

## Sistema Tramviario Fiorentino

RTI Progettisti:

**SYSTRA**

**SOTECNI**  
SYSTRA GROUP



### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER L'ESTENSIONE DEL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO NEI COMUNI DI FIRENZE, CAMPI BISENZIO E SESTO FIORENTINO - FASE C

#### LINEA 4.2 - ESTENSIONE PER CAMPI BISENZIO

## ARMAMENTO

### Relazione tecnica armamento

COMUNE DI FIRENZE  
SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

ING. FILIPPO MARTINELLI

IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO

ING. CHIARA BERSIANI

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE E DEL COORDINAMENTO FRA  
LE VARIE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

ING. PAOLO MARCHETTI



#### Gruppo di Progettazione:

Ing. A. Piazza (Coordinatore Tecnico)  
Dott. Geol. F. Valdemarin (Progettazione Geologica)  
Ing. A. Benvenuti (Progetto Opere Idrauliche)  
Dott.ssa B. Sassi (Indagini Preliminari Archeologiche)  
Ing. F. Tamburini (Studi di carattere Ambientale)  
Ing. M. Angeloni (Valutazione Previsionale di Impatto Acustico)  
Ing. S. Caminiti (Prog. Ferrotranviario Studi Trasportistici)  
Ing. J. Wajs (Progetto Impianti Tecnologici)  
Ing. G. D'Angelo (Progetto Strutture)  
Ing. D. Salvo (Progetto Arch./Paesaggistico Inser. Urbanistico)  
Ing. F. Conti (Sicurezza - Prime Disposizioni)  
Ing. B. Rowenczyn (Piani Economici e Finanziari)  
Ing. G. Coletti (Progettazione Funzionale Depositi Tramviari)  
Ing. L. Costalli (Esperto in Esercizio)  
Ing. F. Azzarone (Impianti Meccanici)  
Ing. D. D'Apollonio (Impianti Elettrici)  
Ing. V. Astorino (Cantierizzazione)  
Ing. P. Caminiti (Viabilità Interferenti)  
Arch. A. Moscheo (PP.SS. Interferenti)  
Ing. A. Lucioni (CAM)  
Ing. D. Russo (Stime, Capitolati)

COMMESSA	LINEA	FASE	DISCIPLINA	TIPO/NUMERO	REV.	SCALA	NOME FILE
B382	42	SF	ARM	RT001	B	—	B382-4.2-SF-ARM-RT001-B

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	Dic. 2019	EMISSIONE	CONTI	CAMINITI	MARCHETTI
1	Giugno 2020	AGGIORNAMENTO A SEGUITO DI ISTRUTTORIE	CONTI	CAMINITI	MARCHETTI
2					

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>DESCRIZIONE GENERALE DEL PROGETTO .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>PARAMETRI DI PROGETTO E DI ESERCIZIO .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>NORME DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>CONTENIMENTO DELLE VIBRAZIONI E DELLE CORRENTI VAGANTI .....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>CORRENTI VAGANTI .....</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>RUMORE .....</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>CONFRONTO TRA I VARI SISTEMI DI ARMAMENTO L0, L0M, L2 ED L3. ....</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>ARMAMENTO CON SISTEMA TRADIZIONALE DI FISSAGGIO DELLE ROTAIE L0M .....</b>	<b>20</b>
<b>9</b>	<b>ARMAMENTO CON SISTEMA ERS (EMBEDDED RAIL SYSTEM) .....</b>	<b>22</b>
<b>10</b>	<b>ASSEGNAZIONE DELLE SEZIONI TIPOLOGICHE DI ARMAMENTO SUL TRACCIATO BASE .....</b>	<b>25</b>
<b>11</b>	<b>PROGRAMMA DI SVILUPPO .....</b>	<b>27</b>
11.1	SEZIONE TIPO L0 “LIVELLO 0” .....	27
11.2	SMORZAMENTO LIVELLO 0.....	28
11.3	SEZIONE TIPO L2 “LIVELLO 2” .....	28
11.4	CARATTERISTICHE GENERALI DELLA SEZIONE TIPO L2 LIVELLO 2 .....	29
11.5	SMORZAMENTO OTTENUTO – “LIVELLO 2” .....	30
11.6	SEZIONE TIPO L3” LIVELLO 3” .....	32
11.7	SMORZAMENTO OTTENUTO – “LIVELLO 3” .....	33
11.8	FASI DI POSA ARMAMENTO CON SISTEMA DI FISSAGGIO TRADIZIONALE DELLE ROTAIE .....	34
11.8.1	<i>Fasi di Posa Armamento con sistema ERS .....</i>	<i>35</i>
11.8.2	<i>Incollaggio di rivestimenti elastiche e posa delle rotaie .....</i>	<i>36</i>
11.8.3	<i>Saldatura delle rotaie .....</i>	<i>36</i>
11.8.4	<i>Montaggio e pre-regolazione del binario .....</i>	<i>37</i>
11.8.5	<i>Installazione delle armature, attrezzature secondarie altre tecnologie .....</i>	<i>39</i>
11.8.6	<i>Getto del calcestruzzo di bloccaggio.....</i>	<i>40</i>

---

11.8.7	Rimozione degli elementi di regolazione .....	41
11.8.8	Controllo successivo il betonaggio e rifiniture .....	41
11.8.9	Posa del binario su soletta flottante Tipo L2 e L3 (Livelli 2 e 3) .....	42

## INDICE DELLE FIGURE

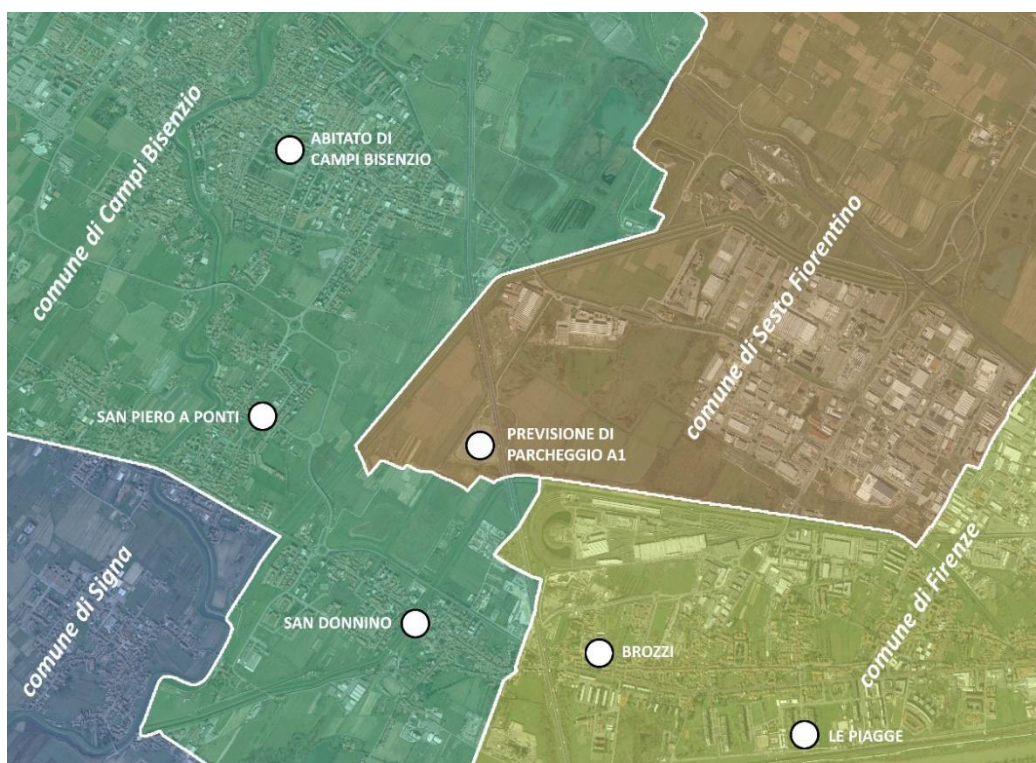
Figura 1 - Aree d'interesse collegate .....	4
Figura 2 - Tracciato linea 4.2 .....	5
Figura 3 - Schema del sistema di attacco tipo SD.....	20
Figura 4 - Sezione trasversale armamento con sistema ERS.....	22
Figura 5 - Tipologia di armamento L0.....	27
Figura 6 - Tipologia di armamento L2.....	29
Figura 7 – Guadagno d’inserzione della sezione Tipo “Livello 2” rispetto alla L0 “Livello 0” .....	31
Figura 8 – Tipologia di armamento L3 .....	32
Figura 9 – Guadagno d’inserzione della sezione Tipo “Livello 3” rispetto al “livello 0” .....	34
Figura 10 – Schema di trasporto e movimentazione delle rotaie .....	36
Figura 11 – Foto esempio delle operazioni di saldatura con procedimento alluminotermica.....	37
Figura 12 – Foto esempio di montaggio del binario.....	37
Figura 13 – Foto esempio di installazioni armature .....	39
Figura 14 – Foto esempio di giunti di costruzione .....	40
Figura 15 – Foto esempio di getto del calcestruzzo di bloccaggio .....	41
Figura 16 – Foto esempio di griglia di raccolta delle acque di piattaforma .....	42

## 1 Descrizione generale del progetto

Il tracciato della linea 4.2, dalla fermata capolinea Piagge della linea 4.1 al centro abitato di Campi Bisenzio, interessa i territori comunali di Firenze e Campi Bisenzio.

La morfologia del territorio compreso tra Le Piagge e Campi si presenta regolare nell'andamento planimetrico con una quota di campagna costante intorno ai 36m slm, lungo tutta la previsione del tracciato. I dislivelli presenti sono di origine antropica, in prevalenza rilevati stradali, argini e sistemi di casse di espansione.

La linea si sviluppa all'interno di tessuti urbani variegati, cittadini come all'interno dell'abitato di Campi Bisenzio, a Le Piagge e a Brozzi, ed extraurbani tra San Donnino e San Piero a Ponti.



**Figura 1 - Aree d'interesse collegate**

Questa nuova linea tranviaria nasce come prolungamento della linea 4.1 Leopolda – Le Piagge anch'essa in fase di progettazione.



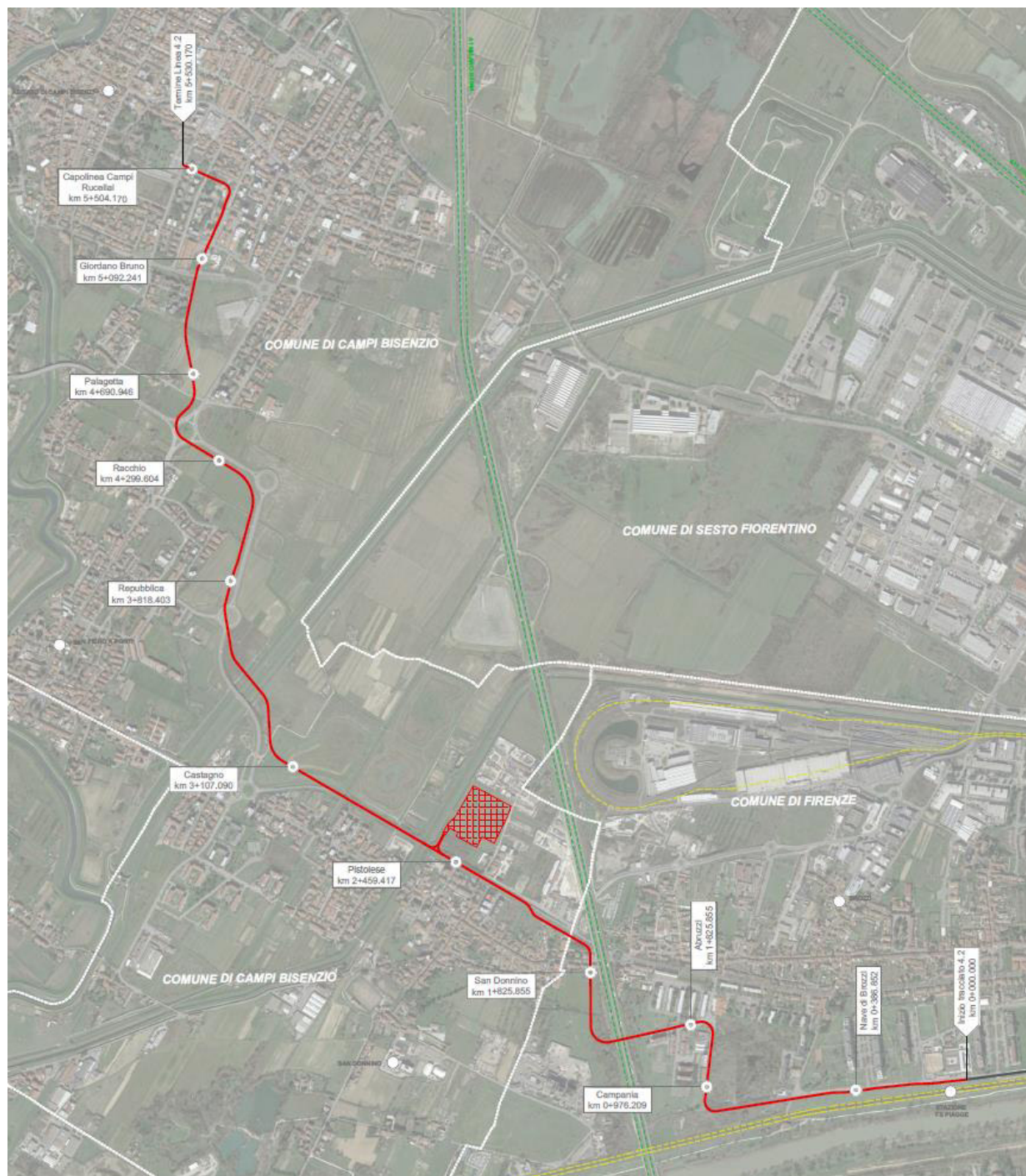


Figura 2 - Tracciato linea 4.2

Il tracciato della linea 4.2, dalla fermata capolinea della linea 4.1 si svilupperà nell'area de Le Piagge su via Lazio, via San Donnino, via Campania e via Abruzzi attraverserà l'autostrada A11 sfruttando un sottopasso esistente. Tramite un tratto in area non urbanizzata in affiancamento all'autostrada giungerà all'incrocio con via Pistoiese. Nel tratto sopracitato si prevede la realizzazione di 4 fermate.

Dall'incrocio con via Pistoiese la linea si svilupperà in direzione SR 66 e tramite l'estensione del rilevato stradale esistente, proseguirà per quasi tutta l'estensione dell'SR66 in affiancamento alle corsie esistenti.

In un'area adiacente alla SR 66 e prossima alla fermata Pistoiese si prevede la realizzazione del deposito rimessaggio a servizio del sistema tranviario.

Successivamente, la linea si svilupperà lungo un'area verde e mediante la realizzazione di un ponte tranviario passerà il fosso Reale e si ricongiungerà al tracciato stradale esistente in prossimità della rotatoria su viale Roti.

Da lì il tracciato proseguirà in affiancamento alla viabilità esistente in direzione centro abitato di Campi Bisenzio. Passando per un tratto di via Palagetta e per un'area non urbanizzata giungerà in via Giordano Bruno.

Nel tratto dalla SR66 a via G. Bruno si prevede la realizzazione di 4 fermate.

Successivamente la linea si svilupperà nel centro abitato di Campi Bisenzio su via Botticelli e via Ghirlandaio per giungere al capolinea in Piazza Aldo Moro. In quest'ultimo tratto sono previste 2 fermate.

Il tracciato sopracitato è stato progettato tutto in sede riservata (doppio binario) ad eccezione di un tratto in promiscuo in via Sandro Botticelli.

Nella tabella allegata nel paragrafo sulla "assegnazione delle sezioni tipologiche sul tracciato base" sono riportati gli sviluppi delle varie tratte omogenee per livelli di smorzamento.

La normativa di riferimento per la progettazione dell'armamento sono i Codici UIC (Internal Union of Railways), la normativa europea, le norme UNI e le norme ISO.

---

Oggetto dello studio dell'armamento sono: la fornitura e il posizionamento delle rotaie in linea sia protetta che promiscua (appoggi, profili in gomma, rotaie, saldature, giunti isolanti, ballast, traverse...) compresi tutti i materiali di fissaggio per tutti i tipi di posa realizzati, la fornitura e la posa degli scambi (eccetto i sistemi di manovra, i dispositivi di azionamento motorizzati e gli strumenti di controllo), la fornitura e la posa di materiali anti-vibranti ecc. il tutto sia in linea che in deposito.



## 2 Parametri di progetto e di esercizio

Per parametri geometrici di progetto si sono assunti gli stessi utilizzati per la redazione del Progetto Esecutivo delle linee 2 e 3 (I lotto) in quanto la tratta in questione, essendo una semplice variante di tracciato, non potrebbe avere caratteristiche differenti. Pertanto si è assunto quanto segue:

- Tipo di mezzo: veicolo tramviario bidirezionale;
- Scartamento: 1435 mm;
- Alimentazione elettrica: 750 V c.c.;
- Altezza minima del filo conduttore della linea aerea dal piano rotaie: 4,40 m;
- Altezza delle banchine di fermata sul piano del ferro: 30 cm;
- Lunghezza delle banchine di fermata: 44,00m (39,00);
- 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 in linea: 7,00 %;
- Pendenza massima longitudinale nelle fermate: 2 %;
- Raggio minimo planimetrico in linea: 20,00 m;
- Sopraelevazione in curva: non prevista;
- Raccordi di transizione: clotoïdali;
- 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 intervista non palificata: 3,10 m;

Il veicolo previsto ha le seguenti caratteristiche geometriche:

- Larghezza vettura: 2.400 mm;
- Lunghezza vettura: 31.900 mm;
- Altezza massima cassa vettura: 3.414 mm;
- Altezza pianale, nella zona ribassata, dal piano del ferro: 350 mm;
- Altezza specchio retrovisore dal piano del ferro: 2.002 mm;
- Interperno: 7.100 mm;
- Passo: 1.700 mm;
- Distanza asse carrello – frontale vettura (sbalzo): 4.850 mm;
- Distanza asse carrello – inizio rastrema tura: 3.000 mm;

Le prestazioni principali indicative sono le seguenti:

- Velocità massima di servizio: 70 Km/h;
- Accelerazione di avviamento: 1,0 m/sec<sup>2</sup>;
- Decelerazione in frenatura di esercizio: 1,2 m/sec<sup>2</sup>;
- Pendenza massima superabile in linea: 7,00 %
- Scartamento dei binari: 1435 mm;
- Minimo raggio di curvatura planimetrico ammesso: 20,00 m;
- Raggio minimo dei raccordi verticali concavi e convessi: 350,00 m.

Come per il resto delle linee anche in questa variante si è privilegiato un tracciato che assicuri il comfort del passeggero limitando al minimo l'accelerazione centrifuga (trasversale) avvertita dai viaggiatori e la sua variazione nel tempo (accelerazione longitudinale, contraccollo ecc.).

### 3 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.

## 4 Contenimento delle vibrazioni e delle correnti vaganti

Nei Comuni interessati, Firenze e Campi, ed in particolare nel tratto oggetto dalla presente progettazione non è stata rilevata la presenza di edifici storici, bensì di una serie di luoghi sensibili e strategici quali quelli individuati nelle relazioni specialistiche. 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.

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.

### 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. A livello di progettazione preliminare si possono assimilare le condizioni del tracciato in variante a quelle di tratte analoghe del resto delle Linee 2 e 3 (I lotto) tenendo anche in conto le esperienze acquisite in altri progetti di diverse città europee.

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):

- $d_{min} > 12m$ : 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 antivibrazionali (materassino elastomerico, piastrelle 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 antivibrazioni 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 desunte da quelle del tram Sirio, che costituisce la fornitura unica per tutto il parco macchine previsto per la rete (Linee 1, 2, 3(I lotto) ed ampliamento Linea 3):

- 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).

## 5 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  $9\text{kHz} \div 30\text{MHz}$  per il campo magnetico H (componente orizzontale) e  $30\text{MHz} \div 1\text{GHz}$  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 loro forma e la posa isolino la rotaia del binario rispetto alla piattaforma in calcestruzzo e rispetto al piano di finitura;  
Collegamenti rotaia-rotaia e binario-binario ad intervalli regolari usando cavi isolati.

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.



---

## 6 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 marezzatura 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.

---

## 7 Confronto tra i vari sistemi di armamento L0, L0m, L2 ed L3.

---

L'armamento L0m presenta un sistema tradizionale di fissaggio di tipo ferroviario su traversine, invece l'armamento L0, L2 e L3 presentano un sistema di fissaggio ERS, tipico della tranvia.

Il **sistema** detto anche **ERS** (Embedded Rail System) prevede la posa di rotaie rivestite da profili in gomma che vengono posizionate mediante portalini e fissate in opera con un getto di bloccaggio. Tale sistema largamente utilizzato in Europa (Parigi, Madrid, Bruxelles, Atene ecc.) è attualmente quello proposto per la realizzazione delle linee 2 e 3 di Firenze. Variando le caratteristiche delle gomme sottorotaia e dell'eventuale materassino sottoplatea il sistema consente una notevole gamma di soluzioni prestazionali. Le recenti applicazioni, quali per tutte quella di Atene, hanno consentito di perfezionare la posa migliorando la precisione nell'allineamento delle rotaie nonché alcuni dettagli costruttivi, rendendolo sicuro e affidabile.

Nei casi in cui il sistema non necessita di particolari accorgimenti antivibranti e quindi può essere realizzato con sistemi di fissaggio tradizionali (attacchi elastici), tenuto anche in considerazione che trovandosi su sedime ferroviario si potrà riutilizzare il ballast esistente, si è ricorsi alla tipologia definita L0m. Tale variante all'ERS è stata limitata alla sola tratta che attualmente insiste su sedime ferroviario. La realizzazione di tale tipologia di armamento potrà essere effettuata anche ricorrendo a sistemi di posa meccanizzati, mediante l'utilizzo di macchinari appositamente progettati.

## 8 Armamento con sistema tradizionale di fissaggio delle rotaie L0m

### Caratteristiche della Sezione tipo L0m Livello 0

Si è deciso di riproporre un sistema di armamento tradizionale, più economico, anche in ragione della distanza dei fabbricati dall'asse dei due binari, tale da non richiedere particolari accorgimenti.

Per aumentare le prestazioni antivibranti del sistema si sono comunque previste delle cuffie da posizionare sotto le traverse monoblocco RFI 230 SV.

Il sistema di attacco tipo SD per traverse monoblocco RFI 230 SV, già attrezzate di tasselli SDU09A. Questo sistema è premontato direttamente dal traversaio quindi la traversa è consegnata su cantiere tutt'attrezzata, l'attacco è montato e posizionato in modo aperto.

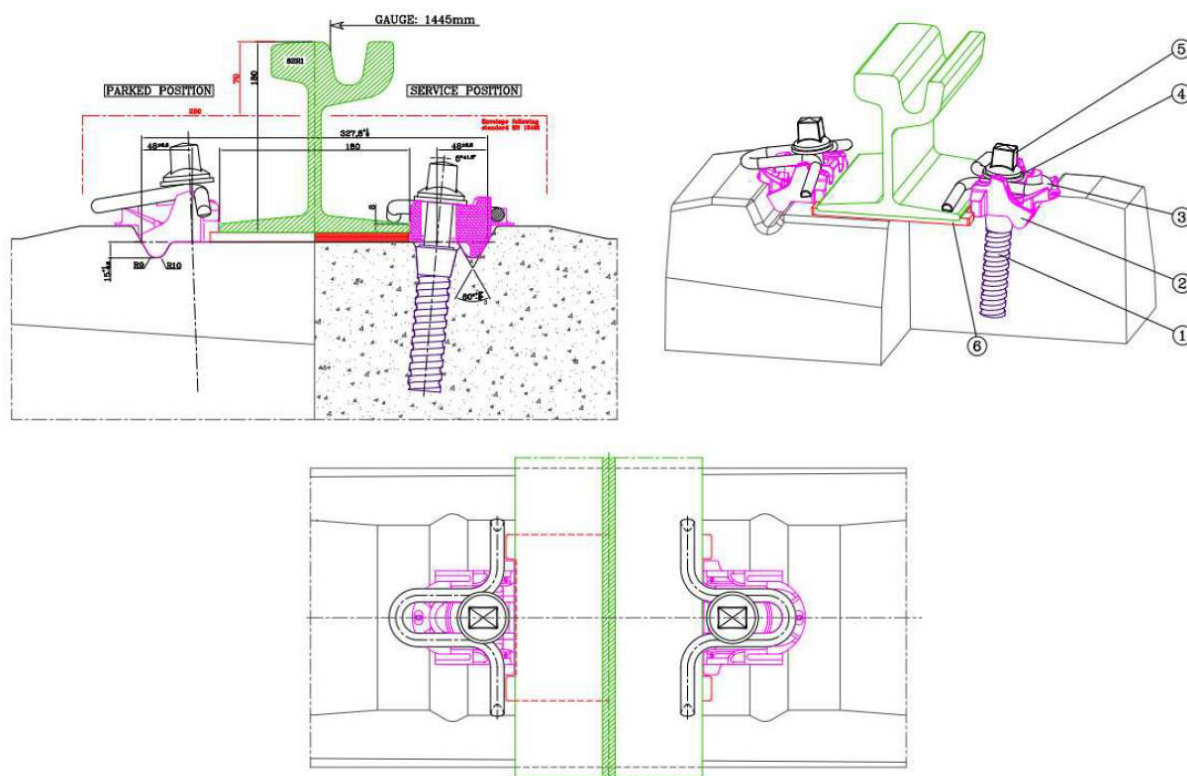


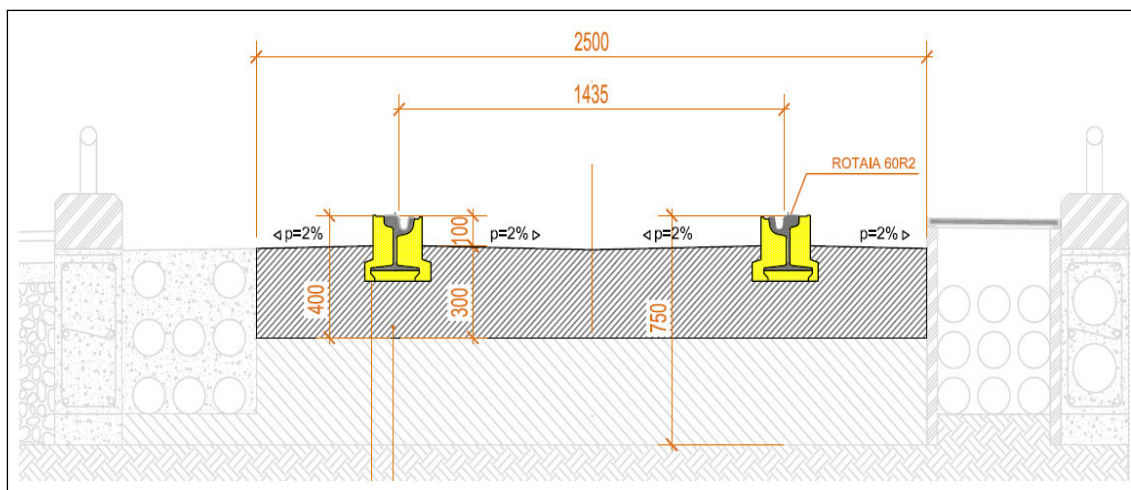
Figura 3 - Schema del sistema di attacco tipo SD

La finitura del binario verrà effettuata associando i guanciali in gomma ai lati delle rotaie e pavimentando con autobloccanti. Sarà comunque possibile in fase di successivi approfondimenti sostituire gli autobloccanti con asfalto o altre soluzioni che dovessero rendersi più opportune.

## 9 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 4 - Sezione trasversale armamento con sistema ERS**

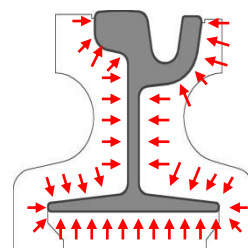
Per ogni tipo di rotaia (nel nostro caso la 60R2) viene realizzata su misura una specifica forma di profilo avvolgente, che assicura una trasmissione ottimale di carico verso la struttura portante. Il principio è applicato soprattutto per binari interrati che utilizzano rotaie a gola in ambiente urbano con uso multi-modale (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 rigidità finali di profili di rivestimento in elastomero granulare saranno determinati sulla base delle prestazioni richieste per l'attenuazione delle vibrazioni.



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 & 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	< 20 Mpa

---

(5 Hz. A 0.04 Mpa +/- 20%)	
Assortimento 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.

## 10 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, in funzione del livello prestazionale adottato in Linea 2 e 3 (I lotto) 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 L0m.

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.

LINEA			
Prog. Iniziale [m]	Prog. finale [m]	Lunghezza [m]	Tipologia armamento
0,000	1.803,855	1.803,855	Armamento tipo L0
1.803,855	1.932,554	128,699	Armamento tipo L2
1.932,554	3.375,446	1.442,892	Armamento tipo L0
3.375,446	3.525,810	150,364	Armamento tipo L0m
3.525,810	4.601,570	1.076,760	Armamento tipo L0
4.601,570	5.023,422	421,852	Armamento tipo L2
5.023,422	5.447,708	424,286	Armamento tipo L3
5.447,708	5.530,170	82,462	Armamento tipo L2

Totale Linea	
Tipologia armamento	Sviluppo ml singolo binario
Armamento tipo L0	8.645,014
Armamento tipo L0m	300,728
Armamento tipo L2	1.349,069
Armamento tipo L3	864,687
	<b>11.159,498</b>

Tipologia armamento	Quantità
Comunicazione semplice	2
Scambio semplice	1
Comunicazione doppia	1
Bivio	4

Terzo braccio capolinea Rucellai	
Tipologia armamento	Lunghezza [m]
Armamento tipo L3	16,115
Armamento tipo L2	83,043

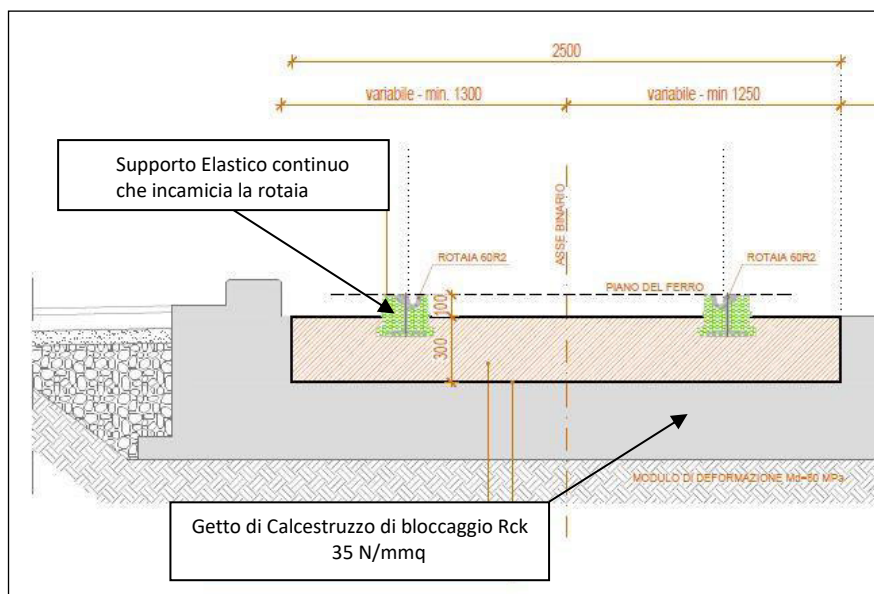
Deposito	
Tipologia armamento	Quantità
Armamento tipo L0 [mbs]	2.516,693
Pettini a 3 vie	1
Pettini a 7 vie	2
Scambi	5
Bivio	1

## 11 PROGRAMMA DI SVILUPPO

### 11.1 Sezione tipo L0 “Livello 0”

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.



**Figura 5 - Tipologia di armamento L0**

Caratteristiche generali della Sezione tipo 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  $50\text{N/mm}^2$  (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  $I_{xx} = 3298.1\text{ cm}^4$ )

## 11.2 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.

## 11.3 Sezione tipo L2 “Livello 2”

A partire dalla sezione tipo L0 corrispondente al livello 0 di smorzamento semplicemente interponendo materiali resilienti tra la piastra di fondazione ed il getto di bloccaggio si determinano,

in analogia a quanto proposto nelle linee 2 e 3, 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 L2 “Livello 2” si ottiene interponendo tra la piastra di fondazione ed il getto di bloccaggio un materassino elastomerico a medio smorzamento.

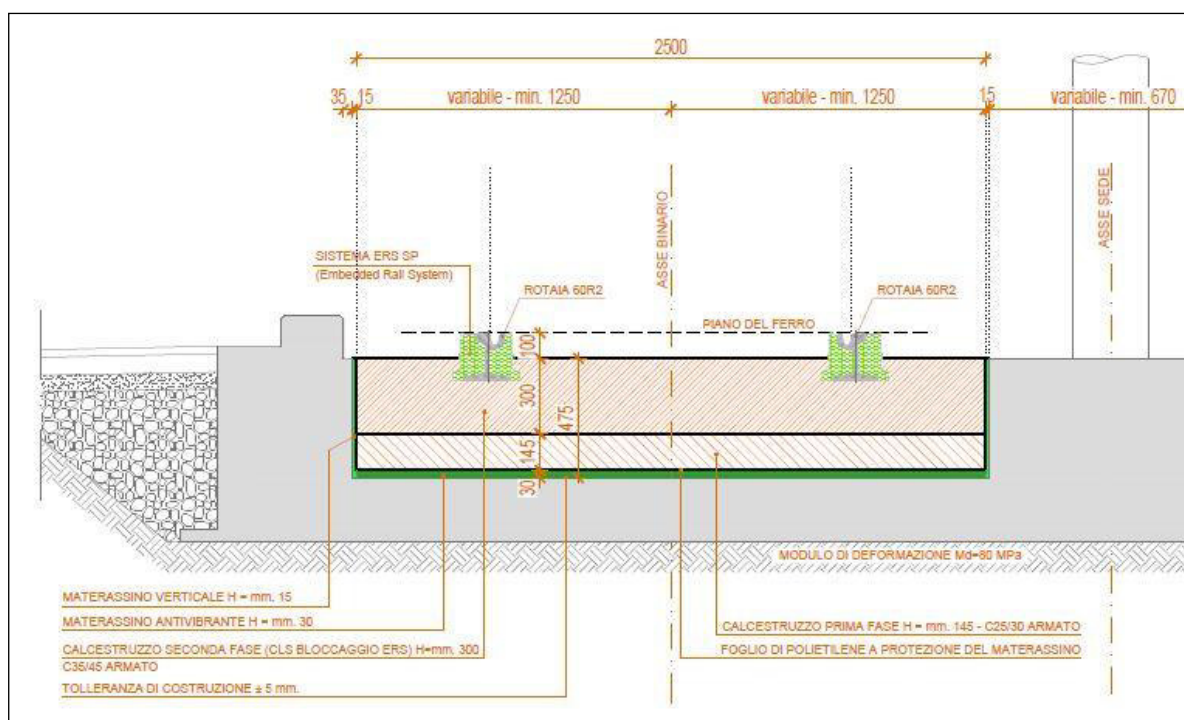


Figura 6 - Tipologia di armamento L2

#### 11.4 Caratteristiche generali della Sezione tipo 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 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 piastrelli 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  $I_{xx} = 3298.1\text{ cm}^4$ )

### 11.5 Smorzamento ottenuto – “Livello 2”

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 12m 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].

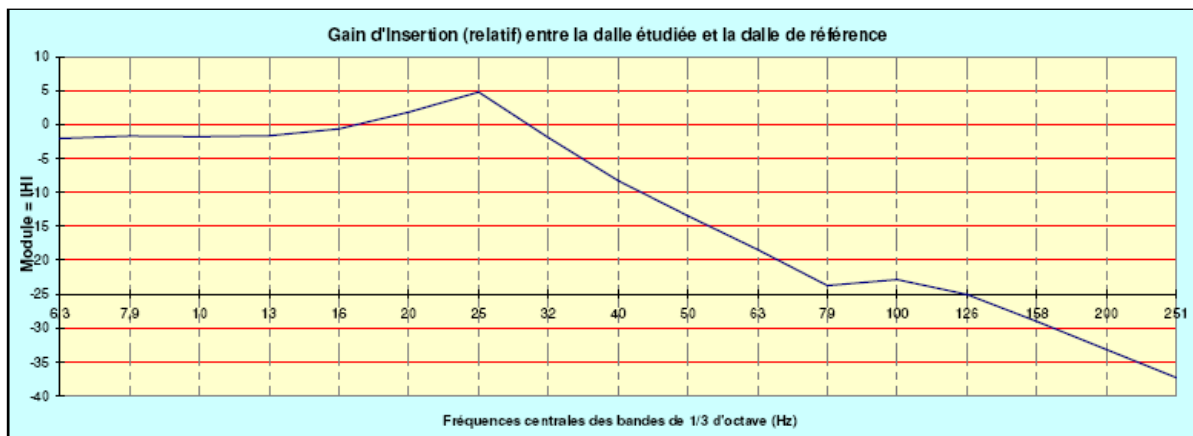


Figura 7 – Guadagno d’inserzione della sezione Tipo “Livello 2” rispetto alla L0 “Livello 0”



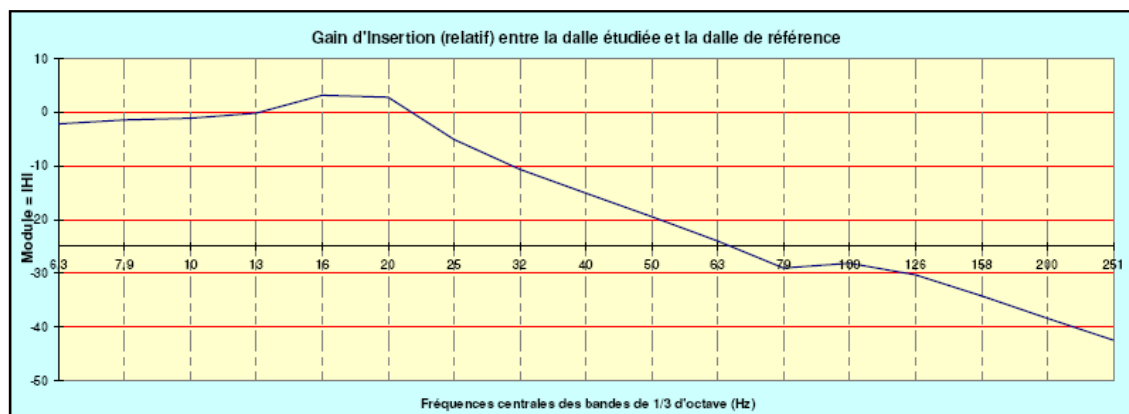
- Materassino elastomero (le caratteristiche del materassino elastomerico dovranno essere verificate nel progetto esecutivo).
- Larghezza: 2503mm
- Spessore: circa 15mm (lato vasca); circa 30mm (base vasca)
- Rigidità dinamica  $C_{dyn}$  = nella gamma dei 15MN/m<sup>3</sup>
- Coefficiente di elasticità dei piastrini in gomma sottorotaia: 1,3
- Soletta di protezione del materassino in c.a. (cls con resistenza alla compressione  $R_{ck}$  di 25kN/mm<sup>2</sup>) alta 135 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 35kN/mm<sup>2</sup>)
  - 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 120MN/m/mlr e 140MN/m/mlr
- Coefficiente dinamico del supporto elastico continuo: 1,3
  - Profilo della rotaia: 60R2 (Inertia  $I_{xx}$  = 3298.1 cm<sup>4</sup>)

### 11.7 Smorzamento ottenuto – “Livello 3”

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  $d < 7$  m).

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



**Figura 9 – 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.

### 11.8 Fasi di Posa Armamento con sistema di fissaggio tradizionale delle rotaie

Le fasi di posa del sistema L0m prevedono:

- Taglio delle rotaie vignole esistenti e trasporto per rottamazione delle rotaie stesse e delle traversine.
- Spostamento del ballast per la realizzazione delle polifore laterali
- Riposizionamento del ballast.



- Allestimento dei nuovi binari su traverse monoblocco RFI 230 SV con sistema di attacco tipo SD con rotaia 60R2.
- Rincalzatura del binario.
- Posa dei giunti laterali alle rotaie.
- Pavimentazione con autobloccanti.

Il sistema in tal modo pur consentendo la carrabilità non si presta ad uno stress da carichi frequenti, per cui è sconsigliato prevedere che vi possano transitare mezzi gommati con frequenza elevata.

Le saldature delle rotaie saranno di tipo alluminotermico.

#### **11.8.1 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.

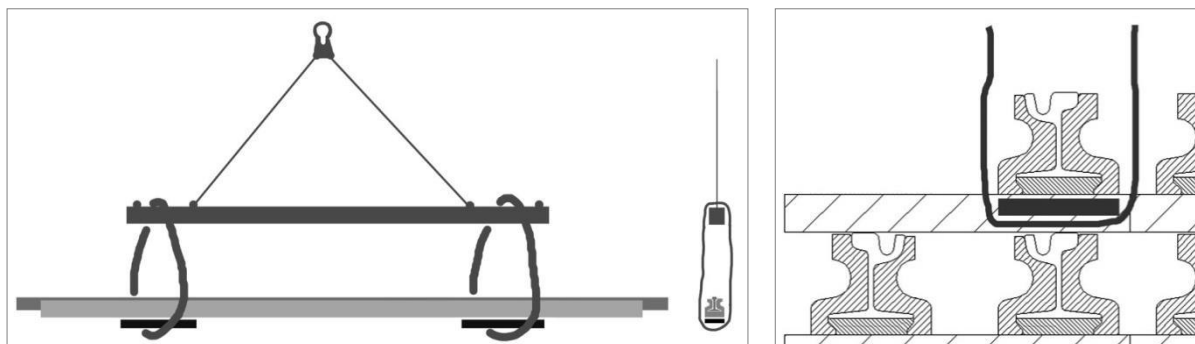
Non appena il cantiere consente l'uscita degli operai delle opere civili e l'ingresso dei posatori del binario, iniziano le prime operazioni di stoccaggio delle rotaie lungo la linea e dell'approvvigionamento di tutti i materiali di prossimo impiego.

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.).

### 11.8.2 Incollaggio di rivestimenti elastici 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 10 – Schema 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.

### 11.8.3 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 11 – Foto esempio delle operazioni di saldatura con procedimento alluminotermica**

#### **11.8.4 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 12 – Foto esempio di montaggio del binario**

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.



### 11.8.5 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 13 – Foto esempio di installazioni armature

### 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 14 – Foto esempio di giunti di costruzione**

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.

#### **11.8.6 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 15 – Foto esempio di getto del calcestruzzo di bloccaggio**

#### ***11.8.7 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.

#### ***11.8.8 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 16 – Foto esempio di griglia di raccolta delle acque di piattaforma**

#### **11.8.9 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 frapponendo 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.