

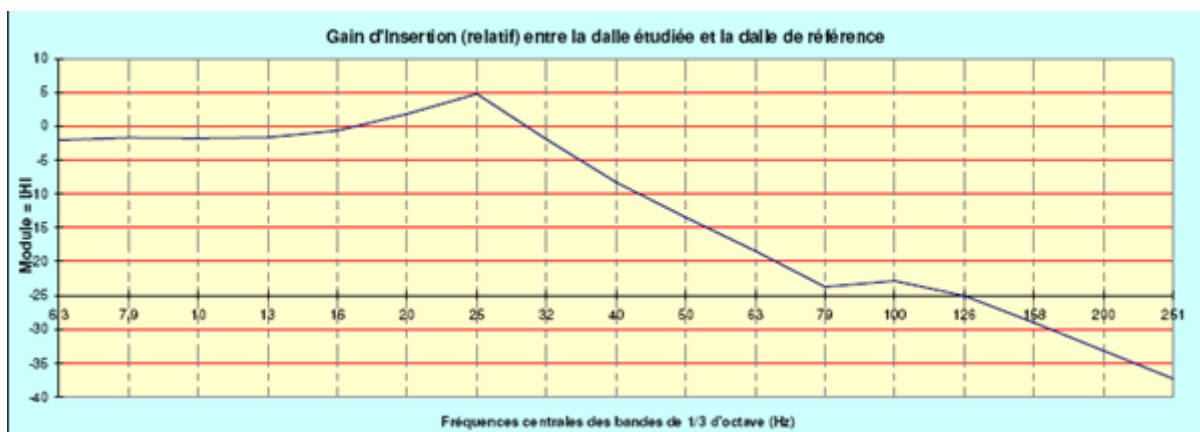


Figura 6 - Guadagno d'inserzione della sezione tipo "livello 2" rispetto alla sez. "livello 0"





- Rigidezza dinamica del supporto elastico continuo: tra 120MN/m/mlr e 140MN/m/mlr
- Coefficiente dinamico del supporto elastico continuo: 1,3

Profilo della rotaia: 60R2 (Inertia  $I_{xx} = 3298.1 \text{ cm}^4$ )

### Smorzamento “Livello L3”

L’efficienza dello smorzamento della sezione è stata stimata mediante simulazioni con massa-molla che confrontano la filtrazione delle vibrazioni del livello 2 con quella del binario standard cosiddetto «di riferimento».

La sezione tipo “Livello 3”, in analogia a quanto effettuato in linea 2 e 3, sarà utilizzata in aree in cui è richiesto un alto livello di attenuazione delle vibrazioni. Tale sistema si è rivelato ottimo in quelle sezioni tranviarie in cui la linea passa in centro storico e/o la distanza tra edifici e binario è molto ridotta (aree sensibili e  $d < 7 \text{ m}$ ).

Il grafico riportato qui sotto indica il guadagno d’inserzione rispetto al binario di riferimento “Livello 0” per le frequenze [0-250Hz].

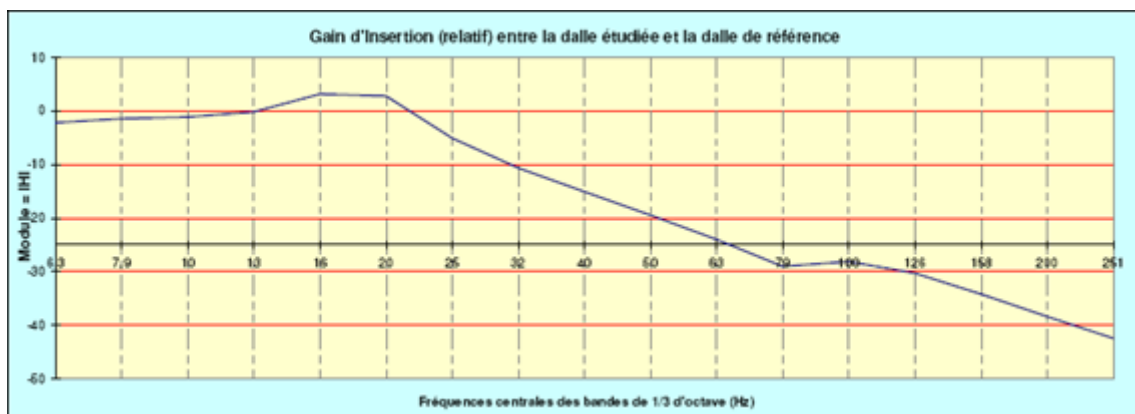


Figura 8 - Guadagno d’inserzione della sezione Tipo “Livello 3” rispetto al “livello 0”

La sezione proposta per il livello 3 presenta una frequenza propria di 15-20 Hz. Il guadagno d’inserzione è efficace oltre la soglia di 20 Hz e superiore a 15dB per tutta la gamma di frequenza al di sopra dei 40 hertz. Nella gamma di frequenze 60-70 Hz si arriva a 23dB.

La sezione considerata presenta pertanto un’ottima performance di smorzamento.

L’elevata rigidità del sistema ERS/CRS è stata scelta in modo da limitare il guadagno d’inserzione positivo alla frequenza propria, mentre la bassa rigidità del materassino ha inteso ottenere un guadagno d’inserzione molto efficace.

Particolare attenzione è stata dedicata al guadagno d’inserzione nella gamma di frequenza tra 40 e 200 Hz in cui è più probabile che vari la frequenza propria degli edifici.

## Fasi di posa armamento con sistema ERS

I lavori preventivi alle attività legate specificatamente all’armamento sono ovviamente analoghi a quelli degli altri sistemi di armamento più tradizionali, dalla recinzione del cantiere allo scavo della sede previo spostamento dei sottoservizi, alla eventuale bonifica del sottofondo con misto stabilizzato e/o cementato per migliorare le caratteristiche di portanza del terreno di sedime, sino alla realizzazione della soletta di fondazione di circa 20 cm.

Non appena il cantiere consente l'uscita degli operai delle opere civili e l'ingresso dei posatori del binario, iniziano le prime operazioni di stoccaggio delle rotaie lungo la linea e dell'approvvigionamento di tutti i materiali di prossimo impiego.

A seconda di come verranno organizzate le fasi di cantierizzazione, si provvederà alla disposizione delle rotaie sopra la soletta di fondazione e alla predisposizione delle infrastrutture per le opere tecnologiche (cavidotto, guaine, corrugati, pozzetti, griglie per la raccolta delle acque, ecc.).

### Incollaggio di rivestimenti elastiche e posa delle rotaie

Prima dell'installazione i profili di rivestimento elastico sono incollati alle rotaie diritte e curve in un sito protetto e le estremità delle rotaie sono lasciate libere per una lunghezza minima (< 1200 mm) al fine di consentire le saldature.

I profili sagomati sono incollati lungo la rotaia al fine di evitare ogni contatto tra la rotaia stessa ed il materiale circostante (calcestruzzo). La sagoma di questi profili garantisce un fissaggio perfetto delle rotaie sul letto del binario in calcestruzzo. Questi elementi hanno anche la funzione di proteggere i binari stessi durante lo stoccaggio e le fasi di posa.

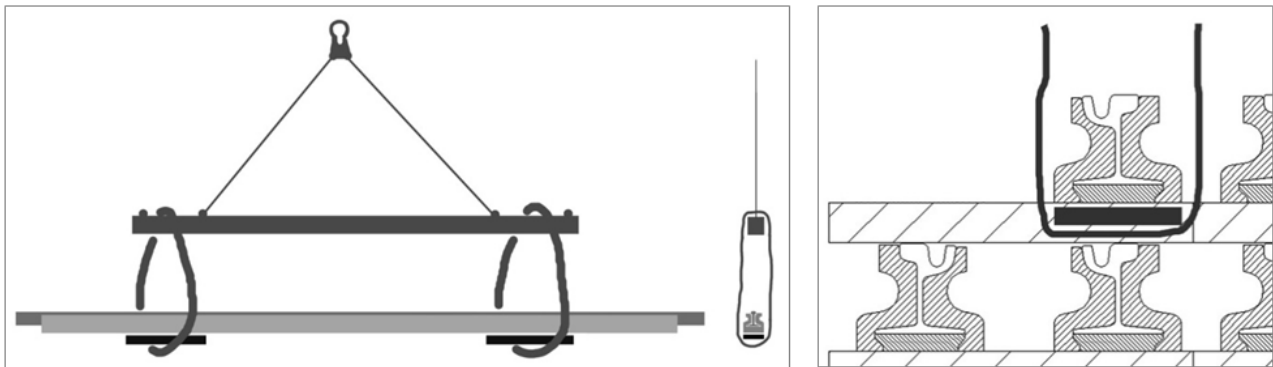


Figura 9 - Sistema di trasporto e movimentazione delle rotaie

Il trasporto e la movimentazione delle rotaie già rivestite dovranno avvenire come rappresentato in figura, avendo cura di non danneggiare il rivestimento in gomma.

Successivamente all'operazione di saldatura la rotaia verrà rivestita in cantiere grazie a due moduli di profilo che verranno serrati alle rotaie per permettere di effettuare il getto.

### Saldatura delle rotaie

Le rotaie sono saldate testa a testa tramite saldature alluminotermiche da saldatori abilitati e qualificati. Nelle foto si possono osservare le fasi delle operazioni di saldatura con procedimento alluminotermica.



Figura 10 - Foto esempio delle operazioni di saldatura con procedimento alluminotermica

## Montaggio e pre-regolazione del binario

Le rotaie assemblate sono dopo montate e fissate in portalini di posa distribuiti ogni 3,0 m che assicurano il livellamento ed allineamento X,Y,Z (posizionamento, scartamento, profilo longitudinale, ...) partendo dalla quota del Piano del Ferro (PdF).



Figura 11 - Installazione rotaie con portalini

Gli assi del binario saranno tracciati partendo dalla poligonale di base secondo i punti caratteristici del tracciato definiti nel Progetto Esecutivo. Dopo aver realizzato questi due assi, dei punti intermedi consentiranno la regolazione planimetrica ed altimetrica dei binari. (4 m in curva e 20 m in rettilineo)

Le tolleranze di costruzione del binario e dei deviatori sono definite nella tabella sottostante:

Controlli	Tolleranze Binario
Scartamento (UNI 3648)	+/- 2 mm
Variazione di scartamento	1 mm/m
Allineamento verticale	+/- 10 mm
Variazione di allineamento verticale	1 mm/m

Allineamento orizzontale	+/- 5 mm
Variazione di allineamento orizzontale	1 mm/m
Usando corde di 10m in curve di raggio > 200m Per le curve di raggio < 200m, usare il criterio dell'allineamento orizzontale	+/- 1 mm
Sopraelevazione	+/- 2 mm
Variazione di sopraelevazione	1 mm/m

I portalini sono dotati di due piastrine formate da due piatti metallici e da una cerniera, le rotaie sono attestate e fissate contro i due piatti metallici interni, in questo modo si ottiene lo scartamento di binario richiesto.

Quando è così fissata, la rotaia può essere alzata grazie alle due grandi barre filettate esterne. Una volta regolata la rotaia all'altezza corretta, le barre filettate orizzontali vengono sbloccate per lasciare scivolare l'insieme delle due rotaie verso la quota di regolazione laterale.

### Installazione delle armature, attrezzature secondarie altre tecnologie

Una volta effettuati il posizionamento e regolamento delle rotaie, si posano le armature del calcestruzzo e le attrezzature secondarie:

- guaine e riserve per cavi di alimentazione diverse: guaine di comando dei dispositivi, guaine per la segnalazione ferroviaria e stradale, guaine di ritorno trazione, ritorno di trazione, collegamenti rotaia-rotaia, binario-binario;
- canalette o semi-canalette di drenaggio, scatole di riscaldamento;
- cassero per forme di superficie (incisioni);
- altre predisposizioni impiantistiche.



Figura 12 - Armature ed attrezzature secondarie

### Cassero del binario e giunti di costruzione trasversali

Nello stesso tempo e secondo la situazione, sono eventuali installati casseri laterali e trasversali (giunti trasversali di costruzione) ai binari prima del getto di calcestruzzo.

I giunti trasversali di costruzione corrispondono alle fasi d'arresto del cantiere, alle interruzioni di fine giornata o nel caso di interruzioni abbastanza lunghe durante le quali il calcestruzzo rischia di cominciare a fare presa.



*Figura 13 - Giunto di costruzione trasversale*

Tali giunti si trovano sotto il rivestimento all'altezza del calcestruzzo di posa dei binari e sono costruiti in polistirene denso o materiale simile.

Il tracciato dei giunti è perpendicolare all'asse longitudinale. Sono distanziati al massimo ogni 30 metri di piattaforma.

### Getto del calcestruzzo di bloccaggio

Il binario viene in seguito regolato in rispetto alle tolleranze di costruzione descritte nella tabella prima riportata e controllato prima che sia effettuato il getto di fissaggio.

Il calcestruzzo di bloccaggio C35/45 è poi gettato alla pompa o direttamente con canalette di scolo secondo le facilità di accesso. Durante questa operazione esso sarà sottoposto a vibrazioni; in seguito, un prodotto di rifinitura sarà vaporizzato sulla superficie del calcestruzzo colato.

In questo modo, la rotaia nonché le protezioni degli attacchi saranno protette.



*Figura 14 - Getto calcestruzzo di bloccaggio del materassino*

## Rimozione degli elementi di regolazione

Il giorno successivo il getto del calcestruzzo può essere effettuata la rimozione dei portalini e elementi di cassero. I vari elementi saranno riuniti e sgomberati. Questi materiali saranno poi puliti e ricondizionati per un nuovo utilizzo.

Una volta che la piattaforma è liberata, viene realizzata la finitura e pulizia del binario.

## Controllo successivo il betonaggio e rifiniture

In seguito al betonaggio, sarà effettuato un controllo della posizione del binario e dell'impianto delle attrezzature. Contemporaneamente, avranno luogo le operazioni di rifinitura e pulizia del binario. Gli eventuali depositi di calcestruzzo saranno eliminati durante questa operazione.

La finitura potrà essere effettuata indifferentemente con autobloccanti o in asfalto. Nella figura sottostante si nota il caso di finitura in autobloccanti. Mancano le rifiniture in prossimità del ferro.

Nella figura accanto si nota invece un dettaglio della griglia di raccolta delle acque di piattaforma bene inserita nel contesto della pavimentazione.



Figura 15 - Controllo finiture

## Posa del binario su soletta flottante Tipo L2 e L3 (Livelli 2 e 3)

Il principio e la realizzazione del binario sono identici a quelli precedentemente descritti per il Tipo L0.

La piastra flottante appoggiata è realizzata fra ponendo tra la piastra di fondazione e il calcestruzzo del binario un materassino continuo di spessore e rigidità definiti sulla base delle prestazioni di attenuazione delle vibrazioni da ottenere.

L'isolamento vibratorio della piastra appoggiata elasticamente è realizzato lateralmente posizionando una placca di polistirene o di un materiale simile contro le polifore cavidotti.

Il materassino antivibrazione, posizionato sia in verticale che in orizzontale, potrà essere separato dal successivo getto mediante un foglio di polietilene.

Al fine di proteggere il materassino antivibrazione durante le operazioni di consegna, di montaggio e di posa del binario, sarà realizzato uno strato di calcestruzzo spesso 15 cm posto subito al di sopra dello strato resiliente.

Solo dopo l'allineamento del binario si effettuerà il getto di fissaggio.

Nel caso di posa sul materassino, i giunti trasversali di dilatazione (delle piastre in calcestruzzo) sono posizionati ad intervalli regolari tra i 4 ed i 6 metri su tutta la lunghezza della piattaforma, creando così delle “piastre” di binari isolate ed indipendenti che potranno essere rimosse in caso di manutenzione del materassino stesso.