

RTI Progettisti:



# PROGETTAZIONE DEFINITIVA E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE DEFINITIVA RELATIVI ALLA REALIZZAZIONE DELLA PRIMA LINEA TRANVIARIA DI BRESCIA "T2" (PENDOLINA - FIERA)

CUP: C81B21013200005 - CIG: 9101132BB5

DOCUMENTAZIONE TECNICO ECONOMICA

CAPITOLATO SPECIALE DESCRITTIVO E PRESTAZIONALE

ARMAMENTO

**BRESCIA MOBILITA'**RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

ARCH. VERA SABATTI

DIRETTORE GENERALE

ING. MARCO MEDEGHINI

ASSISTENZA AL RUP E ASPETTI TECNICIING. CLAUDIO ORLANDI, ING. ROBERTO PANSI,  
ING. MARCO CORTIDEC E MOBILITY MANAGER

ING. MICHELA BONERA

COMUNE DI BRESCIA - Assessorato alla Mobilità,  
Eliminazione Barriere Architettoniche e Trasporto  
PubblicoRESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

ING. STEFANO SBARDELLA

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE**CAPO PROGETTO COORDINATORE RESPONSABILE  
INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

ING. SANTI CAMINITI

COORDINATORE TECNICO

ING. DANILO RUSSO

BIM MANAGER

GEOM. MIRKO CASAROLI

INFRASTRUTTURA TRANVIARIA

ING. SANTI CAMINITI

ARCHITETTURA E INSERIMENTO URBANISTICO

ARCH. SEBASTIANO FULCI DE SARNO

OPERE STRUTTURALI

ING. ERICA CALATOZZO

IMPIANTI TECNOLOGICI

ING. SIMONE VILLA

IMPIANTI CIVILI ED INDUSTRIALI

ING. DOMENICO D'APOLLONIO

ANTINCENDIO

ARCH. VERONICA SAGONE

ESERCIZIO E MANUTENZIONE

ING. GIORGIO COLETTI

RESPONSABILE DI COMMESSA

ING. PAOLO MARCHETTI

COORDINATORE PER LA SICUREZZA

ING. LUCA CUCINO

RESPONSABILE QUALITA' E PROCEDURE

ING. ANDREA DANZI

STUDIO IMPATTO AMBIENTALE

PROF. MATTEO MATTIOLI

IDRAULICA E IDROLOGIA

ING. DOMENICO NAVE

GEOLOGIA

PROF. MATTEO MATTIOLI

GEOTECNICA

ING. ANDREA OSS

ACUSTICA E VIBRAZIONI

GEOL. DAVIDE SASDELLI

CANTIERIZZAZIONE E RISOLUZIONE INTERFERENZE

ING. PIETRO CAMINITI

ARCHEOLOGIA

DOTT. Z. X. GONZALEZ MURO

COMMESSA	FASE	LOTTO/SUBLOTTO	WBS	DISCIPLINA	TIPO/NUMERO	LAVOR./APPROV.	REV.	SCALA
BST2	PD	LG00	COM	CPD	R013	A1	A	-

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO
A	20/05/2024	EMISSIONE	RTP	M.FALZEA	P. MARCHETTI	S. CAMINITI



## INDICE

1.	PREMESSA	4
2.	DESCRIZIONE DEL PROGETTO	6
2.1	NORME DI RIFERIMENTO	6
2.2	ELABORATI DEL PROGETTO DEFINITIVO DELL'ARMAMENTO	7
2.3	TERMINOLOGIA, ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	8
3.	INPUT DI PROGETTAZIONE	10
3.1	LIMITI DI FORNITURA	10
3.2	PARAMETRI DI ESERCIZIO DELLA LINEA	10
3.3	TRACCIATO ANALITICO	10
3.4	PARAMETRI GEOMETRICI	10
3.5	PARAMETRI GEOMETRICI	11
3.6	MODULO DI DEFORMAZIONE DEL PIANO DI POSA	11
4.	TIPO DI ARMAMENTO (STANDARD LIVELLO 0)	12
4.1	ATTENUAZIONE DELLE VIBRAZIONI	13
4.2	CONTROLLI SUL CANTIERE	14
5.	TIPO DI ARMAMENTO LIVELLO 2	15
5.1	ATTENUAZIONE DELLE VIBRAZIONI DEL LIVELLO 2	16
6.	TIPO DI ARMAMENTO LIVELLO 3	18
7.	TIPO DI ARMAMENTO SUGLI INCROCI STRADALI	21
8.	SEZIONI TIPO LP - PERMEABILE	22
8.1	SEZIONI TIPO L0, L2, L3 CON SPESSORE RIDOTTO	22
8.2	CASI PARTICOLARI	24
8.3	ISOLAMENTO ELETTRICO DELL'ARMAMENTO	24
9.	MATERIALI, COMPONENTI ED ATTREZZATURE	26
9.1	ROTAIA A GOLA	26



---

<b>9.2</b>	<b>SISTEMA ERS SP (EMBEDDED RAIL SYSTEM)</b>	<b>34</b>
<b>9.3</b>	<b>COMPONENTI ANTIVIBRAZIONI DELLE SOLETTE FLOTTANTI</b>	<b>35</b>
<b>9.4</b>	<b>CALCESTRUZZI</b>	<b>36</b>
<b>9.5</b>	<b>ARMATURE</b>	<b>36</b>
<b>9.6</b>	<b>SCAMBI ED INCROCI</b>	<b>38</b>
<b>9.7</b>	<b>APPARECCHI DI DILATAZIONE</b>	<b>40</b>
<b>9.8</b>	<b>GIUNTI ISOLANTI PER SEZIONAMENTO ELETTRICO</b>	<b>40</b>
<b>9.9</b>	<b>DRENAGGIO DEL BINARIO</b>	<b>41</b>

## 1. PREMESSA

Come descritto nel PUMS della città Metropolitana di Brescia, nel tentativo di migliorare la mobilità cittadina

e ridurre gli impatti sul clima, il primo passo verso la realizzazione della nuova rete di trasporto pubblico di massa su ferro.

La linea ha uno sviluppo di 11.29 km ed è per tutta la sua estensione in doppio binario, i cui capilinea sono Fiera e Pendolina. In adiacenza alla fermata Fiera è sita la Rimessa Fiera, il deposito principale, mentre in prossimità di Pendolina è situata la Rimessa Pendolina.

Sono previsti 2 gruppi scambi ai capilinea di:

- Fiera;
- Pendolina.

Lo scopo principale di questi elementi è di permettere l'utilizzo di entrambi i binari di sosta del capolinea

stesso in maniera indifferente e secondo le esigenze di esercizio.

I gruppi scambi sono composti da deviatori movimentato elettricamente.

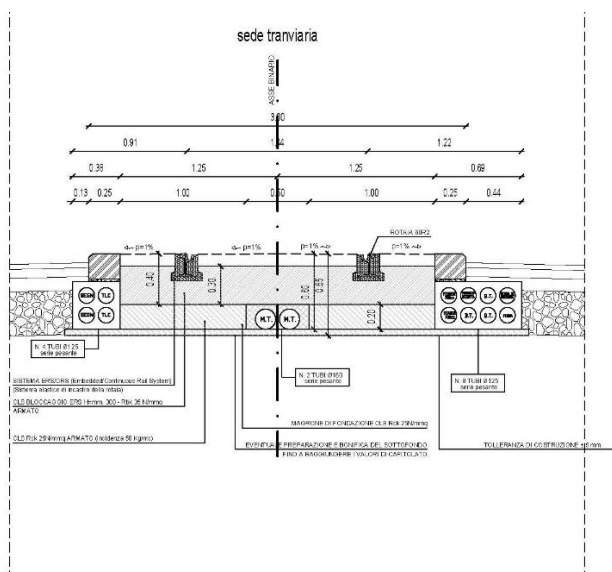
In aggiunta ai dispositivi per garantire il normale esercizio, al fine di garantire la necessaria flessibilità in caso di esercizio degradato, sono stati previsti dei Gruppo scambi movimentato elettricamente tra le fermate di:

- Parco Pescheto e Corsica
- Repubblica e Stazione;
- Zanardelli Sud e Zanardelli Nord
- San Faustino Nord e Canton d'Albera
- Fiumicello e Colombo

I gruppi scambi tra le fermate di Repubblica - Stazione e San Faustino - da Vinci sono stati posizionati per garantire, nell'eventualità si rendano necessari interventi di manutenzione che richiedano la chiusura temporanea della linea, al fine di garantire comunque un esercizio parzializzato della linea. Tale evenienza è stata valutata soprattutto con riferimento alla tratta centrale di linea in attraversamento del centro storico, in cui è maggiore il permanere delle interferenze con alcuni sottoservizi, la cui risoluzione è resa impossibile dalla mancata presenza di spazi limitrofi rispetto alla via di corsa, in cui procedere al riposizionamento.

In tali possibili situazioni, seppur sporadiche, il servizio può essere riorganizzato con la possibilità di effettuare servizi limitati nei seguenti segmenti:

- Il sottosistema armamento si occupa della parte della sezione sottoterra che, a partire dalla soletta di appoggio predisposta dai civili, arriva sino all'estradosso della soletta di bloccaggio delle rotaie. Lo strato superiore di pavimentazione torna ad essere oggetto dei civili che, posizionati i ciglioni laterali alla sede possono completare le pavimentazioni.



Per l'individuazione delle tipologie di armamento si rimanda alle planimetrie di progetto della serie BST2-PD-LG00-INF-ARM, dalla tavola T001 alla tavola T025.



## 2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

### 2.1 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 Md e Md' 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° 7 del 21-01-2019 – 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, specifiche 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.

## 2.2 ELABORATI DEL PROGETTO DEFINITIVO DELL'ARMAMENTO

Il progetto definitivo è stato redatto in conformità con il progetto preliminare e consta dei seguenti elaborati in riferimento al sottosistema armamento:

BST2-PD-LG00-INF-ARM-R001-A1-C	RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA ARMAMENTO	
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T001-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 1/25	TRATTA - DAL KM 0+000 AL KM 0+225
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T002-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 2/25	TRATTA - DAL KM 0+225 AL KM 0+700
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T003-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 3/25	TRATTA - DAL KM 0+700 AL KM 1+200
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T004-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 4/25	TRATTA - DAL KM 1+200 AL KM 1+700
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T005-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 5/25	TRATTA - DAL KM 1+700 AL KM 2+200
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T006-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 6/25	TRATTA - DAL KM 2+200 AL KM 2+725
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T007-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 7/25	TRATTA - DAL KM 2+725 AL KM 3+175
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T008-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 8/25	TRATTA - DAL KM 3+175 AL KM 3+875
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T009-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 9/25	TRATTA - DAL KM 3+875 AL KM 4+300
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T010-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 10/25	TRATTA - DAL KM 4+300 AL KM 4+750
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T011-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 11/25	TRATTA - DAL KM 4+750 AL KM 5+125
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T012-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 12/25	TRATTA - DAL KM 5+125 AL KM 5+500
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T013-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 13/25	TRATTA - DAL KM 5+500 AL KM 5+900
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T014-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 14/25	TRATTA - DAL KM 5+900 AL KM 6+300
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T015-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 15/25	TRATTA - DAL KM 6+300 AL KM 6+775



BST2-PD-LG00-INF-ARM-T016-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 16/25	TRATTA - DAL KM 6+775 AL KM 7+225
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T017-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 17/25	TRATTA - DAL KM 7+225 AL KM 7+700
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T018-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 18/25	TRATTA - DAL KM 7+700 AL KM 8+125
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T019-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 19/25	TRATTA - DAL KM 8+125 AL KM 8+550
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T020-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 20/25	TRATTA - DAL KM 8+550 AL KM 9+000
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T021-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 21/25	TRATTA - DAL KM 9+000 AL KM 9+500
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T022-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 22/25	TRATTA - DAL KM 9+500 AL KM 9+925
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T023-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 23/25	TRATTA - DAL KM 9+925 AL KM 10+400
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T024-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 24/25	TRATTA - DAL KM 10+400 AL KM 11+000
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T025-A1-C	PLANIMETRIA TAV. 25/25	TRATTA - DAL KM 11+000 AL KM 11+204
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T026-A1-B	SEZIONI TRASVERSALI	TAV 1 di 2
BST2-PD-LG00-INF-ARM-T027-A1-C	SEZIONI TRASVERSALI	TAV 2 di 2

## 2.3 TERMINOLOGIA, ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

Sigla	Acronimo
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche
DIN	Deutsches Institut für Normung
DL	Direzione Lavori
EN	Norma europea (standard)
ERS SP/CRS	Embedded Rail System with Continuous Rail Support
FST	Floating Slab Track
ISO	International Organization for Standardization
PD	Progetto Definitivo
PE	Progetto Esecutivo
PF	Piano del Ferro (Piano di Rotolamento)
PK	Progressivo Chilometro
RAM	Reliability, Availability, Maintainability (Affidabilità, Disponibilità, Manutenibilità)
UIC	International Union of Railways





---

UNI	Ente nazionale italiano di unificazione
-----	---



### 3. INPUT DI PROGETTAZIONE

#### 3.1 LIMITI DI FORNITURA

Lo scopo dell'armamento, sottosistema del complesso sistema tranviaria, si limita alla progettazione e costruzione del binario destinato a sostenere e guidare i veicoli ferroviari. I lavori del sottosistema Armamento per il Progetto della prima linea tranviaria di Brescia, linea T2, avvengono dopo i lavori di predisposizione del piano di posa e della soletta di fondazione e sono in sintesi i seguenti (in ordine cronologico):

- La fornitura e posa in opera dei materassini antivibranti ed isolanti verticali (per i tipi di armamento con soletta flottante) sulla soletta di fondazione e getto successivo del calcestruzzo di protezione (CLS di prima fase).
- La fornitura e posa in opera delle rotaie di guida attrezzate dei loro profili di gomma e sistemi di fissaggio per tutti i tipi di posa realizzati.
- La fornitura e posa in opera del calcestruzzo di bloccaggio (CLS di bloccaggio) delle rotaie.

Seguono dopo, in sede tranviaria, i lavori di fornitura e posa delle attrezzature del binario eseguiti dalle altre tecnologie ed infine la posa della pavimentazione.

#### 3.2 PARAMETRI DI ESERCIZIO DELLA LINEA

Le ipotesi e i parametri di esercizio sono quelle definiti nelle relazioni tecniche di sistema:

BST2-PD-LG00-LIN-TRC-R001-A1-B	RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA TRACCIAMENTO
--------------------------------	--

#### 3.3 TRACCIATO ANALITICO

Le ipotesi ed i parametri di progettazione del tracciato sono quelli definiti e ripresentati nei documenti di progetto:

BST2-PD-LG00-LIN-TRC-R001-A1-B	RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA TRACCIAMENTO
--------------------------------	--

Il tracciato è concepito in modo che sia limitata l'accelerazione avvertita dai viaggiatori e la sua variazione nel tempo.

#### 3.4 PARAMETRI GEOMETRICI

Lo scartamento delle rotaie in rettilineo ed in curva è pari a 1435 mm misurati 14 mm sotto il Piano del Ferro (PdF – 14 mm).



Lo scartamento negli scambi ed incroci è pari a 1435 mm misurati 14 mm sotto il Piano del Ferro (PdF – 14 mm), eccetto il caso di eventuali cuori rialzati negli scambi dove lo scartamento è misurato 9mm sotto il Piano del Ferro.

Si osserva che il tracciato analitico non prevede sopraelevazioni delle rotaie in nessuna situazione (rettifili, curve, scambi ed incroci).

### 3.5 PARAMETRI GEOMETRICI

Le tolleranze di costruzione del binario e dei deviatori sono definite qui sotto:

Controlli	Tolleranze
Scartamento.....	+/- 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 .....	+/- 3 mm
Per le curve di raggio < 200m, usare il criterio dell'allineamento orizzontale Sopraelevazione	+/- 2 mm
Variazione di sopraelevazione .....	1 mm/m

### 3.6 MODULO DI DEFORMAZIONE DEL PIANO DI POSA

Il Modulo di Deformazione Md in N/mm<sup>2</sup> è pari omogeneo sul piano di posa dell'armamento a almeno 80N/mm<sup>2</sup>.

Il Modulo Md rappresenta una misura convenzionale della capacità portante del piano di posa dell'armamento è determinato mediante prove secondo la Norma CNR BU N. 146 del 14 Dicembre 1992: Determinazione dei moduli di deformazione Md e Md' mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare.

$Md = (\Delta p / \Delta s) \times D$  dove:

$\Delta p$  è l'incremento di carico trasmesso dalla piastra alla terra (N/mm<sup>2</sup>)  $\Delta s$  è il corrispondente incremento di cedimento (mm)

D è il diametro della piastra (300 mm)

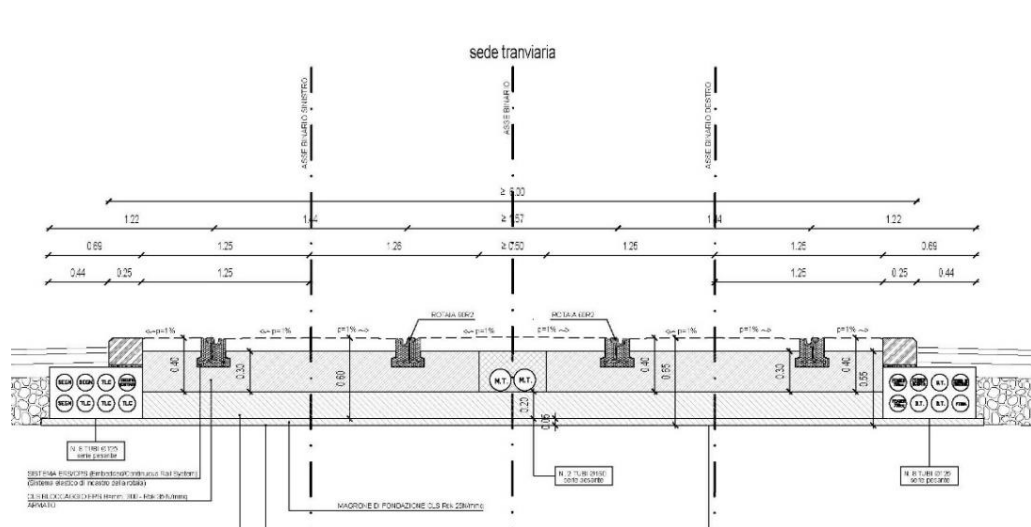
#### 4. TIPO DI ARMAMENTO (STANDARD LIVELLO 0)

Il tipo di armamento standard adottato (Livello 0) è il Sistema ERS SP/CRS (Embedded RailSystem / ContinuousRailSupport) dove le rotaie di guida sono rivestite di profili in gomma che sono incastrati in una soletta di calcestruzzo gettata in opera, senza altri sistemi di fissaggio meccanico.

Il sistema ERS SP procura un supporto continuo sotto le rotaie a gola che garantisce, mediante il suo incastro nel CLS di bloccaggio, il mantenimento della geometria del binario e dello scartamento delle rotaie nei casi dei vari tipi di pavimentazione impiegati. Il tipo di armamento Livello 0 corrisponde ad un tipo di armamento standard, cioè con limitato smorzamento delle vibrazioni; tale tipologia di armamento è presente nei tratti di linea individuati nelle planimetrie tematiche di progetto

- Interbinario ..... 3200 – 3500 mm
- Larghezza CLS Bloccaggio ERS SP ..... 2500 mm
- Spessore CLS Bloccaggio ERS SP ..... 300 mm
- Spessore riempimento e pavimentazione ..... 100 mm
- Estradosso CLS Fondazione (dal pf) ..... 400 mm
- Pendenza trasversale estradosso CLS Bloccaggio ERS SP:
  - Pavimentazione impermeabile ..... 0%
  - Pavimentazione inerbata ..... 1%

Sezione trasversale tipologica BD-L0



#### 4.1 ATTENUAZIONE DELLE VIBRAZIONI

I livelli di attenuazione delle vibrazioni sono valutati in rispondenza alla norma UNI 9614: “Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo” e sono richiamati qui di seguito:

	Asse z		Assi x ed y	
	a (m/s <sup>2</sup> )	L(dB)	a (m/s <sup>2</sup> )	L(dB)
Aree critiche di lavoro (ospedali, laboratori di precisione)	5.0 x 10 <sup>-3</sup>	74	3.6 x 10 <sup>-3</sup>	71
Aree residenziali (giorno)	7.0 x 10 <sup>-3</sup>	77	5.0 x 10 <sup>-3</sup>	74
Aree residenziali (notte)	10.0 x 10 <sup>-3</sup>	80	7,2 x 10 <sup>-3</sup>	77
Uffici	20.0 x 10 <sup>-3</sup>	86	14.4 x 10 <sup>-3</sup>	83
Fabbriche	40.0 x 10 <sup>-3</sup>	92	28,8 x 10 <sup>-3</sup>	89

*Tabella I Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza (UNI 9614).*

Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza secondo la Norma UNI 9614.

Secondo i requisiti di riduzione dell’impatto vibratorio, su alcune tratte della tranvia si prevede l’impiego di tipi di armamento su soletta flottante:

- Il tipo di armamento Livello 2 (smorzamento medio delle vibrazioni).
- Il tipo di armamento Livello 3 (smorzamento alto delle vibrazioni).

Questi tipi di armamento su soletta flottante sono derivati del tipo di armamento standard Livello 0 interponendo materassini antivibranti di rigidità specifica sotto la soletta di bloccaggio del sistema ERS SP.

Le vibrazioni dovute alle sollecitazioni del tram sono, per lo più, localizzate nella gamma di frequenze (0-200Hz). I tipi di armamento Livello 2 e Livello 3 sono progettati al fine di ridurre le vibrazioni nella gamma tra (30-200Hz) che sono considerate le più importanti (specialmente 1/3 ottava (31,5-125Hz)), che sono meno attenuate dal terreno e che sono maggiormente trasmesse dagli edifici.

Per l’armamento di tipo L2 ed L3 si rimanda ai successivi capitoli.

L’efficienza dell’attenuazione delle vibrazioni è stimata tramite simulazioni massa-molla che confrontano la filtrazione delle vibrazioni della soletta flottante con quella del tipo di armamento standard cosiddetto «di riferimento».



## 4.2 CONTROLLI SUL CANTIERE

Nel corso dei lavori di posa dei binari, la corretta installazione delle solette flottanti del Livello 2 e 3 verrà validata mediante prove in sito ogni 300m effettuate prima dei lavori di posa della pavimentazione.

Lo scopo delle suddette prove consiste nella valutazione dell'installazione della soletta flottante (assenza di ponti vibranti) e nella misura della prestazione di attenuazione parziale; infatti, la prestazione della soletta flottante risulta ridotta dall'assenza della massa di rivestimento del binario. Tuttavia, estrapolando i risultati ottenuti nel corso delle prove, sarà possibile avvicinarsi alla prestazione finale delle solette flottanti.

Inoltre, la prestazione del sistema complessivo è condizionata dall'intervento delle altre tecnologie che seguono la posa dell'armamento (per esempio: posa dei collegamenti alle rotaie, posa della pavimentazione, etc...).

Le prove, a livello del sistema complessivo, dovranno dimostrare che le prestazioni di attenuazione delle solette flottanti non sono deteriorate in seguito ai lavori effettuati da altri sottosistemi e che i limiti massimi di vibrazioni sono conformi a quelli della norma UNI9614: UNI 9614-1990 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo".



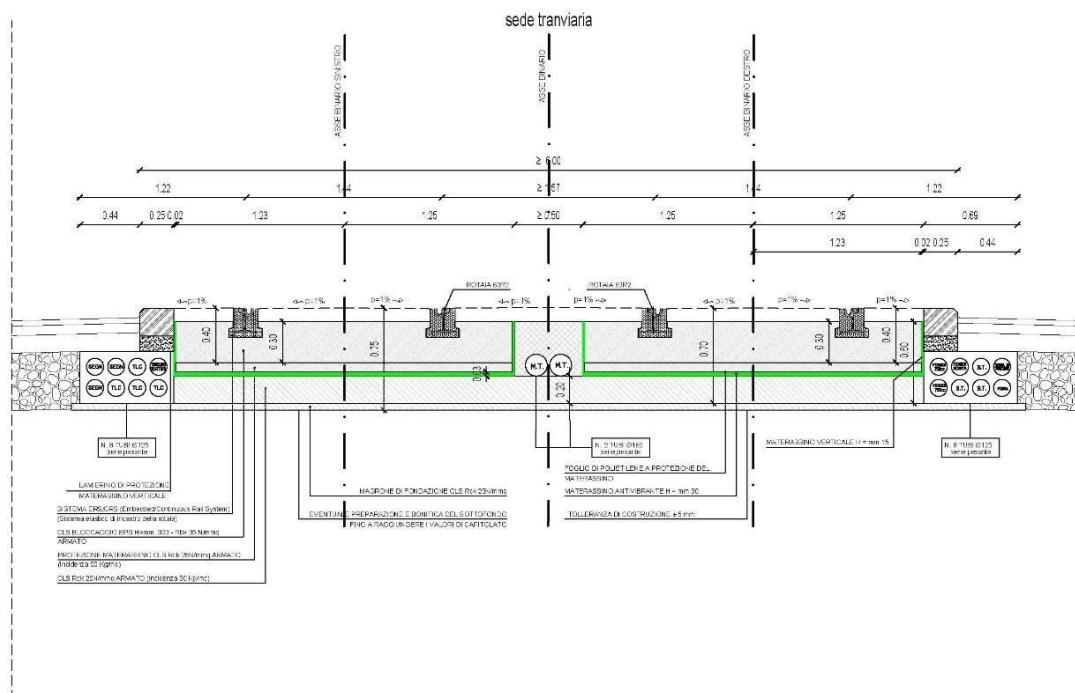
## 5. TIPO DI ARMAMENTO LIVELLO 2

Il tipo di armamento Livello 2 è un sistema ERS SP rigidità dinamica alta su una soletta flottante con materassino elastomero a medio smorzamento; tale tipologia di armamento è presente nei tratti di linea individuati nelle planimetrie tematiche di progetto

Il tipo di armamento Livello 2.

- Interbinario .....	3200 – 3500 mm
- Larghezza complessiva soletta flottante.....	2530 mm
- Larghezza CLS Bloccaggio ERS SP .....	2500 mm
- Larghezza CLS Prima fase.....	2500 mm
- Spessore CLS Bloccaggio ERS SP .....	300 mm
- Spessore CLS Prima fase .....	145 mm
- Spessore Materassino .....	30 mm
- Spessore riempimento e pavimentazione.....	100 mm
- Estradosso CLS Fondazione (dal pf) .....	- 575 mm
- Pendenza trasversale estradosso CLS Bloccaggio ERS SP:	
•Pavimentazione impermeabile	0%

## Sezione trasversale tipologica BD-L2



•Pavimentazione inerbita...

1%

### 5.1 ATTENUAZIONE DELLE VIBRAZIONI DEL LIVELLO 2

I parametri principali della soletta flottante del tipo di armamento Livello 2 sono i seguenti:

Rotaia 60R2

Rigidità alla flessione .....6.928x106 Nm<sup>2</sup>

Massa lineare..... 59.74 kg/m

Modulo di Young.....2.1x1011 Pa

Smorzamento strutturale.....0.02

Coefficiente di Poisson.....0.3

Supporto continuo ERS SP

Rigidità dinamica lineare ..... 200x106 (N/m) / m

Smorzamento strutturale (2xC/Ccrit) ..... 0.35

Soletta flottante (CLS Prima Fase + CLS Bloccaggio)

Rigidità alla flessione (N.m<sup>2</sup>) 569.5 Mpa





Spessore (m) ..... 0.45

Massa lineare (kg/m) ..... 3062

Larghezza (m)..... 2.5

Materassino

Rigidità dinamica massima, per unità di superficie ..... 30x106 N/m3 (\*)

Smorzamento strutturale (2xC/Ccrit) ..... 0.2

Il grafico qui sotto indica la perdita per inserimento prevista rispetto al tipo di armamento standard "Livello 0" per le frequenze [ 0-250Hz ].

Frequenza di sospensione circa 25 Hz

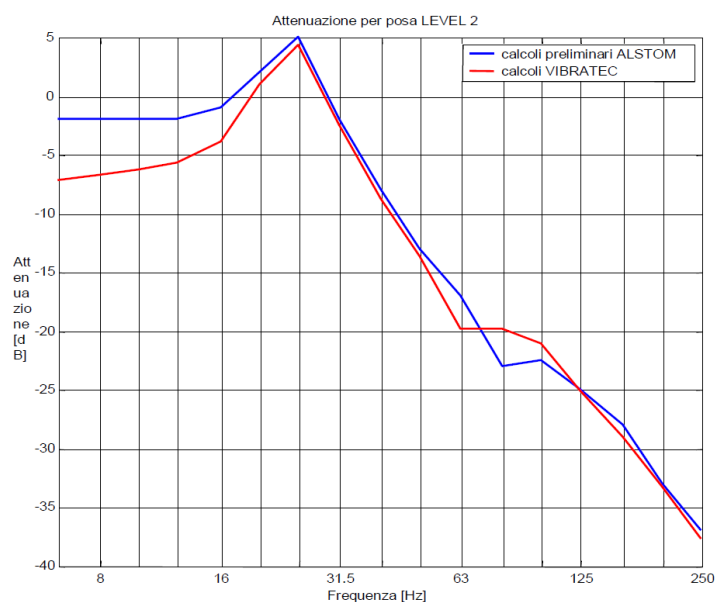
Insertion Loss nelle gamme di frequenze:

[31.5 Hz – 63 Hz] > 0 dB

[63 Hz – 125 Hz] > 17 dB

[125 Hz – 250 Hz] > 20 dB

La perdita per inserimento teorica del Livello 2 è la stessa delle precedenti fasi progettuali.



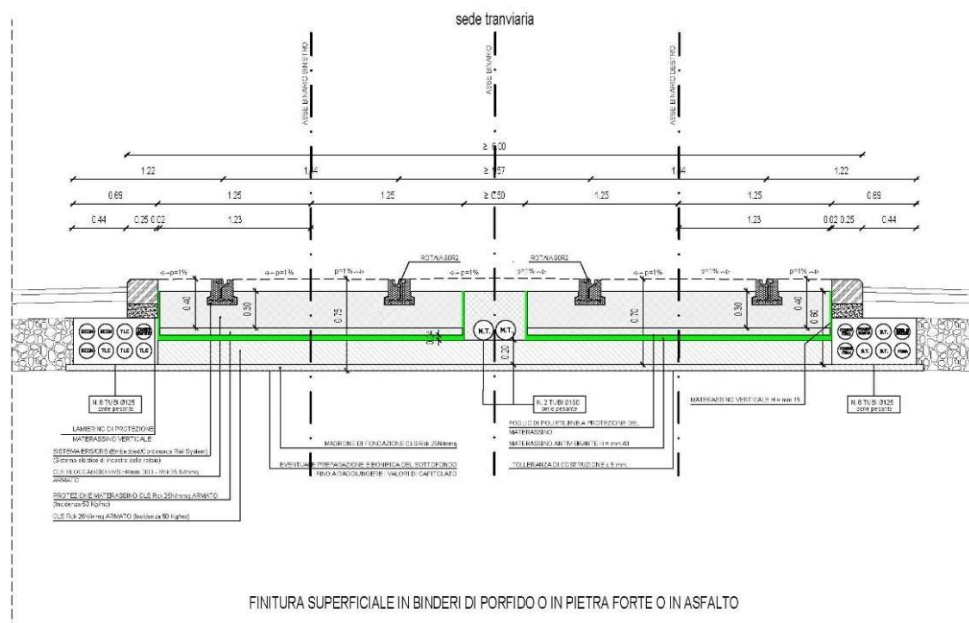
## 6. TIPO DI ARMAMENTO LIVELLO 3

Il tipo di armamento Livello 3 è un sistema ERS SP la rigidità dinamica alta su una soletta flottante con materassino elastomero a medio smorzamento; tale tipologia di armamento è presente nei tratti di linea individuati nelle planimetrie tematiche di progetto.

Il tipo di armamento Livello 3:

- Interbinario ..... 3200 – 3500 mm
- Larghezza complessiva soletta flottante ..... 2530 mm
- Larghezza CLS Bloccaggio ERS SP ..... 2500 mm
- Larghezza CLS Prima fase ..... 2500 mm
- Spessore CLS Bloccaggio ERS SP ..... 300 mm
- Spessore CLS Prima fase ..... 150 mm
- Spessore Materassino ..... 25 mm
- Spessore riempimento e pavimentazione ..... 100 mm
- Estradosso CLS Fondazione (dal pf) ..... - 575 mm
- Pendenza trasversale estradosso CLS Bloccaggio ERS SP:
  - Pavimentazione impermeabile ..... 0%
  - Pavimentazione inerbita... ..... 1%

### Sezione trasversale tipologica BD-L3



## ATTENUAZIONE DELLE VIBRAZIONI DEL LIVELLO 3

I parametri principali della soletta flottante del tipo di armamento Livello 3 sono le seguenti:

Rotaia 60R2

Rigidità alla flessione .....6.928x10<sup>6</sup> N.m<sup>2</sup>

Massa lineare..... 59.74 kg/m

Modulo di Young..... 2.1x10<sup>11</sup> Pa

Smorzamento strutturale.....0.02

Coefficiente di Poisson..... 0.3

Supporto continuo ERS SP

Rigidità dinamica lineare .....200x10<sup>6</sup> (N/m) / m

Smorzamento strutturale (2xC/Ccrit) .....0.35

Soletta flottante (CLS Prima Fase + CLS Bloccaggio)

Rigidità alla flessione (N.m<sup>2</sup>) ..... 569.5 Mpa

Spessore (m) ..... 0.45

Massa lineare (kg/m) ..... 3062

Larghezza (m)..... 2.5

Materassino

Rigidità dinamica massima, per unità di superficie .....20x10<sup>6</sup> N/m<sup>3</sup> (\*)

Smorzamento strutturale (2xC/Ccrit) ..... 0.2

Il grafico qui sotto indica la perdita per inserimento prevista rispetto al tipo di armamento standard "Livello 0" per le frequenze [ 0-250Hz ].

Frequenza di sospensione circa 17 Hz InsertionLoss

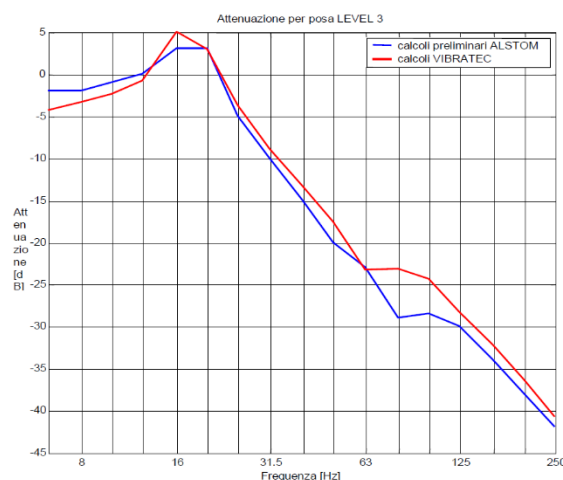
nelle gamme di

frequenze:

[31.5 Hz – 63 Hz] ..... > 5 dB

[63 Hz – 125 Hz] ..... > 20 dB

[125 Hz – 250 Hz] ..... > 25 dB





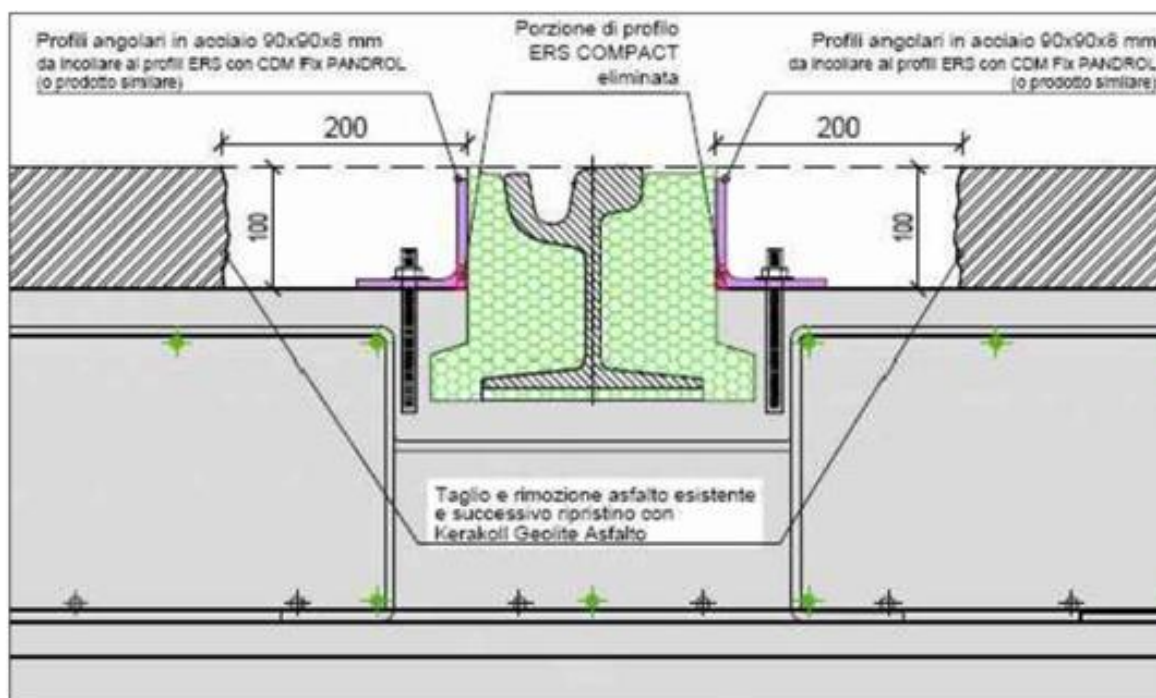
---

La perdita per inserimento teorica del Livello 3 è la stessa delle precedenti fasi progettuali.

## 7. TIPO DI ARMAMENTO SUGLI INCROCI STRADALI

Il tipo di armamento previsto sugli incroci stradali è identico a quello impiegato sulle tratte nominali della linea.

Si prevede di rinforzare i profili di gomma del sistema ERS SP con l'uso di profili di acciaio installati fra loro e la pavimentazione prevista sull'incrocio; ciò permettere di staccare la gomma che riveste la rotaia rispetto alla pavimentazione ed aumentare in questo modo la tenuta d'insieme.



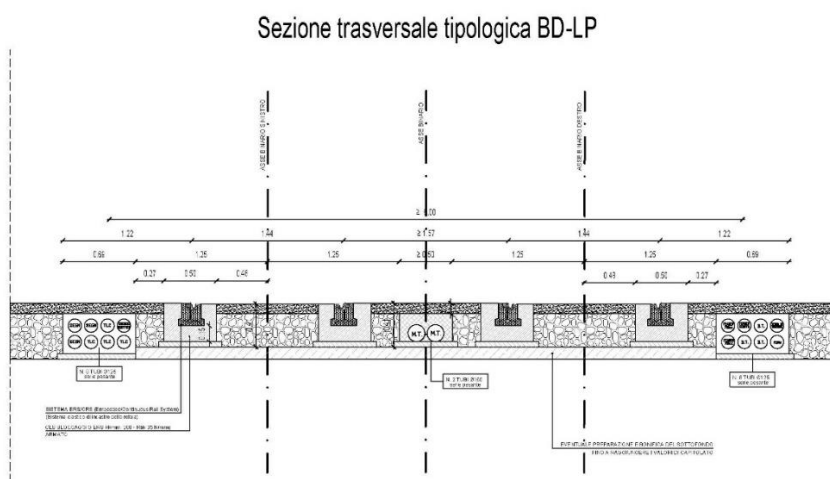
La soluzione negli incroci con i lamierini di protezione richiede molta cura ed attenzione in quanto essendo l'attraversamento particolarmente stressato dal passaggio dei mezzi è frequente il rapido deterioramento dei materiali con la conseguente necessità di frequenti interventi di manutenzione

## 8. SEZIONI TIPO LP - PERMEABILE

In corrispondenza di aree permeabili la sezione tipo dell'armamento della tranvia sarà quella definita LP, composta da rotaie, con profilo ERS affogato in un blocco di cls, intervallate da materiale permeabile, poggiate su adeguato sottofondo. Le stesse saranno collegate da cordoli in c.a. con un intervallo di circa 3m.

La finitura superficiale tra le rotaie potrà essere realizzata con manto erboso o ballast (in corrispondenza degli incroci potrà essere anche in conglomerato bituminoso).

Valgono le medesime indicazioni previste per le sezioni di tipo L0 per il sistema di armamento, fatta eccezione per il trattamento del misto che costituisce il materiale permeabile.



### 8.1 SEZIONI TIPO L0, L2, L3 CON SPESSORE RIDOTTO

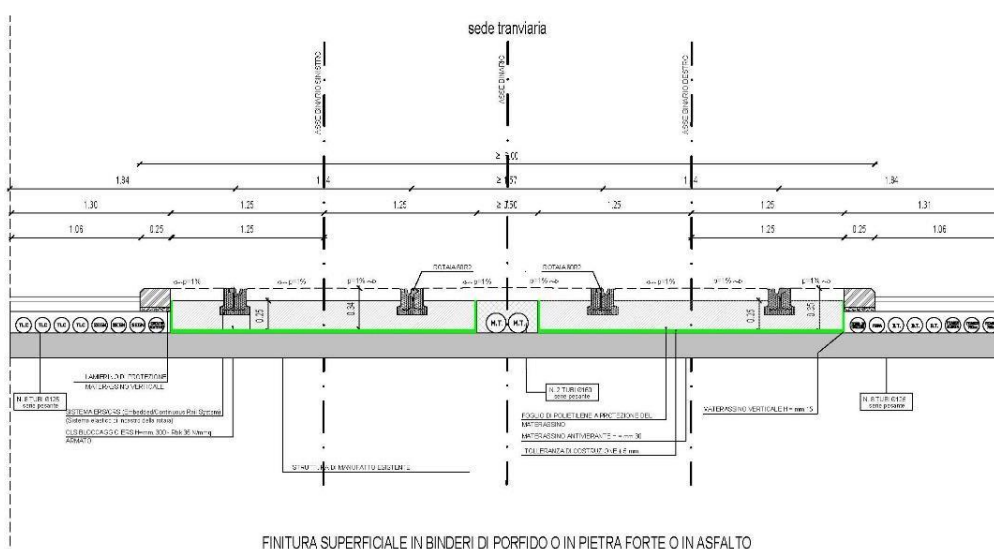
A causa della presenza di reperti archeologici o di particolari punti con Sottoservizi superficiali si sono adottate per le tre tipologie di armamento le sezioni ridotte che permettono di contenere considerevolmente lo scavo.

Poiché l'efficacia dello smorzamento dipende dalla rigidità dei materassini ma anche dalla massa flottante, diminuendo la stessa in pratica l'efficacia dovrà essere compensata con una maggiore prestazione dei materassini. Per rispettare le richieste progettuali si dovranno quindi prevedere dei materassini per le soluzioni L2 ed L3 tali da avere delle rigidità equivalenti con maggiore prestazione antivibrante.

Nel caso della soluzione L0 invece non si dovranno prendere particolari provvedimenti salvo solo aumentare l'armatura della soletta inferiore che è stata ridotta da 25 a 20 cm.

[illegible]

Sezione trasversale tipologica BD-L2-R



Nel caso della soluzione L2 gli spessori verranno ad un getto di bloccaggio di 25 cm.

[illegible]

In fase di progettazione esecutiva e di costruzione saranno adottati provvedimenti al fine di isolare elettricamente tutti i componenti di competenza dell'Armamento.



Questi provvedimenti dovranno consentire di:

- ottenere il livello di isolamento del binario minimo indicato della norma CEI EN 50122 (cioè, 2,5 S/km/binario singolo) in fase di costruzione;
- monitorare il livello di isolamento del binario durante il periodo di esercizio della tramvia;
- monitorare i potenziali dei principali ferri delle armature (della soletta di bloccaggio del sistema ERS SP) durante il periodo di esercizio della tramvia.

Il tipo di armamento adottato è il sistema Embedded Rail System (ERS SP) SP privo di attacchi.

Dal punto di vista elettrico, questo tipo di armamento presenta i seguenti vantaggi:

- le rotaie vengono incapsulate in un profilo realizzato con elastomero granulare legato con resina e a basso tasso di assorbimento idrico;
- i profili ERS SP vengono preassemblati in un'area protetta all'esterno del sito di posa;
- gli scambi e gli incroci vengono isolati in stabilimento.

N.B: Per rispettare le esigenze sull'emissione delle correnti vaganti definite al livello di sistema, non si è prevista l'installazione di una guaina negli strati di calcestruzzo, ma piuttosto un isolamento efficiente alla base della rotaia.

Per il sottosistema di Armamento adottato si dovrà dimostrare, tramite prove effettuate durante la fase costruttiva, che i tratti di binario consegnati in configurazione parzialmente chiusa (senza pavimentazione) soddisfino i livelli di isolamento della norma CEI EN 50122-2.

La prestazione del sistema complessivo è condizionata dall'intervento delle altre tecnologie che seguono la posa dell'armamento (per esempio: posa dei collegamenti alle rotaie, posa della pavimentazione, etc...)

Le prove a livello del sistema complessivo dovranno dimostrare che l'isolamento del binario non è deteriorato in seguito ai lavori effettuati da altri sottosistemi e che la prestazione del complessivo sistema Tramvia è adeguata ai requisiti della norma CEI EN 50122-2.



## 9. MATERIALI, COMPONENTI ED ATTREZZATURE

Questo capitolo ha lo scopo di definire i principali materiali relativamente alla fornitura dell'armamento.

### 9.1 ROTAIA A GOLA

La fornitura della rotaia a gola 60R2, in acciaio, è conforme alle raccomandazioni della norma UNI EN 14811:2006 - Applicazioni ferroviarie - Binario - Rotaie per impieghi speciali

- Rotaie a gola e profili di costruzione associati.

La qualità della rotaia 60R2 è il tipo R260 secondo la norma UNI EN 14811. La composizione chimica della rotaia di qualità R260 è:

C.....	0,62 – 0,80
Si .....	0,15 – 0,58
Mn.....	0,70 – 1,20
P .....	≤ 0,025
S .....	≤ 0,025

Le caratteristiche meccaniche della rotaia di qualità R260 sono:

Resistenza alla trazione (min).....	880 N/mm <sup>2</sup>
Durezza (HBW).....	260-300 HBW
Allungamento (min).....	10 %

Per le rotaie in curve e clotoidi di raggio inferiore a 80 m, sarà utilizzata una qualità della rotaia 60R2 di tipo R260 V (vanadio); l'aggiunta di vanadio consente le operazioni di manutenzione delle rotaie con saldature di riporto senza necessità di preriscaldamento. La composizione chimica della rotaia di qualità R260 V è:

C.....	0,41 – 0,51
Si .....	0,20 – 0,30
Mn.....	1,10 – 1,40
P .....	≤ 0,025
S .....	≤ 0,025
V .....	0,10 – 0,15

Le caratteristiche meccaniche della qualità R260 V sono:

L'utilizzo delle rotaie al vanadio nelle planimetrie dell'armamento è evidenziato con una colorazione differente (grigio scuro), come peraltro indicato nella legenda ivi presente.

**NORMA UNI EN 14811**

H	A.B.	B.C.	C.D.
9	54.489	38.351	19.743
10	54.966	37.797	20.226
14	56.005	36.095	20.562

PUNTO DI VISIONE DELLO SCARICAMENTO A 45° (a 75°)

PUNTO DI VISIONE DELLO SCARICAMENTO A 45° (a 75°)

Scala 1/1

A seconda delle necessità, la gola e l'anima della rotaia potranno essere forate in funzione dei sistemi di drenaggio e delle connessioni di cavi. Normalmente le rotaie saranno fabbricate senza operazioni speciali supplementari, né perforazioni dell'anima e della gola.

#### A - PROFILO ROTAIA 60R2 (In rettili e curve > 80 m)

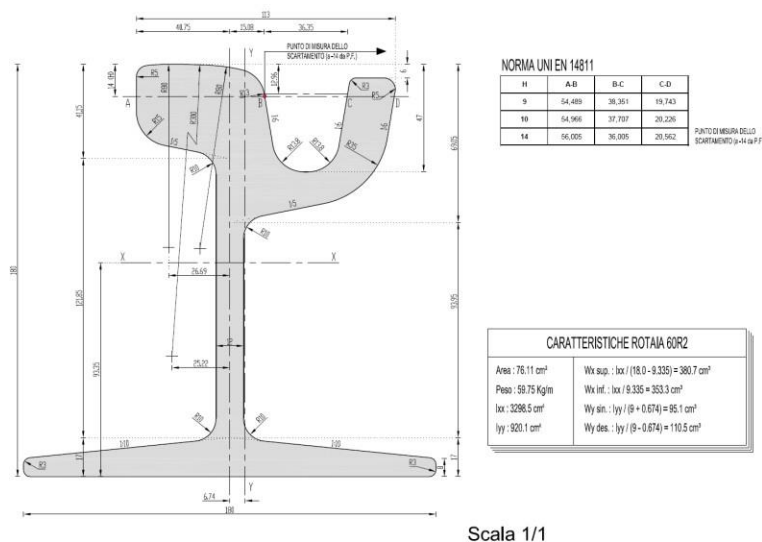


Figura 2 – Profilo rotaia 60R2

Siccome si prevede di attrezzare il materiale rotabile di un sistema di lubrificazione delle ruote, non è prevista la realizzazione di un sistema di lubrificazione della rotaia. Questo perché l'eccesso di lubrificante non aumenterebbe l'efficacia del provvedimento.

#### Specifiche tecniche per la fornitura delle rotaie

##### Condizioni ambientali

Il fornitore dovrà giustificare l'adeguatezza dei materiali e delle attrezzature oggetto della fornitura alle condizioni ambientali prevalenti nella città di Bologna. I dati impiegati per tale valutazione dovranno basarsi sulle attestazioni raccolte negli ultimi 50 anni.

##### RAM

Il Fornitore dovrà giustificare la conformità dei materiali oggetto della fornitura ai requisiti ed agli obiettivi del rapporto RAM di sistema applicabile, ciò mediante la presentazione di dati, disegni, rapporti e risultati di prove o con ogni altro strumento opportuno.

##### NORME

La progettazione e la fabbricazione dei materiali o delle attrezzature da parte del Fornitore dovrà essere conforme alle Norme italiane (UNI).

In assenza di tali norme, la progettazione e la fabbricazione dei materiali o delle attrezzature da parte del Fornitore dovrà essere conforme alle Norme europee (EN).



In assenza di tali norme, la progettazione e la fabbricazione dei materiali o delle attrezzature da parte del Fornitore dovrà essere conforme alle *Best Practices* dell'Unione internazionale delle ferrovie (UIC).

In assenza di tali norme, il Fornitore sottoporrà all'approvazione di Alstom Ferroviaria una norma adeguata ed inizierà la progettazione o la fabbricazione dei materiali o delle attrezzature solo una volta ottenuta l'approvazione scritta della norma proposta da parte di Alstom Ferroviaria.

Tutte le norme proposte dal Fornitore dovranno essere descritte nel Piano di Qualità del Fornitore. Fermo restando quanto detto sopra, il fornitore si atterrà alle norme seguenti:

- **UNI EN 14811:2019** - Applicazioni ferroviarie - Binario - Rotaie per impieghi speciali - Rotaie a gola e profili di costruzione associati.
- **NF-E05.015** - Norma sulla rugosità superficiale.
- **UNI EN ISO 6506-1:2015** - Materiali metallici. Prova di durezza Brinell - Parte 1: Metodo di prova
- **UNI EN ISO 6506-1:2015** - Materiali metallici. Prova di durezza Brinell - Parte 1: Metodo di prova
- **UNI EN ISO 6506-4:2015** - Materiali metallici. Prova di durezza Brinell - Parte 4: Tabelle dei valori di durezza
- **ASTM A578** - Controllo a ultrasuoni.

#### Profilo della rotaia

Tutte le rotaie a gola del progetto dovranno essere realizzate e fornite con il profilo di rotaia 60R2, in conformità alla norma UNI EN 14811.

#### Qualità delle rotaie

Le rotaie standard dovranno essere realizzate con qualità d'acciaio 60R2, in conformità alla norma UNI EN 14811.

Le rotaie per tratti in curva fino a 75 m dovranno essere realizzate con qualità d'acciaio minima R260 con l'aggiunta di Vanadio (vedi punto 3).

Le rotaie dovranno poter essere saldate mediante processo di saldatura alluminotermica.

Le rotaie fornite dovranno poter essere saldate ad altre rotaie di qualità conforme alla norma UNI EN 14811.

#### Proprietà meccaniche

Le rotaie dovranno presentare le seguenti proprietà meccaniche, conformi alle disposizioni della norma EN 14811:

Tipo	Resistenza alla trazione N/mm <sup>2</sup>	Durezza (HBW)	Allungamento %
60R2	880 (min)	260-300	10 (min)

La durezza Brinell e le prove di resistenza alla trazione verranno effettuate in conformità alle norme UNI EN 14811 ed EN ISO 6506.

#### Lunghezza delle rotaie

La lunghezza nominale delle rotaie fornite dovrà essere di 18 m.

Le rotaie corte, di lunghezza minima di 15 m, dovranno essere fornite a coppie, in versioni che differiscano di 1 m di lunghezza (15 m, 16 m o 17 m).

La quantità di rotaie corte non dovrà superare il 5% della quantità totale dell'ordine.

#### Tolleranze dimensionali

Le rotaie dovranno essere realizzate tenendo conto delle tolleranze previste dalla norma UNI EN 14811, da verificare mediante calibri o altre tecniche di misurazione, in conformità alla norma UNI EN 14811.

#### Rettilineità

Verranno effettuate prove in conformità alla norma UNI EN 14811 per accertare la rettilineità delle rotaie e delle loro estremità.

#### Torsione dell'estremità delle rotaie

Verranno effettuate prove in conformità alla norma UNI EN 14811 per accertare la torsione dell'estremità delle rotaie.

#### Difetti interni e superficiali

Le rotaie non dovranno presentare difetti interni o superficiali.

L'assenza di difetti superficiali dovrà essere verificata e dimostrata in conformità alla norma UNI EN 14811. Il riempimento degli eventuali avvallamenti non potrà essere effettuato senza la previa approvazione di Alstom Ferroviaria.

Un test ad ultrasuoni dovrà inoltre accertare l'assenza di difetti interni pericolosi ai fini della sicurezza. Tutte le rotaie dovranno essere sottoposte a processo continuo di prova ad ultrasuoni. Su richiesta, il fabbricante informerà Alstom Ferroviaria in merito alle procedure impiegate per le prove ad ultrasuoni.

#### Marcatura

La marcatura delle rotaie dovrà essere effettuata secondo le disposizioni che seguono, in conformità alla norma UNI EN 14811:

##### *Marchio di fabbrica*

I marchi di fabbrica dovranno essere rullati a rilievo sul gambo della rotaia. I marchi di fabbrica impressi sulle rotaie dovranno essere chiaramente leggibili e dovranno avere un'altezza compresa tra 15 e 20 mm, con un rilievo compreso fra 0,8 e 1,5 mm.

I marchi di fabbrica dovranno comprendere:

- i dati identificativi della fabbrica;
- le ultime due cifre dell'anno di fabbricazione;
- i dati identificativi del profilo della rotaia a gola;
- il simbolo di qualità dell'acciaio in conformità alla norma UNI EN 14811.

##### *Marcature punzonate a caldo*

Ogni rotaia, oltre a presentare tutti i dati richiesti alla marcatura, dovrà essere identificata da un sistema di codici numerici e/o alfabetici, impressi a caldo a macchina su un lato del gambo della rotaia; ogni rotaia dovrà essere impressa a caldo almeno una volta, in conformità alla norma UNI EN 14811.

Il sistema di identificazione utilizzato dovrà essere tale da consentire il confronto della marcatura impressa a caldo con:

- il numero di colata da cui è stata ricavata per laminazione la rotaia;
- il numero della linea di colata e la posizione del blumo all'interno della colata;
- la posizione della rotaia nel blumo (A,B,... Y).

##### *Individuazione della lunghezza della rotaia*

Per individuare la lunghezza della rotaia, l'estremità di quest'ultima dovrà essere dipinta con vernice colorata in base alla seguente tabella:

Lunghezza della rotaia	Colore
18 m	Non verniciata
17 m	Verde
16 m	Arancione
15 m	Blu

#### Certificazione, controllo di qualità e attestazioni

La certificazione dovrà essere fornita, in generale, in italiano e in francese.

Qualora la documentazione relativa al controllo di qualità risulti redatta in un'altra lingua, il fornitore dovrà produrre un esemplare di ciascun documento di controllo in italiano, in modo tale che la suddetta documentazione sia comprensibile.

Il fornitore dovrà procurarsi e conservare almeno le seguenti attestazioni:

- Processo di eliminazione dell'idrogeno;
- Disegni della progettazione concettuale;
- Composizione chimica;
- Dati registrati sulle calde;
- Descrizione delle attrezzature e della procedura utilizzata per le prove ad ultrasuoni, nonché la certificazione del personale coinvolto nelle prove.;
- Attestazioni dell'effettuazione delle prove di durezza Brinell;
- Attestazioni di effettuazione delle prove ad ultrasuoni, comprensive dei risultati della taratura delle attrezzature, di un elenco delle rotaie testate e delle letture su carta ricavate dagli strumenti per le prove ad ultrasuoni per tutte le rotaie difettose e respinte;
- Le attestazioni delle procedure di raffreddamento, messa sottovuoto e trattamento termico di controllo, se effettuate;
- Il nome e le qualifiche dell'organizzazione responsabile delle prove.

L'elenco prodotto non esonera il fornitore dall'obbligo di produrre tutte le attestazioni previste dalla norma UNI EN 14811.

#### Rotaia per curve a raggio stretto

Le rotaie che verranno installate su curve con raggio fino a 75 m (comprese le curve di transizione) dovranno essere fornite con lo stesso profilo 60R2 e con una qualità minima dell'acciaio pari a R260, ai sensi della norma UNI EN 14811, con l'obiettivo di ridurre la comparsa di tracce di usura sulla superficie di contatto ruota/rotaia.



La suddetta tipologia di rotaia dovrà essere ottenuta mediante una composizione chimica o un processo di indurimento diverso durante la fabbricazione, ma dovrà consentire l'effettuazione delle operazioni di manutenzione (saldatura a riporto) durante l'esercizio in condizioni standard.

Le rotaie proposte dal fornitore dovranno essere progettate, realizzate e testate in conformità agli stessi requisiti previsti dalla presente specifica per le rotaie standard e dalla norma UNI EN 14811.

Questo tipo di rotaia dovrà essere adatto alla saldatura di tipo "alluminotermica", e dovrà poter essere saldato a rotaie realizzate con acciaio di diversa qualità, in conformità alla norma UNI EN 14811.

Per le rotaie in curve e clotoidi di raggio inferiore a 75 m, sarà utilizzata una qualità della rotaia 60R2 di tipo R260 V (vanadio); l'aggiunta di vanadio consente le operazioni di manutenzione delle rotaie con saldature di riporto senza necessità di preriscaldamento.

La composizione chimica della rotaia di qualità R260 V è la seguente:

C 0,41 – 0,51

Si 0,20 – 0,30

Mn 1,10 – 1,40

P ≤ 0,025

S ≤ 0,025

V 0,10 – 0,15

Le caratteristiche meccaniche della qualità R260 V sono:

Resistenza alla trazione (min) 880 N/mm<sup>2</sup>

Durezza (HBW) .. 260-300 HBW

Allungamento (min) 12 %

Non è previsto l'impiego di rotaie 60R2 Vanadio sugli scambi ed incroci.

Le rotaie in curve e clotoidi di raggio inferiore a 150 m saranno pre-piegate in sito protetto prima della loro installazione sul cantiere

#### SERVIZI (OPTIONAL)

Le estremità delle rotaie standard non dovranno essere sottoposte a foratura.

Le rotaie standard non dovranno essere piegate in fabbrica, ad eccezione di quelle per le curve aventi un raggio ≤ a 150 m.

## 9.2 SISTEMA ERS SP (EMBEDDED RAIL SYSTEM)

L'ERS SP è un sistema di binario isolato, su appoggio continuo con elasticità omogenea e senza fissaggio meccanico. Il rivestimento elastico delle rotaie è ottenuto con profili realizzati in un elastomero granulare sinterizzato ad alta densità.

I profili ERS SP sono prefabbricati in stabilimento, incollati in un sito protetto o, in alcuni casi, direttamente sul sito (per esempio in corrispondenza delle saldature); questi profili vengono poi incastrati in una soletta di calcestruzzo gettata in opera fino ad una altezza massima di -100 mm sotto il Piano del Ferro (per la posa della pavimentazione).

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.

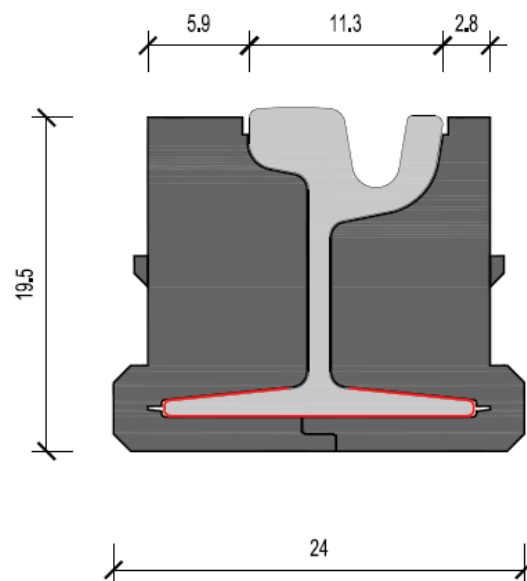


Figura 3 – Profili in gomma ERS SP

Le dimensioni e rigidità finali dei profili ERS SP in elastomero granulare, sono determinati in modo tale da:

- mantenere geometricamente il binario sotto le condizioni di carico ferroviario;
- partecipare alle prestazioni di attenuazione delle vibrazioni;
- permettere le operazioni di manutenzione e/o sostituzione della rotaia senza

rompere le pavimentazioni e le piastre di calcestruzzo.

Per maggiori dettagli si rimanda ai documenti.

In sintesi, i principali requisiti del Sistema ERS SP sono:

Requisiti prestazionali per i sistemi di fissaggio ..... secondo UNI EN 13481: 2006  
Deflessione sotto carico dinamico ..... < 1 mm  
Rigidezza dinamica .....  $140 \times 106 \leq K_{din} (63 \text{ Hz}) \leq 200 \times 106 \text{ (N/m}^2\text{)}$   
Fattore di perdita .....  $\eta (63 \text{ Hz})^3 \leq 15\%$

Le principali caratteristiche del Sistema ERS SP sono:

Densità ..... 950-1150 kg/m<sup>3</sup>  
Modulo di elasticità statica ..... 2.5 – 8.5  
Mpa  
Modulo di elasticità dinamica (5 Hz. A 0.04 Mpa +/- 20%) ..... < 20 Mpa  
Spessore sotto rotaia ..... 10 mm  
Rigidezza dinamica ..... <  $200 \times 106 \text{ (N/m}^2\text{)}$   
Assortimento d'acqua ..... < 5%  
Resistività trasversale ..... > 108Ωcm

### 9.3 COMPONENTI ANTIVIBRAZIONI DELLE SOLETTE FLOTTANTI

Le solette flottanti dei Livelli 2 e 3 sono ottenute mediante interposizione (tra la soletta di fondazione e quella di prima fase) di materassini antivibranti orizzontali e strisce isolanti verticali (ai lati delle solette di armamento).

I materassini antivibranti dei Livelli 2 e 3 sono di tipo elastomerico con uno spessore dipendente dall'elasticità richiesta e dalla deflessione ammessa sotto la piastra di calcestruzzo, pari a 30 mm per il livello 2 e 40 mm per il livello 3, sono collocati tra il calcestruzzo di protezione e la piastra di fondazione, le rigidità dei materassini sono determinate sulla base delle prestazioni richieste per l'attenuazione delle vibrazioni.

L'isolamento vibratorio verticale si ottiene interponendo un materiale rigido ed inerte tra il calcestruzzo delle solette di armamento ed i cavidotti (polifore) laterali, al fine di assicurare la riduzione della propagazione delle onde.

I materassini antivibrazioni saranno rivestiti da un foglio di protezione prima del getto di calcestruzzo.

## 9.4 CALCESTRUZZI

I calcestruzzi delle solette dell'armamento (soletta di bloccaggio e soletta di protezione) sono conformi alla norma UNI EN 206-1: 2006 "Calcestruzzo- Specificazione, prestazione, produzione e conformità" e le istruzioni complementari di cui alla norma UNI 11104:2004 per l'applicazione della norma EN 206-1.

Calcestruzzo di bloccaggio delle rotaie

Tipo (UNI EN 206-1).....Classe C28/35  
Classe di esposizione.....C1  
Classe di consistenza.....S3  
Resistenza caratteristica cilindrica .....  $f_{ck} = 28 \text{ MPa}$   
Resistenza caratteristica cubica .....  $R_{ck} = 35 \text{ MPa}$   
Resistenza (ridotta) di calcolo a 28 giorni.....  $\alpha_{fcd} = 0,85 \cdot f_{ck} / 1,5 = 15,9 \text{ MPa}$   
Modulo di elasticità..... $E_c = 32308 \text{ MPa}$

Calcestruzzo di protezione del materassino (soletta di prima fase)

Tipo (UNI EN 206-1) ..... Classe C20/25  
Classe di esposizione.....C1  
Classe di consistenza.....S3  
Resistenza caratteristica cilindrica .....  $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$   
Resistenza caratteristica cubica.....  $R_{ck} = 25 \text{ MPa}$   
Resistenza (ridotta) di calcolo su 28 giorni .....  $\alpha_{fcd} = 0,85 \cdot f_{ck} / 1,5 = 14,2 \text{ MPa}$   
Modulo di elasticità .....  $E_c = 29962 \text{ MPa}$

Per le classi di resistenza nel progetto esecutivo si è fatto riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni del 17/01/2018. In particolare, relativamente alla resistenza caratteristica convenzionale a compressione il calcestruzzo verrà individuato mediante la simbologia C (X/Y) dove X è la resistenza caratteristica a compressione misurata su provini cilindrici ( $f_{ck,cil}$ ) con apporto altezza/diametro pari a 2 ed Y è la resistenza caratteristica a compressione valutata su provini cubici di lato 150 mm ( $f_{ck,cubo}$ ).

## 9.5 ARMATURE

Le armature delle solette di calcestruzzo dell'armamento sono conformi al D.M.17.01.2018.

Acciaio in barre del tipo B 450C controllato in stabilimento:

Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} \geq f_{ynom} = 450 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} \geq f_{tnom} = 540 \text{ N/mm}^2$



Allungamento:

$(A_{gt})_k \geq 7.5\%$  (frattile 10%)

Resistenze di calcolo allo Stato Limite Ultimo

Resistenza di progetto allo SLU

$$f_{yd} = 391.3 \quad \text{N/mm}^2$$

Coefficiente di riduzione della resistenza

$$g_s = 1.15$$

Modulo elastico

$$E_s = 210000 \quad \text{N/mm}^2$$

Tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo

$$f_{bd} = 2.25 \cdot 1 \cdot f_{ctk} / g_c$$

Calcestruzzo  $R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$

$$f_{bd} = 4.03 \quad \text{N/mm}^2$$

Calcestruzzo  $R_{ck} \geq 35 \text{ N/mm}^2$

$$f_{bd} = 4.46 \quad \text{N/mm}^2$$

Resistenze di calcolo allo Stato Limite di Esercizio

Tensione ammissibile in combinazioni rare ( $\leq 0,80 f_{yk}$ )

$$\sigma_s = 360 \quad \text{N/m}^2$$

Per maggiori dettagli sulle armature della soletta di fondazione, invece si rimanda alle tavole delle opere civili.

## SEZIONE TRASVERSALE DI LINEA TIPO L2 Sede promiscua - scala 1:20

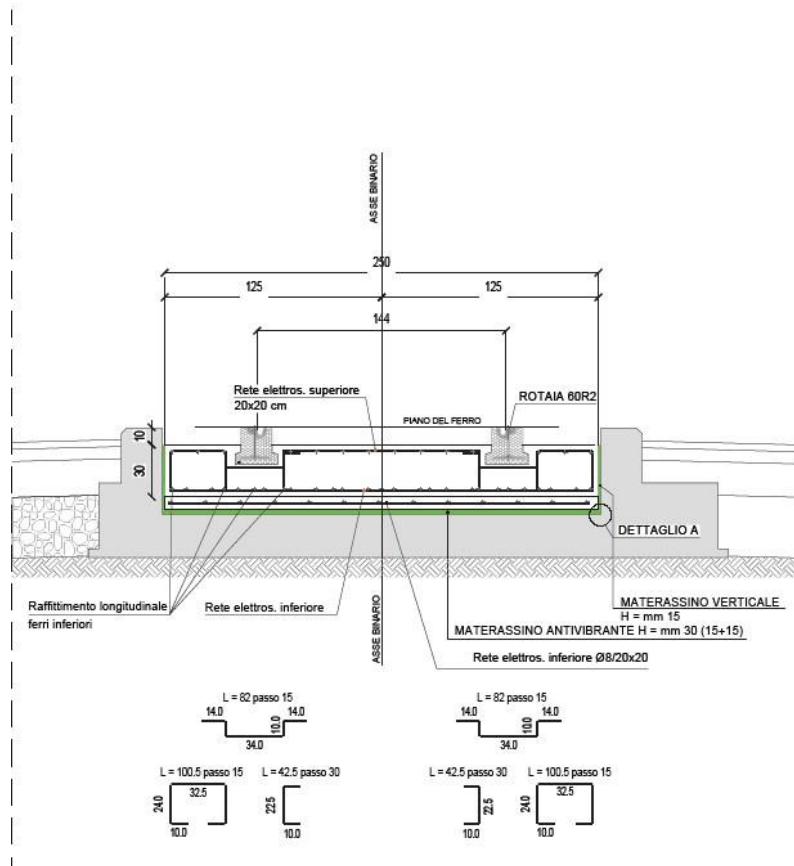


Figura 4 – Esempio tipologia armatura delle solette di armamento L2

### 9.6 SCAMBI ED INCROCI

I limiti di utilizzo, fissati dagli schemi generali relativi, implicano l'impianto e la scelta di deviatori diversi sui tracciati delle linee.

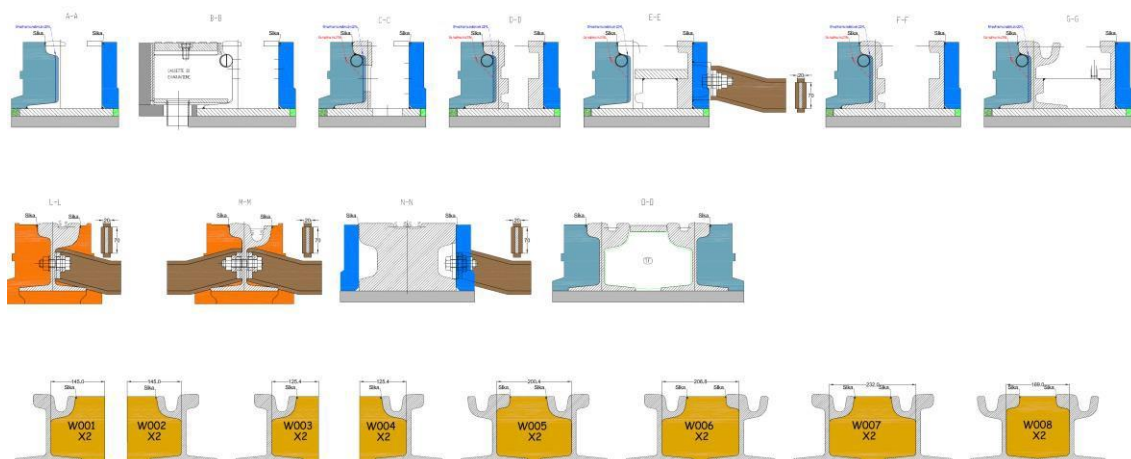
Lungo il tracciato si possono riscontrare:

- scambi semplici;
- comunicazioni semplici;
- comunicazioni doppie;
- bivi;

Le caratteristiche generali degli scambi sono le seguenti:

- 

I telai degli scambi della linea saranno costituiti da una serie di elementi in acciaio meccanosaldato e da due aghi flessibili di durezza almeno 900 Mpa bullonati sul telaio. I cuori degli scambi sono monoblocchi lavorati nella massa d'acciaio di durezza 800 Mpa con gambini saldati



Le controrotaie sono fabbricate sulla base di profili compatibili con il profilo 60R2. La protezione del cuore è ottenuta attraverso l'ispessimento della faccia interna della gola del profilo lavorato.

Gli scambi sono progettati secondo le norme VDV OR 14.2 che consentono l'impiego di ogni tipo di cassa di manovra (motorizzata o manuale); le casse di manovra saranno installate secondo i criteri di cui al sottosistema segnalamento.

Al fine di limitare eventuali inconvenienti di esercizio causati dal gelo, tutti gli scambi sono predisposti per accogliere il dispositivo di riscaldamento elettrico degli aghi e solo gli scambi utilizzati per l'esercizio della linea sono attrezzati da resistenze.

Nella punta dell'ago, saranno previsti scaricatori di evacuazione dell'acqua meteorica, collegati alle casse di manovra degli scambi, che sono allacciati al sistema di drenaggio generale della sede progettato dalle opere civili.

## **9.7 APPARECCHI DI DILATAZIONE**

In base alla presenza dell'opera d'arte con significativi movimenti di dilatazione (effetti termici, ritiro, ...), si prevede l'installazione di due apparecchi di dilatazione sulle rotaie che consentono l'assorbimento delle dilatazioni.

Questi apparecchi di dilatazione sono installati su tratti rettilinei della campata dell'opera d'arte.

La corsa dell'apparecchio di dilatazione sarà valutata tenendo conto della corsa del giunto di dilatazione dell'impalcato.

L'apparecchio di dilatazione è composto di due telai (uno per ogni rotaia) ed in questi scorrono rotaie e controrotaie; tali apparecchi sono progettati in modo tale da evitare ogni shock al passaggio della ruota del veicolo.

## **9.8 GIUNTI ISOLANTI PER SEZIONAMENTO ELETTRICO**

Al fine di consentire le misure dell'isolamento del binario durante l'esercizio, è necessario sezionare la linea in tratti non superiori a circa 2 km (secondo la norma UNIEN 502122- 2.)

Di conseguenza sono necessari dei giunti isolanti al fine di sezionare le rotaie che costituiscono una parte del circuito di ritorno del corrente di trazione. Comunque, i giunti di rotaia isolati saranno attrezzati da un sistema by-pass rimovibile che assicurerà la continuità del ritorno di trazione durante l'esercizio.

I giunti isolanti sono costruiti con ganasce, materiale isolante interposto fra le due teste delle rotaie ed ogni altro elemento risulti necessario per la realizzazione di un perfetto isolamento.

Nel dettaglio il giunto è costituito da:

- due ganasce d'acciaio;
- quattro chiavarde d'acciaio con dado e rosetta piana;
- due ganasce di materiale isolante;



- quattro canotti isolanti per chiavarde;
- sagoma isolante di spessore 4mm.

### **9.9 DRENAGGIO DEL BINARIO**

Si prevede l'impiego di canalette trasversali sui binari per consentire il deflusso delle acque piovane dalla superficie della pavimentazione e dalle gole delle rotaie.

Le canalette saranno elementi progettati e prefabbricati.

Le canalette hanno una lunghezza nominale di 2500 mm (larghezza nominale del binario), si collocano in corrispondenza della pavimentazione e sono allacciate ai pozzetti di drenaggio della sede.

Il passo è definito dallo studio delle opere civili che prevede l'uso delle canalette in ogni punto di compluvio del tracciato, con un passo massimo di 30 m.