



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

**Dipartimento di Ingegneria Industriale DII**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Energia Elettrica

***Elettrificazione ferroviaria in Italia: dalla normativa al progetto  
e analisi di un caso studio***

Relatore: Roberto Turri

Correlatore: Patric Marini

Enrico Caregnato 2038492

Anno Accademico 2023/2024





Il presente elaborato si propone di esaminare approfonditamente il processo di elettrificazione ferroviaria, con particolare attenzione al contesto italiano. Nel capitolo introduttivo, si esplorano i principali driver di questo processo, dal *Green Deal* al *PNRR*, concentrandosi sulla storia dell'elettrificazione ferroviaria in Italia e sui sistemi di trazione attualmente utilizzati, con un focus specifico sul sistema a 3 kV in corrente continua.

Il secondo capitolo analizza la normativa europea alla base del processo di elettrificazione ferroviaria, con particolare attenzione alle *Specifiche Tecniche di Interoperabilità (STI)*, nonché alle normative applicate da *Rete Ferroviaria Italiana (RFI)*. L'ottemperanza a tali norme, dunque l'ottenimento dell'interoperabilità della rete intera, pone importanti vincoli progettuali e procedurali che influenzano indelebilmente l'intero processo. Gli standard riguardanti la linea di contatto, il materiale rotabile, nonché relativi alla realizzazione delle opere civili previste, vengono infatti esplicitati dalle suddette normative.

Nel terzo capitolo, mediante il caso studio della tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno*, viene esaminato il processo di elettrificazione nella pratica, con focus sul dimensionamento del sistema di trazione e della linea di contatto, quindi, sulle decisioni operative.

Il capitolo successivo è inerente ai lavori necessari per l'adattamento delle opere civili in connesse ad un progetto di elettrificazione, analizzando il medesimo caso studio al fine di dedurre principi di validità generale.

Il penultimo capitolo, esamina, invece, il complesso processo di messa in servizio dell'infrastruttura elettrificata, coinvolgendo i vari attori interessati.

Infine, nell'ultimo capitolo, viene condotta un'analisi dei costi di un progetto di elettrificazione ferroviaria, confrontando i costi e i benefici rispetto alla trazione a diesel, fornendo così una valutazione completa delle implicazioni finanziarie di tale transizione.





## INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	11
<b>1. DRIVER E SVILUPPO DELL'ELETTTRIFICAZIONE DELLA RETE FERROVIARIA ITALIANA</b> .....	13
<b>1.1. Il Green Deal come fonte per lo sviluppo della rete ferroviaria europea</b> .....	14
<b>1.2. Il PNRR come driver per lo sviluppo della rete ferroviaria italiana</b> .....	16
<b>1.3. La rete ferroviaria italiana</b> .....	17
<b>1.3.1. Contesto storico</b> .....	17
<b>1.3.2. I sistemi di trazione</b> .....	18
<b>1.3.3. Il sistema di trazione elettrica a 3 kV in corrente continua</b> .....	19
1.3.3.1. Arrivo linea in MT/AT .....	22
1.3.3.2. Trasformazione ed alimentazione in MT .....	24
1.3.3.3. Conversione dell'energia .....	26
1.3.3.4. Protezione e distribuzione TE .....	27
1.3.3.5. Smistamento e alimentazione TE in corrente continua. ....	28
1.3.3.6. Telecomando e servizi ausiliari.....	29
1.3.3.7. Impianti di terra, circuito di ritorno ed opere accessorie .....	29
<b>2. QUADRO NORMATIVO E REGOLAMENTARE DELL'ELETTTRIFICAZIONE FERROVIARIA: LINEE GUIDA PER LA COSTRUZIONE DELLE INFRASTRUTTURE</b> .....	31
<b>2.1. Normativa Europea: STI – Specifiche Tecniche di interoperabilità</b> .....	33
<b>2.2. STI Energia</b> .....	36
<b>2.2.1 Campo di applicazione</b> .....	36
<b>2.2.2. Caratterizzazione del sottosistema: specifiche tecniche e funzionali</b> .....	37
2.2.2.1. Tensione e frequenza .....	37
2.2.2.2. Parametri relativi alle prestazioni del sistema di alimentazione.....	39
2.2.2.3. Capacità di corrente, sistemi CC, con treni in stazionamento: .....	39
2.2.2.4. Frenatura a recupero.....	40
2.2.2.5. Disposizioni per il coordinamento della protezione elettrica .....	40
2.2.2.6. Armoniche ed effetti dinamici dei sistemi di alimentazione per la trazione a corrente alternata CA .....	41
2.2.2.7. Geometria della catenaria.....	42
2.2.2.8. Sagoma del pantografo.....	42
2.2.2.9. Forza media di contatto .....	43
2.2.2.10. Comportamento dinamico e qualità della captazione di corrente .....	44
2.2.2.11. Distanza tra i pantografi per la progettazione della catenaria .....	44
2.2.2.12. Materiale del filo di contatto.....	45
2.2.2.13. Tratti a separazione di fase e di sistema .....	45
2.2.2.14. Tratti a separazione di sistema .....	45
2.2.2.15. Sistema di raccolta dei dati sull'energia a terra .....	46

2.2.2.16. Disposizioni relative alla protezione contro le scosse elettriche .....	47
<b>2.2.3. Attuazione</b> .....	48
<b>2.3. STI Infrastruttura</b> .....	49
<b>2.3.1. Campo di applicazione</b> .....	49
<b>2.3.2. Contenuto</b> .....	49
<b>2.3.3. Attuazione</b> .....	50
<b>2.4. STI Materiale rotabile</b> .....	52
<b>2.4.1. Campo di applicazione</b> .....	52
<b>2.4.2. Attuazione e contenuto</b> .....	52
<b>2.5. Capitolato tecnico RFI per linee a 3 kV in corrente continua</b> .....	55
<b>2.5.1. Struttura e Contenuto</b> .....	55
<b>2.5.2 Documentazione correlata</b> .....	56
<b>2.5.3. Piena linea allo scoperto</b> .....	56
2.5.3.1. Sostegni di tipo LSU .....	56
2.5.3.2. Sospensioni a mensola per la LdC.....	58
2.5.3.3. Conduttori e corde isolate .....	62
2.5.3.4. Quota del piano teorico di contatto .....	63
2.5.3.5. Franchi elettrici dalle opere civili ed opere d'arte .....	64
2.5.3.6. Ormeaggio dei conduttori alle opere civili .....	64
2.5.3.7. Poligonazione della linea di contatto .....	64
2.5.3.8. Collegamenti elettrici, regolazione automatica e punti fissi. ....	66
<b>2.5.4. Piena linea in galleria</b> .....	67
2.5.4.1. Sospensioni .....	67
2.5.4.2. Franco elettrico minimo .....	71
2.5.4.3. Poligonazione della linea di contatto .....	71
2.5.4.4. Collegamenti elettrici e meccanici, Posto di regolazione automatica, Punto fisso e Comunicazioni .....	72
<b>2.5.5. Stazione allo scoperto</b> .....	73
2.5.5.1. Sostegni .....	74
2.5.5.2. Portali di ormeaggio.....	75
2.5.5.3. Travi Mec.....	76
2.5.5.4. Sospensioni .....	77
2.5.5.5. Posti di sezionamento e sezionamento intermedio .....	77
<b>2.5.6. Collegamento a terra e circuito di ritorno</b> .....	78
2.5.6.1. Circuito di ritorno .....	78
2.5.6.2. Circuito di terra e protezione.....	79
<b>2.5.7. Linee di alimentazione</b> .....	80
<b>2.6. Specifica tecnica catenaria rigida fissa per installazioni in gallerie a 3 kV in corrente continua</b> .....	82
<b>2.6.1. Campo di applicazione</b> .....	82
<b>2.6.2. Documentazione correlata</b> .....	82
<b>2.6.3. Requisiti tecnici</b> .....	83
2.6.3.1. Quota teorica del piano di contatto. ....	83
2.6.3.2. Sospensioni .....	83
2.6.3.3. Catenaria rigida.....	84

2.6.3.4. Transizione tra catenaria rigida e tradizionale .....	85
2.6.3.5. Poligonazione .....	86
2.6.3.6. Franco elettrico minimo e circuito di terra e protezione .....	87
<b>2.6.4. Componenti della catenaria rigida .....</b>	<b>87</b>
2.6.4.1. Filo di contatto .....	87
2.6.4.2. Profilato .....	87
2.6.4.3. Piastre di giunzione .....	88
2.6.4.4. Sospensioni .....	89
2.6.4.5. Rampa, barra di transizione e di ancoraggio .....	90
2.6.4.6. Grappe per ancoraggio .....	91
2.6.4.7. Copertura (carter) .....	91
<b>2.7. Manuale di progettazione delle operi civili .....</b>	<b>93</b>
<b>2.7.1. Struttura, contenuto e campo di applicazione .....</b>	<b>93</b>
<b>2.7.2. Documentazione correlata .....</b>	<b>93</b>
<b>2.7.3. Sagome e profilo minimo degli ostacoli .....</b>	<b>94</b>
2.7.3.1. Metodo cinematico	
profili di riferimento .....	95
2.7.3.2. PMO standard .....	97
2.7.3.3. Interasse tra i binari .....	99
<b>3. L'ELETTTRIFICAZIONE IN PRATICA: IL CASO STUDIO DELLA LINEA TREVISO – MONTEBELLUNA –</b>	
<b>BELLUNO .....</b>	<b>101</b>
<b>3.1. Introduzione ed inquadramento delle opere .....</b>	<b>102</b>
<b>3.2. Dimensionamento del sistema di trazione elettrica .....</b>	<b>104</b>
<b>3.2.1. Processo di dimensionamento .....</b>	<b>104</b>
<b>3.2.2. Analisi di potenzialità .....</b>	<b>111</b>
3.2.2.1. Imput analisi di potenzialità .....	111
3.2.2.2. Risultati .....	113
<b>3.3. Il sistema di trazione elettrica .....</b>	<b>116</b>
<b>3.3.1. Architettura del sistema di alimentazione .....</b>	<b>116</b>
3.3.1.1. Struttura di base delle SSE .....	117
3.3.1.2. Opere civili ed impianti accessori .....	122
3.3.1.3. Cabina TE .....	122
<b>3.3.2. Linea di contatto .....</b>	<b>123</b>
3.3.2.1. Altezza linea di contatto .....	123
3.3.2.2. Catenaria .....	123
3.3.2.3. Sospensioni della LdC .....	125
3.3.2.4. Sostegni .....	127
3.3.2.5. Posti di Raccordo automatico, Posti di sezionamento, Punto fisso e ormeggio condutture .....	128
<b>3.3.3. Circuito di ritorno .....</b>	<b>128</b>
<b>3.3.4. Circuito di terra e protezione .....</b>	<b>129</b>
<b>3.3.5. Linee di alimentazione a 3 kV .....</b>	<b>129</b>
<b>3.3.6. Telecomando DOTE .....</b>	<b>129</b>

<b>4. ADEGUAMENTO DELLE INFRASTRUTTURE CIVILI PER L'ELETTRIFICAZIONE</b> .....	131
<b>4.1. Stato di fatto</b> .....	132
<b>4.2. Interventi di adeguamento delle opere civili</b> .....	134
<b>4.2.1. Analisi preliminare geologica ed idrogeologica</b> .....	134
<b>4.2.2. Descrizione degli interventi</b> .....	135
<b>4.2.3. Abbassamento del piano del ferro</b> .....	137
4.2.3.1. Lavori di abbassamento della livelletta ferroviaria in galleria .....	137
4.2.3.2. Lavori di abbassamento della livelletta ferroviaria lungo la linea .....	138
<b>4.2.4. Interventi accessori per l'adeguamento delle gallerie ferroviarie</b> .....	139
4.2.4.1. Sistema di raccolta e smaltimento delle acque .....	139
4.2.4.2. Demolizione e Ricostruzione di Tombini .....	139
4.2.4.3. Impermeabilizzazione delle gallerie .....	139
4.2.4.4. Lavori di pulizia e risanamento del rivestimento delle gallerie .....	140
<b>4.2.5. Demolizione e ricostruzione delle gallerie</b> .....	140
<b>4.2.6. Adeguamento dei cavalcavia</b> .....	141
<b>5. PROCEDURA DI MESSA IN SERVIZIO PER L'ELETTRIFICAZIONE DELLE LINEE FERROVIARIE</b> .....	143
<b>5.1.1. Scopo e campo d'applicazione</b> .....	145
<b>5.1.2. Classificazione degli interventi</b> .....	146
5.1.2.1. intervento non importante .....	146
5.1.2.2. Rinnovo .....	146
5.1.2.3. Ristrutturazione .....	147
5.1.2.4. Nuovo intervento .....	147
<b>5.1.3. Procedura di MIS – Messa in Servizio</b> .....	147
5.1.3.1. Fase di Progettazione e Documentazione Preliminare .....	147
5.1.3.2. Responsabilità e ruoli coinvolti .....	147
5.1.3.3. Documentazione e Aggiornamenti .....	148
5.1.3.4. Classificazione degli Interventi .....	148
5.1.3.5. Processi di Supporto .....	148
<b>5.1.4. Messa in servizio di un nuovo intervento</b> .....	148
5.1.4.1. Inquadramento dell'Intervento ed Avvio del Processo di MIS .....	148
5.1.4.2. Impegno Preliminare per l'autorizzazione di MIS .....	149
5.1.4.3. Richiesta di Autorizzazione di Messa in Servizio .....	150
5.1.4.4. Consegna della documentazione per la MIS alla DOIT competente .....	151
<b>5.1.5. Messa in Servizio di interventi a seguito di Rinnovo o Ristrutturazione</b> .....	152
5.1.5.1. Inquadramento dell'intervento ed avvio del processo di MIS .....	152
5.1.5.2. Istanza di Decisione all'ANSFISA .....	152
5.1.5.3. Impegno Preliminare per l'autorizzazione di MIS .....	152
5.1.5.4. Richiesta di Autorizzazione di Messa in Servizio .....	152
5.1.5.5. Consegna della documentazione per la MIS alla DOIT competente .....	152
<b>5.1.6. Messa in servizio di interventi non importanti</b> .....	153
5.1.6.1. Inquadramento dell'intervento ed avvio del processo di MIS .....	153
5.1.6.2. Consegna della documentazione per la MIS alla DOIT competente .....	153

<b>5.2. Processo di analisi e gestione dei rischi .....</b>	<b>154</b>
<b>5.3. Processo di verifica CE .....</b>	<b>155</b>
<b>5.3.1. Esecuzione del processo di verifica .....</b>	<b>155</b>
<b>5.3.2. Effettuazione di prove .....</b>	<b>156</b>
<b>5.3.3. Emissione della Dichiarazione CE di Verifica .....</b>	<b>157</b>
<b>5.4. Processo di deroga alle STI .....</b>	<b>158</b>
<b>5.5. Processo approvazione ERA del progetto ERTMS .....</b>	<b>159</b>
<b>6. ANALISI DEI COSTI DELL'ELETTRIFICAZIONE FERROVIARIA E CONFRONTO CON IL SISTEMA DI</b>	
<b>TRAZIONE DIESEL.....</b>	<b>161</b>
<b>6.1. Il Costo dell'Elettrificazione: Analisi Dettagliata delle Componenti e delle Variabili .....</b>	<b>162</b>
<b>6.1.1. Costi di installazione della linea di contatto .....</b>	<b>164</b>
<b>6.1.2. Costi delle Infrastrutture Elettriche.....</b>	<b>165</b>
<b>6.1.3. Costi di adeguamento delle infrastrutture esistenti .....</b>	<b>168</b>
<b>6.1.4. Costi di manutenzione ed operativi per un sistema a trazione elettrica .....</b>	<b>171</b>
<b>6.1.5. Conclusioni .....</b>	<b>172</b>
<b>6.2. Analisi comparativa dei costi: sistema di trazione elettrica – sistema di trazione termico .....</b>	<b>174</b>
<b>6.2.1. Costi iniziali di implementazione .....</b>	<b>174</b>
<b>6.2.2. Treni elettrici e treni diesel.....</b>	<b>175</b>
<b>6.2.3. Costi operativi.....</b>	<b>175</b>
<b>6.2.3.1. Differenze nei costi operativi tra treni diesel ed elettrici .....</b>	<b>175</b>
<b>6.2.3.2. Efficienza energetica, impatto ambientale e costi operativi dei treni: diesel vs elettrico .....</b>	<b>177</b>
<b>6.2.4. Considerazioni sul confronto diesel – elettrico .....</b>	<b>179</b>
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>181</b>
<b>RINGRAZIAMENTI .....</b>	<b>185</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>187</b>
<b>INDICE DELLE FIGURE.....</b>	<b>189</b>
<b>APPENDICE A .....</b>	<b>192</b>
<b>APPENDICE B.....</b>	<b>193</b>



## **LISTA ABBREVIAZIONI**

Nel testo sono utilizzate le seguenti abbreviazioni

*AAT – Altissima Tensione*

*AC – Alta Capacità*

*AMIS – Autorizzazione alla Messa In Servizio*

*ANSFISA – Agenzia nazionale per la sicurezza delle ferrovie*

*ASDE – Sistema di Asservimento a Disseccitazione*

*AT – Alta Tensione*

*AV – Alta velocità*

*BT – Bassa Tensione*

*CA – Corrente Alternata*

*CC – Corrente Continua*

*DAS – Dossier di Accettazione di Sicurezza*

*DTCE – Documentazione Tecnica di accompagnamento alla Dichiarazione CE di Verifica*

*DeBo – Designated Body*

*DOIT – Direzione Operativa Infrastrutture Territoriale*

*DOTE – Dirigenti Operativi Trazione Elettrica*

*DTA – Documentazione Tecnica Acquisita*

*ENEL – Ente Nazionale per l’Energia Elettrica*

*ERA – European Union Agency for Railways*

*ERTMS – European Rail Traffic Management System*

*LSU – Tipologia di palo di sostegno*

*MIS – Messa In Servizio*

*MIT - Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*

*MT – Media Tensione*

*NoBo – Notified Body*



*NOS – Nulla Osta allo Sviluppo*

*OT – Organismo Tecnico*

*OVC – Organismo di Valutazione della Conformità*

*OVR – Organismo di valutazione del rischio (CSM assessor)*

*PMO – Profilo Minimo degli Ostacoli*

*PNRR – Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*

*PUN – Prezzo Unico Nazionale*

*QCS – Quadro Di Comando e Controllo Sezionatori*

*RdP – Referente di Progetto*

*RFI – Rete Ferroviaria Italiana*

*RGR – Relazione per la Gestione del Rischio*

*RV – Relè Voltmetrico*

*RVNR – Relazione di Verifica di non Rilevanza*

*RVS – Rapporto di Valutazione di Sicurezza*

*SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition*

*SO – Struttura Organizzativa*

*SSE – Sottostazione Elettrica*

*STI – Specifica Tecnica di interoperabilità*

*TA – Trasduttore di corrente*

*TE – Trazione Elettrica*

*TV – Trasduttore di tensione*

*TERNA – Trasmissione Elettrica Rete Nazionale*

*UCA – Unità Centrale di Automazione*

*UPA – Unità Periferiche di protezione ed automazione*

L'elettrificazione ferroviaria rappresenta una delle innovazioni più significative nel settore del trasporto su rotaia, contribuendo in modo decisivo alla modernizzazione delle infrastrutture ferroviarie e alla sostenibilità ambientale. Fin dai primi esperimenti alla fine del XIX secolo, l'elettrificazione delle linee ferroviarie ha permesso di superare numerosi limiti tecnici e operativi delle locomotive a vapore, offrendo vantaggi in termini di efficienza energetica, riduzione delle emissioni e miglioramento delle prestazioni dei servizi di trasporto.

Questo elaborato si propone di esplorare i diversi aspetti legati all'elettrificazione ferroviaria, partendo da un'analisi storica delle sue origini e del suo sviluppo fino ad arrivare alle tecnologie attualmente in uso, con particolare focus alla rete ferroviaria italiana. Verrà poi, esaminato l'aspetto normativo che regola il processo di elettrificazione.

Lo studio della tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno* permetterà di ottenere un riscontro pratico di quanto espresso, ponendo accento sulle sfide tecniche e infrastrutturali che ne accompagnano l'implementazione, nonché i benefici economici e ambientali derivanti dall'adozione di questa tecnologia.



## **1. DRIVER E SVILUPPO DELL'ELETTRIFICAZIONE DELLA RETE FERROVIARIA ITALIANA**

L'elettrificazione della rete ferroviaria italiana rappresenta un pilastro fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità e decarbonizzazione promossi dalla Commissione Europea. Con l'adozione del *Green Deal* europeo e l'attuazione del *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)*, sono stati forniti impulsi decisivi per accelerare il processo di elettrificazione delle linee ferroviarie, rendendo il trasporto su rotaia un'alternativa sempre più verde ed efficiente.

La storia dell'elettrificazione ferroviaria in Italia ha radici profonde, con le prime linee elettriche che risalgono agli inizi del XX secolo. Da allora, il paese ha compiuto passi significativi verso l'adozione dell'energia elettrica per alimentare i treni, con un crescente numero di chilometri di linee elettrificate. Analizzando la rete ferroviaria italiana, si possono individuare diversi sistemi di trazione attualmente in uso, tra cui la trazione diesel e quella elettrica.

Uno degli aspetti tecnici fondamentali dell'elettrificazione ferroviaria è il funzionamento degli impianti a  $3\text{ kV}$  in corrente continua, che rappresentano la configurazione prevalente in Italia. Questi sistemi offrono, infatti, una serie di vantaggi in termini di efficienza energetica e affidabilità operativa. A tal proposito, il capitolo esplorerà il funzionamento di questi impianti, evidenziando le tecnologie impiegate e le sfide associate alla loro implementazione.

### **1.1. Il Green Deal come fonte per lo sviluppo della rete ferroviaria europea**

La transizione verso forme d'energia prive di impatto ambientale rappresenta uno dei principali obiettivi del *Green Deal* europeo, che pone come obiettivo la totale neutralità rispetto alle emissioni ed influenze climatiche. Sebbene la necessità di ridurre le emissioni di inquinanti e di gas serra diventi di giorno in giorno più stringente, gran parte del fabbisogno energetico mondiale risulta attualmente soddisfatto da combustibili fossili, tra le principali cause di emissioni di agenti patogeni in atmosfera.

In quest'ottica la commissione europea ha adottato una serie di iniziative mirate alla trasformazione delle politiche *UE* in termini di clima, energia, trasporti e fiscalità finalizzate alla riduzione del 55 % delle emissioni di gas ad effetto serra entro il 2030 (rispetto lo scenario del 1990) e ad una quasi totale decarbonizzazione al 2050.

Una delle sfide principali è rappresentata dal settore dei trasporti, che si rende responsabile di un quarto delle emissioni di gas ad effetto serra dell'Unione Europea. L'ottenimento di una mobilità sostenibile rappresenta pertanto un aspetto di fondamentale importanza per il raggiungimento degli obiettivi climatici preposti dalla commissione. Nel contesto descritto, il sistema ferroviario svolge un ruolo cruciale.

Il viaggio su rotaia, si dimostra infatti un mezzo di trasporto ecologico ed altamente efficiente, essendo caratterizzato da un intelligente uso dello spazio (a parità di tempo, una linea ferroviaria a doppio binario consente un numero di passeggeri o di tonnellate merci maggiore anche di una strada a quattro corsie) e standard di sicurezza più elevati rispetto alla mobilità stradale. Ciò nonostante, una discreta quota della rete ferroviaria europea è tutt'ora alimentata da fonti non rinnovabili ed il potenziale del trasporto ferroviario rimane non pienamente sfruttato.<sup>1</sup>

In quest'ottica, l'elettrificazione del sistema ferroviario europeo emerge come una componente chiave per l'ottenimento dei target imposti dal *Green Deal*, offrendo vantaggi da un punto di vista ambientale, sociale ed economico. Sotto l'aspetto ambientale, l'utilizzo di convogli elettrici contribuisce in maniera sostanziale al raggiungimento dell'obiettivo di neutralità climatica, comportando una significativa diminuzione dell'emissione di agenti inquinanti e riducendo la dipendenza dai combustibili fossili, prospettiva peraltro enfatizzata dalla possibilità di alimentazione mediante tecnologie rinnovabili. Da un punto di vista economico e sociale la transizione ad un sistema ferroviario elettrificato genera investimenti, nuovi posti lavoro, incentiva la ricerca tecnologica e contribuisce alla diffusione di una forma di trasporto pubblico più sicuro ed ecologico.

A discapito dei numerosi benefici, l'evoluzione verso un apparato ferroviario elettrificato si scontra con vari impedimenti. Un primo ostacolo è rappresentato dall'infrastruttura esistente, che in vari paesi risulta pensata e dimensionata per ospitare treni azionati da motori termici. Parallelamente, l'esigenza di investire in reti elettriche e stazioni di alimentazione si dimostra un onere finanziario significativo. Infine, l'esistenza di complessi sistemi nazionali indipendenti, caratterizzati da diverse normative e frammentati standard tecnici complica considerevolmente l'opera di espansione ed armonizzazione della rete

---

<sup>1</sup> Secondo i dati emanati dall'*Agenzia europea per l'ambiente*, nel 2018 solamente lo 0,4 % delle emissioni totali di gas ad effetto serra dell'Unione Europea proveniva dal settore ferroviario, a fronte di una ripartizione modale del 7,9 % di passeggeri e 16,9 % delle merci rispetto al totale del trasporto terrestre.

ferroviaria europea. Il tutto, senza trascurare che la transizione in modalità di approvvigionamento energetico che esulino dalla dipendenza dai combustibili fossili si configura come estremamente sfidante per i paesi coinvolti, richiedendo strategie di riconversione e adattamento.

In ambito politico e finanziario, il piano adottato dalla commissione propone un pacchetto di investimenti, incentivi e norme, finalizzati all'accelerazione del processo di elettrificazione del sistema ferroviario europeo, agevolando la transizione ad una forma di trasporto sostenibile. Le risorse messe a disposizione dal *Green Deal* sono dunque destinate all'ottimizzazione dell'infrastruttura esistente, da implementare con tecnologie più efficienti ed eco sostenibili, al rinnovo del parco mezzi, nonché a snellire ed agevolare il processo di standardizzazione del sistema ferroviario su scala europea.

### **1.2. Il PNRR come driver per lo sviluppo della rete ferroviaria italiana**

Il *PNRR* italiano, prevede investimenti significativi per modernizzare le infrastrutture di trasporto del paese. Una parte considerevole di questi fondi è destinata all'elettrificazione delle linee ferroviarie, con l'obiettivo di migliorare l'efficienza energetica e ridurre le emissioni inquinanti. Questo piano non solo promuove lo sviluppo sostenibile, ma rappresenta anche un'opportunità per rilanciare l'economia attraverso l'innovazione tecnologica e la creazione di posti di lavoro.

L'elettrificazione delle linee consentirà di ridurre l'inquinamento atmosferico e acustico, nonché i costi operativi associati al consumo di carburante. Allo stesso tempo, lo sviluppo di nuove infrastrutture permetterà di aumentare la capacità e la velocità delle linee ferroviarie, portando a un miglioramento complessivo della qualità del servizio offerto sia ai passeggeri che alle imprese.

L'obiettivo comune del piano risiede dunque: nel miglioramento della connettività e della coesione territoriale del Paese, nella decarbonizzazione e riduzione delle emissioni attraverso lo spostamento del traffico, passeggeri e merci, dalla strada alla ferrovia, nonché alla digitalizzazione delle reti di trasporto e il miglioramento della sicurezza di ponti, viadotti e gallerie. Quanto proposto si rivela in linea con la strategia europea per la riduzione delle emissioni di  $CO_2$  entro il 2050 e per il completamento dello spazio unico europeo dei trasporti.

In quest'ottica, gli investimenti proposti nel *PNRR* si concentrano sul rafforzamento dei principali assi ferroviari ad alta velocità ed alta capacità, all'integrazione fra questi e la rete ferroviaria regionale, alla messa in sicurezza e velocizzazione dell'intera rete. Un ulteriore target risiede nell'implementare il trasporto su ferro di passeggeri e merci, aumentando capienza e connettività della ferrovia e migliorando la qualità del servizio lungo i principali collegamenti nazionali e regionali.

Pertanto, l'allocazione delle risorse è rivolta a vari ambiti, tra cui il potenziamento delle linee ferroviarie regionali, l'implementazione e l'istituzione di nuove linee ad alta velocità, lo sviluppo del sistema *ERTMS*, l'elettrificazione di migliaia di chilometri di ferrovie non rifornite da energia elettrica.

I benefici attesi includono una maggiore integrazione tra l'infrastruttura ferroviaria nazionale e regionale, l'ampliamento e l'integrazione dei servizi ferro-gomma, l'omogeneizzazione degli standard di sicurezza e nuove connessioni con aeroporti, porti e terminali.

Gli investimenti mirano a raggiungere un sistema infrastrutturale moderno, digitalizzato e sostenibile entro il 2026, contribuendo agli obiettivi di sviluppo sostenibile dell'*Agenda 2030* delle Nazioni Unite.

### **1.3. La rete ferroviaria italiana**

#### **1.3.1. Contesto storico**

La storia dell'elettrificazione ferroviaria in Italia ha inizio nel lontano 1897 quando una commissione governativa avviò ad una serie di esperimenti sui sistemi di trazione, sia in corrente continua che in corrente alternata. L'obiettivo era rendere meno costoso l'esercizio di ferrovie a traffico limitato, soddisfacendo al contempo le esigenze del pubblico con la separazione dal servizio viaggiatori a quello merci e con il maggior numero di corse giornaliere possibili.

La prima linea elettrificata, *Milano – Varese*, venne messa in servizio nell'ottobre del 1901, seguita l'anno successivo da una prosecuzione fino a Porto Ceresio. Nello stesso periodo vennero attivate le linee *Lecco – Colico – Sondrio* e *Colico – Chiavenna*, nella regione della Valtellina in corrente alternata trifase.

All'inizio del secolo scorso, la produzione e distribuzione di energia elettrica non erano ancora sviluppate su scala industriale, costringendo i gestori del trasporto ferroviario di occuparsi simultaneamente dei suddetti processi. Ciò nonostante, la trazione elettrica si dimostrò fin da subito competitiva nel trasporto di passeggeri, grazie all'aumento del numero di corse, a costi inferiori, nonché a standard di sicurezza e pulizia più elevati rispetto ai contemporanei convogli a vapore.

I primi esperimenti di trazione elettrica segnarono il successo del sistema a corrente alternata trifase con linea aerea bifilare e terza fase costituita dal binario, attualmente in disuso. Varie motivazioni influenzarono questa scelta. In ambito tecnologico, il motore asincrono emerse come maggiormente affidabile e presentava caratteristiche prestazionali più elevate consentendo tensioni fino a 3000 V e la frenatura rigenerativa, particolarmente vantaggiosa su percorsi ripidi a doppio binario. Tuttavia, si rendeva necessaria una linea di contatto bipolare, particolarmente complicata da un punto di vista strutturale, e le velocità del convoglio erano fisse, mentre la frequenza di alimentazione era ridotta di 1/3 rispetto la frequenza di rete per attuare una trasmissione diretta senza ingranaggi. Diversamente, il motore in corrente continua offriva una tensione massima di 650 V, a causa di limitazioni tecnologiche sull'isolamento e difficoltà di commutazione. Simili restrizioni caratterizzavano i convertitori AC/DC delle sottostazioni di conversione. Allo stesso tempo, la problematica dell'interruzione di una corrente continua di elevata entità non era stata ancora risolta.

Le esigenze dell'epoca erano inoltre rivolte all'elettrificazione di linee destinate al traffico passeggeri ed al trasporto merci su percorsi particolarmente scoscesi. L'impiego della trazione elettrica per treni pesanti e veloci su linee pianeggianti non era ancora annoverata.

Il sistema trifase venne di conseguenza esteso a diverse linee, tra cui la leggendaria linea del Giovi, atta al trasporto merci da Genova verso tutto il nord del paese.

Nonostante una rapida diffusione iniziale, il sistema trifase non ebbe alcun successo a causa dei numerosi vincoli che ne limitarono lo sviluppo. In particolare, la linea di contatto bifase rendeva il sistema costoso ed inadatto a velocità superiori ai 100 km/h, incapace di soddisfare le crescenti richieste in termini di velocità e prestazioni.

L'ultima elettrificazione in alternata trifase risale agli anni '30.



Nel frattempo, era possibile disporre di motori in corrente continua per una trazione a  $3\text{ kV c.c.}$  I recenti sviluppi tecnologici portarono all'ideazione di convertitori statici AC/DC per tensioni superiori a  $3000\text{ V}$  e ad interruttori extrarapidi capaci di gestire tali tensioni.

Nel 1928, si sperimentò successo la trazione in corrente continua a  $3\text{ kV}$  sulla linea *Benevento – Foggia*. Due anni più tardi, si decise di estendere il sistema a tutte le future elettrificazioni. Da allora, le elettrificazioni si svilupparono intensamente, tanto che poco prima della Seconda guerra mondiale, l'Italia si posizionava al primo posto in Europa e al secondo nel mondo dopo gli Stati Uniti, vantando circa  $4000\text{ km}$  di linee elettrificate. Questa tendenza si riconfermò con la ricostruzione del dopoguerra: nel 1953 l'Italia manteneva il primato europeo con  $5800\text{ km}$  di linee elettrificate.

Con un programma di trasformazione completato nel 1976, tutti i sistemi trifase in corrente alternata furono dismessi e sostituiti da elettrificazioni a  $3\text{ kV}$  in corrente continua. Il sistema in corrente alternata fu in seguito reintegrato, ma nella versione monofase  $2\times 25\text{ kV}$ , alla fine del secolo scorso, con la progettazione della rete ad alta velocità/alta capacità (AV/AC), di cui la linea *Roma – Napoli* rappresenta la prima realizzazione in Italia.

### 1.3.2. I sistemi di trazione

L'attuale sistema di trazione ferroviaria presenta una diversificazione tecnologica mirata a soddisfare le specifiche esigenze delle diverse linee e segmenti della rete ferroviaria nazionale, assicurando soluzioni adatte a variegati contesti.



Figura 1 – I sistemi di trazione ferroviaria in Italia

I principali sistemi di trazione adottati sono i seguenti:

- *Corrente continua a 3 kV*: ampiamente utilizzato nel corso della storia, con questo sistema è elettrificata gran parte della rete ferroviaria italiana.

- *Corrente alternata a 25 kV*: introdotto recentemente, questa tecnologia è destinata alle linee ad alta velocità e alta capacità, estendendosi lungo le tratte chiave come *Milano – Firenze*, *Torino – Milano* e *Roma – Napoli*. Chiaramente, queste linee sono in grado di interfacciarsi alle altre già esistenti ed attualmente operanti sul territorio a 3 kV in corrente continua. Si riscontra infatti la presenza di tratte in cui la trazione è mista (3 kV c.c. / 25 kV c.a.).
- *Corrente continua a 1.5 kV*: pur rappresentando una percentuale estremamente limitata della rete, alcune tratte minori, quasi non trafficate, e reti di trasporto suburbano sono elettrificate a 1.5 kV in corrente continua.
- *Trazione diesel*: per le linee non elettrificate, vengono impiegati convogli alimentati a diesel.

	LUNGHEZZA [km]	PERCENTUALE
LINEE IN C.C. A 3 kV	16442	64,0 %
LINEE IN C.A. A 25 kV	976	3,80 %
LINEE NON ELETRIFICATE	8260	32,2 %
TOTALE LINEE RFI	25688	100 %

Tabella 1.1 – Chilometri di linea per sistema di trazione

### 1.3.3. Il sistema di trazione elettrica a 3 kV in corrente continua

Contrariamente alle neonate linee ad alta velocità, le rete ferroviaria italiana elettrificata è esercita mediante un sistema di trazione a 3 kV in corrente continua, che richiede apparecchiature ed impianti specializzati per la conversione ed il controllo, configurandosi, il linea generale, più complessa da implementare rispetto la controparte a diesel.

A prescindere dalla tecnologia scelta, la filiera di un sistema di trazione elettrica prevede una prima fase di acquisizione e trasmissione dell'energia elettrica alle *Sotto Stazioni Elettriche (SSE)* per la conversione, la distribuzione alle linee di contatto e la captazione da parte dei convogli.

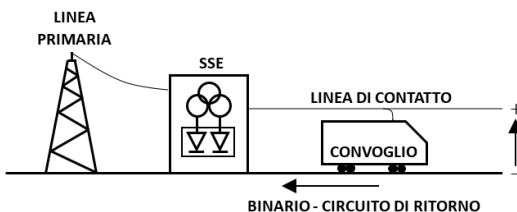


Figura 2 – Schema di funzionamento sistema di trazione elettrico

Linee primarie dedicate trasmettono l'energia elettrica alle sottostazioni. Al fine di garantire ridondanza nell'alimentazione, quindi rifornire le sottostazione anche in caso di guasti o disservizi sfruttando la terna di tensioni non compromessa, la configurazione è a doppia terna su singola palificazione, altresì a due terne parallele. L'alimentazione deriva dalla rete nazionale in AT/AAT e la gestione è a carico di TERNA.

Alle SSE è affidato il compito di adattare e convertire la forma d'onda di tensione in arrivo dalle linee primarie per la distribuzione alla linea di contatto e l'alimentazione dei servizi ausiliari. Ciascun elemento di sottostazione è interfacciato con un unico sistema computerizzato che ne consente il controllo sia localmente che da postazione remota.

I DOTE, acronimo di *Dirigenti Operativi Trazione Elettrica*, costituiscono centri di comando e controllo, tradizionali o computerizzati, dedicati alla gestione e alla supervisione del sistema elettrico di trazione. Questi apparati monitorano costantemente lo stato delle attrezzature delle SSE, degli interruttori e dei sezionatori, che possono essere manovrati a distanza in caso di guasto o per esigenze operative e di manutenzione programmata. Ciascun DOTE ha competenza su varie connessioni ENEL, diverse SSE, punti di sezionamento e *cabine TE*, nonché alcune cabine di media tensione per l'illuminazione e la forza motrice. Inoltre, gestisce approssimativamente un migliaio di chilometri di linee di contatto a 3 kV, appartenenti sia a binari elettrificati di piena linea, che a binari di stazione e scali merci.

Le sottostazioni sono organizzate in zone funzionali gestite localmente da *Unità Periferiche di protezione ed automazione (UPA)*, sistemi numerici monitorabili. Queste si occupano del controllo, monitoraggio, diagnostica ed automazione delle apparecchiature elettriche vigilando su parametri critici, quali corrente, tensione e frequenza, ed attuando misure di protezione in caso di anomalie o guasti.

Le UPA sono progettate per essere gestite sia in loco tramite i pannelli di controllo sulle apparecchiature, sia da remoto. Le varie UPA installate nelle diverse zone dell'impianto interagiscono con l'*Unità Centrale di Automazione (UCA)*, il centro di controllo che sovrintende e coordina le operazioni nell'intera sottostazione elettrica. L'*UCA* implementa sistemi *Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)*, che consentono il monitoraggio dello stato operativo dell'impianto, la visualizzazione in tempo reale dei dati provenienti dalle UPA, la gestione degli allarmi e l'attuazione di comandi remoti per il controllo delle apparecchiature.

L'interfaccia tra UCA e UPA avviene tramite la rete di comunicazione in fibra ottica presente in ogni sottostazione elettrica, che consente anche il collegamento con il posto centrale.

Allo scopo di garantire la tolleranza, continuità e l'affidabilità del servizio di protezione e monitoraggio, l'intera rete di controllo e gestione delle sottostazioni elettriche ferroviarie è caratterizzata da elevata ridondanza e dalla presenza di sistemi di backup, includendo generatori di emergenza, sistemi di alimentazione in parallelo e dispositivi duplicati per le funzioni critiche.

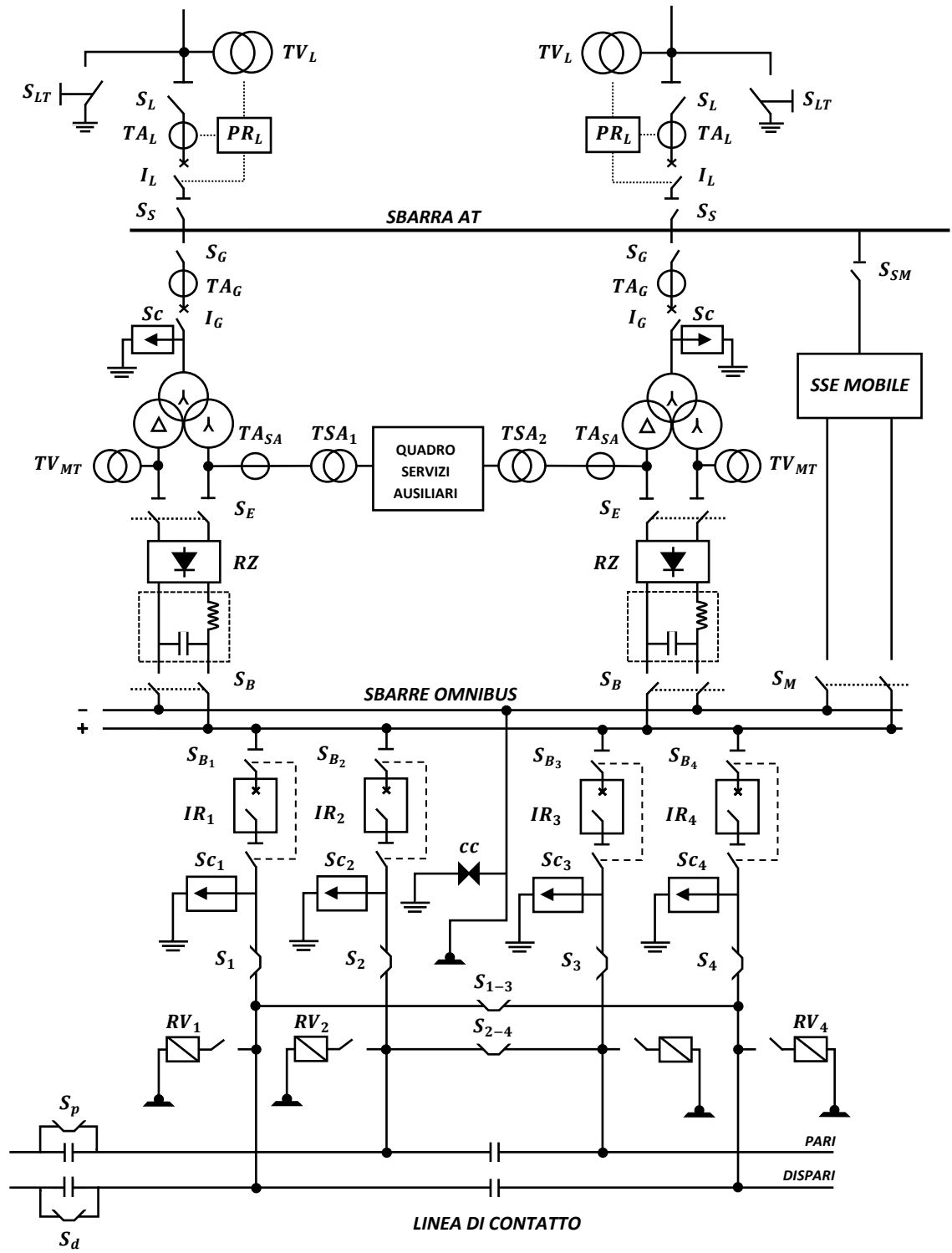


Figura 3 – Architettura del sistema di alimentazione a 3 kV in corrente continua

La costruzione della sottostazione avviene in serie, allo scopo di facilitarne la manutenzione, ed ogni impianto può essere suddiviso nelle seguenti sezioni.

### 1.3.3.1. Arrivo linea in MT/AT

Completamente situata all'aperto, la sezione d'arrivo in AT comprende tutte le infrastrutture, le apparecchiature, i dispositivi di controllo e protezione, installati fra il terminale delle linee primarie ed il successivo stadio di trasformazione.

I comuni livelli di tensione primaria per l'arrivo in AT/AAT sono  $66\text{ kV} - 132\text{ kV} - 150\text{ kV} - 220\text{ kV}$ . Il livello  $66\text{ kV}$  è relativo a vecchie linee primarie, mentre per le nuove realizzazioni vengono selezionati i livelli di tensione maggiore. Laddove l'alimentazione ad opera di queste linee sia impossibile, la sottostazione è rifornita direttamente dalla rete in media tensione.

Nelle SSE alimentate in MT, in caso di linee aeree il reparto d'arrivo in MT risulta simile al rispettivo in alta tensione. Se invece, come accade di frequente, l'alimentazione avviene via cavo, lo stesso reparto è confinato all'interno di un fabbricato di consegna accanto a quello di sottostazione.

Nella figura sottostante illustrati i componenti che contraddistinguono la sezione d'arrivo linea in AT.

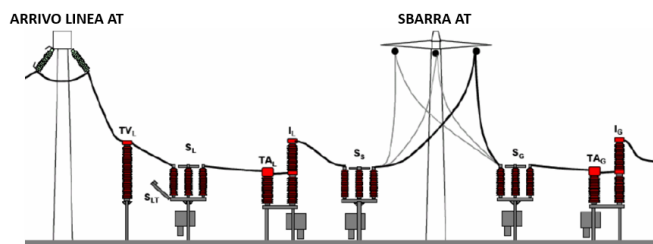


Figura 4 – Sezione di arrivo linea in AT

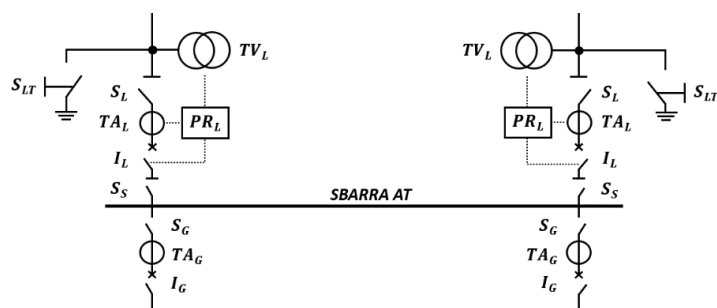


Figura 5 – Schema elettrico sezione d'arrivo linea in AT

In primo luogo, si distingue il trasformatore di tensione di linea  $TV_L$ , il cui compito consiste nel ridurre la tensione in arrivo dalla linea primaria per consentirne il rilevamento da parte di un sistema di misura, coordinando l'intervento eventuale delle protezioni preposte (relè di minima e massima tensione, protezioni distanziometriche  $PR_L$  che agiscono sull'interruttore di linea  $I_L$ )

Proseguendo, si individua innanzitutto un sezionatore di linea  $S_L$  provvisto lame di terra  $S_{LT}$ . In successione, un trasformatore di corrente di linea  $TA_L$  e l'interruttore di linea  $I_L$ , isolato in  $SF_6$ . Trattandosi di un dispositivo disgiuntore, la funzione del sezionatore di linea consiste nell'aprire/chiedere il circuito una volta intervenuto l'interruttore di linea  $I_L$ , responsabile dell'interruzione della corrente di linea. La presenza delle lame di terra  $S_{LT}$  è fondamentale per dissipare la tensione residua associata alle capacità verso terra. Affinché le operazioni di manovra siano espletate in totale sicurezza, è essenziale che l'azione di questi due componenti sia coordinata: l'apertura del sezionatore di linea deve coincidere con l'attivazione delle lame di terra permettendo la scarica delle capacità parassite. Di conseguenza, i componenti non possono presentarsi contemporaneamente nello stesso stato.

Il trasformatore di corrente è posto in serie a ciascuna fase e ricopre le mansioni di protezione amperometrica, alimentando il relè di massima corrente, e misura della corrente di linea.

A monte della sbarra di alta tensione si distingue il sezionatore di sbarra  $S_S$ : privo di lame terra, garantisce la continuità tra interruttore e sbarra.

Alla sbarra in AT si amarrano tutti i conduttori di ogni arrivo AT e da essa si dipartono le conduttore per l'alimentazione dei gruppi di trasformazione e raddrizzamento. Ogni gruppo è corredato con un sezionatore di gruppo  $S_G$ , anch'esso privo di lame di terra, un trasformatore di corrente di gruppo  $TA_G$  ed interruttore di gruppo  $I_G$ . Questi ultimi due componenti sono contraddistinti dalle stesse specifiche tecniche e svolgono i medesimi incarichi dei precedenti trasduttori di corrente ed interruttore di linea.

Le operazioni di arrivo delle linee sono state automatizzate e integrate nell'UPA corrispondente, solitamente situata in una cabina all'aperto e collegata all'unità centrale di automazione.

Di seguito è riportato lo schema della sezione d'arrivo linea di una sottostazione in MT alimentata in cavo:

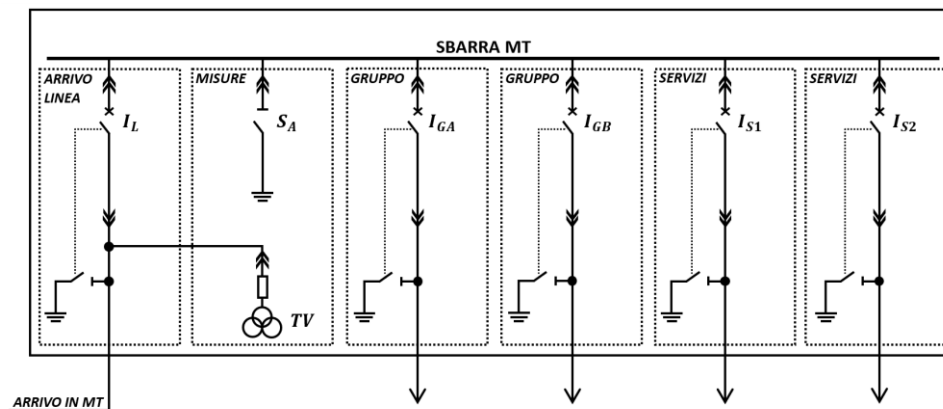


Figura 6 – Schema di un quadro d'arrivo linea in MT

La differenza rispetto la controparte in alta tensione risiede nella sezione d'arrivo, dove in un unico quadro compatto sono racchiuse le attrezzature necessarie, con conseguenti benefici in termini di riduzione degli spazi e minore esposizione a campi elettromagnetici. Il quadro in media tensione, collocato all'interno del fabbricato di consegna, è blindato in aria e dotato di interruttori in gas esafluoruro di zolfo ( $SF_6$ ).

Strutturalmente, si individua un compartimento d'arrivo linea, contenente l'interruttore di linea  $I_L$  isolato in  $SF_6$  e la cui manovra risulta vincolata al sezionatore di messa a terra consentendo di alimentare la sbarra di MT con le adeguate protezioni di massima corrente e messa a terra.

Accanto, è possibile distinguere una sezione destinata alle operazioni di misura ospitante il sezionatore  $S_A$  di messa a terra ed i trasformatori di tensione per la protezione di massima tensione. Parallelamente, vi sono due scomparti di gruppo e due relativi all'alimentazione dei servizi ausiliari. Entrambi i compartimenti di gruppo sono equipaggiati con gli interruttori di gruppo  $I_G$  in  $SF_6$ , la cui chiusura è vincolata all'apertura dei rispettivi sezionatori di terra. Come accade per la sezione d'arrivo linea sono presenti le protezioni di massima corrente e verso terra.

I compartimenti relativi ai servizi ausiliari sono dotati di analoghi interruttori in  $SF_6$ , rispettivamente indicati con l'apice  $I_S$ , il cui stato dipende dalla posizione del sezionatore di terra presente. La protezione del trasformatore  $TSA$  dedicato all'alimentazione dei servizi ausiliari è assicurata tramite appropriati fusibili.

Infine, ogni scompartimento è corredato con indicatori luminosi per la segnalazione della presenza di tensione, lato linea o sulla barra, e di un'unità  $UPA$  per il monitoraggio in loco e la segnalazione verso il centro di controllo di eventuali superamenti dei limiti di tensione e corrente rilevati dai trasduttori.

### 1.3.3.2. Trasformazione ed alimentazione in MT

Trasformazione ed alimentazione in MT: in questo stadio avviene la conversione AT/MT per l'ingresso nei gruppi raddrizzatori e MT/BT per l'alimentazione dei servizi ausiliari.

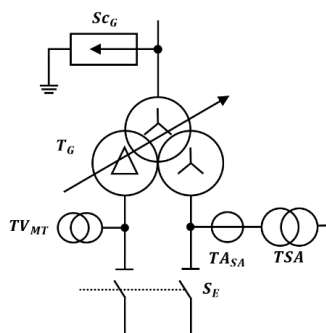


Figura 7 – Stadio di trasformazione SSE

A monte dello stadio in AT di ogni trasformatore di gruppo  $T_G$  è posizionato uno scaricatore  $Sc_G^2$ , il cui scopo è la protezione da sovratensioni di manovra e sovratensioni d'origine esterna.

I trasformatori effettuano una conversione AT/MT per l'alimentazione dei gruppi raddrizzatori alla tensione di 3 kV in continua. La configurazione è a tre avvolgimenti, sono isolati in olio o resina e dotati di OLTC – On Load Tap Changer per una regolazione automatica della tensione in funzione dei valori indicati dal trasformatore di tensione  $TV_{MT}$  posto a valle del circuito secondario. Il primario è a stella, i secondari a stella e triangolo sfasati di 30° elettrici. È poi prevista la presenza di relè Buchholz e sonde di temperatura per la protezione dai guasti.

TIPOLOGIA	TRASFORMATORE TRIFASE A TRE AVVOLGIMENTI
POTENZA	3.6 MW – 5.4 MW
ISOLAMENTO	OLIO – RESINA
CIRCUITO PRIMARIO	STELLA
CIRCUITI SECONDARI	STELLA e TRIANGOLO
CONFIGURAZIONE	Dy11 – Dd0
PROTEZIONI	TERMICA + RELÈ BUCHHOLZ

Tabella 1.2 – Caratteristiche del trasformatore

In successione al trasformatore è ubicato un sezionatore esapolare  $S_E$  per il sezionamento del gruppo raddrizzatore. L'automazione dell'interruttore, assieme alla funzione di regolazione automatica del rapporto di trasformazione dei trasformatori di gruppo sono implementate negli UPA competenti.

Nella sezione in questione potrebbero essere collocati trasformatori a doppio avvolgimento MT/BT isolati per fornire servizi ausiliari come illuminazione, segnalazione e forza motrice nel caso in cui altre fonti di energia siano assenti, o per garantire un'alimentazione di riserva. Questi ultimi sono direttamente collegati ai secondari dei trasformatori di gruppo e provvisti di opportune protezioni mediante trasformatori di tensione e corrente in media tensione.

TIPOLOGIA	TRASFORMATORE TRIFASE A DUE AVVOLGIMENTI
POTENZA	30 kVA – 100 kVA
ISOLAMENTO	RESINA
TENSIONE PRIMARIA	20 kV
TENSIONE SECONDARIA	400 V
CIRCUITO PRIMARIO	TRIANGOLO
CIRCUITI SECONDARI	STELLA
CONFIGURAZIONE	Dyn11

Tabella 1.3 – Caratteristiche del trasformatore MT/BT per i servizi ausiliari

<sup>2</sup> Uno scaricatore per ogni fase.



### 1.3.3.3. Conversione dell'energia

In questo stadio, solitamente situato all'interno del fabbricato della SSE, avviene la conversione della tensione proveniente dai trasformatori di gruppo nella forma adatta al sistema di trazione.

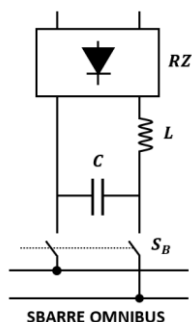


Figura 8 – Stadio di conversione dell'energia

La tensione alternata in uscita dai sezionatori esapolari  $S_E$  viene indirizzata ai gruppi raddrizzatori al silicio per la conversione in continua. Il processo avviene ad opera di due ponti Graetz connessi tra loro. Sia la connessione in serie o parallelo, lo sfasamento di  $30^\circ$  elettrici tra i due secondari del trasformatore permette di realizzare una conversione dodecafase. La differenza tra le tipologie di collegamento risiede nel valore nominale di tensione richiesto ai secondari del trasformatore per ottenere una tensione a vuoto di  $3600\text{ V}$  in continua: in caso di collegamento in serie, si richiede una tensione di  $1355\text{ V}$ , nel collegamento in parallelo, una tensione di  $2710\text{ V}$ .

GRUPPI RADDRIZZATORI	
TIPO	PONTE GRAETZ ESAFASE
POTENZA	$3.6\text{ MW} - 5.4\text{ MW}$
TENSIONE AC IN INGRESSO	$2700\text{ V}$
TENSIONE DC IN USCITA	$3600\text{ V}$
PROTEZIONI	RELÉ DI MASSIMA TENSIONE LATO CORRENTE ALTERNATA E CONTINUA

Tabella 1.4 – Caratteristiche gruppo raddrizzatori

Per prevenire eventuali disturbi introdotti dalle armoniche della tensione raddrizzata sulle linee di telecomunicazione e negli impianti di sicurezza, per ciascun gruppo raddrizzatore è installato un *filtro LC passa-alto*. Si utilizzano relè di massima corrente con soglia regolabile per protezione delle apparecchiature di conversione da guasti interni, per la protezione verso la terra relè di massima corrente con soglia fissa.

FILTRO LC PASSA ALTO	
INDUTTANZA	$6\text{ mH}$
BANCO DI CONDENSATORI	TRE BANCHI DI CONDENSATORI DALLA CAPACITÀ DI $120\ \mu\text{F}$ PER UNA CAPACITÀ TOTALE DI $360\ \mu\text{F}$
FREQUENZA DI TAGLIO	$\cong 100\text{ Hz}$
PROTEZIONI	RELÉ DI MASSIMA CORRENTE IN SERIE E VERSO TERRA

Tabella 1.5 – Caratteristiche filtro LC

Invece, il sezionatore bipolare di sbarra  $S_B$ , collocato come ultimo dispositivo dello stadio di conversione, ha il compito di isolare ciascun gruppo raddrizzatore dalle sbarre omnibus.

#### 1.3.3.4. Protezione e distribuzione TE

Il settore, localizzato interno di una *cabina TE*, include le apparecchiature per la distribuzione dell'energia in corrente continua, nonché per la misurazione della tensione, della corrente e dell'energia fornita dalla sottostazione a 3 kV. Inoltre, include i dispositivi atti all'alimentazione e alla protezione delle *linee TE* e delle apparecchiature di sottostazione da sovratensioni d'origine esterna.

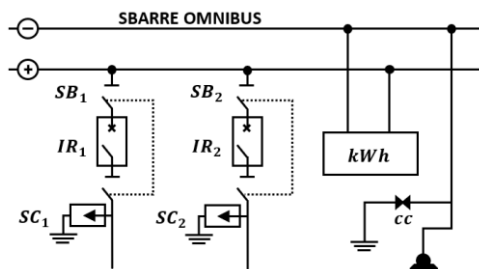


Figura 9 – Stadio di protezione e distribuzione TE

La sbarra omnibus negativa è connessa al binario, a sua volta collegato a terra tramite un dispositivo cortocircuitatore *cc*, essenziale per l'utilizzo dei binari come circuito per l'invio di segnali. Di conseguenza impianto di terra della sottostazione e messa terra dei binari sono separate. In caso di guasto lungo linea, se il cortocircuitatore rileva una differenza di potenziale pericolosa tra circuito di ritorno e impianto di terra della SSE, connette in derivazione i due impianti di terra neutralizzando il rischio di tensioni di passo o di contatto eccessive.

Tra la sbarra omnibus positiva e la conduttura elettrica che da essa si diparte, sono collocati un sezionatore bipolare  $S_B$ , l'interruttore extrarapido *IR* ed infine uno scaricatore *Sc*, il cui ruolo consiste nella salvaguardia delle apparecchiature interne delle sottostazioni dalle sovratensioni di origine atmosferica, provenienti dalla linea di contatto, per ciascuna linea *TE* in ingresso. La stessa configurazione si ripete per ogni linea allacciata alla sbarra omnibus positiva.



TIPOLOGIA	ISOLATO IN ARIA CON SPEGNIMENTO A SOFFIO MAGNETICO
TENSIONE NOMINALE	3 kV
CORRENTE NOMINALE	4 kA
POTERE DI INTERRUZIONE	70 kA
TEMPO DI INTERVENTO	< 20 ms
SISTEMI DI PROTEZIONE	ASDE – RELÈ AMPEROMETRICI

Tabella 1.6 – Caratteristiche interruttore extrarapido

Figura 10 – Interruttore extrarapido

All'interno di quadro in 3 kV sono contenute le apparecchiature che formano questa sezione. Sono individuabili i seguenti scomparti:

- Due compartimenti di gruppo includono: sbarra positiva, negativa e di terra (segregate all'interno della cella delle barre), il sezionatore bipolare di gruppo  $S_B$ , i trasduttori di misura a 3 kV, i condensatori del filtro aperiodico, i dispositivi di carica e messa a terra.
- Scomparti di alimentazione caratterizzati dalla presenza degli interruttori extrarapidi con le apparecchiature accessorie ad essi annesse: il circuito di prova linea, le apparecchiature ausiliarie di misura (TA e TV) e di protezione (relè di minima e massima tensione, relè di massima corrente per la protezione da guasti verso terra, fusibile di protezione). All'interno del compartimento si trova anche il dispositivo di asservimento ASDE<sup>3</sup>, il quale garantisce la protezione della linea TE, intervenendo in caso di sovraccarico o cortocircuito, coordinando la manovra degli interruttori extrarapidi afferenti alla tratta da proteggere.
- Uno scomparto di misura ospita il sezionatore bipolare di derivazione per la sottostazione mobile, i TA e TV di misura, il dispositivo cortocircuitatore per il collegamento a terra.

Per il controllo di tutte le apparecchiature di alimentazione e dei circuiti ausiliari dell'interno compartimenti sono presenti UPA dedicati.

#### 1.3.3.5. Smistamento e alimentazione TE in corrente continua

In questo stadio, istituito all'aperto, avviene lo smistamento dell'energia e dell'alimentazione delle linee di contatto. Quest'area comprende le condutture aeree a 3 kV di piazzale che si sviluppano tra gli interruttori extrarapidi ed i sezionatori aerei a 3 kV, i relativi isolatori e le varie derivazioni.

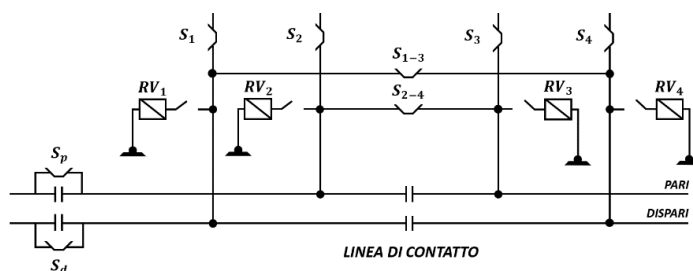


Figura 11– Schema stadio di smistamento e alimentazione TE in corrente continua

I sezionatori aerei di tipo unipolare con corna spinterometriche, si distinguono in sezionatori di prima fila ( $S_1, S_2, S_3, S_4$ ), situati a monte alimentano direttamente la linea di contatto, e sezionatori di seconda fila ( $S_{1-3}, S_{2-4}$ ), che permettono la connessione in parallelo delle catenarie afferenti allo stesso binario così da garantire la continuità di esercizio anche in caso di avarie. Questi dispositivi, di tipo motorizzato, sono dotati di un quadro di comando e di controllo che ne consente l'automazione.

In concomitanza ad ogni sezionatore di prima fila sono posizionati i complessi voltmetrici, alimentati dalla linea tramite un sezionatore unipolare apposito.

<sup>3</sup> Per ulteriori informazioni riguardo il sistema d'asservimento ASDE si veda l'appendice A.

### 1.3.3.6. Telecomando e servizi ausiliari

Comprende le apparecchiature di governo e controllo degli impianti di sottostazione e per l'alimentazione degli impianti ausiliari.

ZONE FUNZIONALI	UPA	FUNZIONI SVOLTE
<b>ARRIVO IN AT/MT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ UPA di arrivo linea.</li> <li>▪ UPA di gruppo (una per ogni gruppo)</li> </ul>	Protezione delle linee AT/MT, diagnostica, misura, invio comandi di manovra delle apparecchiature e registrazione dello stato, registrazione cronologica degli eventi.
<b>TRASFORMAZIONE E CONVERSIONE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ UPA dispositivo OLTC.</li> <li>▪ UPA raddrizzatore (una per ogni gruppo di conversione).</li> </ul>	Regolazione della posizione del variatore in funzione della tensione misurata dai TV.  Monitoraggio dello stato dei singoli diodi e della temperatura del reattore.
<b>QUADRO A 3 kV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ UPA scomparto di gruppo (una per ogni scomparto).</li> <li>▪ UPA scomparto misure.</li> <li>▪ UPA scomparto extrarapido (una per ogni extrarapido presente).</li> </ul>	Protezione contro guasti verso terra interni allo scomparto, consenso di accesso, controllo dello stato dei condensatori del filtro, invio comandi di manovra delle apparecchiature ed acquisizione del loro stato.  Protezioni contro guasti verso terra interni allo scomparto, consenso di accesso, monitoraggio del cortocircuitatore e controllo dello stato delle apparecchiature manovrabili.  Protezione contro guasti verso terra interni allo scomparto, consenso di accesso, protezione contro guasti interni della linea di contatto, invio di comandi di manovra delle apparecchiature ed acquisizione del loro stato, attivazione e controllo delle procedure di richiusura automatiche dell'extrarapido.
<b>QUADRO SERVIZI COMUNI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ UPA servizi ausiliari.</li> </ul>	Controllo impianto antiincendio e antiintrusione, commutazione periodica dell'alimentazione dei servizi ausiliari fra i gruppi, gestione dell'interconnessione fra i dispositivi d'asservimento ed interfaccia con il DOTE.

Tabella 1.7 – UPA presenti

### 1.3.3.7. Impianti di terra, circuito di ritorno ed opere accessorie

L'impianto di terra ha lo scopo di impedire che le strutture metalliche accessibili raggiungano tensioni troppo elevate, quindi pericolose per le persone. È composto da una rete magliata di corde e picchetti attraverso la quale avviene la dispersione della corrente di guasto, dai conduttori equipotenziali e quelli che collegano le strutture metalliche con l'impianto in questione.

Il circuito di ritorno *TE* è collegato al negativo della *SSE* tramite cavi in bassa tensione, convogliando la corrente di ritorno nella sottostazione. Il dispositivo cortocircuitatore assicura il collegamento tra conduttore negativo e terra in presenza di una differenza di potenziale oltre un certo valore. A tal proposito, nel progettare la sottostazione, è essenziale considerare che si manifestano due tipologie di correnti di ritorno: la corrente di trazione, durante un regime di normale funzionamento, e la corrente di corto circuito in caso di guasti.

In caso di guasto nel reparto a 3 kV, un circuito di apertura generale isola la sottostazione sia dal lato corrente continua che alternata. Le protezioni si attivano grazie ai relé di massa che chiudono il circuito tramite l'impianto di terra e il negativo della sottostazione. Attualmente, tutte le *SSE* di nuova

generazione includono un sistema di ripristino automatico delle parti non soggette a guasto, gestito da un *UPA* dedicato.

Le opere accessorie comprendono infrastrutture e apparecchiature che supportano la gestione sicura ed efficace delle *SSE*, come opere murarie, impianti dei servizi, dispositivi di videosorveglianza, antincendio e antintrusione, oltre alla segnaletica antinfortunistica.

## 2. QUADRO NORMATIVO E REGOLAMENTARE DELL'ELETTRIFICAZIONE FERROVIARIA: LINEE GUIDA PER LA COSTRUZIONE DELLE INFRASTRUTTURE

Il sistema di trazione ferroviario europeo è estremamente variegato e comprende varie tecnologie e configurazioni a seconda del paese considerato. In particolare, i livelli di tensione in cui il sistema è esercito differiscono a seconda delle singole reti ferroviarie nazionali:

- Sistema di trazione a 25 kV in corrente alternata a 50 Hz: adottato in Francia, Belgio, Portogallo, Grecia, paesi Ex Jugoslavia, Ungheria, Danimarca, Gran Bretagna, Paesi Bassi, Spagna, Polonia ed Italia. La corrente alternata a 25 kV è ampiamente utilizzata sulle linee ad alta velocità e sulle principali linee ferroviarie
- Sistema di trazione in corrente alternata a 15 kV e 16.7 Hz: Germania, Austria, Svizzera e vari paesi nordici utilizzano questo sistema di trazione per la loro rete ferroviaria principale.
- Sistema di trazione a 1.5 kV in corrente continua: utilizzato in vari paesi europei, tra cui Francia e Paesi Bassi. In altri paesi europei la corrente continua a 1.5 kV è solitamente impiegata in linee ferroviarie meno trafficate e su reti urbane.
- Sistema di trazione a 3 kV in corrente continua: paesi come Italia, Spagna, Belgio, Polonia, Belgio utilizzano il sistema a 3 kV per la loro rete ferroviaria.

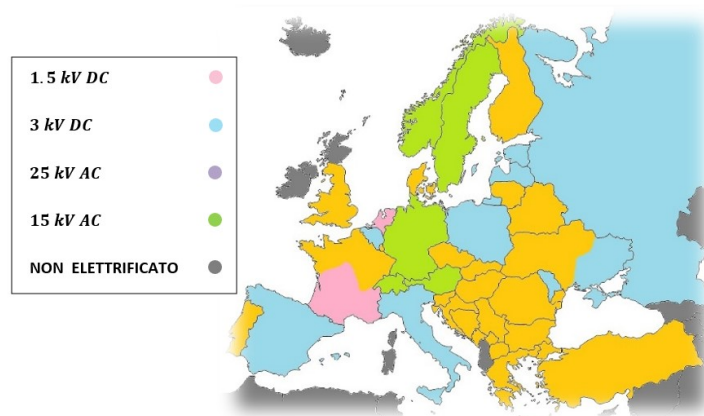


Figura 12 – Sistema di trazione principale nei vari paesi europei

Dal 1990 ad oggi l'Unione Europea intrapreso un processo volto a creare uno spazio europeo ferroviario unico emanando una serie di direttive finalizzate a promuovere l'apertura del mercato ferroviario, l'interoperabilità della rete e la sicurezza dell'intero sistema. Per *interoperabilità*, si intende la capacità dei vari elementi, treni, infrastrutture, sistemi di segnalamento, e controllo del traffico di collaborare efficacemente, consentendo un funzionamento fluido e sicuro del sistema nel suo complesso, di conseguenza garantendo la circolazione dei convogli tra i vari stati membri senza soluzione di continuità.

Quest'opera di espansione ed armonizzazione è stata non trascurabilmente ostacolata dall'esistenza di complessi sistemi nazionali indipendenti, caratterizzati da diversi e frammentati standard tecnici che hanno rappresentato il principale impedimento al raggiungimento dell'interoperabilità dei servizi ferroviari nel panorama europeo.

L'abbattimento delle barriere tecniche, burocratiche ed operative che hanno ostacolato lo sviluppo del sistema ferroviario transeuropeo è stata superata grazie all'armonizzazione delle norme e dei regolamenti tecnici, all'adozione di standard comuni e la cooperazione tra le autorità ferroviarie nazionali e internazionali.

## **2.1 Normativa Europea: STI – Specifiche Tecniche di interoperabilità**

Le direttive emesse intendono quindi stabilire i requisiti essenziali al raggiungimento dell'interoperabilità del sistema all'interno territorio comunitario. Pertanto, comprendono un vasto campo di argomenti, che spaziano dalla progettazione alla costruzione e all'entrata in servizio delle linee e dei materiali rotabili, fino alla ristrutturazione, al rinnovo, all'esercizio e alla manutenzione degli elementi del sistema. L'uniformità a livello europeo degli aspetti da esse trattati risulta di imprescindibile importanza per l'ottenimento degli obiettivi preposti.

Ciascuna direttiva si basa su una suddivisione gerarchica del sistema ferroviario nei seguenti sottosistemi:

- *Infrastruttura.*

*“le strade ferrate, l'insieme dei binari, le opere di ingegneria (ponti, gallerie, etc ...), le relative infrastrutture nelle stazioni (marciapiedi, zone di accesso, tenendo presenti le esigenze delle persone a mobilità ridotta, etc ...), le apparecchiature di sicurezza e di protezione”*

- *Energia.*

*“Il sistema di elettrificazione incluso il materiale aereo e l'apparecchiatura a terra di misurazione del consumo di energia elettrica”*

- *Controllo, Comando e Segnalamento.*

*“Tutte le apparecchiature a terra necessarie per garantire la sicurezza, il comando ed il controllo della circolazione dei treni autorizzati a circolare sulla rete”*

- *Materiale Rotabile.*

*“La struttura, il sistema di comando e controllo dell'insieme delle apparecchiature del treno, i dispositivi di captazione di corrente elettrica, le apparecchiature di trazione e di trasformazione dell'energia, l'apparecchiatura di bordo per la misurazione del consumo di energia elettrica, di frenatura, di agganciamento, gli organi di rotolamento (carrelli, assi) e la sospensione, le porte, le interfacce persona/macchina (macchinista, personale a bordo, passeggeri, tenendo presenti le esigenze delle persone a mobilità ridotta), i dispositivi di sicurezza passivi o attivi, i dispositivi necessari per la salute dei passeggeri e del personale a bordo”*

- *Esercizio e gestione del traffico.*

*“Le procedure e le relative apparecchiature che permettono di garantire un esercizio coerente dei vari sottosistemi strutturali, sia durante il funzionamento normale che in caso di funzionamento irregolare, comprese la composizione e la guida dei treni, la pianificazione e la gestione del traffico.*

*Tutte le qualifiche professionali necessarie per assicurare servizi transfrontalieri”*



- *Manutenzione.*

*“Le procedure, le apparecchiature associate, gli impianti logistici di manutenzione, le riserve che permettono di garantire le operazioni di manutenzione correttiva e preventiva a carattere obbligatorio, previste per garantire l’interoperabilità del sistema ferroviario e le prestazioni necessarie”*

- *Applicazioni telematiche per i passeggeri e il trasporto merci.*

*“Le applicazioni per i passeggeri, compresi i sistemi di informazione dei viaggiatori prima e durante il viaggio, i sistemi di prenotazione, i sistemi di pagamento, la gestione dei bagagli, la gestione delle coincidenze tra treni e con altri modi di trasporto.*

*Le applicazioni per il trasporto merci, compresi i sistemi di informazione (controllo in tempo reale delle merci e dei treni), i sistemi di smistamento e destinazione, i sistemi di prenotazione, pagamento e fatturazione, la gestione delle coincidenze con altri modi di trasporto, la produzione dei documenti elettronici di accompagnamento”*

Allo scopo di soddisfare i requisiti imposti dalle direttive e garantire l’interoperabilità della rete ferroviaria europea, ogni sottosistema è soggetto all’applicazione di specifiche tecniche elaborate a livello comunitario e definite come *Specifiche Tecniche di Interoperabilità (STI)*. I Sottosistemi devono configurarsi conformi alle *STI* vigenti, al momento della messa in servizio e qualora affrontino un processo di rinnovamento o ristrutturazione. Tale conformità deve obbligatoriamente essere garantita durante l’intero arco d’esercizio di ciascun sottosistema.

Per quanto concerne dettagli tecnici specifici che contraddistinguono i singoli *componenti di interoperabilità*<sup>4</sup>, gli elementi distintivi dei vari sottosistemi, dalle cui funzioni e caratteristiche dipende l’interoperabilità della rete intera, le *STI* vengono integrate dalle normative tecniche armonizzate *Euro Norme (EN)*.

Tutti gli Stati membri devono sottostare alle disposizioni delle *Specifiche Tecniche di Interoperabilità*. Tuttavia, il così detto obbligo può sfociare in un processo d’adeguamento delle normative in vigore, altresì, alla creazione di nuove leggi e regolamenti che includano gli standard imposti delle *STI*. In linea generale, i governi nazionali istituiscono enti ed agenzie specifiche allo scopo di adattare le *STI* alle specifiche esigenze del paese e di sovrintendere all’implementazione delle normative a livello nazionale, portando anche all’introduzione di ulteriori requisiti o dettagli non inclusi nelle *STI* europee, ma dettati dalle particolari circostanze che caratterizzano ciascun territorio.

Le specifiche tecniche di interoperabilità attualmente in vigore sono le seguenti:

- *STI Energia.*
- *STI Infrastruttura.*
- *STI Materiale rotabile – Locomotive e materiale rotabile per il trasporto di passeggeri.*
- *STI Materiale rotabile – rumore.*
- *STI Materiale rotabile – carri merci.*

---

<sup>4</sup> Qualsiasi componente elementare, gruppo di componenti, sottoinsieme o insieme completo di materiali incorporati o destinati ad essere incorporati in un sottosistema, da cui dipende direttamente o indirettamente l’interoperabilità del sistema ferroviario, compresi i beni materiali e quelli immateriali.

- *STI Sicurezza nelle gallerie ferroviarie.*
- *STI Controllo, comando e segnalamento.*
- *STI Persone con disabilità e persone a mobilità ridotta.*
- *STI Esercizio e gestione del traffico.*
- *STI Applicazioni telematiche per i passeggeri.*
- *STI Applicazioni telematiche per il trasporto merci.*

Ciascuna *STI* è caratterizzata da una struttura comune:

- Definizione dell'ambito di applicazione tecnico e geografico previsto.
- Stabilisce i requisiti essenziali del sottosistema interessato
- Definisce le specifiche funzionali e tecniche che il sottosistema e le sue interfacce devono rispettare in relazione ad altri sottosistemi
- Specifica i componenti di interoperabilità e le interfacce che devono essere oggetto di specifiche europee, tra cui le norme europee, che sono necessari per realizzare l'interoperabilità all'interno del sistema ferroviario dell'Unione.
- Indica, in ogni caso previsto, le procedure da utilizzare per valutare la conformità o l'idoneità all'impiego dei componenti di interoperabilità, da un lato, o per la verifica *CE* dei sottosistemi, dall'altro.
- Enuncia la strategia di attuazione della *STI* in questione.
- Delinea, per il personale interessato, i requisiti di qualifica professionale e le condizioni d'igiene e di sicurezza richiesti sul luogo di lavoro per l'esercizio e la manutenzione del sottosistema, nonché per l'attuazione della *STI* in questione.

Di seguito, avviene un approfondimento riguardo le specifiche tecniche che maggiormente influenzano un progetto di elettrificazione, oggetto di questo elaborato.

## **2.2. STI Energia**

La presente *STI*, definita dal regolamento *UE n. 1301/2014* emesso il 18 – 11 – 2014 ed entrata in vigore a decorrere dal 01 – 01 – 2015, definisce le specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema energia del sistema ferroviario dell'Unione europea.

Il sottosistema *Energia* comprende:

- *Sottostazioni elettriche di conversione*: collegate, sul lato primario, a una rete ad alta tensione in grado di trasformare l'alta tensione in una tensione e/o di convertirla in un sistema di alimentazione adatto ai treni. Sul lato secondario, le sottostazioni sono collegate al sistema della catenaria.
- *Punti di sezionamento*: apparecchiature elettriche collocate in posizioni intermedie tra le sottostazioni per alimentare e connettere in parallelo le linee di contatto, e fornire protezione, isolamento e alimentazioni ausiliarie.
- *Tratti di separazione*: apparecchiature necessarie per effettuare la transizione tra sistemi elettricamente diversi o tra fasi diverse dello stesso sistema elettrico.
- *Sistema della catenaria*: sistema che distribuisce l'energia elettrica ai treni che circolano sulla linea e la trasmette ai treni per mezzo di dispositivi di captazione di corrente.
- *Circuito di ritorno*: tutti i conduttori che formano il percorso stabilito della corrente di trazione di ritorno.

Dunque, la presente *STI* riguarda tutti gli impianti fissi necessari ad ottenere l'interoperabilità ed alla realizzazione del sistema di trazione elettrica.

Il sottosistema *Energia* presenta interfacce con altri sottosistemi del sistema ferroviario intese a ottenere le prestazioni previste. I sottosistemi in parola sono: materiale rotabile, infrastruttura, controllo, comando e segnalamento, esercizio e gestione del traffico.

### **2.2.1 Campo di applicazione**

Si applica ai *sottosistemi Energia* nuovi, rinnovati o ristrutturati del sistema ferroviario dell'Unione Europea. Si considera nuova qualsiasi linea ferroviaria messa in servizio a decorrere dal 01 – 01 – 2015. Invece, non si estende all'infrastruttura in uso ed immessa in servizio in tutta la rete ferroviaria di qualsiasi Stato membro anteriormente al 01 – 01 – 2015, tranne se questa sia soggetta a rinnovo o ristrutturazione.

### 2.2.2. Caratterizzazione del sottosistema: specifiche tecniche e funzionali

Il sistema di alimentazione ha l'obiettivo di fornire ad ogni treno la potenza necessaria per rispettare l'orario previsto.

#### 2.2.2.1. Tensione e frequenza

Tensioni e frequenze di alimentazione devono essere obbligatoriamente scelte fra le seguenti opzioni:

- Corrente alternata 25 kV, 50 Hz.
- Corrente alternata 15 kV, 16,7 Hz.
- Corrente continua 3 kV.
- Corrente continua 1,5 kV.

La scelta del sistema di alimentazione è di competenza dello Stato membro. La decisione è presa in base a motivazioni di ordine economico e tecnico, tenendo conto almeno dei seguenti elementi: il sistema di alimentazione esistente nello Stato membro, eventuali collegamenti alla linea ferroviaria di paesi confinanti con un'alimentazione elettrica esistente, potenza richiesta.

I valori e i limiti di tensione e frequenza sono conformi alla norma EN 50163:2004:

Sistema di elettrificazione	Tensione non permanente minima $U_{min2}$ V	Tensione permanente minima $U_{min1}$ V	Tensione nominale $U_n$ V	Tensione permanente massima $U_{max1}$ V	Tensione non permanente massima $U_{max2}$ V
c.c. (valori medi)	400	400	600 <sup>(a)</sup>	720	800
	500 <sup>(c)</sup>	500	750	900 <sup>(c)</sup>	1 000
	1 000	1 000	1 500	1 800 <sup>(c)</sup>	1 950
	2 000	2 000	3 000	3 600	3 900 <sup>(b)</sup>
a.c. (valori efficaci)	11 000	12 000	15 000	17 250	18 000
	17 500 <sup>(c)</sup>	19 000 <sup>(c)</sup>	25 000	27 500 <sup>(c)</sup>	29 000
Condizioni speciali nazionali per la Francia: vedi allegato B.					
(a) I futuri sistemi di trazione in CC per tramvie e ferrovie locali dovrebbero conformarsi alle tensioni nominali di sistema di 750 V, 1500 V o 3000V.					
(b) Condizioni speciali per il Belgio: vedere allegato B					
(c) Condizioni speciali nazionali per il Regno Unito: vedi allegato B.					

Tabella 2.1 – Tensioni nominali e relativi limiti ammissibili per valore e durata

Inoltre, devono essere osservati i seguenti requisiti:

- La durata delle tensioni tra  $U_{min1}$  e  $U_{min2}$  non deve superare 2 minuti.
- La durata delle tensioni tra  $U_{max1}$  e  $U_{max2}$  deve risultare inferiore a 5 minuti.
- La tensione delle sbarre in sottostazione deve essere inferiore od uguale ad  $U_{max1}$ .

- Per le sottostazioni in corrente continua è accettabile che questa tensione di sbarra a vuoto si presenti inferiore od uguale ad  $U_{max2}$ , tenendo presente che, con la presenza del treno, la tensione al pantografo del treno deve sottostare ai requisiti indicati nella tabella sopra riportata.
- In condizioni normali di funzionamento le tensioni devono stare nel campo  $U_{min1} \leq U \leq U_{max2}$ . In tal caso, la tensione  $U$ , compresa nel campo  $U_{min1} \leq U \leq U_{max2}$ , non deve causare alcun disservizio.
- Le tensioni tra  $U_{max1}$  e  $U_{max2}$  non devono essere raggiunte che per condizioni temporanee come: frenatura a recupero ed azionamento in atto dei sistemi di regolazione come un commutatore di prese meccanico. Nel caso in cui ciò avvenga, è necessario che in seguito la tensione si abbassi ad un valore non superiore a  $U_{max1}$  per un intervallo di durata non specificata.
- In condizioni anormali di funzionamento il limite minimo della tensione alla linea di contatto per cui si ritiene che il rotabile possa funzionare è  $U_{min2}$ .

Per quanto concerne alle frequenze dei sistemi di potenza a corrente alternata nelle ferrovie e i loro limiti ammissibili, vale quanto riportato in seguito.

Per sistemi con collegamento sincrono con un sistema interconnesso:

- $50 \text{ Hz} \pm 1 \%$ : la frequenza deve essere compresa tra  $49,5 \text{ Hz} \div 50,5 \text{ Hz}$  per il 99,5 % dell'anno.
- $50 \text{ Hz} - 6 \% \div 50 \text{ Hz} + 4 \%$ : di conseguenza la frequenza deve rientrare nell'intervallo  $47 \text{ Hz} \div 52 \text{ Hz}$  per il 100 % del tempo.

Per sistemi senza collegamento sincrono ad un sistema interconnesso:

- $50 \text{ Hz} \pm 2 \%$ : la frequenza deve essere compresa tra  $49 \text{ Hz} \div 51 \text{ Hz}$  per il 95 % di una settimana.
- $50 \text{ Hz} \pm 15 \%$ : per il 100 % del tempo deve essere compresa nell'intervallo  $42,5 \text{ Hz} \div 57,5 \text{ Hz}$ .

Per i sistemi di trazione elettrica a  $16,7 \text{ Hz}$ , i valori sono i seguenti.

Per sistemi con collegamento sincrono con un sistema interconnesso:

- $16,7 \text{ Hz} \pm 1 \%$ : le frequenze ammesse sono comprese tra  $16,5 \text{ Hz} \div 16,83 \text{ Hz}$  per il 99,5 % dell'anno.
- $16,7 \text{ Hz} \pm 6 \%$ : per il 100 % del tempo la frequenza può variare tra  $15,69 \text{ Hz} \div 17,36 \text{ Hz}$ .

Per sistemi senza collegamento sincrono ad un sistema interconnesso:

- $16,7 \text{ Hz} \pm 2 \%$ , dunque,  $16,33 \text{ Hz} \div 17 \text{ Hz}$  per il 95 % di una settimana.
- $16,7 \text{ Hz} \pm 15 \%$ , la frequenza deve essere compresa all'interno dei valori  $14,16 \text{ Hz} \div 19,16 \text{ Hz}$  per il 100 % del tempo

Per sistemi collegati alla rete ferroviaria interconnessa a  $16,7 \text{ Hz}$ :

- $16,7 \text{ Hz} - 3 \% \div 16,7 \text{ Hz} + 2 \%$ : cioè  $16,17 \text{ Hz} \div 17 \text{ Hz}$  per il 100 % del tempo.

### 2.2.2.2. Parametri relativi alle prestazioni del sistema di alimentazione

Per la valutazione della prestazioni del sistema di alimentazione si devono prendere in considerazione i seguenti parametri:

- Corrente massima del treno: l'alimentazione deve garantire le prestazioni specificate e consentire il funzionamento dei treni con una potenza inferiore a 2 MW senza limitazioni di corrente o di potenza.
- Il fattore di potenza dei treni e la tensione media utile al pantografo. La tensione utile media al pantografo calcolata deve essere conforme a quanto stabilito dalla norma EN 50388:2012.

Sistema di alimentazione	Tensione media minima, $U_{\text{mean useful}}$ , al pantografo V	
	Categoria I, II e III delle linee STI AV	Categoria IV, V, VI, VII delle linee STI CR e delle linee Classiche
	Zona e treno	Zona e treno
25 000 V c.a. 50 Hz	22 500	22 000
15 000 V c.a. 16,7 Hz	14 200	13 500
3 000 V c.c.	2 800	2 700
1 500 V c.c.	1 300	1 300
750 V c.c.	N.A.	675

**Legenda**  
N.A.: Non applicabile

Tabella 2.2 – Tensione media utile minima al pantografo

### 2.2.2.3. Capacità di corrente, sistemi CC, con treni in stazionamento:

La catenaria di sistemi in corrente continua va dimensionata per supportare 300 A (per un sistema di alimentazione a 1,5 kV) e 200 A (per un sistema di alimentazione a 3 kV) per pantografo, quando il treno è in stazionamento.

La progettazione della catenaria deve avvenire tenendo conto dei limiti di temperatura conformemente alla norma EN 50119:2009.

Materiale	Temperatura		
	Sino ad 1 s (corrente di cortocircuito)	Sino a 30 min (pantografo fermo)	Permanente (condizione di esercizio)
Rame ad elevata o normale resistenza meccanica ed elevate conduttività	170	120	80
Lega di argento e rame	200	150	100
Leghe di rame e stagno	170	130	100
Bronzo/leghe di rame e magnesio (0,2)	170	130	100
Bronzo/leghe di rame e magnesio (0,5)	200	150	100
Leghe di alluminio	130	-	80
ACSR / AACSR	160	-	80

Tabella 2.3 – Limiti di temperatura per le proprietà meccaniche dei materiali

Per temperature più elevate di quelle indicate in tabella, deve essere verificata la possibile riduzione della resistenza meccanica del conduttore in relazione alla durata della maggiore temperatura e, se necessario, devono essere aumentate le dimensioni del conduttore.

#### 2.2.2.4. Frenatura a recupero

I sistemi di alimentazione di energia a corrente alternata devono essere progettati in modo da permettere l'utilizzo del sistema di frenatura a recupero in grado di scambiare energia, senza soluzione di continuità, con gli altri treni o con qualsiasi altro mezzo. Invece, i sistemi di alimentazione di energia a corrente continua devono essere progettati in modo da permettere l'utilizzo del sistema di frenatura a recupero almeno tramite lo scambio di energia con altri treni.

#### 2.2.2.5. Disposizioni per il coordinamento della protezione elettrica

La progettazione del coordinamento della protezione elettrica nel sottosistema energia deve essere conforme ai requisiti specificati nella norma *EN 50388:2012*.

La capacità di interruzione dell'interruttore per un particolare sistema di elettrificazione determina se i guasti possono essere risolti dall'interruttore dell'unità di trazione o meno. La *Tabella 2.4.* fissa i livelli massimi di cortocircuito linea di contatto-binario. La *Tabella 2.5.* stabilisce l'intervento per guasto interno in un'unità di trazione.

Sistema di alimentazione elettrica	Sottostazione generalmente collegata in parallelo	Massima corrente di guasto <sup>(c)</sup>
		suscettibile di verificarsi kA
25 000 V c.a.    50 Hz	N	15 <sup>(a)</sup>
15 000 V c.a.    16,7 Hz	Y	40
3 000 V c.c.	Y	50 (previsto rinforzo) <sup>(b)</sup>
1 500 V c.c.	Y	100 (previsto rinforzo) <sup>(b)</sup>
750 V c.c.	Y	125 (previsto rinforzo) <sup>(b)</sup>

(a) Il valore di 12 kA era comunemente accettato in precedenza.  
(b) Per la definizione vedi 3.2.12 della EN 50123-1:2003.  
(c) Per le correnti massime, si ipotizza un intervento immediato della protezione.

**Legenda**  
Y = Sì  
N = No

*Tabella 2.4 – Massimo livello di cortocircuito linea di contatto – binario*

Sistema di alimentazione elettrica	Quando si verifica qualunque guasto all'interno della unità di trazione	
	Sequenza di intervento per:	
	Interruttore di alimentazione in sottostazione	Interruttore dell'unità di trazione
25 000 V c.a. 50 Hz	Intervento immediato <sup>(a)</sup>	Intervento immediato
15 000 V c.a. 16,7 Hz	Intervento immediato <sup>(a)</sup>	<u>Lato primario del trasformatore:</u> L'intervento deve essere in sequenza <sup>(b)</sup>  <u>Lato secondario del trasformatore:</u> Intervento immediato
750 V, 1 500 V e 3 000 V c.c.	Intervento immediato <sup>(c)</sup>	Intervento immediato
<p>(a) L'intervento dell'interruttore dovrebbe essere molto rapido per le alte correnti di cortocircuito. Per quanto possibile, gli interruttori dell'unità di trazione dovrebbero intervenire in modo da cercare di evitare l'intervento degli interruttori di sottostazione.</p> <p>(b) Se il potere di interruzione dell'interruttore lo permette, l'intervento deve essere immediato. In tal caso, per quanto possibile, l'interruttore dell'unità di trazione dovrebbe intervenire in modo da evitare l'intervento dell'interruttore di sottostazione.</p> <p>(c) Quando la corrente di cortocircuito è molto alta, l'intervento degli interruttori di sottostazione dovrebbe essere molto rapido, in modo da impedire che l'interruttore nell'unità di trazione risolva i guasti su di esso.</p>		

NOTA 1 Le unità di trazione nuove e modernizzate dovrebbero essere equipaggiate con interruttori ad alta velocità in grado di interrompere la corrente massima di cortocircuito nel minor tempo possibile.

NOTA 2 L'intervento immediato significa che per le correnti elevate l'interruttore di sottostazione o del treno dovrebbe funzionare senza introdurre ritardi deliberati. In caso di mancato intervento del relè di primo stadio, il relè di secondo stadio (relè di riserva di protezione) deve intervenire circa 300 ms più tardi. Per informazione, nei relè di primo stadio avanzati, la durata della massima corrente di cortocircuito vista dall'interruttore di sottostazione è data nel seguito:

- per 15 000 V c.a. 16,7 Hz                      circa 100 ms;
- per 25 000 V c.a. 50 Hz                        circa 80 ms;
- per 750 V, 1 500 V e 3 000 V c.c.            tra circa 20 ms e 60 ms.

*Tabella 2.5 – Intervento degli interruttori per un guasto interno all'unità di trazione*

Se ne deduce che le unità elettriche devono essere protette da cortocircuiti interni, da sovratensioni brevi, sovratensioni temporanee e dalla corrente massima di guasto.

#### 2.2.2.6. Armoniche ed effetti dinamici dei sistemi di alimentazione per la trazione a corrente alternata

L'interazione tra il sistema di alimentazione per la trazione e il materiale rotabile può determinare instabilità elettrica del sistema. Pertanto, ai fini di conseguire la compatibilità del sistema elettrico, le sovratensioni armoniche devono essere mantenute al di sotto dei valori critici di cui alla norma *EN 50388:2012*.

Il criterio di accettazione globale per le sovratensioni e la stabilità è che non si verifichino:

- Per le reti da 15 000 V a 16,7 Hz: tensioni sulla linea aerea di contatto superiori a 30 000 V di cresta.
- Per le reti da 25 000 V a 50 Hz: tensioni sulla linea aerea di contatto superiori a 50 000 V di cresta.
- Per le reti da 3000 V in corrente continua: tensioni sulla linea aerea di contatto superiori a 5100 V di cresta.
- Per le reti da 1500 V in corrente continua: tensioni sulla linea aerea di contatto superiori a 2600 V di cresta.
- Per le reti da 750 V in corrente continua: tensioni sulla linea aerea di contatto superiori a 1300 V di cresta.



In qualsiasi punto dell'alimentazione elettrica con una tensione  $U$ , definita dalla *EN 50163*, inferiore o uguale al valore di tensione non permanente massima  $U_{max2}$ , come indicato nella *Tabella 2.1*.

#### 2.2.2.7. Geometria della catenaria

Il compito della catenaria consiste nel garantire un trasferimento di potenza continuo e affidabile dal sistema di alimentazione al materiale rotabile. L'accoppiamento tra la catenaria e il pantografo risulta fondamentale ai fini dell'interoperabilità, pertanto il sistema risulta soggetto a determinate specifiche, indicate in seguito.

L'altezza del filo di contatto e lo spostamento laterale del filo di contatto rispetto l'asse del binario sotto l'azione del vento trasversale sono fattori che incidono sull'interoperabilità della rete ferroviaria.

Descrizione	$v \geq 250$ [km/h]	$v < 250$ [km/h]
Altezza nominale del filo di contatto [mm]	Compresa tra 5 080 e 5 300	Compresa tra 5 000 e 5 750
Altezza minima di progetto del filo di contatto [mm]	5 080	In conformità al punto 5.10.5 della norma EN 50119:2009, a seconda della sagoma scelta.
Altezza massima di progetto del filo di contatto [mm]	5 300	6 200 <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Tenendo conto delle tolleranze e del sollevamento come previsto dalla norma EN 50119:2009, figura 1, l'altezza massima del filo di contatto non può superare i 6 500 mm.

Tabella 2.6. – Altezza linea di contatto

Lunghezza del pantografo [mm]	Spostamento laterale massimo [mm]
1 600	400 <sup>(1)</sup>
1 950	550 <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> I valori sono adeguati tenendo conto del movimento del pantografo e delle tolleranze del binario conformemente all'appendice D.1.4.

Tabella 2.7 – Spostamento laterale massimo in funzione della lunghezza del pantografo

#### 2.2.2.8. Sagoma del pantografo

I pantografi devono essere progettati in modo da consentire la trasmissione della corrente nominale all'unità elettrica. Inerentemente ai sistemi in corrente continua, i pantografi devono essere dimensionati per la corrente massima a treno fermo.

- Nessuna parte del sottosistema *Energia* deve entrare nella sagoma cinematica meccanica del pantografo, ad eccezione del filo di contatto e del braccio di poligonazione.
- La larghezza della sagoma del pantografo è specificata principalmente dalla lunghezza dell'archetto e dagli spostamenti del pantografo. Gli spostamenti sono dovuti principalmente dai seguenti fenomeni:

- Gioco nelle boccole e fra carrello e cassa.
- Inclinazione del veicolo in funzione della flessibilità specifica e della sopraelevazione del binario.
- Tolleranza di montaggio del pantografo sul tetto.
- Flessibilità trasversale del dispositivo di montaggio sul tetto.
- Altezza considerata.
- L'altezza della sagoma del pantografo è specificata in base all'altezza statica del filo di contatto, che risulta in funzione dei seguenti parametri:
  - Sollevamento del filo di contatto causato dalla forza di contatto del pantografo.
  - Sollevamento dell'archetto del pantografo causato dall'inclinazione dell'archetto generata dal punto di contatto sfalsato e dall'usura dello strisciante.

#### 2.2.2.9. Forza media di contatto

Il trasferimento di energia elettrica tra linea di contatto e pantografo del treno richiede che tra i due sistemi meccanici esista una forza di contatto idonea per garantire una bassa resistenza di contatto ed una captazione continua, senza rischi di inneschi di archi e limitando l'usura.

Il sistema meccanico costituito dalla linea di contatto grava, infatti, con il proprio peso sul pantografo. Quest'ultimo, tramite dei sistemi a molla, esercita una spinta verso l'alto, che deve essere tale da garantire una forza di contatto idonea perché la captazione avvenga in maniera adeguata.

La forza media di contatto  $F_m$  è il valore statistico medio della forza di contatto: è costituita dalle componenti statiche, dinamiche ed aerodinamiche (forza prodotta dall'effetto aerodinamico, originato dall'urto con l'aria, in funzione della velocità considerata) della forza di contatto del pantografo. I fattori che influiscono sulla forza media di contatto sono il pantografo stesso, la sua posizione nella composizione del treno, la sua estensione verticale e il materiale rotabile su cui il pantografo è montato.

La forza statica di contatto è la forza verticale di contatto che l'archetto del pantografo esercita verso l'alto sul filo di contatto e che è prodotta dal dispositivo di sollevamento del pantografo, a pantografo alzato e veicolo fermo. La forza statica di contatto esercitata dal pantografo sul filo di contatto, come definita in precedenza, deve essere regolabile almeno nei seguenti intervalli di valori (coerenti con l'area d'uso del pantografo):

- $60 N \div 90 N$  per i sistemi di alimentazione a corrente alternata.
- $90 N \div 120 N$  per sistemi di alimentazione a corrente continua a  $3 kV$ .
- $70 N \div 40 N$  per sistemi di alimentazione a corrente continua a  $1,5 kV$ .

Il materiale rotabile e i pantografi montati sul materiale rotabile sono progettati in modo da esercitare una forza media di contatto  $F_m$  sul filo di contatto in un intervallo di valori precisato dalla norma EN

50367:2012, al fine di assicurare la qualità nella captazione della corrente senza l'innesco indebito di archi e di limitare l'usura e i rischi per gli striscianti.

Velocità della linea Categoria	$v \leq 200$ km/h c.a.	$v > 200$ km/h c.a.	$v \leq 200$ km/h 1,5 kV c.c.	$v > 200$ km/h 1,5 kV c.c.	$v \leq 200$ km/h 3 kV c.c.	$v > 200$ km/h 3 kV c.c.
$F_{m,max}$ (N) <sup>(a)</sup> Limite di progetto <sup>(b)</sup>	$F_{m,max} < 0,000 47 v^2 + 90$	$F_{m,max} < 0,000 97 v^2 + 70$	$F_{m,max} < 0,000 97 v^2 + 140$	$F_{m,max} < 0,002 28 v^2 + 90$	$F_{m,max} < 0,000 97 v^2 + 110$	$F_{m,max} < 0,000 97 v^2 + 110$
$F_{m,min}$ (N) Minima per approvazione del pantografo <sup>(a)</sup>	$0,000 47 v^2 + 60$	$0,000 47 v^2 + 60$	$0,001 12 v^2 + 70$	$0,001 12 v^2 + 70$	$0,000 72 v^2 + 90$	$0,000 72 v^2 + 90$
$\sigma_{max}$ (N) alla velocità massima <sup>(c)</sup>	$0,3 F_m$					

Tabella 2.8 – Limiti di prestazione di interazione (forza di contatto)

La catenaria deve essere progettata al fine di supportare il limite superiore di progetto della  $F_m$  indicato dalla suddetta norma.

#### 2.2.2.10. Comportamento dinamico e qualità della captazione di corrente

La catenaria è soggetta a determinate specifiche riguardo il comportamento dinamico al fine di consentire un buon accoppiamento con il pantografo. I valori di prestazione dinamica e sollevamento del filo di contatto (alla velocità di progetto) che la catenaria deve presentare, sono indicati nella tabella sottostante.

Requisito	$v \geq 250$ [km/h]	$250 > v > 160$ [km/h]	$v \leq 160$ [km/h]
Spazio per il sollevamento dell'asta di poligonazione	$2S_0$		
Forza media di contatto $F_m$	Cfr. 4.2.11		
Spostamento normale alla velocità massima della linea $\sigma_{max}$ [N]	$0,3 F_m$		
Percentuale di innesco di un arco elettrico alla velocità massima della linea, NQ [%] (durata minima di un arco 5 ms)	$\leq 0,2$	$\leq 0,1$ per sistemi CA $\leq 0,2$ per sistemi CC	$\leq 0,1$

Tabella 2.9 – Comportamento dinamico del pantografo

$S_0$  è il sollevamento calcolato, simulato o misurato del filo di contatto in corrispondenza del braccio di poligonazione, in condizioni di normale esercizio con uno o più pantografi, con il valore limite superiore della forza media di contatto  $F_m$  alla massima velocità della linea.

#### 2.2.2.11. Distanza tra i pantografi per la progettazione della catenaria

La catenaria è progettata per consentire il funzionamento di almeno due pantografi adiacenti, in modo tale che la distanza minima da linea centrale a linea centrale delle teste di pantografi adiacenti sia uguale o inferiore ai valori di una delle colonne A – B – C selezionata dalla tabella seguente. Comunque, il

numero dei pantografi e la distanza fra di essi devono essere progettati in considerazione dei requisiti di prestazione della captazione della corrente.

Velocità di progetto [km/h]	Distanza minima CA [m]			Distanza minima CC 3 kV [m]			Distanza minima CC 1,5 kV [m]		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
$v \geq 250$	200			200			200	200	35
$160 < v < 250$	200	85	35	200	115	35	200	85	35
$120 < v \leq 160$	85	85	35	20	20	20	85	35	20
$80 < v \leq 120$	20	15	15	20	15	15	35	20	15
$v \leq 80$	8	8	8	8	8	8	20	8	8

Tabella 2.10 - Distanza tra i pantografi

#### 2.2.2.12. Materiale del filo di contatto

La combinazione del materiale del filo di contatto e dello strisciante influisce notevolmente sull'usura di tali elementi.

I materiali usati per gli striscianti sono definiti nella *STI Materiale Rotabile - Locomotive e materiale rotabile per il trasporto di passeggeri*. A tal proposito si faccia riferimento al *paragrafo 2.4.2*.

#### 2.2.2.13. Tratti a separazione di fase e di sistema

La progettazione dei tratti a separazione di fase deve garantire che i treni possano spostarsi da un tratto a quello adiacente senza mettere in collegamento le due fasi.

Durante l'attraversamento di tratti a separazione di sistema, le unità elettriche progettate per più sistemi di alimentazione elettrica devono riconoscere automaticamente la tensione del sistema di alimentazione al pantografo.

Prima di entrare nei tratti a separazione di fase il consumo energetico del treno è azzerato. Pertanto, risulta opportuna la presenza di mezzi adeguati a consentire di riavviare un treno fermatosi all'interno del tratto di separazione di fase.

La lunghezza di tali tratti è definita da relative norme e la progettazione differisce a seconda della velocità di percorrenza della tratta.

#### 2.2.2.14. Tratti a separazione di sistema

La progettazione dei tratti a separazione di sistema deve garantire che i treni possano spostarsi da un sistema di alimentazione a quello adiacente senza mettere in collegamento i due sistemi. Esistono due metodi per attraversare i tratti a separazione di sistema:

- Con il pantografo sollevato che tocca il filo di contatto: il consumo di energia del treno (trazione, dispositivi ausiliari e la corrente a vuoto del trasformatore) è portato a zero prima di entrare nei

tratti a separazione di sistema. Se i tratti a separazione di sistema sono attraversati con il pantografo sollevato che tocca il filo di contatto, si applicano le seguenti condizioni:

- La geometria dei vari elementi della catenaria deve evitare il cortocircuito dei pantografi o il collegamento di entrambi i sistemi di alimentazione.
- Nel sottosistema *Energia* si devono adottare misure volte ad evitare il collegamento di entrambi i sistemi di alimentazione adiacenti in caso di mancata apertura dell'interruttore di circuito di bordo.
- La variazione dell'altezza del filo di contatto in tutta la lunghezza del tratto di separazione deve rispettare i requisiti stabiliti dalla norma *EN 50119:2009*.

In particolare, se per effetto di condizioni locali, è necessaria una variazione di altezza del filo di contatto, (come nel caso di gallerie), essa deve essere ottenuta con il minimo gradiente possibile. I valori di progetto per il gradiente e per le variazioni di gradiente non devono superare i valori riportati in *Tabella 2.11* in funzione della velocità.

Velocità fino a km/h	Gradiente massimo		Massima variazione di gradiente	
		‰		‰
50	1/40	25	1/40	25
60	1/50	20	1/100	10
100	1/167	6	1/333	3
120	1/250	4	1/500	2
160	1/300	3,3	1/600	1,7
200	1/500	2	1/1 000	1
250	1/1 000	1	1/2 000	0,5
> 250	0	0	0	0

*Tabella 2.11 – Gradienti del filo di contatto*

- Con il pantografo abbassato che non tocca il filo di contatto: questa alternativa è valida solamente nel momento in cui non risulta possibile soddisfare le condizioni di esercizio con pantografi sollevati. Il tal caso, il tratto a separazione di sistema deve essere progettato in modo che, quando attraversato con i pantografi abbassati, non consenta il collegamento elettrico dei due sistemi di alimentazione, in caso di sollevamento accidentale del pantografo.

#### *2.2.2.15. Sistema di raccolta dei dati sull'energia a terra*

Ogni convoglio è dotato di un sistema di misurazione dell'energia a bordo per la quantificazione dell'energia elettrica prelevata o restituita, durante una frenatura a recupero, alla linea aerea di contatto dall'unità elettrica. Tale sistema, i cui requisiti sono definiti all'interno della *STI Materiale Rotabile - Locomotive e materiale rotabile per il trasporto di passeggeri*, è destinato a fornire e trasmettere un insieme di dati finalizzati alla fatturazione del consumo energetico. I dati trasmessi devono essere accettati da ogni Stato membro.

Chiaramente, il sistema di raccolta dei dati sull'energia a terra deve essere in grado di ricevere, immagazzinare ed esportare i dati senza corromperli.

### 2.2.2.16. Disposizioni relative alla protezione contro le scosse elettriche

Ai fini della sicurezza elettrica del sistema della catenaria e della protezione dalle scosse elettriche è necessario conformarsi alla norma EN 50122-1:2011+A1:2011.

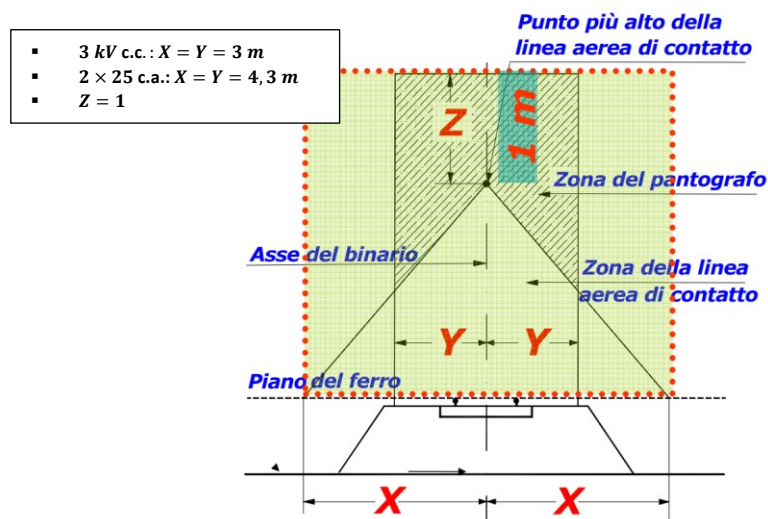


Figura 13 – Zona di rispetto TE

Negli impianti di trazione deve essere utilizzato uno dei seguenti provvedimenti di protezione contro i contatti diretti:

- Protezione mediante distanziamento.
- Protezione mediante ostacoli.

Nei sistemi di trazione, il collegamento al circuito di ritorno costituisce il metodo preferenziale per conseguire la sicurezza elettrica. Questo metodo utilizza il circuito di ritorno per la conduzione della corrente in condizioni di guasto e causa la disconnessione automatica dell'alimentazione.

- Nei sistemi in corrente alternata le parti conduttrici non destinate alla trazione poste all'interno della zona di rispetto TE devono essere collegate direttamente al circuito di ritorno.
- Nei sistemi in corrente continua le parti conduttrici poste all'interno della zona di rispetto TE, e non isolate da terra, non devono essere collegate equipotenzialmente al circuito di ritorno a causa degli effetti della corrosione delle correnti vaganti. Pertanto, deve essere utilizzato un dispositivo limitatore di tensione per eseguire un collegamento aperto tra le parti conduttrici esposte e il circuito di ritorno, allo scopo di creare un percorso di cortocircuito, causando, di conseguenza, l'interruzione della corrente in un tempo breve in modo da mantenere la tensione entro i limiti accettabili.

### **2.2.3. Attuazione**

Un piano di elettrificazione prevede una serie di installazioni ed interventi regolamentati dal punto di vista elettrico dalla *STI* sopra citata.

La normativa stabilisce le specifiche di progettazione per la catenaria, tra cui l'altezza standard della linea di contatto sopra il piano del ferro, tenendo conto di diversi fattori come l'altezza dei convogli, la necessità di evitare contatti accidentali e l'ottimizzazione dell'efficienza energetica.

I conduttori sono dimensionati in conformità con gli standard e le specifiche citate, che stabiliscono composizione, spessore, prestazioni e capacità di trasmissione dell'energia elettrica in base alla potenza richiesta dai treni e alla lunghezza della tratta.

L'accoppiamento pantografo catenaria è posto a selettivi vincoli riguardanti geometria, resistenza meccanica, flessibilità e materiali che compongono gli elementi in gioco, nonché forza media di contatto idonea a garantire la miglior captazione possibile.

### **2.3. STI Infrastruttura**

La specifica tecnica di interoperabilità in questione riguarda il sottosistema *Infrastruttura* e parte del sottosistema *Manutenzione* (relativa al sottosistema *Infrastruttura*) del sistema ferroviario dell'Unione Europea. È entrata in vigore a decorrere dal 01 – 01 – 2015.

Presenta interfacce principalmente con i sottosistemi: *Energia, Materiale Rotabile e Controllo, Comando e Segnalamento*.

#### **2.3.1. Campo di applicazione**

La *STI* si applica a tutta l'infrastruttura nuova, rinnovata o ristrutturata del sistema ferroviario dell'Unione europea. Di conseguenza è estesa, alle nuove linee ferroviarie nell'Unione europea immesse in servizio a partire dal 01 – 01 – 2015. Invece, non si applica all'infrastruttura esistente del sistema ferroviario dell'Unione europea, che è stata già messa in servizio in tutta la rete ferroviaria (o parte della stessa) di qualsiasi Stato membro al 01 – 01 – 2015, tranne quando sia soggetta a rinnovo o ristrutturazione.

#### **2.3.2. Contenuto**

Il campo di applicazione della presente *STI* include i seguenti aspetti del sottosistema *Infrastruttura*:

- *Tracciato delle linee*: sagoma limite, interasse dei binari, pendenze massime, raggio minimo di curvatura orizzontale, raggio minimo di curvatura verticale.
- *Parametri dei binari*: scartamento nominale, sopraelevazione, conicità equivalente, profilo del binario, Inclinazione della rotaia.
- *Dispositivi di armamento*.
- *Resistenza del binario ai carichi applicati*.
- *Resistenza delle strutture ai carichi da traffico*: resistenza dei ponti nuovi ai carichi da traffico, carico verticale equivalente per opere in terra nuove ed effetti di pressione della terra sulle strutture nuove, esistenza di strutture nuove sovrastanti i binari o adiacenti ai binari, resistenza delle strutture e delle opere in terra esistenti ai carichi da traffico.
- *Marciapiedi*: lunghezza, altezza pendenza massima dei marciapiedi, distanza tra i marciapiedi, tracciato di posa dei binari lungo i marciapiedi.
- *Salute, sicurezza e ambiente*: requisiti di sicurezza nelle gallerie, effetto dei venti trasversali, sollevamento del *ballast*.
- *Disposizioni in materia di esercizio*.
- *Impianti fissi per la manutenzione dei treni*.



La presente STI, pone dunque dei vincoli riguardo la realizzazione delle opere civili e sull'infrastruttura relativa ad un impianto di trazione elettrica ferroviaria.

### **2.3.3. Attuazione**

Un processo di elettrificazione comporta una serie di interventi mirati, tra cui l'adattamento delle gallerie, la realizzazione o la modifica dei ponti e l'abbassamento del piano del ferro, una serie di vincoli regolamentati dalla normativa in questione, allo scopo di garantire la sicurezza, l'efficienza dell'infrastruttura e l'interoperabilità del sistema intero.

Le gallerie rappresentano uno dei principali nodi critici da affrontare durante l'elettrificazione delle linee ferroviarie. L'installazione di cavi elettrici sopraelevati e di specifiche riguardo la sagoma limite dei treni richiede un'altezza minima all'interno delle gallerie stesse, rendendo spesso necessario l'ampliamento o il rifacimento di tali strutture. Inoltre, le rigorose prescrizioni sulla sicurezza all'interno delle gallerie, che hanno portato allo sviluppo di specifica tecnica di interoperabilità dedicata (*STI Sicurezza nelle gallerie ferroviarie*), influenzano in modo significativo il processo di costruzione o di ristrutturazione di queste infrastrutture.

I ponti devono poter sostenere la linea di contatto e garantire il transito dei convogli, passeggeri e merci, in sicurezza. In particolare, nella *STI infrastruttura* vengono delineati i requisiti minimi di capacità delle strutture, dipendenti dalla velocità di percorrenza della tratta e dal codice di traffico, e definiti modelli di calcolo sulla base dei quali progettare e verificare la tenuta sotto carico, statico e dinamico, delle opere realizzate. Come specificato dalla normativa, quando la capacità di una struttura esistente non soddisfa i dettami imposti, è richiesta la costruzione di nuovi ponti o la modifica di quelli esistenti allo scopo di aumentarne la capacità portante e garantire un'altezza sufficiente ad ospitare la catenaria, dunque, soddisfare i requisiti in materia di interoperabilità.

Parallelamente, l'abbassamento del piano del ferro è spesso necessario per consentire il transito in sicurezza dei treni in sottopassi e gallerie, e ad ospitare la linea di contatto. I vincoli riguardo la sagoma limite, l'altezza di contatto minima delle condutture elettriche e lo spazio dedicato ad ospitare i dispositivi afferenti alla trazione elettrica possono implicare la rimozione e la sostituzione dei binari esistenti, altresì, la modifica delle fondamenta delle rotaie, al fine di garantire che gli standard di sicurezza e di conformità siano rispettati.

Invece, le specifiche riguardanti il tracciato ed i binari, (quali l'interasse dei binari, le pendenze massime, raggio minimo di curvatura orizzontale e verticale, scartamento nominale, etc ...) possono imporre il rifacimento dei binari e/o del tracciato esistente nel momento in cui si intraprenda un'opera d'elettrificazione. Questi parametri tecnici, regolati specificatamente dalla normativa, risultano fondamentali allo scopo di garantire la sicurezza, la stabilità e la compatibilità con i nuovi sistemi di trazione elettrica. L'adeguamento del tracciato e dei binari è quindi cruciale per rispettare gli standard di interoperabilità e per assicurare un transito sicuro e efficiente dei treni elettrici.

Anche il materiale d'armamento è soggetto a precise specifiche da tenere in considerazione nel momento in cui si affronta l'elettrificazione di una linea. Rotaie, Traverse, nonché tutti gli altri

componenti coinvolti devono rispettare requisiti di resistenza e durabilità specifici per supportare il peso aggiuntivo e le sollecitazioni derivanti dalla trazione elettrica. Questi elementi devono essere compatibili con le caratteristiche elettriche del sistema di alimentazione, minimizzando le interferenze elettromagnetiche e garantendo la sicurezza operativa. La scelta del materiale d'armamento adeguato è cruciale per mantenere l'integrità strutturale e l'affidabilità del sistema ferroviario elettrificato.

## **2.4. STI Materiale rotabile**

Le *Specifiche Tecniche di Interoperabilità* riguardanti il materiale rotabile, entrate in vigore a decorrere dal 01 – 01 – 2015, si dividono in:

- *STI Materiale rotabile – Locomotive e materiale rotabile per il trasporto di passeggeri.*
- *STI Materiale rotabile – rumore.*
- *STI Materiale rotabile – carri merci.*

Pertanto, comprende una serie numerosa di aspetti che si interfacciano con ciascun sottosistema di cui la rete ferroviaria transeuropea è composta.

### **2.4.1. Campo di applicazione**

Le *STI* si applicano a tutta l'infrastruttura nuova, rinnovata o ristrutturata del sistema ferroviario dell'Unione europea. Di conseguenza, sono estese alle nuove linee ferroviarie nell'Unione europea immesse in servizio a partire dal 01 – 01 – 2015. Invece, non si applicano all'infrastruttura esistente del sistema ferroviario dell'Unione europea, in servizio, in tutta la rete ferroviaria di qualsiasi Stato membro, antecedentemente al 01 – 01 – 2015, tranne quando sia soggetta a rinnovo o ristrutturazione.

Le presenti specifiche tecniche di interoperabilità si impiegano al *sottosistema materiale rotabile* allo scopo di assicurare i requisiti essenziali e l'interoperabilità del sistema ferroviario dell'Unione. Le normative in questione sono applicate al materiale rotabile utilizzato o destinato ad essere impiegato nella rete ferroviaria transeuropea, il quale comprende: treni automotori termici o elettrici, unità di trazione termiche o elettriche, vetture passeggeri, carri merci, mezzi mobili per la costruzione e la manutenzione delle infrastrutture ferroviarie.

Sono esclusi dall'ambito di applicazione delle presenti *STI*:

- Metropolitane, tram e altri veicoli leggeri su rotaia.
- Veicoli adibiti a servizi passeggeri locali, urbani o suburbani su reti funzionalmente isolate dal resto del sistema ferroviari.
- Veicoli utilizzati esclusivamente su infrastrutture ferroviarie private utilizzate unicamente dal proprietario per operazioni di trasporto merci.
- Veicoli destinati ad un uso strettamente locale, storico o turistico.

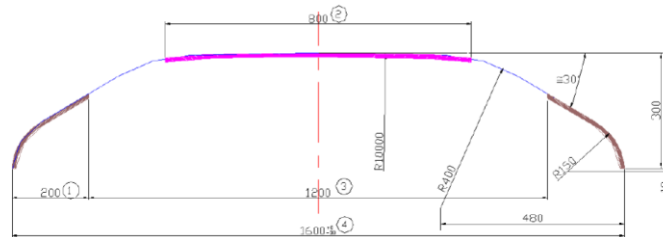
### **2.4.2. Attuazione e contenuto**

Le normative sul materiale rotabile ferroviario comprendono specifiche tecniche riguardanti le caratteristiche dei veicoli, tra cui l'alimentazione elettrica, la compatibilità con l'infrastruttura esistente e le norme di sicurezza. Di conseguenza, influenzano significativamente il processo decisionale e l'efficacia dei progetti di elettrificazione.

È essenziale che il materiale rotabile sia compatibile con l'infrastruttura elettrificata per garantire un funzionamento sicuro ed efficiente del servizio ferroviario, nonché la compatibilità e l'interoperabilità tra diversi sistemi ferroviari nazionali e internazionali.

Le interfacce con i sottosistemi energia ed infrastruttura sono notevoli. Tra queste, posso essere distinti i seguenti requisiti essenziali (già approfonditi nel *paragrafo 2.2.* relativo alla *STI Energia*):

- Corrente massima dalla linea aerea di contatto, fattore di potenza, corrente massima a treno in stazionamento.
- Sagoma e geometria dell'archetto e del pantografo: vengono definite tre tipologie di pantografo interoperabile.
  - Pantografo con archetto di 1450 mm di lunghezza: consentito ai fini di circolazione sulla rete esistente a 3 kV in corrente continua e sulla rete svizzera con sistema a 15 kV in corrente alternata.
  - Pantografo con archetto di 1600 mm di lunghezza.

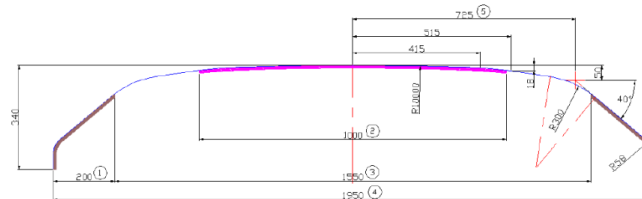


**Legenda**

- 1 corno in materiale isolante (proiezione della lunghezza 200 mm)
- 2 lunghezza minima dello strisciante 800 mm
- 3 zona di lavoro (equivalente all'area di conduzione) dell'archetto 1 200 mm
- 4 lunghezza dell'archetto di 1 600 mm

*Figura 14 – Archetto di lunghezza 1600 mm*

- Pantografo con archetto di 1950 mm di lunghezza.



**Legenda**

- 1 corno in materiale isolante (proiezione della lunghezza 200 mm massimo)
- 2 lunghezza minima dello strisciante 1 000 mm
- 3 zona di lavoro (equivalente all'area di conduzione) dell'archetto captatore 1 550 mm
- 4 lunghezza dell'archetto di 1 950<sup>+0</sup><sub>-10</sub> mm
- 5 zona di lavoro dell'archetto 1 450 mm

*Figura 15 – Archetto di lunghezza 1950 mm*

- Materiale dello strisciante. Da esso dipende l'accoppiamento pantografo catenaria, dunque, il processo di captazione della corrente.

Il materiale utilizzato per lo strisciante deve risultare meccanicamente ed elettricamente compatibile con il materiale del filo di contatto al fine di assicurare un'adeguata captazione di corrente ed evitare l'eccessiva abrasione della superficie dei fili di contatto, riducendo quindi al minimo l'usura dei fili di contatto e degli striscianti.

I materiali ammessi per i fili di contatto sono il rame e la lega di rame. Il filo di contatto deve essere compatibile con i requisiti della norma *EN 50149:2012* che stabiliscono: la designazione, le proprietà meccaniche ed elettriche.

È consentito l'uso di carbonio puro o di carbonio impregnato con materiale aggiuntivo. In caso di impiego di materiale aggiuntivo metallico, il contenuto metallico degli striscianti in carbonio deve essere costituito da rame o lega di rame e non deve essere superiore al 35 % del peso quando utilizzato su linee CA e al 40 % del peso quando utilizzato su linee CC.

È ammesso l'uso di striscianti di altro materiale o aventi una percentuale superiore di contenuto metallico o di carbonio impregnato rivestito con rame se consentito dal registro dell'infrastruttura.

- Forza di contatto statica del pantografo, forza di contatto media e comportamento dinamico dello stesso. Anch'essi aspetti che svolgono un ruolo cruciale per la trasmissione della corrente dalla linea area di contatto ai convogli.
- Disposizione dei pantografi.
- Protezione elettrica del treno: impongono anch'esse requisiti specifici in termini di isolamento e protezione contro il rischio di scariche elettriche
- Disturbi a carico del sistema energia per i sistemi in corrente alternata.
- Attraversamento di un tratto a separazione di fase o di sistema.
- Sagoma cinematica del materiale rotabile: aspetto legato al profilo limite del convoglio e che entra in gioco qualora vengano valutati interventi di ristrutturazione di gallerie e di adattamento del piano del ferro.
- Resistenza meccanica dei convogli ai carichi e nei confronti di venti trasversali, pressioni in galleria ed impulsi d'aria.

Si evince come le presenti specifiche possano influenzare la scelta dei sistemi di alimentazione elettrica, delle tecnologie di elettrificazione adottate nel progetto e nella costruzione o nell'adattamento delle opere civili

## **2.5. Capitolato tecnico RFI per linee a 3 kV in corrente continua**

Il *Capitolato Tecnico* emesso da RFI contiene dettagli riguardanti gli standard da seguire, le caratteristiche tecniche richieste, le modalità di esecuzione dei lavori e altri aspetti tecnici e normativi rilevanti per costruzione delle linee aree di contatto e di alimentazione a 3 kV in corrente continua. In sostanza, fornisce le linee guida e le specifiche necessarie per la corretta realizzazione del progetto ferroviario conformemente agli standard e alle normative vigenti.

Le direttive dell'UE, quali la *Direttiva 2008/57/CE* sull'interoperabilità del sistema ferroviario e la *Direttiva 2004/49/CE* riguardo la sicurezza delle ferrovie comunitarie, nonché le varie specifiche tecniche di interoperabilità e le normative europee armonizzate, rappresentano le fondamenta per lo sviluppo delle infrastrutture ferroviarie nazionali. Pertanto, nel definire i requisiti tecnici e le linee guida, questo documento integra tali disposizioni normative, garantendone il rispetto a partire dal processo di progettazione e pianificazione fino all'implementazione e alla gestione delle infrastrutture.

Inoltre, il capitolato è soggetto ad un processo costante d'aggiornamento in risposta ai continui cambiamenti normativi assicurando l'allineamento dei progetti interessati alle disposizioni UE.

### **2.5.1. Struttura e Contenuto**

La parte introduttiva del documento delinea la finalità dello stesso, le deroghe eventualmente applicabili, il campo di utilizzo e la documentazione correlata.

Le sezioni successive si sviluppano sulla piena linea: allo scoperto ed in galleria. Per ciascuna opzione sono discusse nel dettaglio le caratteristiche della linea di contatto e vengono fornite indicazioni riguardo la disposizione dei sostegni, l'operazione di posa, le sospensioni, nonché sui materiali utilizzati. Le specifiche riguardano poi gli argomenti: poligonazione, pendini, collegamenti elettrici e meccanici, dunque i punti di regolazione automatica e i punti fissi.

La sezione seguente riguarda le stazioni ferroviarie ed affronta la disposizione della linea di contatto sui binari di corsa, sui binari di precedenza e sui binari secondari. Per ogni singolo caso avviene una trattazione approfondita, focalizzandosi sulle caratteristiche della linea di contatto, all'operazione di posa, nonché agli aspetti, dispositivi ed apparecchiature ad essa collegati secondo le modalità delle precedenti sezioni.

In conclusione, vengono affrontati gli argomenti: collegamento a terra e circuito di ritorno, linee di alimentazione, segnaletica ferroviaria. Sono poi riportate indicazioni generali riguardanti la protezione dei passaggi a livello, le fasce a punte, i sezionamenti e gli argani motore.

### 2.5.2 Documentazione correlata

La costruzione delle linee di contatto a 3 kV c.c. dovrà rispondere alle istruzioni, circolari e disegni della Rete Ferroviaria Italiana ed alle seguenti decisioni e norme nella edizione più recente:

- *STI Energia.*
- *CEI EN 50119* – Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi – Linee aeree di contatto per trazione elettrica.
- Serie *CEI EN 50122* – Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi - Sicurezza elettrica, messa a terra e circuito di ritorno.
- *CEI EN 50367* – Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Sistemi di captazione di corrente - Criteri tecnici per l'interazione tra pantografo e linea aerea (per ottenere il libero accesso).

### 2.5.3. Piena linea allo scoperto

Per la linea di contatto in piena linea allo scoperto sono previste le configurazioni riportate nella tabella sottostante.

SEZIONE	CORDA/E PORTANTE/I	REGOLAZIONE	FILO/I DI CONTATTO	REGOLAZIONE	TIPO DI SOSPI. NE	IMPIEGO
320 mm <sup>2</sup>	1 × 120 mm <sup>2</sup>	REGOLATA 1 × 1375 daN	2 × 100 mm <sup>2</sup>	REGOLATI 2 × 1000 daN	(1)	BINARI DI STAZIONE, DI PIENA LINEA ALLO SCOPERTO E IN GALLERIA CON VELOCITÀ FINO A 200 km/h
440 mm <sup>2</sup>	2 × 120 mm <sup>2</sup>	REGOLATE 2 × 1125 daN	2 × 100 mm <sup>2</sup>	REGOLATI 2 × 1000 daN	(1) (2)	BINARI DI STAZIONE, DI PIENA LINEA ALLO SCOPERTO E IN GALLERIA CON VELOCITÀ FINO A 200 km/h
540 mm <sup>2</sup>	2 × 120 mm <sup>2</sup>	REGOLATE 2 × 1500 daN	2 × 150 mm <sup>2</sup>	REGOLATI 2 × 1875 daN	(2)	BINARI DI STAZIONE, DI PIENA LINEA ALLO SCOPERTO E IN GALLERIA CON VELOCITÀ FINO A 250 km/h

1. **SOSPENSIONE A MENSOLA ORIZZONTALE TUBULARE IN ACCIAIO**
2. **SOSPENSIONE A MENSOLA ORIZZONTALE IN PROFILO DI ALLUMINIO.**

Tabella 2.12 – Caratteristiche LdC in piena linea allo scoperto

#### 2.5.3.1. Sostegni di tipo LSU

I sostegni sono del tipo *LSU*. Essi, sono progettati per essere posizionati a ridosso del binario di corsa e devono rispettare specifiche distanze dal binario stesso per garantire la sicurezza e l'efficienza dell'infrastruttura ferroviaria. Possono essere installati sia su terreno piano che in rilievo, e sono dimensionati per sopportare carichi permanenti e transitori. Disposizione ed inclinazione devono essere attentamente studiate per garantire un corretto allineamento e un funzionamento ottimale della linea aerea di contatto.

Il posizionamento dei sostegni deve avvenire secondo le seguenti modalità: in caso di linee a doppio binario, esternamente ai binari stessi, mentre per linee a semplice binario, i sostegni sono collocati sul lato opposto a quello relativo alla sede ferroviaria del probabile raddoppio o a condotte adiacenti. In mancanza dei suddetti vincoli, i sostegni sono da posizionarsi a sinistra rispetto al senso di marcia dei treni dispari. La distanza minima tra i sostegni e la rotaia più vicina deve essere di almeno 2,25 m.

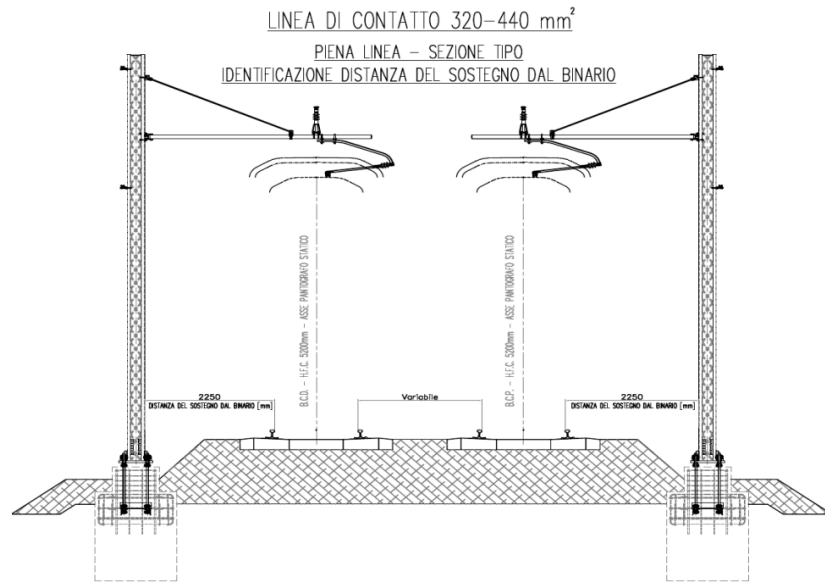


Figura 16 – LdC sezione 340 mm<sup>2</sup> – 440 mm<sup>2</sup>

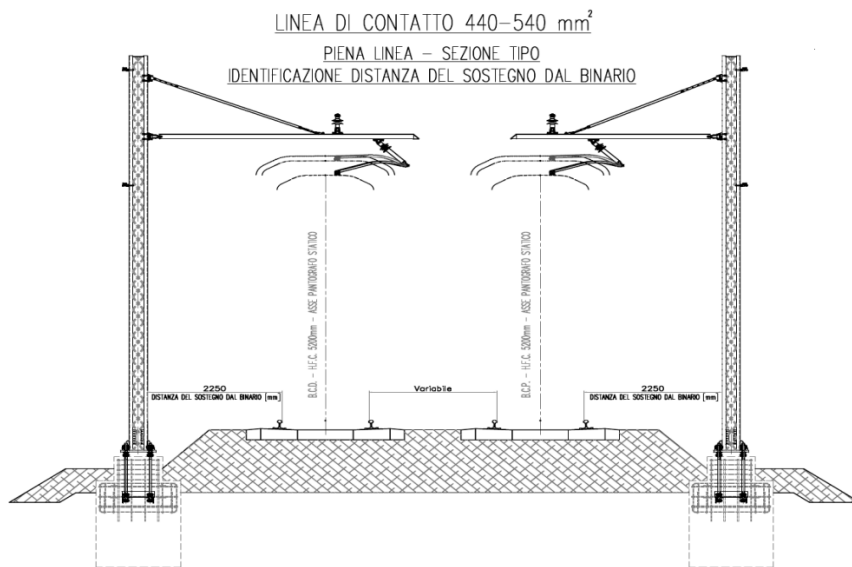


Figura 17 – LdC sezione 440 mm<sup>2</sup> – 540 mm<sup>2</sup>



Le distanze massime tra sostegni successivi sono stabilite in base alla geometria del tracciato. La massima differenza di lunghezza ammessa tra due campate successive non può superare i 10 m per LdC con sezioni  $320 \text{ mm}^2 - 440 \text{ mm}^2 - 540 \text{ mm}^2$  in piena linea allo scoperto.

I blocchi di fondazione per tali sostegni devono essere costituiti da conglomerato cementizio armato con impiego di calcestruzzo, seguendo specifiche normative e soddisfacendo determinati requisiti. Il montaggio dei sostegni sulle fondazioni avviene mediante tirafondi di ancoraggio in acciaio zincato e boccole isolanti, al fine di garantire l'isolamento tra il sostegno e i tirafondi.

Per quanto riguarda i tiranti a terra, le fondazioni devono essere realizzate con calcestruzzo armato conforme alle normative vigenti. Il montaggio delle piastre per i tiranti a terra deve avvenire mediante l'impiego di tirafondi di ancoraggio in acciaio zincato, opportunamente equipaggiati con boccole isolanti al fine di garantire completo isolamento tra piastre e tirafondi.

In corrispondenza di opere murarie e contestualmente all'impossibilità di realizzare blocchi di fondazione, il sostegno potrà essere aggrappato all'opera muraria grazie a adeguate carpenterie e sistemi di ancoraggio chimico.<sup>5</sup>

#### *2.5.3.2. Sospensioni a mensola per la LdC*

La tipologia di sospensione utilizzata differisce a seconda della sezione della linea di contatto.

- *Sospensione a mensola orizzontale in alluminio per linea di contatto da  $440 \text{ mm}^2$  e  $540 \text{ mm}^2$ .*

La sospensione è progettata per garantire la stabilità dei conduttori della linea di contatto, consentendo loro di muoversi in modo longitudinale e di adattarsi a variazioni nelle condizioni ambientali e di carico. Il risultato è ottenuto grazie a un sistema composto da una mensola orizzontale in alluminio, sostenuta da un tirante inclinato, entrambi collegati al sostegno tramite attacchi a cerniera. Questi ultimi, permettono la libera rotazione della sospensione sul piano orizzontale al fine di consentirne il movimento longitudinale dei conduttori regolati automaticamente.

La mensola orizzontale ed il tirante palo-mensola di sostegno non risultano in tensione.

---

<sup>5</sup> I dettagli costruttivi dei sostegni, blocchi di fondazione, tiranti a terra, nonché le caratteristiche tecniche dei materiali impiegati e dei dispositivi utilizzati sono anch'essi specificati in appositi documenti e normative, di cui tale elaborato non tratta.

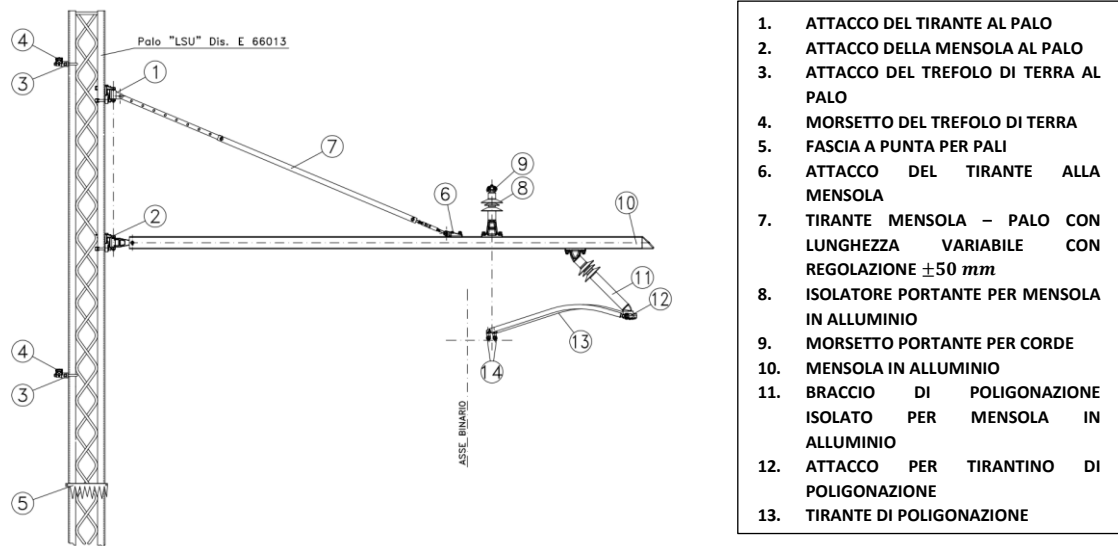


Figura 18 – Sospensione di piena linea per catenarie 440 mm<sup>2</sup> e 540 mm<sup>2</sup> con mensola orizzontale in alluminio

Sono previste varie tipologie di sospensioni, ciascuna con diverse configurazioni e adatte a diverse condizioni di impiego, come: rettilinei, curve di diversi raggi e sovrapposizioni. Ogni sospensione è installata sui sostegni mediante attacchi specifici, che variano in base alla tipologia e alla dimensione del sostegno e sono realizzati da materiali resistenti e provvisti di viteria e minuteria in acciaio zincato o inossidabile.

Si distinguono quattro tipologie base di sospensioni:

- **TIPO N:** Sospensione normale per linea in rettilineo e curve di raggio  $R \geq 500$  m.
- **TIPO L:** Sospensione normale per linea in curve di raggio  $250 \leq R$ .
- **TIPO FS:** Sospensione per linea di contatto fuori servizio nelle sovrapposizioni.
- **TIPO IR:** Sospensione per linea di contatto ad ingombro ridotto. Tale sospensione è prevista per i casi in cui, ad esempio in prossimità di sovrappassi sulla linea, si debba ridurre fortemente l'ingombro normale della catenaria.

Ciascun tipo di sospensione è caratterizzata da due opzioni di configurazione, tesa o compressa, a seconda delle condizioni imposte dalla linea (posizione delle corde portanti e dei fili di contatto rispetto al sostegno determinati dalla posizione del binario).<sup>6</sup>

Allo scopo di assicurare un corretto funzionamento ed al contempo gestire le discrepanze tra le quote progettate e quelle reali, la sospensione deve permettere una regolazione della posizione della linea di contatto, senza sostituzione di componenti, di  $\pm 350$  mm trasversalmente alla linea stessa.

<sup>6</sup> Quanto appena riportato risulta valido anche per mensole orizzontali tubulari in acciaio.

La mensola in alluminio è progettata per garantire flessibilità operativa e resistenza strutturale. Il suo collegamento al sostegno consente una rotazione fino a 90° verso il basso e almeno 5° verso l'alto per una regolazione in opera dell'altezza della linea di contatto.

Il tirante palo – mensola, anch'esso in alluminio, è progettato per consentire variazioni di lunghezza significative<sup>7</sup> e regolazioni in opera dell'altezza della linea di contatto senza dover intervenire sugli attacchi al palo<sup>8</sup>. L'attacco del tirante palo-mensola alla mensola è realizzato con una spina in acciaio inox e viti speciali che consentono la regolazione della posizione lungo la mensola stessa.

Le funi sono sostenute dalla mensola per mezzo di un isolatore portante, costituito da un corpo isolante avente terminali metallici, che permettono, da una parte, il collegamento dell'isolatore portante alla mensola orizzontale, e dall'altra, il collegamento mediante apposita morsetteria alle corde portanti. Il corpo isolante dell'isolatore è formato da un'anima centrale in vetroresina epossidica con copertura alettata in materiale isolante.

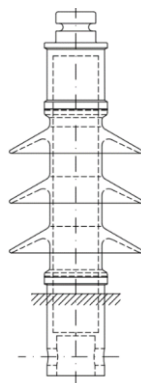


Figura 19 – Isolatore portante

I fili di contatto, invece, sono sostenuti da tirantini di poligonazione collegati alla mensola tramite un braccio di poligonazione isolato, così da assicurare che il complesso mensola e tirante palo – mensola non siano soggetti a tensioni eccessive (il braccio di poligonazione è isolato lungo tutta la lunghezza della mensola). Esso è composto da un corpo isolante, costituito da un'anima centrale in vetroresina epossidica con copertura isolante, con alle estremità terminali metallici (il terminale superiore è collegato al profilo della mensola orizzontale, mentre il terminale inferiore è collegato ai tirantini di poligonazione).

I tirantini di poligonazione, al contrario, sono tubi estrusi in lega di alluminio con inserti in acciaio inox alle estremità, collegati a compressione. Essi servono per stabilizzare i cavi della linea di contatto e regolarne la tensione. Sono disponibili diverse tipologie di tirantini, ognuna adatta a specifiche condizioni di impiego, quali impiego in curva o in rettilineo, lunghezza e posizione della sospensione, configurazione della linea di contatto. Pertanto, la scelta del tipo di tirantino dipende dalle esigenze specifiche del progetto. Inoltre, per ogni singola specie di tirantino di poligonazione è definito il carico di lavoro ammissibile.

<sup>7</sup> La lunghezza del tirante può variare da 300 mm, 600 mm e 1100mm a seconda dell'impiego.

<sup>8</sup> La variazione in opera consentita della lunghezza del tirante è di  $\pm 50$  mm.

La morsetteria, composta da una varietà di componenti quali viteria, dadi e staffe, è pensata per garantire una connessione sicura e duratura di tutti gli elementi della sospensione. Essa è realizzata in lega di rame per assicurare un'adeguata conduttività e resistenza meccanica.

- *Sospensione a mensola orizzontale tubulare in acciaio per linea di contatto da 320 mm<sup>2</sup> e 440 mm<sup>2</sup>.*

La struttura della sospensione è costituita da una mensola orizzontale in acciaio, sostenuta da un tirante inclinato. Entrambi sono collegati al sostegno tramite attacchi a cerniera, che consentono una rotazione libera della sospensione. Il design in questione permette il movimento longitudinale dei conduttori, per adattarsi alle variazioni della linea.

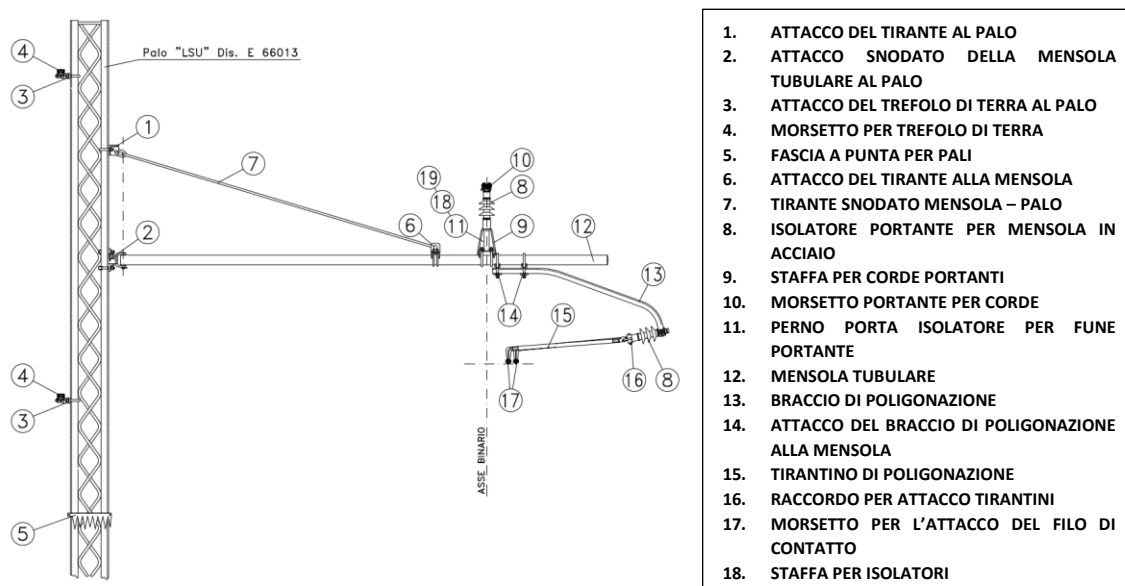


Figura 20 – Sospensione di piena linea per catenarie 320 mm<sup>2</sup> e 440 mm<sup>2</sup> con mensola orizzontale in alluminio

Le corde portanti sono fissate alla mensola attraverso un isolatore portante in resina epossidica e morsetteria in lega di rame in bronzo-alluminio. Mentre, i fili di contatto sono sostenuti da tirantini di poligonazione collegati alla mensola tramite un braccio di poligonazione con all'estremità inferiore un isolatore portante. Questo sistema assicura che la mensola e il tirante palo-mensola non siano soggetti a tensioni eccessive.

La lunghezza dei tiranti palo-mensola dipende da diversi fattori, come la sopraelevazione, il raggio di curvatura della linea e la posizione del sostegno.

I tirantini di poligonazione sono fissati attraverso un gancio su apposito attacco, a sua volta ancorato alla testa di un isolatore portante. Tale collegamento snodato è essenziale perché consente al tirantino di muoversi liberamente, seguendo la dilatazione termica del filo di contatto e permettendo il sollevamento del filo stesso sotto la pressione verticale del pantografo. In questo modo, il sistema di sospensione può adattarsi dinamicamente alle variazioni delle condizioni operative, garantendo un funzionamento affidabile e sicuro del sistema.

I tirantini di poligonazione sono progettati per adattarsi a diverse situazioni operative e si distinguono due tipologie principali:

- Tirantini normali: comunemente utilizzati in condizioni operative standard, sono progettati con una lunghezza di 900 mm e sono ideali per la maggior parte delle applicazioni.
- Tirantini per poligonare i fili di contatto a zero: sono progettati specificamente per situazioni in cui è necessario poligonare i fili di contatto a zero. Sono caratterizzati da una lunghezza di 1100 mm.

In particolare, per situazioni nelle quali è necessario il rispetto di franchi elettrici, è possibile utilizzare un tirantino di poligonazione isolato costituito da una barra isolante in vetroresina epossidica rivestita da materiale isolante.

Il braccio di poligonazione è un profilato ad *U* montato diversamente a seconda che si tratti di rettilineo o curva e in base al fatto che la poligonazione sia destra o sinistra rispetto all'asse del binario.

Gli isolatori portanti utilizzati nella mensola orizzontale in acciaio sono costituiti da una barra isolante in vetroresina epossidica rivestita da una copertura alettata in materiale isolante e con alle estremità terminali metallici. Ogni sospensione a mensola orizzontale in acciaio è dotata di due isolatori portanti con la funzione di:

- Un isolatore posto sulla mensola tramite una staffa di collegamento sostiene le funi portanti tramite un apposito morsetto in bronzo-alluminio.
- Un isolatore posto all'estremità del braccio di poligonazione, sostiene i tirantini di poligonazione tramite un apposito supporto e morsetto

La morsetteria utilizzata nelle sospensioni a mensola orizzontale in acciaio è dello stesso tipo utilizzato nelle sospensioni a mensola orizzontale in alluminio. Questo assicura coerenza e compatibilità nell'intero sistema di sospensione.

### 2.5.3.3. Conduttori e corde isolate

Le caratteristiche dei conduttori e delle corde isolate utilizzati nella linea di contatto sono riportate nelle tabelle sottostanti.

SEZIONE	COMPOSIZIONE	DIAMETRO	MATERIALI	IMPIEGO
120 mm <sup>2</sup>	19 × 2.8	14 mm <sup>2</sup>	Cu	CORDA PORTANTE
155 mm <sup>2</sup>	37 × 2.3	16.1 mm <sup>2</sup>	Cu	CORDA PER ALIMENTATORI
155 mm <sup>2</sup>	61 × 1.8	16.2 mm <sup>2</sup>	Cu	COLLEGAMENTI ELETTRICI
230 mm <sup>2</sup>	37 × 2.8	19.6 mm <sup>2</sup>	Cu	CORDA PER ALIMENTATORI
85 mm <sup>2</sup>	37 × 1.7	11.9 mm <sup>2</sup>	Cu	COLLEGAMENTI ELETTRICI
170 mm <sup>2</sup>	1 × 1.25 mm Ac + guaina Al + 1 corona di 9 concetti TAL + 1 corona di 18 fili TAL diametro 2.21 mm	15.82 mm <sup>2</sup>	TACSR	CIRCUITO DI TERRA DI PROTEZIONE TE
170 mm <sup>2</sup>	1 × 1.25 mm Ac + guaina Al + 1 corona di 9 concetti TAL + 1 corona di 18 fili TAL diametro 2.21 mm e corona isolante	19.62 mm <sup>2</sup>	TACSR	CIRCUITO DI RITORNO TE
16 mm <sup>2</sup>	16 × 84	6.2 mm <sup>2</sup>	CuMg0.4	CORDINO PER PENDINO CONDUTTORE

Tabella 2.13 – Caratteristiche corde e conduttori isolati

SEZIONE	DIAMETRO	MATERIALI	IMPIEGO
100 mm <sup>2</sup>	11.8 mm <sup>2</sup>	CuAg 0.10	FILO SAGOMATO
150 mm <sup>2</sup>	14.5 mm <sup>2</sup>	CuAg 0.10	FILO SAGOMATO
20 mm <sup>2</sup>	5 mm <sup>2</sup>	Cu	TONDO PER FILI PER PENDINI

Tabella 2.14 – Caratteristiche corde e conduttori isolati

COMPOSIZIONE	DIAMETRO	MATERIALE	IMPIEGO
FILATO DI KEVLAR	11 mm <sup>2</sup>	KEVLAR	STRALLO DI PUNTO FISSO

Tabella 2.15 – Caratteristiche corde e conduttori isolati

#### 2.5.3.4. Quota del piano teorico di contatto

In seguito, viene dettagliata la quota del piano teorico di contatto in corrispondenza delle sospensioni rispetto alla quota del piano del ferro, in relazione alla tipologia di *Profilo Minimo degli Ostacoli (PMO)*, ovvero lo spazio che deve essere lasciato libero da elementi infrastrutturali per consentire il libero transito dei rotabili.

Le quote standard previste del piano teorico di contatto sotto sospensione sono: 5000 mm o 5200 mm.

TIPOLOGIA DI PMO	PMO1 – PMO2 – PMO3	PMO4 – PMO5
QUOTA STANDARD DEL PIANO TEORICO DI CONTATTO SOTTO SOSPENSIONE	5000 mm	5200 mm

Tabella 2.16 – Quote del piano teorico di contatto in corrispondenza delle sospensioni previste, in funzione della tipologia di PMO

L'altezza del piano teorico di contatto può essere ridotta in corrispondenza di punti singolari come cavalcaferrovia, pensiline, etc ... Tali quote variano, sempre a seconda della tipologia di PMO, da 4650 mm a 5200 mm.

TIPOLOGIA DI PMO	PMO1	PMO2	PMO3	PMO4 – PMO5
QUOTA STANDARD DEL PIANO TEORICO DI CONTATTO SOTTO SOSPENSIONE	4650 mm	4800 mm	4850 mm	5200 mm

Tabella 2.17 – Quote ridotte del piano teorico di contatto sotto sospensione in corrispondenza di punti singolari

Le quote minime del piano teorico di contatto sono ammesse, con l'avvertenza di garantire che in qualsiasi punto della campata la quota del piano teorico di contatto sul piano del ferro non risulti inferiore ai valori stabiliti, che variano tra 4510 mm e 5050 mm a seconda del tipo di PMO.

TIPOLOGIA DI PMO	PMO1	PMO2	PMO3	PMO4 – PMO5
QUOTA STANDARD DEL PIANO TEORICO DI CONTATTO SOTTO SOSPENSIONE	4510 mm	4650 mm	4700 mm	5050 mm

Tabella 2.18 – Quote minima del piano teorico di contatto sul piano del ferro

Per approfondimenti riguardo il profilo minimo degli ostacoli si rimanda la *paragrafo 2.7*.

#### *2.5.3.5. Franchi elettrici dalle opere civili ed opere d'arte*

In presenza di opere civili come ponti ferroviari, pensiline e simili, è fondamentale garantire un adeguato franco elettrico tra i conduttori della linea di contatto e le parti a terra, al fine di garantire la sicurezza e prevenire cortocircuiti o altri rischi elettrici.

Quando la linea di contatto attraversa l'opera d'arte o l'opera civile in campata libera, è necessario assicurare un franco elettrico minimo di 300 mm (la distanza è misurata dall'intradosso dell'opera alla superficie esterna dei conduttori più vicini all'opera stessa).

Nel caso in cui la linea di contatto attraversi l'opera d'arte o l'opera civile mediante punti di sospensione, è richiesto un franco elettrico minimo di 150 mm in corrispondenza di tali punti. Tuttavia, è sempre necessario garantire un franco elettrico minimo di 300 mm per tutti i punti compresi tra i punti di sospensione. Le distanze da considerare sono sempre misurate tra la superficie dell'opera d'arte o civile e la superficie del conduttore in tensione più vicino all'opera stessa.

#### *2.5.3.6. Ormezzio dei conduttori alle opere civili*

In caso di opere d'arte o strutture civili che non consentano il passaggio delle corde portanti della linea di contatto, nonostante una riduzione della quota del piano teorico di contatto, sarà necessario ancorare le corde stesse alla struttura mediante apposite carpenterie, assicurando la continuità della linea di contatto anche attraverso l'ostacolo. In tal caso, diventa obbligatorio realizzare un ormezzio fisso delle corde portanti in entrambi i fronti dell'opera.

Nel caso in cui l'opera d'arte sia estesa, possono rendersi necessarie strutture di sospensione isolate dall'opera stessa al fine di collegare adeguatamente le corde portanti dei due ormezzii fissi.

Lo stesso principio si applica anche ai conduttori di terra, che potrebbero richiedere l'ancoraggio su entrambi i lati dell'opera d'arte per garantire la continuità del sistema di messa a terra.

Il collegamento di continuità tra le corde portanti o i conduttori di terra ormezzii sui due lati dell'opera d'arte può essere realizzato utilizzando cavi isolati o conduttori tradizionali, a seconda delle specifiche esigenze e delle normative vigenti.

#### *2.5.3.7. Poligonazione della linea di contatto*

- *Linea di contatto da 320 mm<sup>2</sup> e 440 mm<sup>2</sup>*

In corrispondenza di ogni singola sospensione i fili di contatto vengono poligonati rispetto all'asse del binario per mezzo di due tirantini di poligonazione. Pertanto, la conduttura di contatto si posiziona nel suo insieme alternativamente inclinata verso il sostegno e verso l'esterno.

Così facendo, le condutture mantengono una distanza specifica rispetto l'asse del binario, facilitando lo scorrimento del pantografo.

In rettilineo, e per curve di raggio non inferiore a 6000 m, questa distanza è stabilita a 200 mm, mentre per curve di raggio inferiore si adatta alla geometria del tracciato, con poligonazioni esterne alla curva

per evitare interferenze e sempre distanti 200 mm dall'asse del binario. In caso di linee classificate come sottoposte forte vento il raggio limite si abbassa a 4000 m.

Conseguentemente, montando i tiranti di poligonazione delle successive sospensioni rispettivamente a destra e a sinistra dell'asse del binario, si ottiene una zona di strisciamento del filo sul pantografo che ha una larghezza pari a 400 mm.

Nei raccordi rettili/curva, nel caso in cui il primo braccio di poligonazione della curva seguendo il normale sfalsamento dovesse cadere interno curva (contrariamente all'esterno curva previsto), l'ultimo braccio di poligonazione del rettili/curva dovrà essere installato con poligonazione nulla utilizzando appositi tirantini di poligonazione.

In corrispondenza degli scambi, la poligonazione dei fili di contatto è regolata per garantire una corretta pressione sul pantografo, con particolare attenzione alla posizione dei cavallotti. Per garantire questa condizione è ammesso che la poligonazione sugli scambi raggiunga i 300 mm ed i cavallotti in corrispondenza degli scambi siano sistemati in modo che tutti i fili che si incrociano possano liberamente scorrere sotto l'azione dei contrappesi. Non sono ammessi, comunque, valori di poligonazione tali per cui i tirantini siano soggetti a compressione o forza nulla.

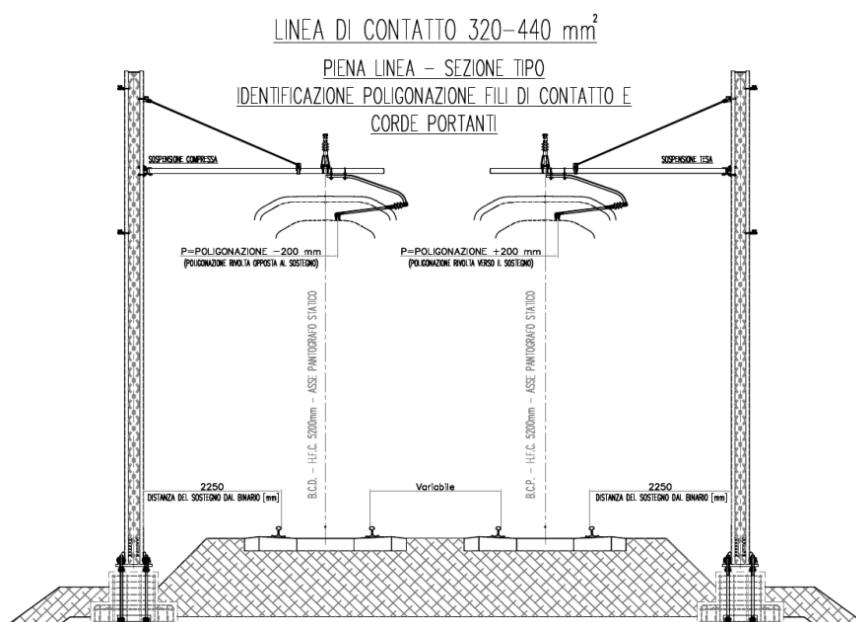


Figura 21 – Poligonazione LdC da 320 mm<sup>2</sup> e 440 mm<sup>2</sup>

La poligonazione della corda portante avviene, invece, sull'asse del binario, in rettili/curva e per curve di raggio superiore o uguale di 2000 m (nelle zone a forte vento per curve di raggio superiore o uguale di 1400 m). Invece avviene esternamente, precisamente ad una distanza di 600 mm dall'asse del binario, in caso di curve di raggio inferiore ai casi precedenti.



- *Linea di contatto da 440 mm<sup>2</sup> e 540 mm<sup>2</sup>*

In corrispondenza di ogni singola sospensione i fili di contatto e le corde portanti vengono poligonati rispetto all'asse del binario con disassamento nullo tra i fili e corda. Il disassamento nullo deve essere garantito indipendentemente dalla tipologia di impiego della sospensione e dalla geometria di tracciato.

La poligonazione avviene rispetto all'asse del binario, alternando la posizione dei fili e delle corde a destra e a sinistra dell'asse stesso. Questa alternanza, definita come poligonazione positiva e negativa, è cruciale per garantire una corretta distribuzione della pressione dei fili sul pantografo.

Pertanto, nel caso di tratti rettilinei sostenuti da due sospensioni, viene ottenuta una zona di strisciamento dei fili di contatto sul pantografo pari a 400 mm lungo l'intera lunghezza della campata.

In corrispondenza di raccordi parabolici, che collegano un tratto rettilineo ad una curva, possono rendersi necessari bracci di poligonazione e isolatori portanti per realizzare una poligonazione con valore nullo. Questo assicura la continuità tra l'alternanza di poligonazioni previste in rettilineo e la prima poligonazione prevista per la piena curva.

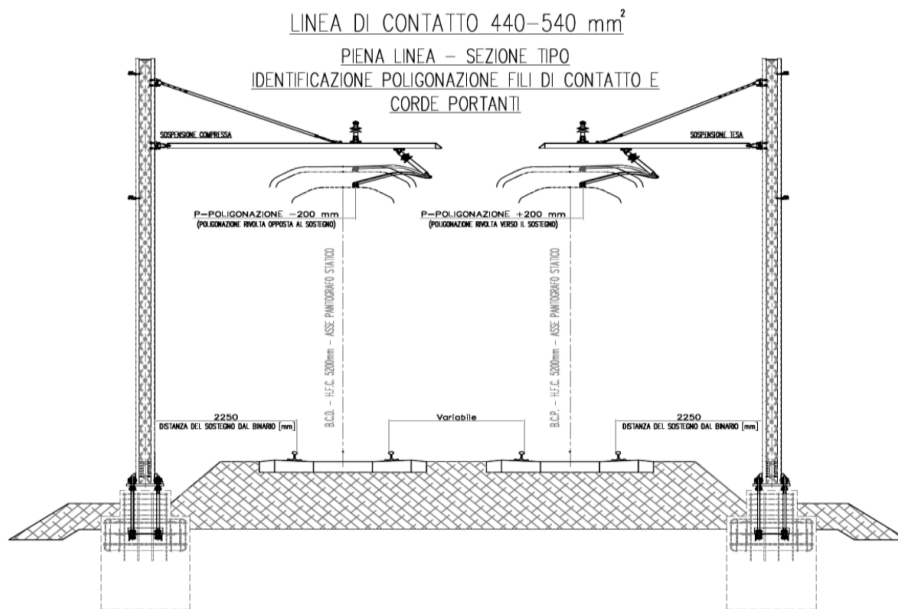


Figura 22 – Poligonazione LdC da 440 mm<sup>2</sup> e 540 mm<sup>2</sup>

#### 2.5.3.8. Collegamenti elettrici, regolazione automatica e punti fissi.

Per assicurare la continuità elettrica tra le corde portanti ed i fili di contatto è previsto l'impiego di collegamenti elettrici realizzati con corda di rame e adeguata morsetteria.

La tesatura automatica dei fili di contatto e delle corde portanti deve essere realizzata ogni 1400 m circa, ormeggiando le estremità dei conduttori, opportunamente isolate, alle colonne dei contrappesi che attraverso adeguati cinematismi applicano un tiro costante ai conduttori. Nel montaggio dei posti di contrappesatura si dovrà aver cura che lo scorrimento delle colonne dei contrappesi ed il movimento

delle taglie sia garantito per qualsiasi temperatura compresa tra  $-15^{\circ}\text{C}$  e  $+45^{\circ}\text{C}$ . Tra le estremità dei conduttori e i cinematismi posti vicino al sostegno devono essere inseriti elementi isolanti.

Il punto fisso deve essere posizionato al centro di ogni tratta di contrappesatura. Gli stralli di collegamento delle corde portanti ai sostegni precedenti e successivi al punto fisso devono essere realizzati con cavo isolante Kevlar. Questo tipo di cavo ha lo scopo di vincolare lo scorrimento delle corde portanti e, di conseguenza, la rotazione della sospensione del punto fisso.

#### 2.5.4. Piena linea in galleria

Le caratteristiche della linea di contatto in galleria sono le medesime della linea di contatto allo scoperto e sono riportate nella tabella sottostante. Inoltre, si utilizzano gli stessi tipi di conduttori della piena linea allo scoperto.

SEZIONE	CORDA/E PORTANTE/I	REGOLAZIONE	FILO/I DI CONTATTO	REGOLAZIONE	IMPIEGO
320 mm <sup>2</sup>	1 × 120 mm <sup>2</sup>	REGOLATA 1 × 1375 daN	2 × 100 mm <sup>2</sup>	REGOLATI 2 × 1000 daN	BINARI DI STAZIONE, DI PIENA LINEA ALLO SCOPERTO E IN GALLERIA CON VELOCITÀ FINO A 200 km/h
440 mm <sup>2</sup>	2 × 120 mm <sup>2</sup>	REGOLATE 2 × 1125 daN	2 × 100 mm <sup>2</sup>	REGOLATI 2 × 1000 daN	BINARI DI STAZIONE, DI PIENA LINEA ALLO SCOPERTO E IN GALLERIA CON VELOCITÀ FINO A 200 km/h
540 mm <sup>2</sup>	2 × 120 mm <sup>2</sup>	REGOLATE 2 × 1500 daN	2 × 150 mm <sup>2</sup>	REGOLATI 2 × 1875 daN	BINARI DI STAZIONE, DI PIENA LINEA ALLO SCOPERTO E IN GALLERIA CON VELOCITÀ FINO A 250 km/h

Tabella 2.19 – Caratteristiche LdC in galleria

##### 2.5.4.1. Sospensioni

La scelta delle tipologie delle sospensioni è legata al tipo di sagoma ammessa a transitare al profilo minimo degli ostacoli, alla sezione utile della galleria, ed alla tipologia di catenaria.

Le sospensioni a mensola orizzontale devono essere installate mediante l'impiego di appositi penduli di sospensione. Quando, invece, lo spazio utile nella galleria non sia sufficiente si rende necessario l'utilizzo di una sospensione a traversa isolata fissata al volto della galleria grazie ad apposite grappe.

Per le sospensioni a mensola orizzontale tubolare in acciaio e in alluminio con corda/e portante/i regolata/e la lunghezza massima delle campate deve essere di  $50 \div 60$  m per LdC con sezione di 320 mm<sup>2</sup>, 440 mm<sup>2</sup> e 540 mm<sup>2</sup>. La campata netta realizzabile sarà in funzione della distanza filo/i-fune/i realizzabili nel rispetto delle sagome pantografo, profili minimi degli ostacoli, franchi elettrici e geometria della volta.

- Linea di contatto da  $320 \text{ mm}^2$  e  $440 \text{ mm}^2$ .

La sospensione a mensola orizzontale tubolare in acciaio per questo tipo di *LdC* viene utilizzata solamente nel caso in cui esista spazio orizzontale e verticale sufficiente all'installazione. Si differenzia dalla versione utilizzata per la linea a piena vista solo per la lunghezza dei tirantini di poligonazione. La distanza tra la corda portante e i fili di contatto varia da  $900 \text{ mm}$  a  $1400 \text{ mm}$ , e la prima sospensione in galleria deve essere posizionata tra  $2.5 \text{ m}$  e  $4 \text{ m}$  dall'inizio della galleria, seguendo il suo profilo.

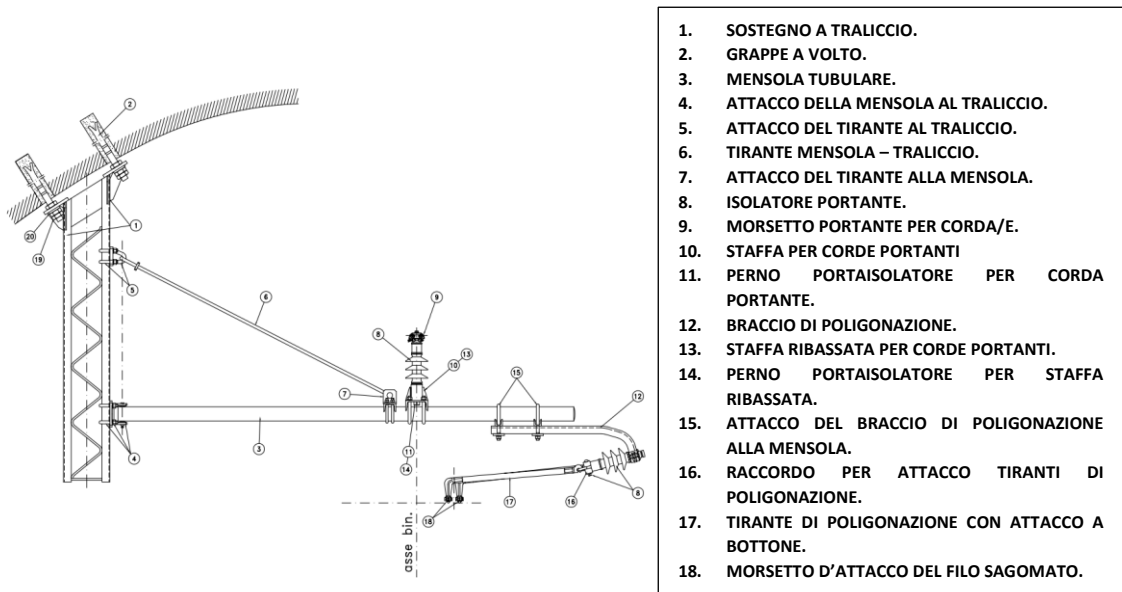


Figura 23 – Mensola tubolare in acciaio ed apposito sostegno per installazione in galleria

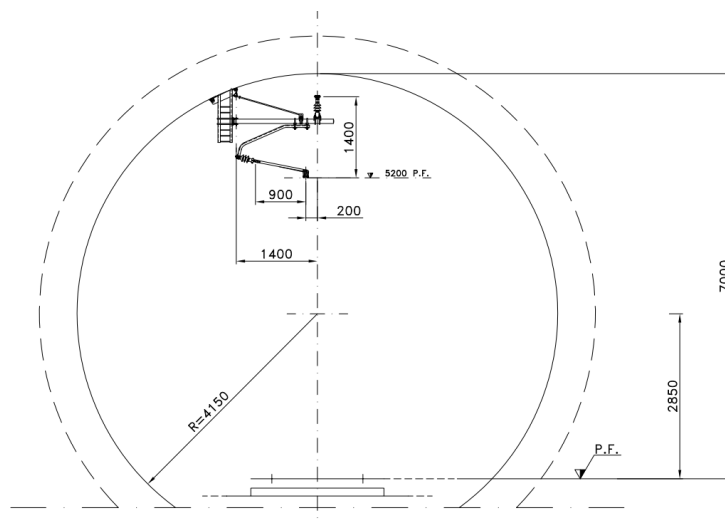
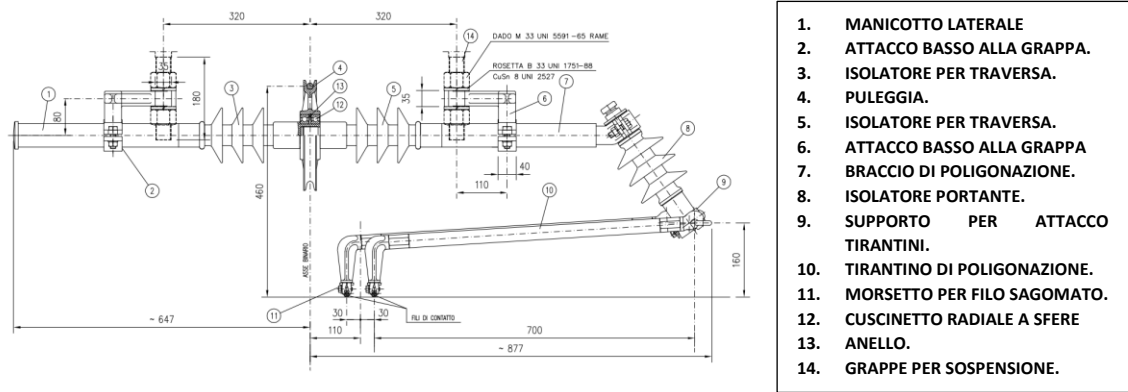


Figura 24 – Disposizione sospensione a mensola tubolare in acciaio in galleria

Quando lo spazio disponibile non è sufficiente per ospitare la sospensione menzionata, diventa necessario utilizzare una sospensione a traversa isolata. In entrambi i casi, la prima sospensione in galleria deve essere posizionata tra 2.5 m e 4 m dall'inizio della galleria, seguendo il profilo della stessa. Le sospensioni a traversa isolata in galleria vengono fissate alla volta mediante grappe in rame, installate al volto della galleria tramite ancoraggio chimico. La lunghezza massima delle campate è di 30 mm, e la distanza tra corda portante e fili di contatto è di 460 mm.



1. MANICOTTO LATERALE
2. ATTACCO BASSO ALLA GRAPPA.
3. ISOLATORE PER TRAVERSA.
4. PULEGGIA.
5. ISOLATORE PER TRAVERSA.
6. ATTACCO BASSO ALLA GRAPPA
7. BRACCIO DI POLIGONAZIONE.
8. ISOLATORE PORTANTE.
9. SUPPORTO PER ATTACCO TIRANTINI.
10. TIRANTINO DI POLIGONAZIONE.
11. MORSETTO PER FILO SAGOMATO.
12. CUSCINETTO RADIALE A SFERE
13. ANELLO.
14. GRAPPE PER SOSPENSIONE.

Figura 25 – Sospensione a traversa isolata

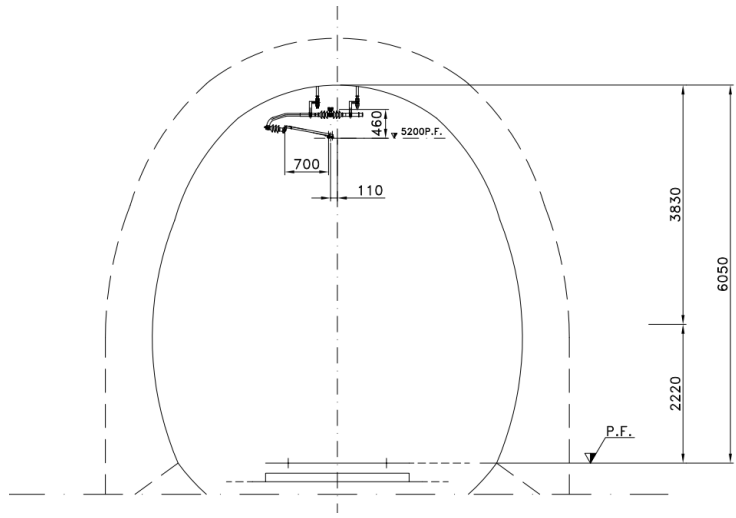


Figura 26 – Disposizione sospensione a traversa isolata in galleria

- Linea di contatto da  $440 \text{ mm}^2$  e  $540 \text{ mm}^2$ .

La sospensione a mensola orizzontale in alluminio per tale tipologia di LdC è fruibile in caso via sia lo spazio necessario, orizzontalmente e verticalmente, per l'installazione. In caso di spazio insufficiente, si rende opportuno il montaggio di speciali sospensioni autoportante, supportate da appositi penduli.

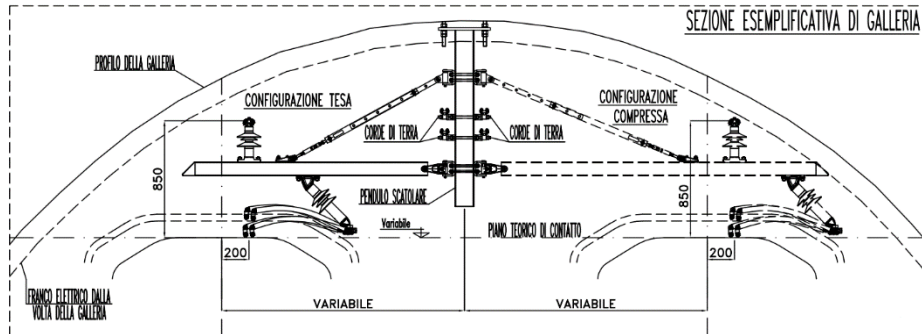


Figura 27 – Sospensione autoportante per LdC da  $440 \text{ mm}^2$  e  $540 \text{ mm}^2$  in configurazione tesa e compressa per utilizzo in galleria

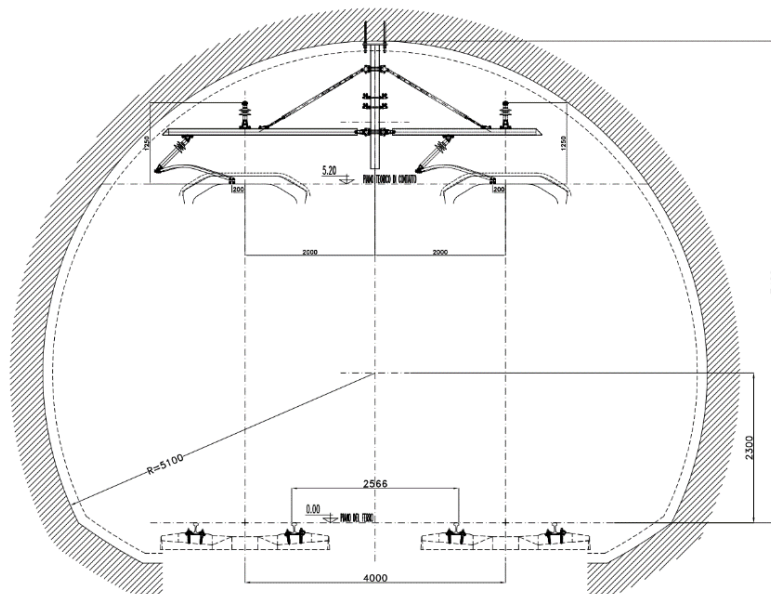


Figura 28 – Vista in galleria sospensione autoportante per LdC da  $440 \text{ mm}^2$  e  $540 \text{ mm}^2$

#### 2.5.4.2. Franco elettrico minimo

Le distanze in aria tra le parti attive della linea di contatto e qualsiasi componente dell'infrastruttura, dei veicoli messi a terra in modo intenzionale o di fatto ad essa collegati dal punto di vista elettrico, devono rispettare i seguenti valori minimi:

- Condizioni statiche della catenaria:
  - Ambiente senza polluzione/inquinamento: 150 *mm*.
  - Ambiente con polluzione/inquinamento: 160 *mm*.
- Condizioni dinamiche della catenaria:
  - Ambiente senza polluzione/inquinamento: 100 *mm*.
  - Ambiente con polluzione/inquinamento: 110 *mm*.

I valori minimi dell'altezza del filo di contatto sono identici al caso di piena linea allo scoperto.

#### 2.5.4.3. Poligonazione della linea di contatto

- *Linea di contatto da 320 mm<sup>2</sup> e 440 mm<sup>2</sup> con sospensione a mensola orizzontale tubolare in acciaio.*

I criteri generali di poligonazione sono i medesimi rispetto al caso di piena linea allo scoperto.

In rettilineo, in corrispondenza delle sospensioni, la poligonazione dei fili di contatto, misurata sulla mezzzeria dei fili stessi e l'asse del binario, deve essere di 200 *mm* per sospensioni a mensola orizzontale (con una campata massima di 50 *m* o 60 *m*). Nelle curve di raggio maggiore o uguale a 6000 *m*, con sospensioni a mensola orizzontale, la poligonazione dei fili è analoga a quella in rettilineo.

Per le curve di raggio minore a 6000 *m* la poligonazione dei fili si realizza montando tutte le sospensioni a mensola orizzontale poligonate a 200 *mm* esternamente alla curva. Nel montaggio va posta attenzione al fatto che non venga superato a metà campata il valore di 200 *mm* interno curva.

Per quanto riguarda la poligonazione della corda portante regolata, in rettilineo e per curve di raggio superiore a 3000 *m*, deve essere posta sull'asse del binario. Invece, nelle curve di raggio inferiore o uguale a 3000 *m* la poligonazione è esterna (+ 400 *mm*).

In ogni caso la prima sospensione di galleria deve avere sia la corda portante che i fili di contatto con poligonazione zero.

In caso di sospensione a traversa isolata i criteri di poligonazione variano.

In rettilineo, in corrispondenza delle sospensioni, la poligonazione dei fili di contatto, misurata sulla mezzzeria dei fili stessi e l'asse del binario, risulta essere di 110 *mm* con una campata massima di 20 ÷ 30 *m*. Analoghe prescrizioni sono valide per curve di raggio non inferiore a 500 *m*. Alternativamente, per

curve con raggio inferiore a 500 m la poligonazione, sempre corrispondente a 110 mm, deve essere esterna rispetto al raggio di curva.

Inerentemente alla poligonazione della corda portante, quando si impiegano sospensioni a traversa isolata essa va sempre posizionata in corrispondenza dell'asse del binario. In ogni caso, sia per il filo di contatto che la corda portante, la prima sospensione di galleria è contraddistinta obbligatoriamente da poligonazione nulla.

- *Linea di contatto da 440 mm<sup>2</sup> e 540 mm<sup>2</sup> con sospensione a mensola orizzontale in alluminio.*

I criteri generali di poligonazione sono analoghi a quelli relativi alla piena linea allo scoperto.

Il disassamento tra i fili di contatto e le corde portanti deve essere nullo. Tale condizione deve essere garantita indipendentemente dalla tipologia di impiego della sospensione e dalla geometria di tracciato. In generale, quindi, la condotta di contatto intesa come insieme dei fili di contatto e delle corde portanti, si posiziona alternativamente a destra ed a sinistra dell'asse del binario. Comunque, la poligonazione può assumere valori variabili in funzione della geometria di tracciato ed in funzione delle eventuali tipologie di impiego.

#### *2.5.4.4. Collegamenti elettrici e meccanici, Posto di regolazione automatica, Punto fisso e Comunicazioni*

- Collegamenti elettrici e meccanici.

Le disposizioni per i collegamenti elettrici sono uguali al caso di piena linea allo scoperto. Naturalmente, questi vanno realizzati in modo da non interferire con i contrappesi e i tenditori.

- Posto di regolazione automatica.

Per linee di contatto da 320 mm<sup>2</sup> e 440 mm<sup>2</sup> i posti di regolazione automatica sono posizionati all'esterno della galleria di lunghezza non superiore a 1000 m. Nel caso in cui non sia possibile rispettare questa prerogativa, si rende necessaria l'attuazione di tratte di contrappesatura, la cui lunghezza massima non deve superare i 900 m, all'interno della galleria.

Le condutture di galleria vengono ormeggiate in corrispondenza dei posti di regolazione automatica attraverso l'interposizione di taglie<sup>9</sup> con un rapporto di 1:3. Di conseguenza, per ogni metro di spostamento verticale della taglia, la linea di contatto si sposta di 3 m lungo l'asse della galleria. Tale rapporto, consente un adeguato ormeggio delle condutture e contribuisce a garantire la stabilità e il corretto funzionamento del sistema di regolazione automatica all'interno della galleria.

Per linee di contatto da 440 mm<sup>2</sup> e 540 mm<sup>2</sup>, il posto di regolazione automatica viene posizionato all'esterno della galleria per gallerie con una lunghezza non superiore a 1000 m. Tuttavia, se la lunghezza della tratta di contrappesatura supera i 1400 m, i posti di regolazione automatica devono essere collocati all'interno della galleria stessa, realizzando tratte di contrappesatura almeno inferiori a 900 m.

---

<sup>9</sup> La taglia è costituita da un sistema di contrappesi e carrucole che permettono di mantenere la tensione adeguata sui cavi e sui conduttori della linea. Essa viene posizionata in corrispondenza dei punti di regolazione automatica lungo la galleria e contribuisce a mantenere la stabilità della linea e a garantire un corretto contatto elettrico tra i componenti della catenaria.

I dispositivi di tensionatura previsti si contraddistinguono per un rapporto di 1:3 e sono collegati ai contrappesi mobili, il cui numero è funzione del tiro da regolare.

In ambedue i casi citati il montaggio dei posti di regolazione automatica deve avvenire rispettando le tabelle di posa, assicurando che lo scorrimento dei contrappesi e il movimento delle taglie siano liberi al variare della temperatura.

- Punto fisso.

Il punto fisso deve essere posizionato al centro di ogni tratta di contrappesatura. Gli stralli di collegamento delle corde portanti ai sostegni precedenti e successivi al punto fisso devono essere realizzati con cavo isolante Kevlar. Questo tipo di cavo ha lo scopo di vincolare lo scorrimento delle corde portanti e, di conseguenza, la rotazione della sospensione del punto fisso.

- Comunicazioni.

Per le comunicazioni fra il binario pari e il binario dispari, devono essere realizzate con l'interposizione di un apposito isolatore di sezione per mantenere separate elettricamente le due condutture formanti la comunicazione.

### 2.5.5. Stazione allo scoperto

Nelle seguenti tabelle sono riportate le caratteristiche principali della LdC di stazione allo scoperto in merito a binari di precedenza e binari di corsa.

SEZIONE	CORDA/E PORTANTE/I	REGOLAZIONE	FILO/I DI CONTATTO	REGOLAZIONE	TIPO DI SOSP.NE	IMPIEGO
220 mm <sup>2</sup>	1 × 120 mm <sup>2</sup>	FISSA 1 × 819 daN (A 15°)	1 × 100 mm <sup>2</sup>	REGOLATO 1 × 750 daN	(1)	BINARI DI PRECEDENZA DI STAZIONE E COMUNICAZIONI TRA BINARI DI CORSA E TRA BINARI DI CORSA E BINARI DI PRECEDENZA (CON BINARIO DI CORSA DA 440 mm <sup>2</sup> )
320 mm <sup>2</sup>	1 × 120 mm <sup>2</sup>	REGOLATA 1 × 1375 daN	2 × 100 mm <sup>2</sup>	REGOLATI 2 × 1000 daN	(1)	BINARI DI STAZIONE, DI PIENA LINEA ALLO SCOPERTO E IN GALLERIA CON VELOCITÀ FINO A 200 km/h
440 mm <sup>2</sup>	2 × 120 mm <sup>2</sup>	REGOLATE 2 × 1125 daN	2 × 100 mm <sup>2</sup>	REGOLATI 2 × 1000 daN	(1)	BINARI DI STAZIONE, DI PIENA LINEA ALLO SCOPERTO E IN GALLERIA CON VELOCITÀ FINO A 200 km/h

#### 1. SOSPENSIONE A MENSOLA ORIZZONTALE TUBULARE IN ACCIAIO

Tabella 2.20 – Caratteristiche LdC in stazione



SEZIONE	CORDA/E PORTANTE/I	REGOLAZIONE	FILO/I DI CONTATTO	REGOLAZIONE	TIPO DI SOSP.NE	IMPIEGO
220 mm <sup>2</sup>	1 × 120 mm <sup>2</sup>	FISSA 1 × 819 daN (A 15°)	1 × 100 mm <sup>2</sup>	REGOLATO 1 × 750 daN	(1)	BINARI DI PRECEDENZA DI STAZIONE E COMUNICAZIONI TRA BINARI DI CORSA E TRA BINARI DI CORSA E BINARI DI PRECEDENZA (CON BINARIO DI CORSA DA 440 mm <sup>2</sup> )
270 mm <sup>2</sup>	1 × 120 mm <sup>2</sup>	REGOLATA 1 × 1125 daN	1 × 150 mm <sup>2</sup>	REGOLATO 1 × 1125 daN	(1)	BINARI DI PRECEDENZA DI STAZIONE E COMUNICAZIONI TRA BINARI DI CORSA E TRA BINARI DI CORSA E BINARI DI PRECEDENZA (CON BINARIO DI CORSA DA 540 mm <sup>2</sup> )
440 mm <sup>2</sup>	2 × 120 mm <sup>2</sup>	REGOLATE 2 × 1125 daN	2 × 100 mm <sup>2</sup>	REGOLATI 2 × 1000 daN	(1)	BINARI DI STAZIONE, DI PIENA LINEA ALLO SCOPERTO E IN GALLERIA CON VELOCITÀ FINO A 200 km/h
540 mm <sup>2</sup>	2 × 120 mm <sup>2</sup>	REGOLATE 2 × 1500 daN	2 × 150 mm <sup>2</sup>	REGOLATI 2 × 1875 daN	(2)	BINARI DI STAZIONE, DI PIENA LINEA ALLO SCOPERTO E IN GALLERIA CON VELOCITÀ FINO A 250 km/h

1. SOSPENSIONE A MENSOLA ORIZZONTALE TUBULARE IN ACCIAIO
2. SOSPENSIONE A MENSOLA ORIZZONTALE PROFILO IN ALLUMINIO

Tabella 2.21 – Caratteristiche LdC in stazione

SEZIONE	CORDA/E PORTANTE/I	REGOLAZIONE	FILO/I DI CONTATTO	REGOLAZIONE	TIPO DI SOSP.NE	IMPIEGO
220 mm <sup>2</sup>	1 × 120 mm <sup>2</sup>	FISSA 1 × 819 daN (A 15°)	1 × 100 mm <sup>2</sup>	REGOLATO 1 × 750 daN	(1)	BINARI SECONDARI DI STAZIONE

1. SOSPENSIONE A MENSOLA ORIZZONTALE TUBULARE IN ACCIAIO

Tabella 2.22 – Caratteristiche LdC in stazione

### 2.5.5.1. Sostegni

I sostegni dei binari di corsa devono, per quanto possibile, essere posizionati a ridosso del binario di corsa stesso. Questo al fine di elettrificare il binario di corsa mediante l'impiego di una sospensione standard.

I sostegni dei binari di corsa e di precedenza devono essere, in linea di massima, separati da quelli dei binari secondari. Inoltre, nelle stazioni, nei casi di mancanza d'intervista sufficiente per l'installazione di pali, possono essere installate, per il sostegno delle condutture di più binari, le travi tralicciate tipo Mec.

La distanza dei sostegni dal binario viene misurata sul piano del ferro, dalla superficie esterna del sostegno sul lato del binario al bordo interno della rotaia più vicina, e deve essere almeno di 2.25 m dalla rotaia più vicina. Tuttavia, in situazioni dove circostanze locali impediscano di raggiungere tale quota, risulta possibile applicare distanze minori (comunque non inferiori a 2 m per binari di corsa precedenza ed incrocio, 1.75 m per binari secondari).

Le massime distanze tra sostegni successivi è in funzione della geometria di tracciato e delle poligonazioni. La massima differenza di lunghezza tra due campate non può superare i 10 m.

I blocchi di fondazione per tali sostegni devono essere costituiti da calcestruzzo armato a prestazione garantita. Il montaggio dei sostegni sulle fondazioni avviene mediante tirafondi di ancoraggio in acciaio zincato e boccole isolanti, al fine di garantire l'isolamento tra il sostegno e i tirafondi.

Per quanto riguarda i tiranti a terra, le fondazioni devono essere realizzate con calcestruzzo armato conforme alle normative vigenti. Il montaggio delle piastre per i tiranti a terra deve avvenire mediante l'impiego di tirafondi di ancoraggio in acciaio zincato, opportunamente equipaggiati con boccole isolanti al fine di garantire completo isolamento tra piastre e tirafondi.

In corrispondenza di opere murarie e contestualmente all'impossibilità di realizzare blocchi di fondazione, il sostegno potrà essere aggirato all'opera muraria grazie a adeguate carpenterie e sistemi di ancoraggio chimico.

#### 2.5.5.2. Portali di ormeggio

I portali di ormeggio sono costituiti da n. 2 piloni e da n. 1 trave di ormeggio e sono riconducibili in n. 3 tipologie di seguito elencate:

- Portali di ormeggio a un binario: luce netta tra i piloni pari a 6.40 m.
- Portali di ormeggio a due binari: luce netta tra i piloni pari a 10.30 m.
- Portali di ormeggio a luce variabile: luce netta tra i piloni variabile, compresa tra 10.80 ÷ 27.60 m.

La tipologia di pilone di sostegno da utilizzare dipende dall'altezza del piano del ferro, dalla quota del piano teorico di contatto e dalla quota di ormeggio dei conduttori alla trave di ormeggio.

Generalmente, questi portali sono pensati per la realizzazione di posti di sezionamento esterni di stazione e di posti di emi-sezionamento all'interno della stazione.

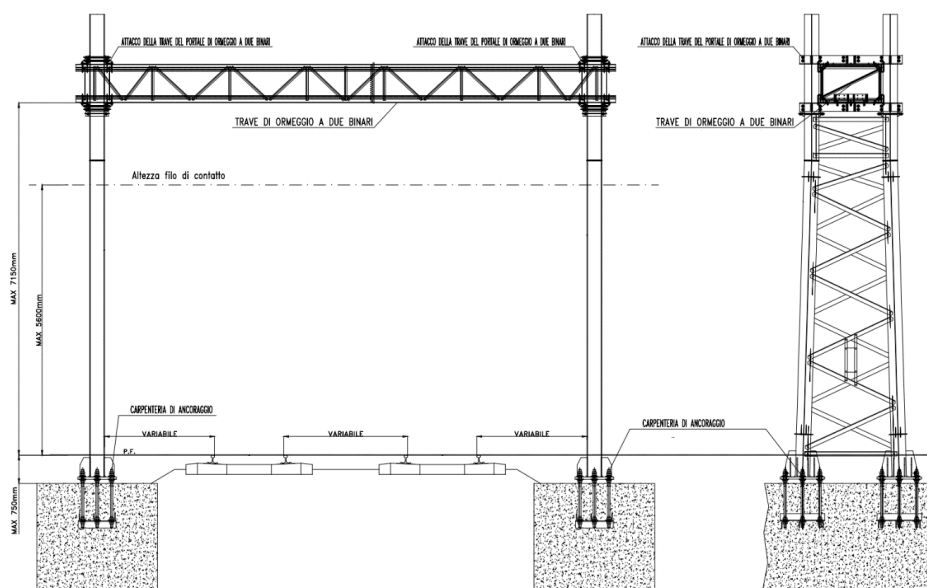


Figura 29 – Portale di ormeggio, vista frontale e laterale

### 2.5.5.3. Travi Mec

Le travi Mec sono impiegate ove non sia possibile posizionare i classici sostegni di tipo *LSU* direttamente a ridosso dei binari di corsa, ad esempio in caso di intervie ridotte o ostacoli nel terreno. Esse possono essere sostenute da sostegni tipo *LSU* o da specifici piloni progettati per tale scopo. Le travi Mec possono essere di diversi tipi, designati come tipo A (luce da 14 m a 27 m), B (luce da 27 m a 35 m) o C (luce da 35 m a 41 m), a seconda della loro lunghezza e capacità di carico. Il tipo di trave da utilizzare dipende dalle specifiche esigenze della linea ferroviaria e dalle condizioni del terreno. Considerando i costi aggiuntivi sia per la fornitura che per l'installazione, l'uso delle travi Mec deve essere limitato alle situazioni strettamente necessarie.

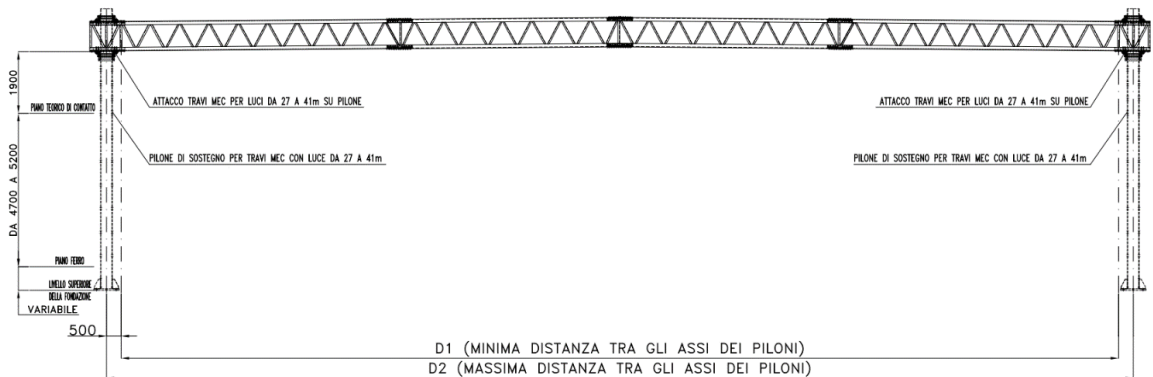


Figura 30 – Trave Mec con pali di sostegno

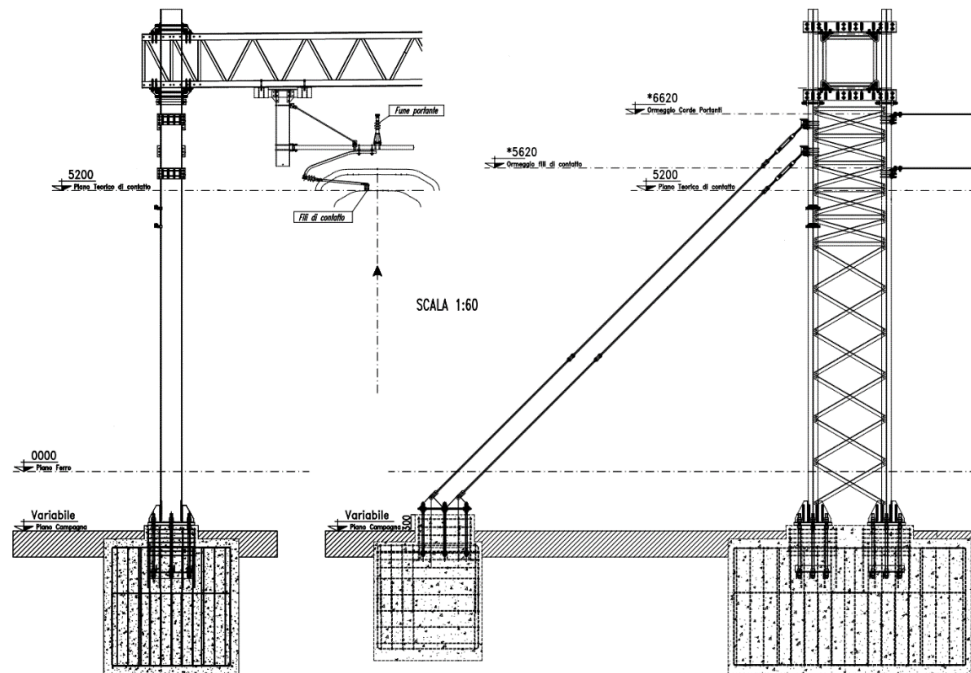


Figura 31 – Vista frontale e laterale, Trave Mec, sostegno e sospensione

#### 2.5.5.4. Sospensioni

- *Sospensione a mensola orizzontale in alluminio per LdC 220 mm<sup>2</sup>, 270 mm<sup>2</sup>, 440 mm<sup>2</sup> e 540 mm<sup>2</sup>.*

Le sospensioni utilizzate sono le medesime del caso in piena linea allo scoperto.

Negli impianti di stazione è, anche, previsto l'utilizzo di sospensioni accoppiate in corrispondenza dei deviatori o sovrapposizioni, impiegando traverse su sostegni di tipo *LSU* o su penduli. Tuttavia, le traverse per l'accoppiamento delle sospensioni sui sostegni *LSU* sono fruibili solamente nel caso in cui il sostegno possa essere posizionato a ridosso del relativo binario di corsa o di precedenza. In caso contrario, si rende necessario l'impiego di travi Mec. Allora, la traversa per l'accoppiamento delle sospensioni dovrà essere posizionata su pendulo.

Infine, ove vi siano più sospensioni accoppiate, si rende obbligatorio definire la posizione e la geometria dei tiranti palo-mensola garantendo che le parti sotto tensione si trovino ad una distanza minima di 150 mm dai tiranti stessi.

- *Sospensione a mensola orizzontale in alluminio per LdC 220 mm<sup>2</sup>, 320 mm<sup>2</sup>, 440 mm<sup>2</sup>.*

Anche in questo caso vale quanto definito per la piena linea allo scoperto, ad eccezione di tiranti e mensole la cui lunghezza potrebbe differire a seconda del tipo di applicazione.

Come in precedenza, laddove vi siano più sospensioni accoppiate, è necessario definire la posizione e la geometria dei tiranti palo – mensola allo scopo di consentire che le parti sotto tensione si trovino sempre ad una distanza minima dai tiranti stessi pari a 150 mm.

In merito a quota teorica del piano di contatto, poligonazione della linea di contatto, franchi elettrici dalle opere civili ed opere d'arte, ormeggio dei conduttori alle opere civili, collegamenti elettrici e meccanici, posti di regolazione automatica e punti fissi, vale quanto già espresso per il caso in piena linea allo scoperto.

#### 2.5.5.5. Posti di sezionamento e sezionamento intermedio

La separazione elettrica e meccanica delle condutture dei binari di stazione da quelle della piena linea è realizzata per mezzo dei posti di sezionamento ubicati ad ogni estremità della stazione, specificatamente nello spazio compreso tra il segnale di protezione di stazione e la palina limite di manovra<sup>10</sup>. Ciascuno di essi è da realizzarsi mediante l'impiego di portali di ormeggio<sup>11</sup>.

Due tipi di portali, interno ed esterno, definiscono l'ingresso e l'uscita dalla stazione, con il portale interno distante almeno 150 m dalla punta dello scambio più lontana dal fabbricato viaggiatori. Dal

---

<sup>10</sup> La palina limite di manovra è una struttura presente nelle stazioni ferroviarie che segna il punto fino al quale un treno può avanzare durante le operazioni di manovra senza interferire con altri binari o zone sensibili della stazione. Solitamente è costituita da un segnale fisso o da una barriera visiva che indica il punto massimo fino al quale un treno può muoversi in avanti. La sua posizione è determinata in base alle dimensioni della stazione, agli spazi disponibili e alle esigenze operative. La presenza della palina limite di manovra aiuta a garantire la sicurezza delle operazioni di manovra in stazione, evitando collisioni o interferenze con altri treni o infrastrutture.

<sup>11</sup> Laddove non sia possibile realizzare portali d'ormeggio sono da utilizzarsi travi Mec.

punto di vista della regolazione, lo spazio compreso tra i due portali è comune alla stazione ed alla piena linea.

In corrispondenza del portale di ormeggio interno del posto di sezionamento è posizionato, mediante apposite carpenterie, un sezionatore a corna comandato per ciascun binario di corsa allo scopo di consentire l'alimentazione delle condutture presenti. Invece, i posti di sezionamento posti alle estremità della stazione, oltre a provvedere all'ormeggio e alla regolazione delle condutture provenienti dalla piena linea e dalla stazione, separano elettricamente e meccanicamente le due, mantenendole costantemente distanziate di 400 mm.

Anche nel caso dei sezionamenti intermedi è previsto l'impiego di sezionatori a corna posizionati in corrispondenza dei portali in funzione dello schema di alimentazione *TE* previsto per la stazione oggetto dell'intervento.

## **2.5.6. Collegamento a terra e circuito di ritorno**

### *2.5.6.1. Circuito di ritorno*

Il circuito di ritorno della corrente di trazione elettrica è essenzialmente costituito dalle rotaie del binario a cui è affidato il compito di convogliare la corrente di ritorno al negativo delle sottostazioni. Possono essere distinte tre tipologie di circuiti di ritorno a seconda dell'isolamento tra rotaie.

Nel primo caso, il binario presenta entrambi le rotaie sono isolate. Queste, sono suddivise in sezioni e separate da giunti isolanti, mentre, connessioni induttive sono installate per garantire la continuità del circuito di ritorno.

Una seconda tipologia di circuito di ritorno prevede un binario con l'esclusività di un'unica rotaia isolata. Essa, è suddivisa in sezioni e separata da giunti isolanti. Altresì, la rotaia non isolata mantiene la continuità del circuito tramite collegamenti longitudinali.

L'ultima tipologia consiste in un binario che presenta rotaie non isolate. In tal caso, la continuità del circuito di ritorno è mantenuta tramite collegamenti longitudinali.

Le connessioni longitudinali sui binari di corsa delle stazioni e dei binari di corsa di piena linea variano a seconda del tipo di circuito di ritorno. Per la prima configurazione di circuito di ritorno, le connessioni sono effettuate in corrispondenza di ogni giunzione non saldata e non isolata di entrambe le fughe di rotaie del binario. Nel secondo caso, la connessione longitudinale risulta da realizzarsi in corrispondenza di ogni giunzione non saldata della sola rotaia non isolata del binario. Infine, in caso di circuito di ritorno che preveda un binario con rotaie non isolate, la connessione longitudinale deve avvenire in corrispondenza di ogni giunzione non saldata delle due fughe di rotaie del binario.

Le connessioni trasversali tra le rotaie di uno stesso binario in piena linea dipendono anch'esse dalla natura del circuito di ritorno. Inerentemente al circuito di ritorno con binario caratterizzato da rotaie entrambe isolate, tali connessioni non possono essere applicate. In merito alla seconda tipologia, per linee a semplice binario non si applicano. Sono, invece, eseguite per linee a doppio binario, tra le rotaie

non isolate dei due binari (a una distanza minima di 700 m). In conclusione, in caso di circuito di ritorno del terzo tipo, le connessioni trasversali vengono eseguite, per linee a semplice e doppio binario, tra le due fughe di rotaia di uno stesso binario almeno ogni 700 m.

Per il collegamento alle rotaie, viene impiegato un cavo TACSR da 170 mm<sup>2</sup>, con apposito attacco alla rotaia.

### 2.5.6.2. Circuito di terra e protezione

Il circuito di terra e di protezione dovrà essere realizzato nel rispetto di quanto definito dall'apposta norma CEI EN 50122-1 e differentemente a seconda se si tratti di piena linea, a semplice o doppio binario, o stazione.

#### ▪ Piena linea.

Il circuito di terra e di protezione di piena linea deve essere realizzato, partendo dal portale interno di stazione compreso, collegando tutti i sostegni di ciascun binario tra loro mediante corde in TACSR sezione 170 mm<sup>2</sup> opportunamente sezionate ogni 3000 m circa, mediante impiego di appositi isolatori ad anello. Ciascun sostegno deve essere poi collegato ad un proprio dispersore di terra ma non al binario. Le estremità del tratto di circuito di terra sono, invece, da connettersi, tramite uno specifico limitatore di tensione, al binario o alle connessioni induttive, in funzione del tipo di circuito di ritorno presente.

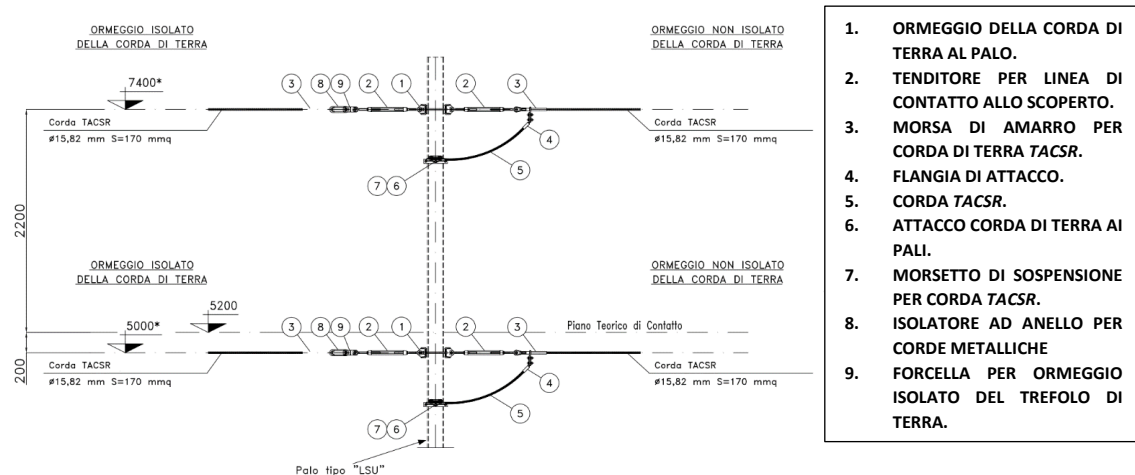


Figura 32– Ormeccio delle corde di terra su sostegno di tipo LSU

Le corde TACSR di sezione 170 mm<sup>2</sup> sono montate sul sostegno dalla parte opposta alla linea di contatto, a precise quote: una corda è posizionata 200 mm sotto il piano teorico di contatto, mentre l'altra è collocata 2200 mm sopra il piano teorico di contatto. Alla corda deve essere assicurato, attraverso l'attacco al palo ed il morsetto di sostegno, un buon collegamento elettrico al sostegno.

Inoltre, in caso di linee a doppio binario, i tratti del circuito di terra, della lunghezza di circa 3000 m, dovranno essere collegati tra loro alle estremità e al centro del tratto. Il collegamento centrale e quelli

alle estremità sono da effettuarsi mediante due corde di rame del diametro di 14 mm, aggrappate a sostegni esistenti o installando appositi pali. In tal modo viene realizzato un circuito chiuso collegato alle estremità, tramite limitatore di tensione per circuito di protezione TE, al circuito di ritorno alternativamente al binario pari e al binario dispari.

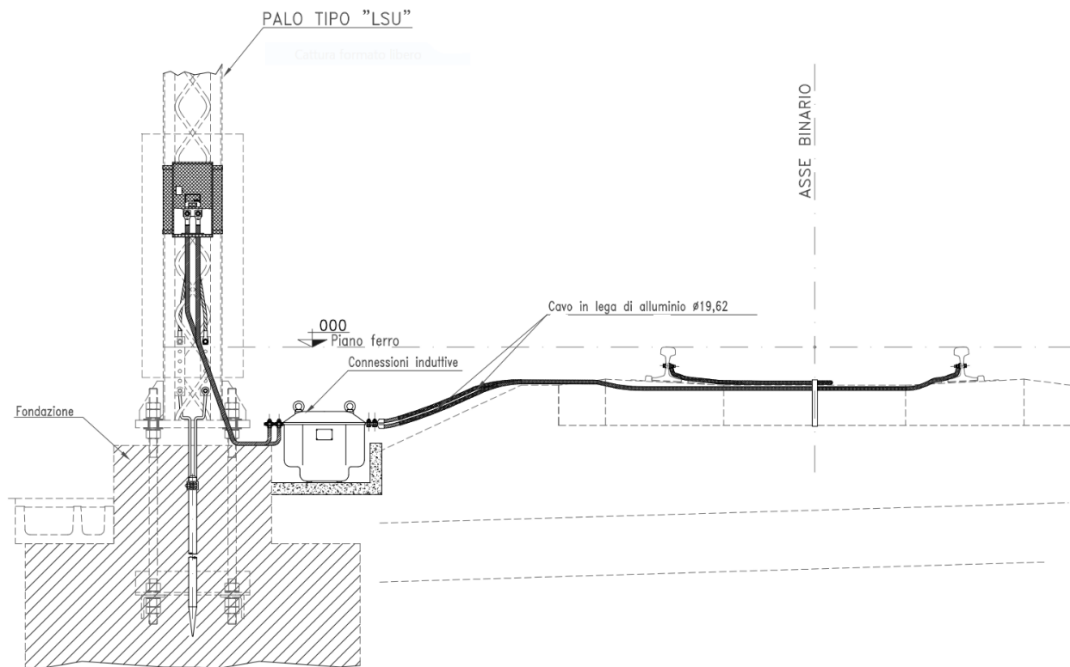


Figura 33 – Circuito di terra

- Stazione.

Tutti i sostegni devono essere collegati tra di loro grazie a due corde TACSR di sezione  $170 \text{ mm}^2$  ciascuna, in modo tale da realizzare delle maglie del circuito di protezione opportunamente collegate al circuito di ritorno. I principi adottati sono i medesimi della piena linea.

### 2.5.7. Linee di alimentazione

Il sistema di alimentazione elettrica delle linee ferroviarie è fondamentale per garantire il corretto funzionamento degli impianti. Le condutture di alimentazione trasportano l'energia elettrica dalle sottostazioni alle varie zone elettriche di una stazione.

Le linee di alimentazione devono essere di tipo aereo e posizionate su sostegni tipo LSU dedicati. Ove non fosse possibile realizzare la linea di alimentazione aerea, la stessa dovrà essere realizzata in cavo isolato e segregato.

I conduttori per la costituzione delle linee di alimentazione aeree sono di due tipologie di sezione ( $155 \text{ mm}^2$  e  $230 \text{ mm}^2$ ) le cui caratteristiche sono indicate nella *Tabella 2.13*. Tali conduttori, sono da

posarsi su una palificata dedicata, realizzata con sostegni di tipo *LSU* ed indipendente dalla stessa che sostiene le condutture di contatto. Qualora quanto indicato non fosse possibile e si rendesse necessario l'impiego di sostegni esistenti per la sospensione della linea di alimentazione aerea, risulta fondamentale posizionare la conduttura di alimentazione ad una distanza minima di 3 m dalla conduttura di contatto per motivi di sicurezza elettrica.

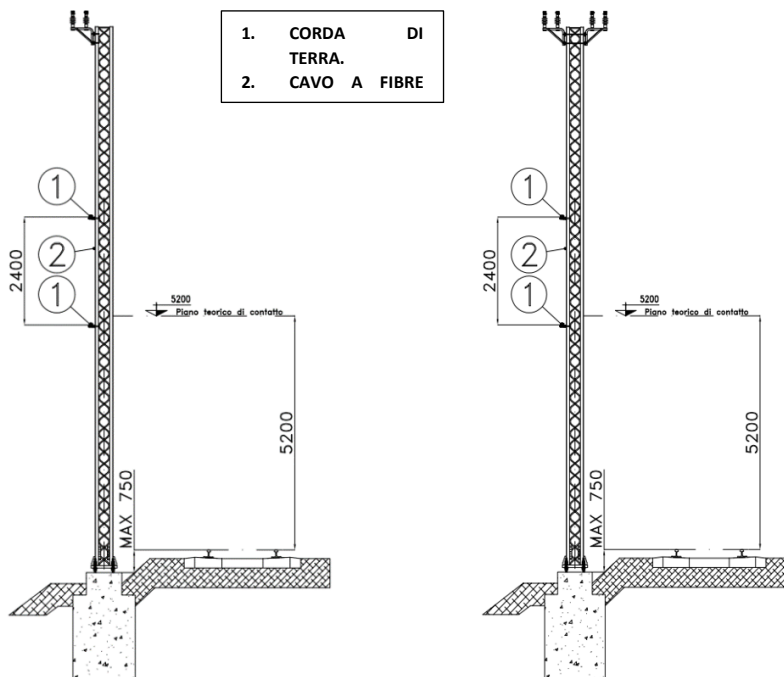


Figura 34– Pali di sostegno LSU, rispettivamente con 2 corde da 230 mm<sup>2</sup> sezione da 460 mm<sup>2</sup> e con 4 corde da 155 mm<sup>2</sup> sezione da 630 mm<sup>2</sup>

In corrispondenza dei marciapiedi di stazione, piani caricatori, scali merci, nelle zone accessibili al pubblico nonché in concomitanza di incroci con strade carrozzabili, i conduttori devono essere fissati ad una coppia di isolatori con sospensione a losanga a garanzia di sicurezza.

Inoltre, i conduttori, in sede ferroviaria e fuori sede, sono da tesare obbligatoriamente così che la loro altezza dal suolo, calcolata alla temperatura di 55°C, non sia in alcun punto inferiore a 6 m. In casi eccezionali e limitati nel tempo tale altezza può essere ridotta fino ai limiti minimi indicati nelle norme.

Il fissaggio dei conduttori sulle sospensioni e l'ormeggio della linea di alimentazione aerea su palo, è opportunamente trattato e regolamentato da apposite normative. Infine, la distanza di rispetto dei conduttori e la distanza minima dai rami delle piante devono seguire le disposizioni stabilite dalle normative di settore (*CEI EN 50119*), garantendo la sicurezza dell'intero impianto ferroviario.



## **2.6. Specifica tecnica catenaria rigida fissa per installazioni in gallerie a 3 kV in corrente continua**

La specifica in questione definisce i requisiti tecnici e funzionali per la realizzazione della catenaria rigida da impiegare, laddove non risulti possibile l'installazione della catenaria tradizionale, nelle gallerie di sezione ridotta della rete ferroviaria italiana, alimentate a 3 kV in corrente continua, nonché di disciplinare le procedure per ottenere l'idoneità tecnica del prodotto e le prove necessarie per il processo di accettazione.

### **2.6.1. Campo di applicazione**

La catenaria rigida fissa deve essere progettata e realizzata per garantirne il corretto funzionamento nell'ambito dei campi di utilizzazione descritti di seguito:

- Tensione nominale di esercizio: 3 kV in corrente continua.
- Massima velocità di esercizio: 160 km/h.
- Profili dei pantografi ammessi: pantografo interoperabile da 1600 mm a corni isolati e pantografo da 1450 mm a corni non isolati.
- Massima corrente in regime di esercizio permanente: 4 kA.
- Massima corrente di cortocircuito: 50 kA per 250 ms.
- Condizioni ambientali: fruibile in ambiente salino o polveroso, altitudine inferiore a 2000 m s.l.m., temperature comprese tra  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  ÷  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , umidità inferiore al 95 %.

### **2.6.2. Documentazione correlata**

La catenaria rigida fissa deve essere progettata e realizzata basandosi, oltre ai dettami esposti nella presente specifica tecnica, nella completa osservanza delle leggi, decisioni, normative e disposizioni interne vigenti in materia, con particolare riguardo a:

- *Regolamento (UE) N. 1301/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «Energia» del sistema ferroviario dell'Unione Europea.*
- *Sti Energia.*
- *CEI EN 50119 – Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Impianti fissi - Linee aeree di contatto per trazione elettrica.*
- *CEI EN 50149 – Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Impianti fissi - Trazione elettrica - Fili sagomati di contatto in rame e lega di rame.*
- *UNI EN ISO 3506-1 Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio inossidabile resistente alla corrosione - Parte 1: Viti e viti prigioniere.*
- *UNI EN ISO 3506-2 Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio inossidabile resistente alla corrosione - Parte 2: Dadi.*
- *Serie UNI EN 15273 Applicazioni ferroviarie - Sagoma.*
- *UNI EN 573-3 Alluminio e leghe di alluminio - Composizione chimica e forma dei prodotti semilavorati - Parte 3: Composizione chimica e forma dei prodotti.*
- *UNI EN 755-2 Alluminio e leghe di alluminio - Barre, tubi e profilati estrusi - Parte 2: Caratteristiche meccaniche.*

- UNI EN 10088-3 Acciai inossidabili - Parte 3: Condizioni tecniche di fornitura dei semilavorati, barre, vergella, filo, profilati e prodotti trasformati a freddo di acciaio resistente alla corrosione per impieghi generali.
- UNI CEI EN ISO/IEC 17025 Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura.
- Capitolato Tecnico per la costruzione delle linee aeree di contatto e di alimentazione a 3 kV in corrente continua.

### 2.6.3. Requisiti tecnici

La catenaria rigida fissa è un sistema a linea aerea rigida di contatto realizzato tramite un profilato scatolare di alluminio opportunamente sagomato al fine di alloggiare, nella sua parte inferiore, il filo di contatto a standard *RFI* per il trasferimento della corrente di trazione al pantografo.

I segmenti di profilato devono essere uniti tra loro per mezzo di piastre di giunzione in alluminio fissate, tramite viti, rondelle piane e rosette elastiche, alla parte interna dei profilati stessi.

Il filo di contatto non è sollecitato da alcun tiro e deve essere inserito nelle barre tramite un apposito carrello di montaggio, dopo aver applicato una particolare pasta protettiva avente lo scopo di evitare fenomeni di corrosione galvanica dovuti al contatto rame/alluminio.

Il sistema catenaria rigida deve essere compatibile con le sagome cinematiche del pantografo interoperabile da 1600 mm, sia per la condizione in rettilo che per quella in curva.

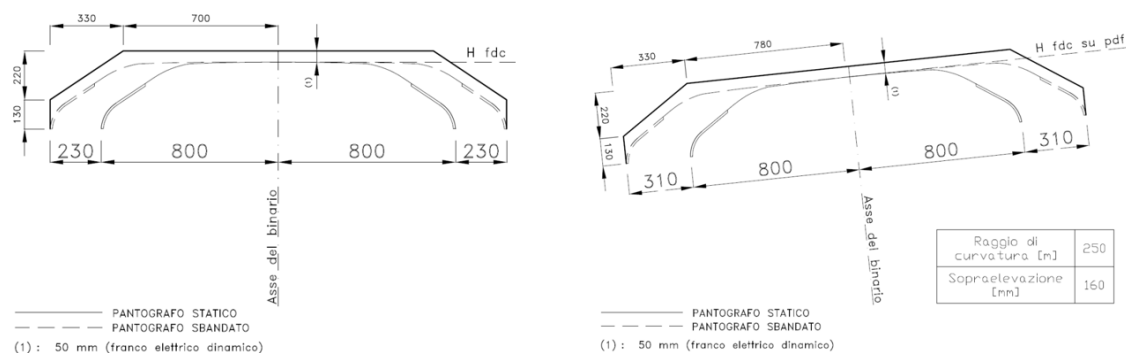


Figura 35 – sagome del pantografo in rettilo ed in curva

#### 2.6.3.1. Quota teorica del piano di contatto.

In corrispondenza delle sospensioni, la quota del piano teorico di contatto rispetto alla quota del piano del ferro deve essere correlata alla tipologia di *PMO* previsto, come definito nel *Capitolato Tecnico per la costruzione delle linee aeree di contatto e di alimentazione a 3 kV in corrente continua*.

#### 2.6.3.2. Sospensioni.

Le sospensioni della catenaria rigida, di tipologia a traversa isolata o eventualmente in particolari casi, a mensola orizzontale, sono caratterizzate un ingombro tale da poter essere installate nello spazio disponibile tra la catenaria rigida stessa ed il volto della galleria. Inoltre, tali sospensioni, risultano da

montarsi in maniera che l'asse di simmetria del profilato di alluminio sia sempre parallelo all'asse del binario, seguendo quindi le inclinazioni del piano del ferro al variare dei valori di sopraelevazione del binario stesso.

La distanza tra due sospensioni è in funzione della velocità di percorrenza massima ammessa. In particolare, la lunghezza campata diminuisce con l'aumentare della velocità di esercizio, come in seguito riportato:

- Velocità di 80 *km/h*: campata di riferimento pari a 12 *m*.
- Velocità di 120 *km/h*: campata di riferimento pari a 10 *m*.
- Velocità di 160 *km/h*: campata di riferimento pari a 8 *m*.

### 2.6.3.3. *Catenaria rigida*

Il tratto intero della catenaria, altresì detto *pezzatura*, deve essere dimensionato in modo tale da consentire una dilatazione/contrazione massima di  $\pm 200$  *mm* del profilato in corrispondenza delle estremità libere, in funzione dell'escursione termica ambientale e comunque non superando uno sviluppo lineare di circa 400 *m* ÷ 500 *m*.

A tal proposito, ambedue le opzioni di sospensione, a traversa isolata o a mensola orizzontale, devono permettere i movimenti della barra di alluminio secondo modalità distinte.

Nello specifico, la sospensione a traversa isolata risulta ancorata al volto della galleria tramite grappe, mentre il profilato è sorretto da un morsetto collegato rigidamente alla sospensione stessa. Questo morsetto presenta una guida scorrevole in materiale metallico a basso coefficiente di attrito che consente il movimento della barra. In tal caso, è inoltre, necessario assicurarsi che il materiale utilizzato per la guida scorrevole tra profilato e morsetto risulti essere elettricamente conduttore e non isolante, al fine di consentire il passaggio della corrente di guasto e la disconnessione automatica dell'alimentazione mediante l'apertura dei relativi interruttori extrarapidi, in caso di cedimento dell'isolamento della sospensione stessa.

Parallelamente, apposite cerniere consentono la libera rotazione sul piano orizzontale della sospensione a mensola, mentre il profilato è collegato rigidamente al morsetto. Il morsetto viene a sua volta collegato alla mensola grazie uno snodo che consente la rotazione relativa tra barra e mensola.

Allo scopo di garantire la sicurezza elettrica, nel caso della sospensione a traversa isolata, la guida scorrevole tra profilato e morsetto deve essere elettricamente conduttiva.

In corrispondenza della mezzeria di ciascuna pezzatura deve essere previsto un punto fisso che ripartisca equamente le dilatazioni termiche su ciascuna semi-pezzatura. Ambedue le sezioni consecutive, devono risultare libere di deformarsi senza vincoli, in quanto sono vengono separate da tratti di sovrapposizione in affiancamento a spazio d'aria realizzando, a seconda delle necessità di natura impiantistica, sovrapposizioni non isolate o isolate.

La sovrapposizione non isolata costituisce il tratto di separazione tra due pezzature consecutive in cui occorre garantire la continuità elettrica del sistema. In particolare, i profilati delle due pezzature devono essere affiancati in corrispondenza dei tratti di catenaria rigida a poligonazione nulla, ciascuno alla

distanza di  $\pm 100 \text{ mm}$  dall'asse del binario, ottenendo una distanza complessiva di  $200 \text{ mm}$ . In questo modo, si realizza un tratto di sovrapposizione la cui lunghezza si attesta su  $3 \div 4 \text{ m}$ , consentendo al pantografo un graduale passaggio da una pezzatura all'altra.

Alle rispettive estremità libere, i due profilati di alluminio (rampe di lunghezze  $8 \text{ m} - 10 \text{ m} - 12 \text{ m}$ ) vengono opportunamente piegati verso l'alto così da rendere il passaggio del pantografo da una pezzatura all'altra quanto più graduale possibile. Chiaramente, tutto il complesso deve essere dotato di opportuna morsetteria e viteria in acciaio inossidabile, così da impedire la fuoriuscita del filo di contatto.

La continuità elettrica tra le due pezzature deve essere garantita mediante 8 corde in rame da  $85 \text{ mm}^2$ , opportunamente collegate ai morsetti di alimentazione in lega di alluminio, e caratterizzate da una lunghezza tale da consentire, al contempo, il movimento, dovuto alle variazioni termiche ambientali, tra le due barre affiancate e impedire urti accidentali con il pantografo.

La sovrapposizione isolata costituisce il tratto di separazione tra due pezzature consecutive in cui occorre garantire la separazione elettrica del sistema a linea aerea rigida di contatto (tronco di sezionamento). Le indicazioni fornite per la sovrapposizione non isolata risultano valide, con l'eccezione che i profilati delle due pezzature siano affiancati alla distanza di  $400 \text{ mm}$  ed i collegamenti elettrici di continuità non vengano realizzati.

Comunque, in entrambi i casi, è fondamentale garantire un accurato livellamento dei profilati nel tratto di sovrapposizione per una corretta interazione con il pantografo.

Ciascun tratto intero di catenaria rigida deve essere, poi, dotato di un punto fisso, da posizionarsi al centro della pezzatura e preferibilmente in corrispondenza dei tratti di catenaria rigida a poligonazione nulla, il cui scopo consiste nell'ancorare il profilato di alluminio consentendo ad ambedue le sezioni contigue di dilatarsi e contrarsi in funzione dell'escursione termica ambientale. Il dispositivo di punto fisso deve essere costituito da una flangia in lega di alluminio o acciaio zincato, ancorata alla parte superiore del profilato mediante bulloneria in acciaio inossidabile. Su questa flangia vengono montati due stralli contrapposti, isolati e opportunamente dimensionati, ciascuno ancorato a un pendolo o a una piastra di acciaio zincato installati sul volto della galleria a non meno di  $2 \text{ m}$  di distanza dal punto fisso e all'interno della campata adiacente<sup>12</sup>.

Allo scopo di prevenire fenomeni di corrosione galvanica, si raccomanda particolare attenzione nella definizione dei materiali per la composizione degli ormeggi isolati tra catenaria rigida e strutture ancorate alla galleria. Infine, è necessario verificare che sia garantito il franco elettrico minimo di  $150 \text{ mm}$  tra le parti attive della linea di contatto e l'intradosso della galleria.

#### *2.6.3.4. Transizione tra catenaria rigida e tradizionale.*

La transizione tra catenaria tradizionale e catenaria rigida rappresenta un aspetto di cruciale criticità, in quanto i due sistemi aerei risultano caratterizzati da un comportamento meccanico estremamente differente. Pertanto, al fine di garantire una corretta captazione ed interazione dinamica tra pantografo e

---

<sup>12</sup> Per tratti di catenaria rigida con lunghezze inferiori a circa  $200 \div 250 \text{ m}$ , è ammessa la realizzazione del punto fisso senza stralli, ma tramite una coppia di morsetti posizionati a monte e a valle del morsetto della sospensione di asse di punto fisso. Questi morsetti devono essere dimensionati opportunamente e approvati dalla *Direzione Tecnica* di RFI, nonché sono da fissarsi al profilato di alluminio con bulloneria inossidabile

catenaria, nonché contenere i consumi del filo di contatto e dello strisciante, è necessario che la transizione avvenga quanto più gradualmente possibile. A tal riguardo, è di fondamentale importanza che le funi portanti provenienti dal tratto all'aperto siano isolate ed ormeggiate, seguendo il loro sollevamento naturale, su una piastra di acciaio zincato, direttamente ancorata al fronte della galleria ed isolata dalla stessa. Per quanto concerne ai fili di contatto, uno di essi deve essere isolato ed ormeggiato, seguendo il suo sollevamento naturale, su un apposito pendulo o piastra di acciaio zincato da installarsi sul volto della galleria, mentre l'altro filo di contatto, proveniente dall'esterno, viene inserito in una barra di transizione.

La barra di transizione, realizzata tramite un profilato in alluminio di lunghezza pari a  $6\text{ m}$ , è opportunamente sagomata così da presentare tratti a *sezione chiusa* della catenaria rigida, intervallate da tratti *aperti superiormente* a sezione variabile, consentendo quindi un graduale aumento della rigidità flessionale nel passaggio dalla catenaria tradizionale a quella rigida. La barra di transizione, essendo soggetta al tiro del filo di contatto regolato automaticamente dall'esterno, deve essere dotata, in corrispondenza dei tratti a sezione chiusa, di opportuna viteria e bulloneria in acciaio inossidabile tale da impedire la fuoriuscita del conduttore dal profilato di alluminio, nonché attrezzata con un carter di protezione in materiale polimerico necessario a prevenire accumuli di acqua e sporcizia all'interno delle sezioni scoperte della barra stessa.

La barra di transizione deve essere poi collegata, mediante piastre di giunzione, ad una barra di ancoraggio avente la funzione di scaricare completamente l'azione meccanica della regolazione automatica del filo proveniente dall'esterno sul volto della galleria. In questo modo si ottiene che la prima pezzatura di catenaria rigida entrante in galleria sia priva di tiro sul filo di contatto.

L'operazione di scarico del tiro del filo di contatto sul volto della galleria avviene ad opera di due tiranti d'ormeggio, opportunamente dimensionati, di cui la barra è dotata. Ciascun tirante d'ormeggio, risulta da ancorare ad un apposito pendulo o piastra d'acciaio zincato, ed installare con isolamento sul volto della galleria. Il fissaggio tra i componenti citati avviene mediante adeguata bulloneria e viteria.

La pezzatura di catenaria rigida entrante in galleria, a partire dalla barra di transizione, non deve possedere uno sviluppo lineare superiore a  $200 \div 250\text{ m}$  e la transizione tra catenaria tradizionale e catenaria rigida deve essere caratterizzata da poligonazione nulla. Infine, è importante garantire un franco elettrico di almeno  $150\text{ mm}$  tra le parti attive della linea di contatto e l'estradosso della galleria.

#### 2.6.3.5. Poligonazione

La catenaria rigida, in analogia a quella tradizionale, deve essere poligonata al fine di rendere uniforme l'usura dello strisciante del pantografo. La poligonazione deve essere realizzata gradualmente, in funzione della massima velocità ammessa dalla linea come indicato nella figura e tabella sottostante.

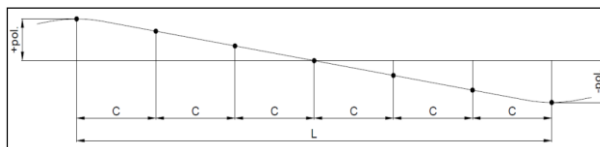


Figura 36 – Poligonazione della catenaria rigida

VELOCITÀ LINEA	CAMPATA DI RIFERIMENTO (C)	POLIGONAZIONE	DISTANZA DI RIFERIMENTO (L)
<b>80 km/h</b>	12 m	±20 cm	120 m
<b>120 km/h</b>	10 m	±20 cm	200 m
<b>160 km/h</b>	8 m	±15 cm	240 m

Tabella 2.23 – Parametri per la poligonazione della catenaria rigida

#### 2.6.3.6. Franco elettrico minimo e circuito di terra e protezione.

La distanza in aria (franco elettrico statico) tra le parti attive della catenaria rigida e qualsiasi componente dell'infrastruttura e/o dei veicoli messi a terra in modo intenzionale o di fatto ad essa collegati dal punto di vista elettrico deve rispettare il valore minimo di 150 mm. Per quanto concerne al circuito di terra e protezione vale quanto espresso dal capitolato tecnico per la costruzione delle linee aree di contatto a 3 kV in corrente continua.

### 2.6.4. Componenti della catenaria rigida

#### 2.6.4.1. Filo di contatto

La catenaria rigida deve essere realizzata utilizzando i fili di contatto previsti dalla norma *CEI EN 50149* e dalla *Specifica Tecnica di Fornitura RFI*, in funzione della tipologia di catenaria tradizionale impiegata nei corrispondenti tratti all'aperto. Al fine di prevenire fenomeni di corrosione galvanica tra il rame del filo di contatto e l'alluminio dei profilati, prima dell'inserimento all'interno delle barre è necessario applicare una speciale pasta protettiva. In corrispondenza di ciascun tratto intero di catenaria rigida (pezzatura), il filo di contatto deve essere inserito all'interno delle barre senza interruzioni.

#### 2.6.4.2. Profilato

Il profilato della catenaria rigida deve essere un estruso in lega di alluminio sagomato in modo da ospitare, nella sua parte inferiore, il filo di contatto ed impedirne eventuali spostamenti relativi dovuti all'escursione termica ambientale. Le lunghezze di riferimento dei profilati sono rispettivamente: 8 m – 10 m – 12 m, a seconda della campata prevista per la catenaria rigida in funzione della velocità massima consentita dalla linea. Ogni barra è fornita di fori alle estremità per consentire il collegamento con altre barre mediante piastre di giunzione. Nella parte inferiore dei profilati sono presenti due fori, distanziati circa ogni 3 m, per il drenaggio della condensa eventualmente accumulata all'interno delle barre.

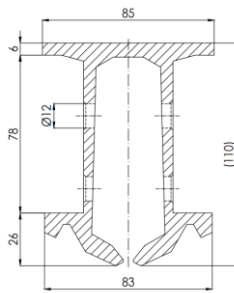


Figura 37 – Sezione profilato catenaria rigida

### 2.6.4.3. Piastre di giunzione

La coppia di piastre di giunzione presenti alle estremità delle sbarre ha la funzione di garantire la continuità meccanica ed elettrica del sistema catenaria rigida. Ciascuna piastra è composta del medesimo materiale di cui il profilato ed è dotata di fori passanti filettati per l'accoppiamento tramite viti e bulloneria in acciaio inossidabile. Le piastre vengono posizionate internamente alle barre, pertanto devono essere opportunamente sagomate in modo da accoppiarsi perfettamente con i profilati.

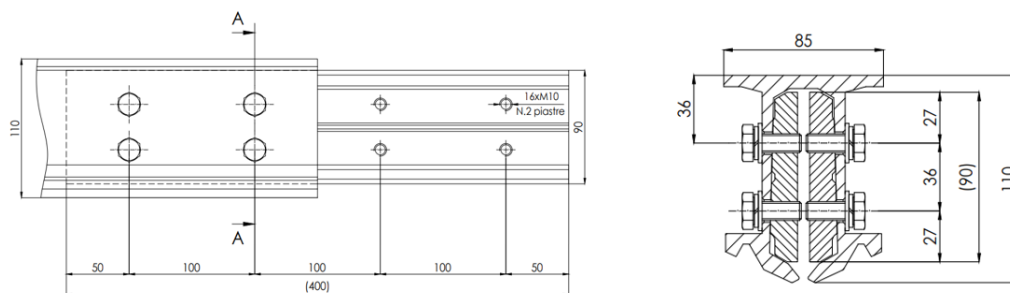


Figura 38 – Vista longitudinale e sezione A-A delle piastre di giunzione

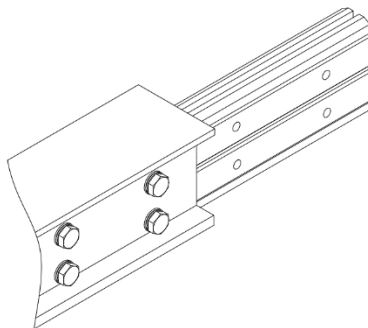


Figura 39 – Vista d'assieme piastre di giunzione

#### 2.6.4.4. Sospensioni

La sospensione a traversa isolata, generalmente in uso in caso di catenaria rigida, è composta dai seguenti elementi (raffigurati anche nei disegni sotto riportati), realizzati in lega di alluminio ed acciai zincati.

- Tondo pieno/tubo centrale.
- Isolatori (2/3) opportunamente dimensionati. Ciascun isolatore è composto da un corpo centrale isolante e due terminali metallici realizzabili in lega di alluminio ed acciaio zincato. Deve essere assicurata l'impermeabilità fra suddetti componenti grazie a idonei accorgimenti.
- Tondi pieni/tubi laterali.
- Attacchi alle grappe, ciascuno realizzato tramite semi collari collegati tra di loro mediante bulloneria in acciaio inossidabile munita di rondelle piane e di dadi autobloccanti.
- Un morsetto di sospensione collegato alla traversa isolata mediante collari filettati piatti in acciaio inossidabile, ciascuno munito di rondella piana e di dado autobloccante, anch'essi in acciaio inossidabile.

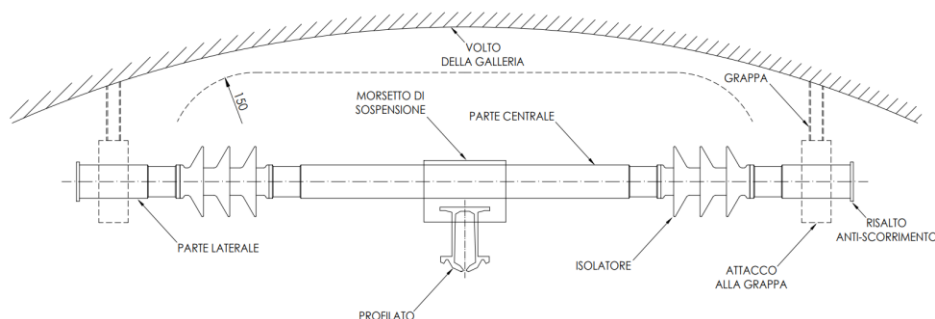


Figura 40 – Sospensione a traversa isolata con due isolatori

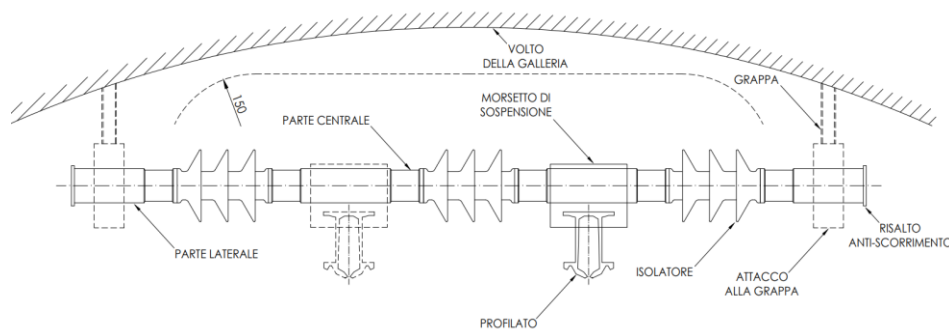


Figura 41 – Sospensione a traversa isolata con tre isolatori

È necessario che la traversa consenta lo scorrimento del morsetto di sospensione in modo da poter ottenere la poligonazione di  $\pm 200 \text{ mm}$  dall'asse del tubo centrale coincidente con l'asse del binario.



L'installazione in galleria deve essere realizzata tramite grappe in acciaio inossidabile, dimensionate opportunamente, isolate elettricamente dal volto mediante l'impiego di appositi ancoranti chimici ed anelli di centraggio isolanti. Il montaggio delle sospensioni, quindi l'orientamento delle grappe, deve avvenire in funzione dell'inclinazione del piano del ferro.

#### 2.6.4.5. Rampa, barra di transizione e di ancoraggio

Rampa, barra di transizione e di ancoraggio, da dimensionare in relazione al caso specifico di applicazione, vengono realizzate con la medesima lega di alluminio di cui il profilato.

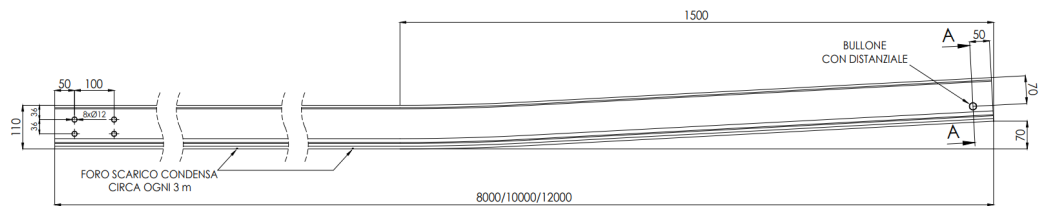


Figura 42 – Vista longitudinale rampa

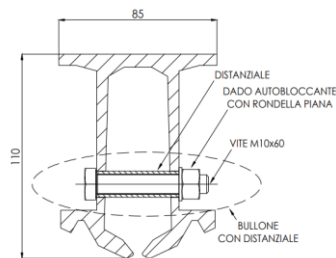


Figura 43 – Sezione A-A rampa

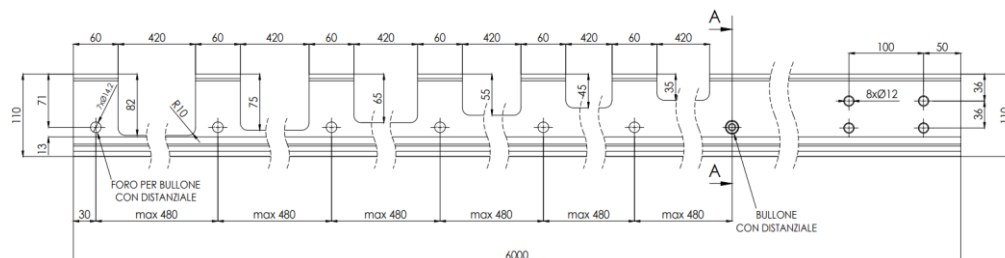


Figura 44 – Vista longitudinale barra di transizione

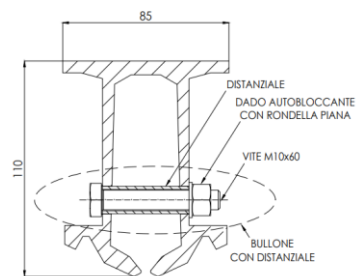


Figura 45 – Sezione A-A barra di transizione

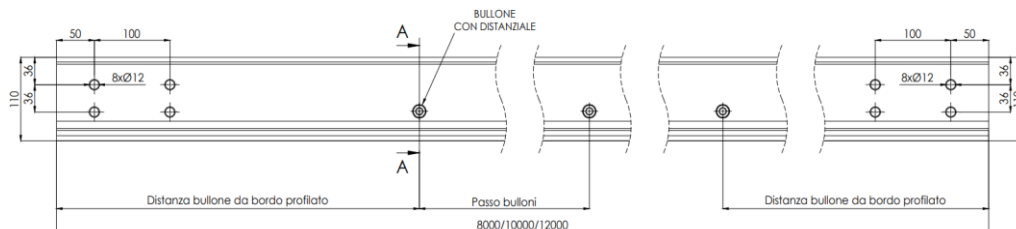


Figura 46 – Vista longitudinale barra di ancoraggio

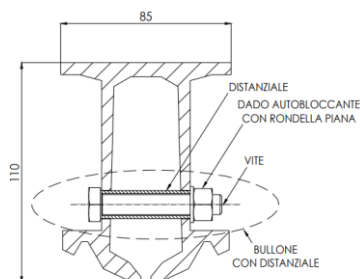


Figura 47 – Sezione A-A barra di ancoraggio

#### 2.6.4.6. Grappe per ancoraggio

La grappa di galleria per la sospensione a traversa isolata della catenaria rigida deve essere interamente filettata, realizzata in acciaio inossidabile ed isolata elettricamente dal volto mediante l'impiego di appositi ancoranti chimici ed anelli di centraggio isolanti.

Ogni grappa deve essere opportunamente dimensionata in funzione della distanza di installazione della catenaria rigida dal volto della galleria e tenendo dei carichi agenti sulla catenaria rigida stessa.

Quanto indicato è da estendersi anche al caso di utilizzo della sospensione a mensola orizzontale.

#### 2.6.4.7. Copertura (carter)

Ogniqualevolta si presentino fenomeni di esposizione al gocciolamento all'interno della galleria risulta necessaria la copertura della catenaria rigida. Tale copertura è realizzata in materiale polimerico con comportamento al fuoco compatibile con l'installazione in galleria

L'impiego del carter è sempre previsto per la barra di transizione, oggetto di possibili accumuli di acqua e sporczia al suo interno presentando tratti scoperti.

## **2.7. Manuale di progettazione delle opere civili**

### **2.7.1. Struttura, contenuto e campo di applicazione**

Raccogliendo le specifiche progettuali degli ultimi anni e aggiornandole per conformarsi alla normativa nazionale ed europea attuale, il *Manuale di Progettazione* costituisce il riferimento per la progettazione delle opere civili da realizzare per la Rete Ferroviaria Italiana, sia per le nuove realizzazioni sia per gli interventi di manutenzione, rinnovo o ristrutturazione di opere esistenti. Questo documento non solo integra le esperienze pratiche maturate nel tempo, ma fornisce linee guida chiare per garantire la sicurezza, la qualità, l'affidabilità, l'economicità e la manutenibilità delle opere civili in maniera conforme a quanto stabilito nelle *Specifiche Tecniche di Interoperabilità*.

Il Manuale è articolato nelle seguenti sezioni:

- Ambiente.
- Ponti e Strutture.
- Corpo Stradale.
- Gallerie.
- Prescrizioni per gli impianti dei terminali aperti al pubblico, per i marciapiedi e le pensiline delle stazioni ferroviarie a servizio dei viaggiatori.
- Sagome e profilo minimo degli ostacoli.
- Geologia.

Nel contesto di questa trattazione, un approfondimento sarà rivolto alla sezione riguardante le sagome ed il profilo minimo degli ostacoli, aspetto che riveste particolare importanza nelle operazioni di elettrificazione delle linee ferroviarie. In quest'ambito, il profilo minimo degli ostacoli emerge come un aspetto cruciale per garantire la sicurezza e l'efficienza del transito dei treni, oltre ad influenzare l'altezza della linea di contatto.

Infatti, le diverse tipologie di *PMO* influenzano direttamente una serie di interventi di ristrutturazione infrastrutturale, quali la modifica delle gallerie, la costruzione di cavalcaferrovia e l'abbassamento del piano del ferro, nonché la realizzazione di vie e marciapiedi, al fine di garantire che il passaggio dei treni avvenga in sicurezza.

È importante sottolineare che il tipo di *PMO* adottato e la definizione dell'altezza della linea di contatto derivano dall'esigenza di conformarsi alle specifiche tecniche di interoperabilità. Lo scopo ultimo è ottenere una rete ferroviaria europea interoperabile, contraddistinta da caratteristiche di sicurezza elevate e standard comuni.

### **2.7.2. Documentazione correlata**

- *Direttiva 2008/57/CE* del 17 giugno 2008 relativa all'interoperabilità del sistema ferroviario comunitario
- *Direttiva UE 2016/797* dell'11 maggio 2019 relativa all'interoperabilità del sistema ferroviario dell'Unione europea (refusione).
- STI infrastruttura.
- *Serie UNI EN 15273 Applicazioni ferroviarie*.
- *Specifiche UIC, Serie 505 – 506*

### 2.7.3. Sagome e profilo minimo degli ostacoli

Si definisce *Profilo minimo degli ostacoli (PMO)* lo spazio da lasciare libero da elementi infrastrutturali per consentire il libero transito dei rotabili. In altre parole, esso rappresenta il profilo che delimita lo spazio all'esterno del quale devono essere sempre mantenuti gli ostacoli fissi per consentire la circolazione dei rotabili senza che insorgano problemi d'interferenza fisica tra i rotabili e gli ostacoli stessi.

In termini di prestazioni attese dall'infrastruttura, il profilo minimo degli ostacoli da rispettare affinché il transito di definiti rotabili sia consentito in sicurezza, può essere determinato secondo le seguenti modalità:

- Calcolo del profilo minimo degli ostacoli effettuato a partire dal profilo di costruzione del veicolo o del trasporto che si intende ammettere alla circolazione.
- Metodo cinematico: calcolo del profilo minimo degli ostacoli effettuato a partire da un profilo di riferimento definito dalle norme sulla base delle caratteristiche di determinati rotabili e trasporti, detti veicoli di riferimento. In particolare, sono definiti specifici profili di riferimento per la parte alta della sagoma, con i quali è possibile calcolare il profilo degli ostacoli per i punti posti a una quota superiore a 400 mm al di sopra del piano del ferro, e profili di riferimento della parte bassa, con i quali è possibile calcolare il profilo degli ostacoli per i punti posti a una quota inferiore a 400 mm al di sopra del piano del ferro.

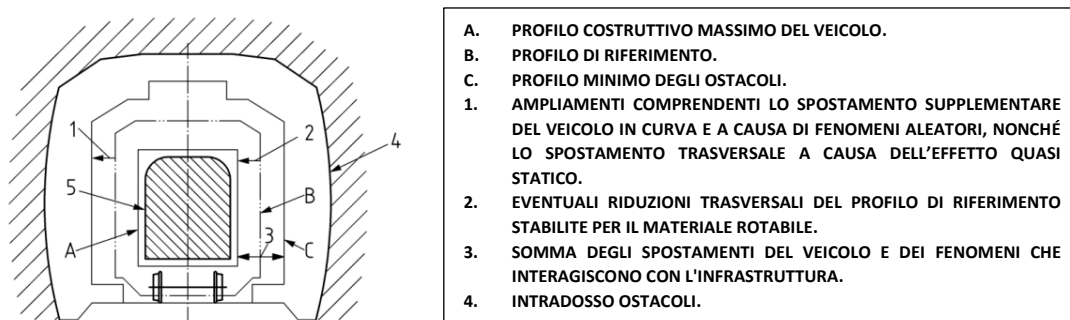


Figura 48 – Illustrazione generale delle sagome

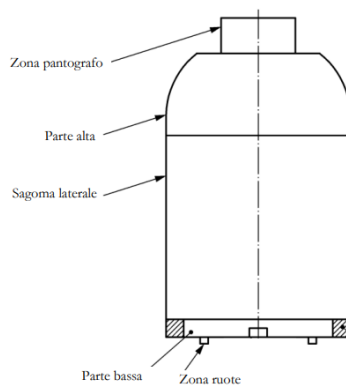


Figura 49 – Parti costituenti il profilo di riferimento

Il tale accezione, a seconda della metodologia scelta, il profilo minimo degli ostacoli è calcolato applicando alle dimensioni del profilo di riferimento, o al profilo di costruzione del veicolo, opportuni incrementi, determinati in relazione alle caratteristiche della linea (raggio, sopraelevazione) e della velocità di percorrenza della stessa (insufficienza di sopraelevazione), nonché ulteriori margini, definiti per mezzo di procedure di calcolo associate e regolate dalla normativa in vigore, rappresentativi dei possibili movimenti dei rotabili durante la loro marcia. Tra questi: lo spostamento laterale del veicolo in curva, lo spostamento verticale della sagoma dovuto alla deformabilità delle sospensioni, spostamenti aleatori verticali e trasversali dovuti ad eventuali difetti ed irregolarità del binario, nonché ad interventi di manutenzione dello stesso.

Chiaramente, la considerazione del profilo di riferimento per la determinazione del profilo minimo degli ostacoli non avviene nel caso in cui voglia calcolare quest'ultimo a partire dal profilo di costruzione del veicolo o del trasporto che si intende ammettere alla circolazione. In tal caso, la normativa definisce una specifica procedura per la misurazione del profilo di costruzione del veicolo da utilizzare per la determinazione del profilo minimo degli ostacoli.

#### 2.7.3.1. Metodo cinematico: profili di riferimento

Per la parte alta della sagoma i profili di riferimento interoperabili presi in considerazione dalle norme sono:

- Profilo di riferimento *Gabarit 1 – G1*.
- Profilo di riferimento *Gabarit A – GA*.
- Profilo di riferimento *Gabarit B – GB*.

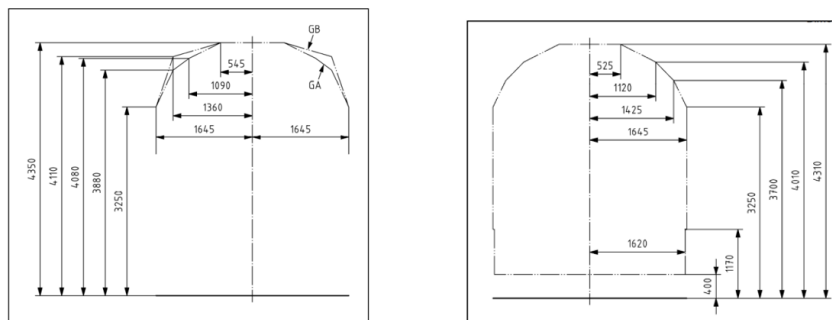


Figura 50 – Profili di riferimento G1 (sulla destra), GA e GB (sulla sinistra)

- Profilo di riferimento *Gabarit C – GC*.
- Profilo di riferimento *Gabarit B1 – GB1*.

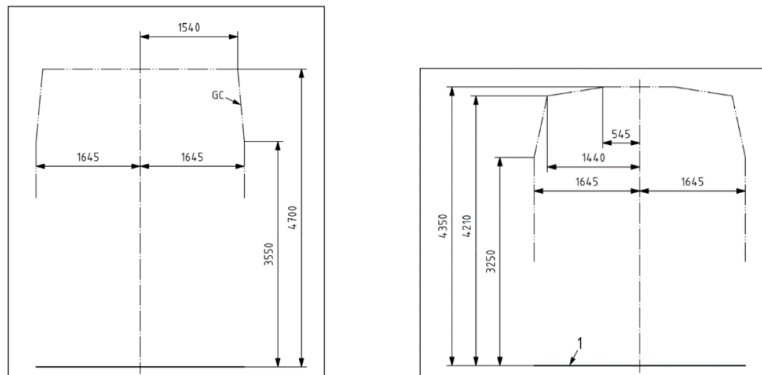
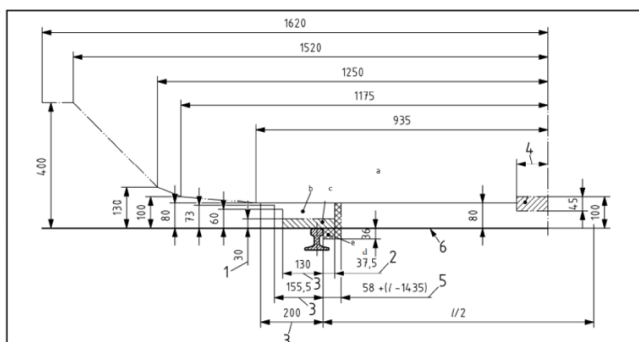


Figura 51 – Profili di riferimento GC (sulla sinistra) e GB1 (sulla destra).

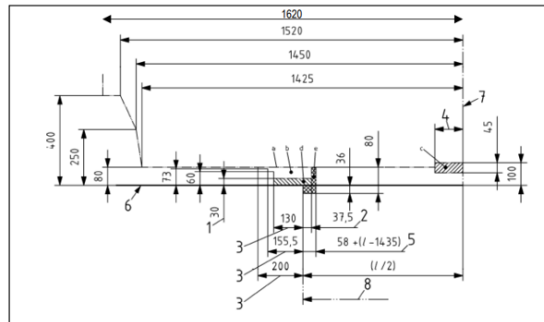
Per la parte bassa della sagoma si introducono i seguenti profili:

- Profilo di riferimento *Gabarit 12 – GI2*.



- |    |   |
|----|---|
| a. | ZONA PER LE PARTI DISTANTI DALLE RUOTE.   |
| b. | ZONA PER PARTI IMMEDIATAMENTE VICINE ALLE RUOTE.  |
| c. | ZONA PER RUOTE ED ALTRE PARTI CHE ENTRANO A CONTATTO CON I BINARI D: ZONA OCCUPATA ESCLUSIVAMENTE DALLE RUOTE.  |
| d. | ZONA OCCUPATA ESCLUSIVAMENTE DALLE RUOTE.   |
| 1. | LIMITE, DA NON SUPERARE PER LE PARTI SITUATE AL DI FUORI DELLE SALE MONTATE.  |
| 2. | LARGHEZZA DELLA ZONA BORDINO IN PRESENZA DI CONTROROTAIE.   |
| 3. | POSIZIONE LIMITE EFFETTIVA DELLA SUPERFICIE ESTERNA DELLA RUOTA E DELLE PARTI AD ESSA ASSOCIATA.  |
| 4. | QUANDO IL VEICOLO È SU UNA CURVA DI RAGGIO $R = 250 \text{ m}$ E CON UNO SCARTAMENTO DI $1,465 \text{ m}$ , NESSUNA PARTE DEL VEICOLO PUÒ SCENDERE AL DI SOTTO DI $0,100 \text{ m}$ , QUINDI DEVE ESSERE INFERIORE A $0,125 \text{ m}$ DALL'ASSE BINARIO. |
| 5. | POSIZIONE LIMITE EFFETTIVA DELLA SUPERFICIE INTERNA DELLA RUOTA QUANDO LA RUOTA OPPOSTA È ACCOSTA ALLA ROTAIA.  |
| 6. | SUPERFICIE DI ROTOLAMENTO.  |

Figura 52 – Profilo di riferimento per la sagoma bassa GI2



- a. ZONA PER LE PARTI DISTANTI DALLE RUOTE.
- b. ZONA PER PARTI IMMEDIATAMENTE VICINE ALLE RUOTE.
- c. ZONA PER RAMPE DI CONTATTO.
- d. ZONA PER RUOTE ED ALTRE PARTI CHE ENTRANO A CONTATTO CON I BINARI.
- e. ZONA OCCUPATA ESCLUSIVAMENTE DALLE RUOTE.
- 1. LIMITE, DA NON SUPERARE PER LE PARTI SITUATE AL DI FUORI DELLE SALE MONTATE.
- 2. LARGHEZZA MASSIMA TEORICA DELLA ZONA BORDINO IN PRESENZA DI CONTROROTAIE.
- 3. POSIZIONE LIMITE EFFETTIVA DELLA SUPERFICIE ESTERNA DELLA RUOTA E DELLE PARTI AD ESSA ASSOCIATA.
- 4. QUANDO IL VEICOLO È SU UNA CURVA DI RAGGIO  $R = 250\text{ m}$  E CON UNO SCARTAMENTO DI  $1,465\text{ m}$ , NESSUNA PARTE DEL VEICOLO PUÒ SCENDERE AL DI SOTTO DI  $0,100\text{ m}$ , QUINDI DEVE ESSERE INFERIORE A  $0,125\text{ m}$  DALL'ASSE BINARIO.
- 5. POSIZIONE LIMITE EFFETTIVA DELLA SUPERFICIE INTERNA DELLA RUOTA QUANDO LA RUOTA OPPOSTA È ACCOSTA ALLA ROTAIA.
- 6. SUPERFICIE DI ROTOLAMENTO.
- 7. ASSE DEL PROFILO I ROTOLAMENTO.
- 8. AREA INTERNA AL BINARIO.

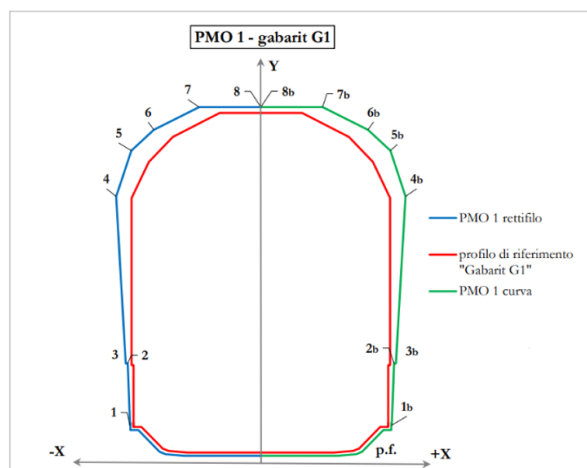
Figura 53 – Profilo di riferimento per la sagoma bassa cinematica G13

Sulla dei profili di riferimento di cui sopra, avviene la determinazione del PMO, mediante l'apposita procedura definita da normativa.

### 2.7.3.2. PMO standard

Per mezzo delle procedure citate vengono definiti i profili minimi degli ostacoli adottabili per la rete infrastrutturale, che costituiscono i PMO standard.

- P.M.O. n° 1 (compatibile con la Sagoma G1).

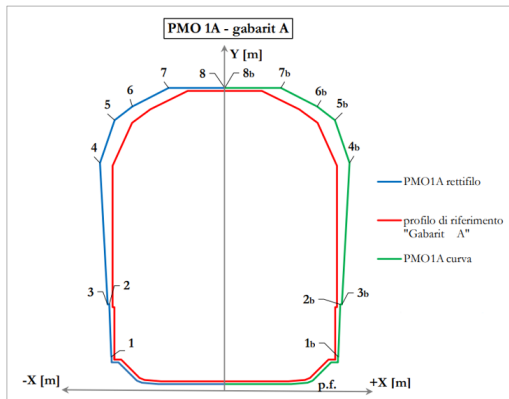


PMO 1 di costruzione				
Punti di riferimento	Y (m)	X (m)		
		rettilfo	esterno c.	interno c.
1	0,400	1,645	-	-
1b	0,400	-	1,655	1,655
2	1,190	1,659	-	-
2b	1,190	-	1,694	1,693
3	1,190	1,684	-	-
3b	1,190	-	1,719	1,718
4	3,270	1,733	-	-
4b	3,270	-	1,841	1,830
5	3,840	1,525	-	-
5b	3,840	-	1,648	1,635
6	4,100	1,229	-	-
6b	4,100	-	1,362	1,348
7	4,383	0,642	-	-
7b	4,383	-	0,786	-
7b	4,375	-	-	0,770
8	4,383	0,000	-	-
8b	4,383	-	0,000	-
8b	4,375	-	-	0,000

Figura 54 – PMO 1



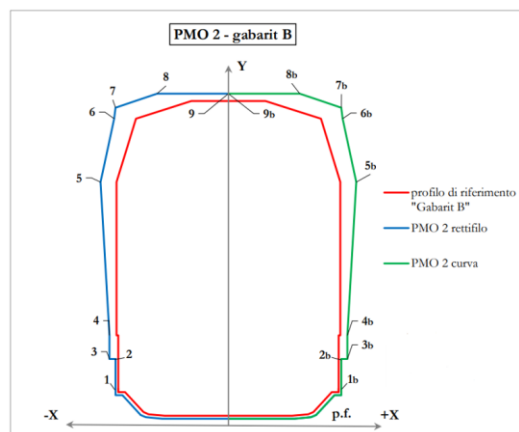
- *P.M.O. n° 1A* (compatibile con la *Sagoma GA*).



PMO 1A di costruzione				
Punti di riferimento	Y (m)	X (m)		
		rettililo	esterno c.	interno c.
1	0,400	1,645	-	-
1b	0,400	-	1,655	1,655
2	1,190	1,659	-	-
2b	1,190	-	1,694	1,693
3	1,190	1,684	-	-
3b	1,190	-	1,719	1,718
4	3,270	1,733	-	-
4b	3,270	-	1,841	1,830
5	3,920	1,501	-	-
5b	3,920	-	1,624	1,616
6	4,120	1,196	-	-
6b	4,120	-	1,364	1,355
7	4,402	0,658	-	-
7b	4,402	-	0,832	-
7b	4,394	-	-	0,823
8	4,402	0,000	-	-
8b	4,402	-	0,000	-
8b	4,394	-	-	0,000

Figura 55 – PMO 1A

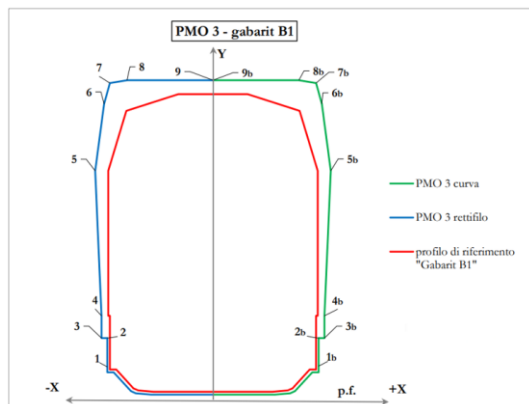
- *P.M.O. n° 2* (compatibile con la *Sagoma GB*).



PMO 2 di costruzione				
Punti di riferimento	Y (m)	X (m)		
		rettililo	esterno c.	interno c.
1	0,400	1,645	-	-
1b	0,400	-	1,655	1,655
2	0,850	1,653	-	-
2b	0,850	-	1,677	1,677
3	0,850	1,750	-	-
3b	0,850	-	1,750	1,750
4	1,170	1,750	-	-
4b	1,170	-	1,750	1,750
5	3,250	1,770	-	-
5b	3,250	-	1,870	1,850
6	4,110	1,580	-	-
6b	4,110	-	1,680	1,680
7	4,260	1,550	-	-
7b	4,260	-	1,660	1,650
8	4,450	1,050	-	-
8b	4,450	-	1,050	1,050
9	4,450	0,000	-	-
9b	4,450	-	0,000	0,000

Figura 56 – PMO 2

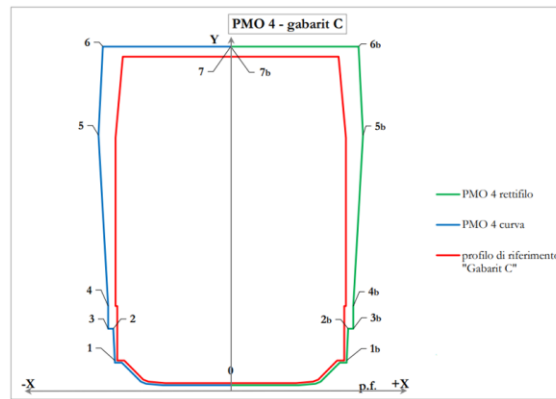
- *P.M.O. n° 3* (compatibile con la *Sagoma GB1*).



PMO 3 di costruzione				
Punti di riferimento	Y (m)	X (m)		
		rettililo	esterno c.	interno c.
1	0,400	1,645	-	-
1b	0,400	-	1,655	1,655
2	0,850	1,653	-	-
2b	0,850	-	1,677	1,677
3	0,850	1,750	-	-
3b	0,850	-	1,750	1,750
4	1,170	1,750	-	-
4b	1,170	-	1,750	1,750
5	3,250	1,770	-	-
5b	3,250	-	1,870	1,850
6	4,210	1,580	-	-
6b	4,210	-	1,750	1,730
7	4,510	1,520	-	-
7b	4,510	-	1,640	1,630
8	4,550	1,350	-	-
8b	4,550	-	1,350	1,350
9	4,550	0,000	-	-
9b	4,550	-	0,000	0,000

Figura 57 – PMO 3

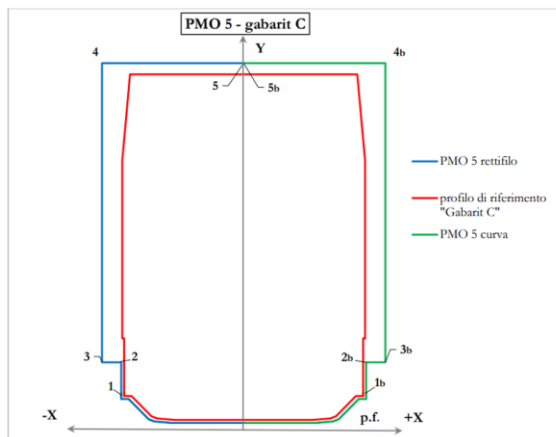
- *P.M.O. n° 4* (compatibile con la *Sagoma GC*): da adottare per le ristrutturazioni delle linee esistenti.



PMO 4 di costruzione				
Punti di riferimento	Y (m)	X (m)		
		rettilineo	esterno c.	interno c.
1	0,400	1,645	-	-
1b	0,400	-	1,655	1,655
2	0,850	1,653	-	-
2b	0,850	-	1,677	1,677
3	0,850	1,750	-	-
3b	0,850	-	1,750	1,750
4	1,170	1,750	-	-
4b	1,170	-	1,750	1,750
5	3,590	1,773	-	-
5b	3,590	-	1,888	1,866
6	4,843	1,667	-	-
6b	4,843	-	1,825	-
6b	4,833	-	-	1,807
7	4,843	0,000	-	-
7b	4,843	-	0,000	-
6b	4,833	-	-	0,000

Figura 58 – PMO 4

- *P.M.O. n° 5* (compatibile con la *Sagoma GC*): da adottare su nuove linee.



PMO 5 nominale				
Punti di riferimento	Y (m)	X (m)		
		rettilineo	esterno c.	interno c.
1	0,400	1,645	-	-
1b	0,400	-	1,655	1,655
2	0,850	1,653	-	-
2b	0,850	-	1,677	1,677
3	0,850	1,810	-	-
3b	0,850	-	1,960	1,920
4	4,850	1,810	-	-
4b	4,850	-	1,960	1,920
5	4,850	0,000	-	-
5b	4,850	-	0,000	0,000

Figura 59 – PMO 5

### 2.7.3.3. Interasse tra i binari

In analogia con le verifiche d'interferenza con gli ostacoli fissi, è possibile verificare la corretta distanza d'interasse dei binari, determinata per consentire la circolazione contemporanea dei rotabili su binari adiacenti.

Le verifiche possono essere condotte sulla base del profilo di riferimento scelto, prendendo in considerazione, nella sostanza, gli stessi fenomeni già definiti per il calcolo del profilo minimo degli ostacoli. Possono essere definiti:

- Un interasse minimo limite: per la verifica della distanza di interasse minima, avente lo scopo di assicurare l'assenza puntuale di interferenza tra le sagome, al di sotto del quale non è assolutamente consentito scendere.

- Un interasse minimo di costruzione per la verifica in normali condizioni di esercizio, determinato tenendo conto delle tolleranze di manutenzione.
- Un interasse minimo nominale definito con l'applicazione di ulteriori margini, al fine di consentire la manutenzione e la verifica del binario nonché la circolazione dei trasporti eccedenti sagoma.

Nel caso di nuove linee a più binari, è necessario riferirsi a valori dell'interasse consolidati, nel rispetto di quanto previsto dal *Regolamento UE n. 1299/2014*. In particolare, nel dimensionamento delle sezioni tipo a doppio binario sono stati utilizzati i valori di interasse riportati nella tabella seguente.

NUOVE LINEE		
Velocità massima consentita [km/h]	Interasse minimo nominale dei binari [m]	
$v \leq 160$	4,00	
$160 < v \leq 200$	4,00	
$200 < v \leq 250$	4,20	
$250 < v \leq 300$	4,50	
LINEE ESISTENTI		
Raggi planimetrici [m]	Interasse minimo di costruzione dei binari [m]	
	PMO 1-1A-2-3 *	PMO 4 **
Rettili e curve $R \geq 450$	3,555	3,627
Curve di raggio minore di 450 m e fino a:		
400	3,570	3,641
350	3,578	3,649
300	3,590	3,663
250	3,600	3,673
240	3,620	3,691
220	3,660	3,732
200	3,710	3,783
180	3,770	3,843
170	3,810	3,879
160	3,850	3,920
150	3,895	3,966

Figura 60 – Interasse minimo nominale dei binari

### **3. L'ELETTRIFICAZIONE IN PRATICA: IL CASO STUDIO DELLA LINEA TREVISO – MONTEBELLUNA – BELLUNO**

L'elettrificazione delle linee ferroviarie rappresenta un passo significativo verso un sistema di trasporto più efficiente, sostenibile e all'avanguardia. In questo contesto, la linea *Treviso – Montebelluna – Belluno* emerge come un caso studio di particolare interesse, in quanto caratterizzata da una serie di peculiarità che rendono l'elettrificazione non solo auspicabile, ma anche complessa e stimolante.

La scelta della tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno* come soggetto di studio è motivata dalle molteplici sfide tecniche e logistiche che questa tratta presenta. La vicinanza al fiume Piave, le caratteristiche del territorio pedemontano, arricchito da foreste e numerosi ostacoli infrastrutturali quali gallerie e cavalcavia, pone l'accento su aspetti cruciali quali la progettazione dettagliata, la coordinazione logistica e l'implementazione di soluzioni innovative.

Attraverso l'analisi degli interventi necessari per l'elettrificazione della tratta in questione, si offre una panoramica più ampia sulle sfide e le opportunità che caratterizzano un progetto di tale portata. Dalla realizzazione della linea di contatto, all'installazione di nuove cabine TE e sottostazioni elettriche, verranno esaminati i vari aspetti tecnici e operativi che accompagnano un progetto di elettrificazione ferroviaria.

Con l'introduzione della trazione elettrica, sarà essenziale implementare un moderno sistema di segnalamento e controllo ferroviario, non previsto dai treni diesel e fondamentale per garantire la sicurezza e l'efficienza del traffico sui binari.

Inoltre, verrà dato risalto agli interventi connessi alla bonifica del territorio circostante, all'adeguamento di infrastrutture esistenti come cavalcaferrovia e gallerie, nonché alle necessità di adattamento del piano del ferro.

Ogni aspetto verrà valutato alla luce delle normative vigenti, con particolare riferimento alle *Specifiche Tecniche di Interoperabilità*, che fungono da pilastri nel quadro normativo ferroviario europeo. Le *STI*, integrate dalle normative europee armonizzate (*UNI EN*), sono racchiuse nel *Capitolato Tecnico* di *RFI*, il quale costituisce il riferimento essenziale per la costruzione delle linee ferroviarie, compresa quella oggetto di analisi.

Va infine sottolineato che gli interventi previsti sono finanziati nel contesto del *PNRR – Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*, che sottolinea l'importanza strategica dell'elettrificazione delle linee ferroviarie nell'ambito della trasformazione e del potenziamento dell'infrastruttura di trasporto nazionale.

Dunque, attraverso lo studio della tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno*, si propone di fornire una prospettiva più ampia sulle sfide e le opportunità che caratterizzano il processo di elettrificazione delle linee ferroviarie.

### 3.1. Introduzione ed inquadramento delle opere

La tratta ferroviaria Treviso – Belluno è una linea a semplice binario a trazione diesel della lunghezza di circa 85 km. Essa è attualmente gestita dal posto centrale di Mestre e si articola come in seguito raffigurato:



Figura 61 – Mappa tratta Treviso – Belluno, collegamento con Padova e Venezia

Le tratte di linea e i binari di circolazione delle relative stazioni saranno elettrificate e asservite da linea di contatto alimentata a 3 kV in corrente continua (l'intervento è esteso anche ai binari secondari dei vari impianti individuati per assolvere alla funzione di ricovero e sosta dei materiali rotabili).

Gli interventi di elettrificazione non comportano lavori di costruzione di nuovi tratti di linea ferroviaria ma consistono essenzialmente nell'adeguamento delle opere civili per garantire i nuovi franchi altimetrici della linea elettrificata, quindi nella realizzazione della linea di contatto lungo il binario esistente e di sottostazioni elettriche e cabine.

In seguito, sono elencati i principali interventi previsti dal progetto di elettrificazione:

- Realizzazione della linea contatto e delle infrastrutture necessarie (palificata): scavo e getto dei blocchi di fondazione, posa in opera ed attrezzaggio di sostegni e tiranti, realizzazione aggrappaggi e posa del pali, quindi tesatura della nuova linea di contatto e di alimentazione.
- Realizzazione del circuito di terra e di protezione, nonché adeguamento del circuito di ritorno.
- Realizzazione di nuove sottostazioni elettriche, quattro in particolare e situate in: Montebelluna, Alano, Feltre, Sedico.
- Installazione di una nuova cabina TE (Treviso).
- Realizzazione del sistema di telecomando del sistema di trazione elettrica e adeguamento del posto centrale (*DOTE*) di Mestre.
- Adeguamento diffuso delle opere civili e alle esistenti gallerie per consentire il passaggio della linea di contatto. In particolare, saranno soggetti a processi di adeguamento tre cavalcaferrovia e tredici gallerie.

Tale elettrificazione rappresenta un passo necessario per il potenziamento infrastrutturale dell'intera linea Treviso – Montebelluna – Belluno, portando numerosi vantaggi in termini di collegamenti viaggiatori. In particolare, i vantaggi conseguibili dall'elettrificazione dell'intera tratta, e quindi dall'utilizzo su di essa di convogli elettrici, sono:

- Inserimento della tratta nella rete ferroviaria elettrificata, migliorando i tempi di percorrenza e la frequenza oraria dei collegamenti con le tratte limitrofe, grazie alle caratteristiche prestazionali superiori dei convogli elettrici rispetto a quelli diesel.  
A tal proposito, il collegamento Venezia – Belluno e Padova – Belluno, ed in generale il collegamento con le altre stazioni della zona, oggi caratterizzato dalla necessità di cambio treno a Conegliano imposta dal cambio del sistema di trazione, avverrà in maniera diretta.
- Riduzione dell'inquinamento atmosferico e acustico, sia in linea che nelle stazioni, giacché il materiale rotabile a trazione elettrica porta ad annullare del tutto l'entità delle emissioni atmosferiche, potendo inoltre alimentare i convogli con energia proveniente da fonti rinnovabili. I benefici saranno particolarmente sensibili a livello locale in corrispondenza dei tratti contigui ai centri abitati.
- Ottenere il pieno utilizzo della potenzialità di alcune linee grazie all'inserimento della trazione elettrica.
- Miglioramento della gestione dei mezzi aumentando l'omogeneità del materiale rotabile con conseguente riduzione dei costi di investimento e di manutenzione. Infatti, l'unificazione del parco macchine con motrici a trazione elettrica moderne consente di poter affrontare con maggiore efficienza la rotazione per manutenzione e la sostituzione di mezzi soggetti a guasti.
- Miglioramento del livello del servizio offerto dal sistema di trasporto pubblico locale nei confronti dell'utenza in termini di efficienza e comfort grazie all'adozione di materiale rotabile più moderno ed affidabile.
- Dalla riduzione dell'impatto ambientale introdotto dal passaggio ad una rete elettrificata e dal miglioramento in termini di efficienza, derivano benefici di carattere *socio – economico* legati ad un prevedibile incremento dell'utilizzo della rete ferroviaria e dalla conseguente riduzione del traffico veicolare.

### 3.2. Dimensionamento del sistema di trazione elettrica

#### 3.2.1 Processo di dimensionamento

La norma CEI EN 50388 richiede uno studio di dimensionamento per verificare le prestazioni del sistema di alimentazione elettrica ferroviaria, con l'obiettivo di assicurare che l'impianto possa raggiungere le prestazioni specificate, quindi il rispetto dell'orario previsto. Questo studio risulta essenziale per definire le caratteristiche degli impianti fissi, che devono dimostrarsi in grado di operare nelle condizione più severa prevista.

Dunque, il dimensionamento del sistema di trazione elettrica avviene considerando i seguenti fattori:

- Posizione delle stazioni e delle fermate: la tratta Treviso – Montebelluna – Belluno prevede un totale di quindici fermate intermedie.



Figura 62 – Fermate tratta Treviso – Montebelluna – Belluno

- Caratteristiche della linea: profilo planoaltimetrico, raggi di curvatura e presenza di galleria.
- Velocità di fiancata dei convogli che percorrono la tratta suddivisi per rango.

Nelle tabelle sottostanti vengono riportate le caratteristiche planoaltimetriche della linea, nonché le velocità di percorrenza massima per i convogli ammessi alla circolazione su tale tratta.

KILOMETRO	0	2	3	10,090	15,092	18	20,064	20,780	27,331	31	33,915
VELOCITÀ MAX (A) [Km/h] *	75	75	130	130	130	110	110	110	110	90	80
VELOCITÀ MAX (B) [Km/h] *	80	80	140	140	140	115	120	120	120	95	85
GRADO DI FRENATURA *	$I_2$	$I_2$	$I_2$	$I_2$	$I_4$	$I_4$	$I_5$	$I_5$	$I_4$	$I_4$	$I_4$
PENDENZA [‰] *	2	7	7	7	9	13	15	15	11	11	9
GRADO DI PRESTAZIONE *	2	8	8	12	12	12	16	16	11	11	11

Tabella 3.1 – Caratteristiche della tratta Treviso – Montebelluna – Belluno

KILOMETRO	37,404	42,908	53,820	56	61	61,639	68,760	73,025	85,903
VELOCITÀ MAX (A) [Km/h] *	80	75	50	80	75	75	75	75	65
VELOCITÀ MAX (B) [Km/h] *	85	80	65	85	80	80	80	80	70
GRADO DI FRENATURA *	$I_4$	$I_4$	$I_4$	$I_4$	$I_4$	$I_4$	$I_4$	$I_5$	$I_5$
PENDENZA [‰] *	7	15	15	15	15	14	5	14	3
GRADO DI PRESTAZIONE	11	16	16	16	16	16	3	16	17

Tabella 3.2 – Caratteristiche della tratta Treviso – Montebelluna – Belluno

\* Dal Km indicato in poi.

- A. A questa categoria appartengono tutti i convogli con materiale atto a circolare a velocità inferiori a 140 km/h, ciò comprende i carri merci, tutte le locomotive che viaggiano isolate e i treni circolanti come tali (come il carro soccorso).
- B. Appartengono a questo rango i treni con materiale atto a circolare a 140 km/h o superiore (indifferentemente se rimorchiato o di trazione), esclusi i bagagliai.

Per informazioni riguardo grado di frenatura e grado di prestazione si faccia riferimento all'Appendice B.

La linea è a binario singolo in ogni tratta, il che favorisce la riduzione dell'energia assorbita dai convogli. Infatti, rispetto alle linee a doppio binario, che supportano un traffico maggiore di treni e quindi richiedono più energia dalle SSE, il binario singolo comporta un minore fabbisogno energetico.

Di fondamentale importanza per il calcolo dell'energia necessaria alla circolazione dei treni sulla linea è il valore del grado di prestazione, che permette di calcolare la forza resistente dovuta alla pendenza e alla presenza di curve. Per un'analisi dettagliata delle resistenze del tracciato, è necessario considerare la lunghezza di ogni tratto con variazioni del profilo altimetrico e le curve con i rispettivi raggi

In seguito, sono, invece, elencate le caratteristiche del tracciato in merito alle gallerie presenti.

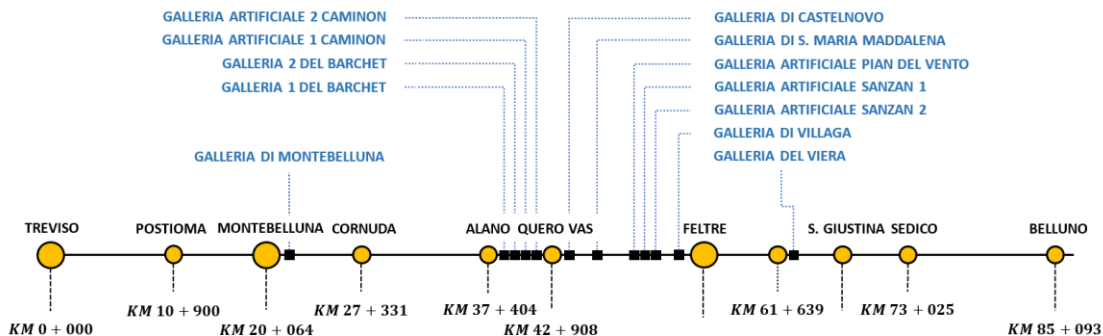


Figura 63 – Ubicazione gallerie tratta Treviso – Montebelluna – Belluno

GALLERIE	PK IMBOCCO SUD	PK IMBOCCO NORD	LUNGHEZZA [m]
GALLERIA DI MONTEBELLUNA	20 + 618	20 + 784	166
GALLERIA 1 DEL BARCHET	39 + 757	39 + 786	29
GALLERIA 2 DEL BARCHET	39 + 846	39 + 942	96
GALLERIA ARTIFICIALE 1 CAMINON	40 + 121	40 + 182	61
GALLERIA ARTIFICIALE 2 CAMINON	40 + 233	40 + 273	40
GALLERIA DI CASTELNOVO	43 + 515	43 + 746	231
GALLERIA DI S. MARIA MADDALENA	44 + 562	44 + 755	193
GALLERIA DI PIAN DEL VENTO	45 + 494	45 + 588	94
GALLERIA ARTIFICIALE SANZAN 1	47 + 273	47 + 314	41
GALLERIA ARTIFICIALE SANZAN 2	47 + 400	47 + 460	60
GALLERIA DI VILLAGA	53 + 822	54 + 226	404
GALLERIA DEL VIERA	62 + 630	63 + 054	424

Tabella 3.3 – Gallerie tratta Treviso – Montebelluna – Belluno



- Tipologia del materiale rotabile che percorrerà la linea.

Il materiale rotabile previsto consiste nei treni *Rock* e *Vivalto*. L'assorbimento di questi convogli corrisponde a 2 MW. La linea non prevede il transito di treni merci.

TRENO	ETR 464	HITACHI ROCK – ETR 421	HITACHI ROCK – ETR521
COMPOSIZIONE DEL TRENO	CARROZZA PILOTA + 4 CARROZZE VIVALTO + LOCOMOTORE E 464	4 CASSE CON TRAZIONE EFFETTUATA SIA IN TESTA CHE IN CODA	5 CASSE CON TRAZIONE EFFETTUATA SIA IN TESTA CHE IN CODA
LUNGHEZZA	164,46 m	109,6 m	136,8 m
LARGHEZZA	2,774 m	2,8 m	2,8 m
ALTEZZA	4,3 m	4,3 m	4,3 m
VELOCITÀ MASSIMA	160 km/h	160 km/h	160km/h
TENSIONE NOMINALE	3600 V	3600 V	3600 V
POTENZA	3,5 MW	2,8 MW	3,4 MW
MASSA COMPLESSIVA	340 t	297 t	364 t

Tabella 3.4 – Caratteristiche dei convogli tratta Treviso – Montebelluna – Belluno

Sulla base di questi elementi sono effettuate le simulazioni di marcia mediante programma informatico, e viene ricavato, per ogni tipologia di treno, il diagramma di assorbimento delle potenze in funzione del tempo, ovvero dello spazio percorso.

- Caratteristiche di traffico.

Il dimensionamento degli impianti fissi di trazione elettrica è legato in maniera imprescindibile al carico elettrico a cui la linea sarà sottoposta durante l'esercizio, dunque dipende strettamente dal numero di convogli destinati a percorrerla. In seguito all'intervento di elettrificazione è previsto un traffico nell'ora di punta un treno all'ora per senso di marcia, per un totale di due treni all'ora.

Dunque, considerando il numero  $N$  di treni circolanti nell'ora di punta, risulta possibile calcolare il distanziamento  $d$  tra di essi, ovvero il tempo che intercorre tra il passaggio di due treni consecutivi (in situazione di esercizio normale, grazie alla relazione:

$$d = \frac{60}{N} = \frac{60}{2} = 30 \quad [\text{minuti}]$$

Oltre al distanziamento temporale dei treni, un parametro fondamentale ai fini della buona riuscita della simulazione risulta essere il passo  $D$  tra le sottostazioni, in genere compreso tra 17 km ÷ 20 km. Trattasi di valori tipici per il sistema di trazione ferroviaria alimentato a 3000 V in corrente continua. Infatti, in caso di distanze maggiori tra le sottostazioni, le cadute di tensione verificate sarebbero inaccettabili.

La simulazione di marcia, unitamente, al modello di esercizio delle ore di punta (anche quest'ultimo elemento fornito come dato di base dalle specialistiche competenti) permette effettuare le verifiche del sistema elettrico della rete di progetto, mediante gli appositi programmi di simulazione elettrica.

L'ipotesi di rete che è oggetto di verifica contempla la definizione dei seguenti parametri:

- Numero, posizione e potenza delle sottostazioni elettriche, tenendo conto delle indicazioni di massima fornite dalle normative, degli aspetti orografici del territorio su cui si inserisce la linea e della disponibilità di fonti AT o MT preesistenti alle quali allacciarsi.
- Tipologia della catenaria utilizzata per la linea di contatto tra quelle appartenenti agli standard di *RFI* e già certificate come interoperabili a livello europeo. Tali dati sono indicati nella tabella in seguito riportata.

SEZIONE	CORDA/E PORTANTE/I	REGOLAZIONE	FILO/I DI CONTATTO	REGOLAZIONE	TIPO DI SOSP.NE	IMPIEGO
220 mm <sup>2</sup>	1 × 120 mm <sup>2</sup>	FISSA 1 × 819 daN (A 15°)	1 × 100 mm <sup>2</sup>	REGOLATO 1 × 750 daN	(1)	BINARI SECONDARI DI STAZIONE
220 mm <sup>2</sup>	1 × 120 mm <sup>2</sup>	FISSA 1 × 819 daN (A 15°)	1 × 100 mm <sup>2</sup>	REGOLATO 1 × 750 daN	(1) (2)	BINARI DI PRECEDENZA DI STAZIONE E COMUNICAZIONI TRA BINARI DI CORSA E TRA BINARI DI CORSA E BINARI DI PRECEDENZA (CON BINARIO DI CORSA DA 440 mm <sup>2</sup> )
270 mm <sup>2</sup>	1 × 120 mm <sup>2</sup>	REGOLATA 1 × 1125 daN	1 × 150 mm <sup>2</sup>	REGOLATO 1 × 1125 daN	(2)	BINARI DI PRECEDENZA DI STAZIONE E COMUNICAZIONI TRA BINARI DI CORSA E TRA BINARI DI CORSA E BINARI DI PRECEDENZA (CON BINARIO DI CORSA DA 540 mm <sup>2</sup> )
320 mm <sup>2</sup>	1 × 120 mm <sup>2</sup>	REGOLATA 1 × 1375 daN	2 × 100 mm <sup>2</sup>	REGOLATI 2 × 1000 daN	(1)	BINARI DI STAZIONE, DI PIENA LINEA ALLO SCOPERTO E IN GALLERIA CON VELOCITÀ FINO A 200 km/h
440 mm <sup>2</sup>	2 × 120 mm <sup>2</sup>	REGOLATE 2 × 1125 daN	2 × 100 mm <sup>2</sup>	REGOLATI 2 × 1000 daN	(1) (2)	BINARI DI STAZIONE, DI PIENA LINEA ALLO SCOPERTO E IN GALLERIA CON VELOCITÀ FINO A 200 km/h
540 mm <sup>2</sup>	2 × 120 mm <sup>2</sup>	REGOLATE 2 × 1500 daN	2 × 150 mm <sup>2</sup>	REGOLATI 2 × 1875 daN	(2)	BINARI DI STAZIONE, DI PIENA LINEA ALLO SCOPERTO E IN GALLERIA CON VELOCITÀ FINO A 200 km/h

1. SOSPENSIONE A MENSOLA ORIZZONTALE TUBULARE IN ACCIAIO
2. SOSPENSIONE A MENSOLA ORIZZONTALE IN PROFILO DI ALLUMINIO.

Tabella 3.5 – Standard RFI per catenarie interoperabili

Il software di simulazione, a partire dalle potenze richieste dai treni, ricava, mediante subroutine di load flow, le tensioni e le correnti in ogni punto ed in ogni istante della rete ipotizzata. Con questi dati il programma può verificare il corretto dimensionamento del sistema, nel rispetto delle normative vigenti, in particolare:

- *STI Energia*.

Il sistema elettrico per la trazione ferroviaria viene progettato in accordo alla presente *STI* per rispondere ai requisiti richiesti in termini di: velocità della linea, frequenza minima dei treni, corrente massima del treno, fattore di potenza dei treni, orario e servizi programmati tensione media utile.

- *CEI EN 50388* per quanto concerne ai requisiti di prestazione del sistema.

La norma *CEI EN 50388* stabilisce i requisiti prestazionali del sistema di trazione in merito alla qualità della tensione elettrica al pantografo e sulla linea di contatto, specificando i criteri di accettazione per il progetto di elettrificazione. Il rispetto dei criteri di qualità definiti permette l'ottenimento di numerosi vantaggi:

- Funzionamento dei rotabili alla tensione nominale in una condizione di prestazione e rendimento prossime al massimo.
- Garanzia di sottostare ai limiti imposti dalla normativa di riferimento per ogni singolo impianto.
- Affrontare condizioni di traffico anormali, ad esempio legate a disservizi come la perdita di un gruppo di trasformazione.

La normativa definisce il valore della tensione media utile disponibile al treno, che rappresenta l'indice di qualità per la valutazione delle prestazioni del sistema di trazione a 3 kV in corrente continua, e le massime correnti di corto circuito ammissibili in rete.

La tensione media utile è calcolata attraverso una simulazione al computer di una zona geografica di studio, considerando i treni previsti in transito durante il periodo di massimo traffico. Il periodo di tempo stabilito deve essere sufficiente a considerare il massimo carico in ogni sezione elettrica della zona geografica.

Come già affermato, la simulazione deve prendere in considerazione le caratteristiche elettriche dell'infrastruttura e dei vari tipi di treno, analizzando la tensione fondamentale al pantografo di ciascun treno, nella zona geografica in studio, in ogni intervallo di tempo.

I valori minimi della tensione media utile al pantografo, nelle condizioni normali di esercizio sono indicati nella tabella sottostante:

Sistema di alimentazione	Tensione media minima, $U_{mean\ useful}$ al pantografo V	
	Categoria I, II e III delle linee STI AV	Categoria IV, V, VI, VII delle linee STI CR e delle linee Classiche
	Zona e treno	Zona e treno
25 000 V c.a. 50 Hz	22 500	22 000
15 000 V c.a. 16,7 Hz	14 200	13 500
3 000 V c.c.	2 800	2 700
1 500 V c.c.	1 300	1 300
750 V c.c.	N.A.	675
<b>Legenda</b>		
N.A.: Non applicabile		

Tabella 3.6 – Tensione media utile al pantografo

In particolare, per linee a 3 kV in corrente continua e con una velocità di percorrenza inferiore a 200 km/h, il criterio di accettazione corrisponde ad una tensione media utile di 2700 V. Ciò significa che, se a seguito delle verifiche e dell'analisi di potenzialità eseguite per una data linea, il valore della tensione media utile si attesta inferiore al criterio di accettazione indicato, la simulazione è ritenuta non accettabile, dunque, il traffico previsto è ritenuto non perseguibile. Conseguentemente, potrebbero rendersi necessari interventi di upgrade finalizzati a soddisfare il traffico previsto in conformità alla norma.

- CEI EN 50163 Per quanto riguarda le cadute di tensione ammissibile.

Parallelamente al requisito sulla tensione media utile, vanno rispettati i valori minimi di tensione al pantografo definiti dalla norma CEI EN 50163.

Il rispetto di tali limiti risulta fondamentale per evitare uno scatto intempestivo dell'interruttore extrarapido installato a bordo treno, di conseguenza impattare negativamente sulla circolazione. Infatti, se la tensione al pantografo si dovesse abbassare sotto tale soglia, il relativo relè di minima tensione provocherebbe l'intervento dell'extrarapido arrestando del treno.

Sistema di elettrificazione	Tensione non permanente minima $U_{min2}$ V	Tensione permanente minima $U_{min1}$ V	Tensione nominale $U_n$ V	Tensione permanente massima $U_{max1}$ V	Tensione non permanente massima $U_{max2}$ V
c.c. (valori medi)	400	400	600 <sup>(a)</sup>	720	800
	500 <sup>(c)</sup>	500	750	900 <sup>(c)</sup>	1 000
	1 000	1 000	1 500	1 800 <sup>(c)</sup>	1 950
	2 000	2 000	3 000	3 600	3 900 <sup>(b)</sup>
a.c. (valori efficaci)	11 000	12 000	15 000	17 250	18 000
	17 500 <sup>(c)</sup>	19 000 <sup>(c)</sup>	25 000	27 500 <sup>(c)</sup>	29 000
Condizioni speciali nazionali per la Francia: vedi allegato B.					
(a) I futuri sistemi di trazione in CC per tramvie e ferrovie locali dovrebbero conformarsi alle tensioni nominali di sistema di 750 V, 1500 V o 3000V.					
(b) Condizioni speciali per il Belgio: vedere allegato B					
(c) Condizioni speciali nazionali per il Regno Unito: vedi allegato B.					

Tabella 3.7 – Tensioni nominali e relativi limiti ammissibili per valore e durata

- CEI EN 50119 Per quanto riguarda il riscaldamento dei conduttori.

Materiale	Temperatura		
	Sino ad 1 s (corrente di cortocircuito)	Sino a 30 min (pantografo fermo)	Permanente (condizione di esercizio)
Rame ad elevata o normale resistenza meccanica ed elevate conduttività	170	120	80
Lega di argento e rame	200	150	100
Leghe di rame e stagno	170	130	100
Bronzo/leghe di rame e magnesio (0,2)	170	130	100
Bronzo/leghe di rame e magnesio (0,5)	200	150	100
Leghe di alluminio	130	-	80
ACSR / AACSR	160	-	80

Tabella 3.8 – Limiti di temperatura per le proprietà meccaniche dei materiali

- CEI 50122 inerentemente alla verifica delle tensioni di passo e contatto, nonché alla verifica degli impianti di terra di protezione delle linee di contatto a 3 kV.

Il tempo di intervento degli interruttori extrarapidi di cabina viene normalmente assunto pari a:

$$t = 0,1 \text{ s}$$

Per quanto concerne alla corrente di guasto, per impianti a 3 kV, si assume in genere il valore cautelativo di:

$$I_G = 2000 \text{ A}$$

Il dispersore di terra dimensionato dovrà essere in grado di impedire che in presenza della corrente di guasto a terra  $I_G$  si verifichino, in qualsiasi punto dell'impianto, tensioni di contatto e di passo pari o superiori ai valori della seguente tabella (definita nella norma CEI EN 50122):

TEMPO DI ELIMINAZIONE DEL GUASTO [s]	TENSIONE [V]
0,02	870
0,05	735
0,10	625
0,20	520
0,30	460
0,40	420
0,50	385
0,60	360
0,70	350

Tabella 3.9 – tensioni di passo e di contatto

- CEI 0-16 per quanto riguarda i livelli di tensione di allaccio alla rete del distributore.

Potenza MW	Livello di tensione della rete
<= 0,1	BT
0,1 - 0,2	BT
	MT
0,2 - 3 Limite superiore elevato a 6 MW per impianti di produzione	MT
3 - 10 Limite inferiore elevato a 6 MW per impianti di produzione	MT
	AT
10 – 100 impianti di utilizzazione 10 – 200 impianti di produzione	AT

Tabella 3.10 – Valori indicativi di potenza che è possibile connettere sui differenti livelli di tensione delle reti di distribuzione

La potenza derivabile dalla linea di contatto, cruciale per il dimensionamento del sistema di trazione elettrica ferroviario, è limitata dalla necessità di soddisfare parallelamente, oltre a quanto già esposto, le seguenti prerogative:

- Carico massimo ammissibile per i gruppi raddrizzatori delle sottostazioni elettriche non venga superato.

La potenza erogata dalle sottostazioni elettriche deve essere compatibile con il sovraccarico ammesso dai gruppi di conversione. I vincoli standard *RFI* per il sovraccarico dei gruppi di conversione sono indicati nella tabella sottostante:

POTENZA GRUPPO	CORRENTE NOMINALE	SOVRACCARICO AMMESSO PER 2 ORE	SOVRACCARICO AMMESSO PER 5 MINUTI
3,6 MW	1000 A	2000 A	3000 A
5,4 MW	1500 A	3000 A	3500 A

Tabella 3.11 – Sovraccarico ammesso dai gruppi di conversione

- La corrente erogata dagli alimentatori deve essere compatibile alla corrente di taratura degli extrarapidi.

L'assorbimento non può in alcun modo superare i valori di taratura per massima corrente degli interruttori extrarapidi di linea al fine di garantire la protezione da cortocircuiti che si manifestano anche nei punti di lontananza massima.

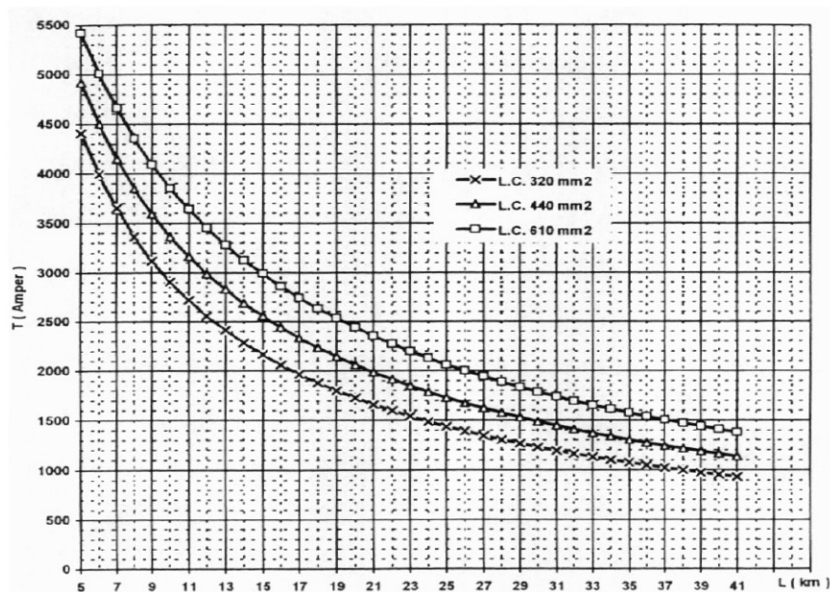


Figura 64 – Limiti di taratura extrarapidi

### 3.2.2. Analisi di potenzialità

#### 3.2.2.1. Imput analisi di potenzialità

Il progetto dell'elettrificazione della tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno* prevede l'installazione delle seguenti nuove SSE:

- SSE di Montebelluna alla progressiva chilometrica 20 + 026, avente due gruppi da 3,6 MW.
- SSE di Alano ubicata alla progressiva chilometrica 37 + 404, avente due gruppi da 3,6 MW.
- SSE di Feltre ubicata alla progressiva chilometrica 54 + 560, avente due gruppi di conversione da 3,6 MW.
- SSE di Sedico Bribano ubicata alla progressiva chilometrica 73 + 025, avente due gruppi di conversione da 3,6 MW.

Nel progetto sono inoltre presenti i seguenti impianti di cabina *TE*, necessari per garantire la corretta selettività delle protezioni nei bivi e l'equi-potenzialità della linea di contatto:

- Cabina *TE* di Treviso ubicata alla progressiva chilometrica 00 + 000.

Lungo l'intera tratta è prevista l'installazione di *Dispositivi d'asservimento digitali (ASDE)*, che consentono di aumentare il livello di taratura degli extrarapidi.

La linea di contatto sarà realizzata con catenaria standard *RFI* da  $440\text{ mm}^2$  le cui caratteristiche sono evidenziate nella *Tabella 3.5*.

Di seguito si riporta lo schema di alimentazione della linea in esame.

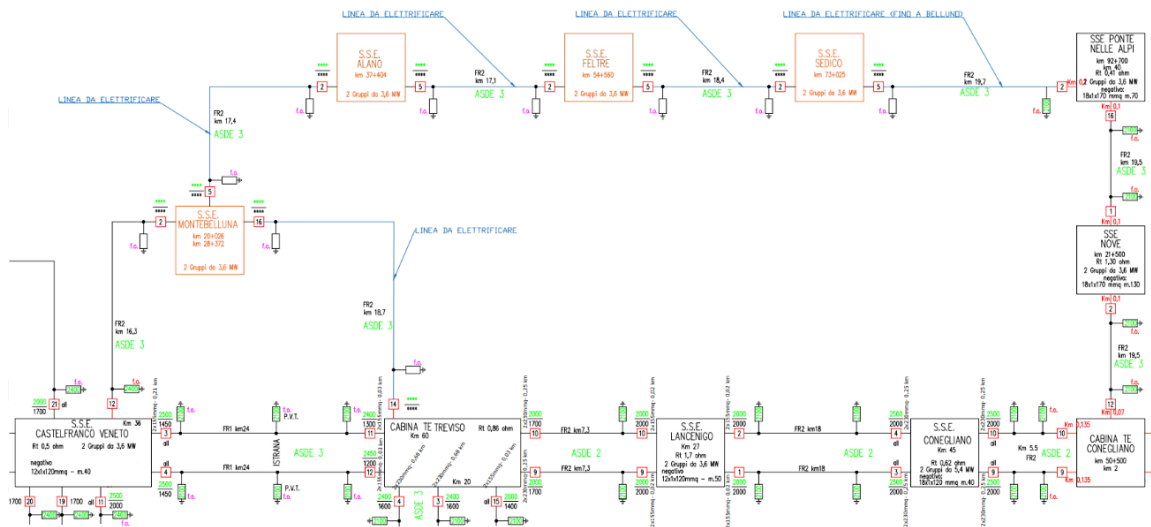


Figura 65 – Schema di alimentazione della linea in esame

Al fine di verificare l’ottemperanza alla *STI Energia* del sistema di trazione elettrica, sono state effettuate simulazioni sulla configurazione presentata. L’idoneità del sistema elettrico è stata analizzata con particolare riferimento ai valori di tensione al pantografo (media utile e minima, in conformità alle normative vigenti), all’entità del carico elettrico sui trasformatori dei gruppi di conversione ed alla potenza assorbita in ogni *SSE* dalla rete primaria di alimentazione elettrica. Inoltre, è stata effettuata la verifica delle tarature voltmetriche e amperometriche degli enti di protezione, la determinazione della corrente di guasto a terra in sottostazione ed il tempo d’intervento delle protezioni lato  $3\text{ kV}$  corrente continua, nonché la verifica dell’impianto di terra.

Le configurazioni di sistema analizzate sulla base del traffico nell’ora di punta ipotizzato riguardano le condizioni di:

- Normale servizio di tutte le *SSE*.
- Degrado completo di una *SSE*, in particolare della sottostazione di Feltre.
- Presenza di un *RV* nella *SSE* di Feltre.

Tali condizioni di verifica presuppongono la presenza delle stesse condizioni di traffico di punta indicate in precedenza: un treno all’ora per senso di marcia, per un totale di due treni ora con un distanziamento di *30 minuti*.

Nel modello elettrico implementato sono state inserite le *SSE*, le *Cabine TE*, gli *RV* di linea e gli altri impianti di alimentazione e protezione, considerando gli asservimenti ove presenti, che alimentano le

tratte *Castelfranco-Lancenigo, Castelfranco-Montebelluna, Treviso-Ponte nelle Alpi e Ponte nelle Alpi-Nove*.

### 3.2.2.2. Risultati

Nelle tabelle sottostanti sono riportate le correnti di taratura degli extrarapidi

LOCALITÀ	ENTE	ASSERVIMENTO		
		ESCLUSO	INCLUSO	
		MASSIMA CORRENTE	MINIMA TENSIONE	
CTE TREVISO	J14	2000 A	2500 A	2200 V
SSE MONTEBELLUNA	J16	2000 A	2500 A	2200 V
	J5	2200 A	2500 A	2200 V
SSE ALANO	J2	2500 A	3100 A	2200 V
	J5	2400 A	3100 A	2200 V
SSE FELTRE	J2	2400 A	3100 A	2200 V
	J5	2300 A	3100 A	2200 V
SSE SEDICO	J2	2300 A	3000 A	2200 V
	J5	2200 A	3000 A	2200 V
SSE PONTE DELLE ALPI	J2	2200 A	3000 A	2200 V

Tabella 3.12 – Corrente di taratura extrarapidi e tensione minima con SSE di Feltre funzionante

LOCALITÀ	ENTE	ASSERVIMENTO		
		ESCLUSO	INCLUSO	
		MASSIMA CORRENTE	MINIMA TENSIONE	
CTE TREVISO	J14	2000 A	2500 A	2200 V
SSE MONTEBELLUNA	J16	2000 A	2500 A	2200 V
	J5	2200 A	2500 A	2200 V
SSE ALANO	J2	2000 A	2300 A	2200 V
	J5	1700 A	2300 A	2200 V
SSE SEDICO	J2	1700 A	2100 A	2200 V
	J5	2200 A	2100 A	2200 V
SSE PONTE DELLE ALPI	J2	2200 A	3000 A	2200 V

Tabella 3.13 – Corrente di taratura extrarapidi e tensione minima senza SSE di Feltre

LOCALITÀ	ENTE	ASSERVIMENTO		
		ESCLUSO	INCLUSO	
		MASSIMA CORRENTE	MINIMA TENSIONE	
CTE TREVISO	J14	2000 A	2500 A	2200 V
SSE MONTEBELLUNA	J16	2000 A	2500 A	2200 V
	J5	2200 A	2500 A	2200 V
SSE ALANO	J2	2000 A	3100 A	2200 V
	J5	1700 A	3100 A	2200 V
SSE FELTRE	RV	–	–	2200 V
SSE SEDICO	J2	1700 A	3000 A	2200 V
	J5	2000 A	3000 A	2200 V
SSE PONTE DELLE ALPI	J2	2200 A	3000 A	2200 V

Tabella 3.14 – Corrente di taratura extrarapidi e tensione minima con RV di Feltre



La colonna ente nelle varie tabelle fa riferimento agli interruttori extrarapidi, la cui numerazione può essere verificata in *Figura 65*.

Le correnti e i potenziali di rotaia massimi che possono verificarsi, nella configurazione di normale assetto della rete di alimentazione, in servizio normale e in condizioni di guasto in corrispondenza delle stazioni sede di SSE o di Cabina TE sono di seguito riportati:

LUOGO	PROGRESSIVA	$I_{cc\_bin}$	$U_{cc\_bin}$	$I_{esercizio}$	$U_{esercizio}$
TREVISO	00 + 000	21539 A	299 V	3300 A	46 V
MONTEBELLUNA	20 + 060	29999 A	505 V	3555 A	58 V
ALANO	37 + 400	29216 A	490 V	3940 A	62 V
FELTRE	54 + 560	28670 A	472 V	3275 A	58 V
SEDICO	73 + 020	33139 A	523 V	2593 A	48 V
PONTE DELLE ALPI	92 + 710	38008 A	330 V	3385 A	20 V

*Tabella 3.15 – Correnti e potenziali di rotaia in condizione normale di funzionamento e di guasto con SSE di Feltre funzionante*

LUOGO	PROGRESSIVA	$I_{cc\_bin}$	$U_{cc\_bin}$	$I_{esercizio}$	$U_{esercizio}$
TREVISO	00 + 000	21539 A	299 V	3300 A	46 V
MONTEBELLUNA	20 + 060	29983 A	503 V	3555 A	58 V
ALANO	37 + 400	27099 A	433 V	2725 A	41 V
SEDICO	73 + 020	32034 A	480 V	2593 A	34 V
PONTE DELLE ALPI	92 + 710	37996 A	328 V	3385 A	20 V

*Tabella 3.16 – Correnti e potenziali di rotaia in condizione normale di funzionamento e di guasto senza SSE*

LUOGO	PROGRESSIVA	$I_{cc\_bin}$	$U_{cc\_bin}$	$I_{esercizio}$	$U_{esercizio}$
TREVISO	00 + 000	21539 A	299 V	3300 A	46 V
MONTEBELLUNA	20 + 060	29983 A	503 V	3555 A	58 V
ALANO	37 + 400	27099 A	433 V	3904 A	59 V
SEDICO	73 + 020	32034 A	480 V	3464 A	46 V
PONTE DELLE ALPI	92 + 710	37996 A	328 V	3385 A	20 V

*Tabella 3.17 – Correnti e potenziali di rotaia in condizione normale di funzionamento e di guasto senza SSE*

I tempi di eliminazione del guasto per le tratte protette da extrarapidi sono non superiori a 100 ms.

I limiti normativi dettati dalle CEI 50122 sono rispettati.

Le simulazioni sono state realizzate sulla base del materiale rotabile e delle condizioni di traffico ipotizzati nei paragrafi precedenti ed in condizioni di funzionamento normale della rete. I risultati ottenuti, che si attestano conformi alle normative vigenti, sono riportati in seguito.

SIMULAZIONE	PARAMETRO			LIMITI NORMATIVI	VALORI
NORMALE FUNZIONAMENTO	TENSIONE	MINIMA		2000 V	3145 V
		MEDIA UTILE	ZONA	2700 V	3553 V
			TRENO	2700 V	3412 V
	CORRENTE	MASSIMA	-	1100 A	

Tabella 3.18 – Simulazione con SSE di Feltre funzionante

SIMULAZIONE	PARAMETRO			LIMITI NORMATIVI	VALORI
NORMALE FUNZIONAMENTO	TENSIONE	MINIMA		2000 V	2980 V
		MEDIA UTILE	ZONA	2700 V	3427 V
			TRENO	2700 V	3424 V
	CORRENTE	MASSIMA	-	1100 A	

Tabella 3.19 – Simulazione senza SSE di Feltre

Il sistema di alimentazione consente inoltre la circolazione dei treni con potenza inferiore a 2 MW senza limitazioni di corrente o di potenza.

Come si evince dai dati, la linea si dimostra in grado di garantire il traffico previsto anche in condizioni di degrado di una SSE. Si può pertanto concludere che il sistema di alimentazione risulta conforme a quanto indicato nella *STI Energia*.

### **3.3 Il sistema di trazione elettrica**

La progettazione del sistema elettrico di trazione è avvenuta secondo quanto delineato nel *Capitolato Tecnico* di *RFI* per la realizzazione di linee ferroviarie alimentate a 3 kV in corrente continua. Ogni dettaglio è attentamente valutato e progettato tenendo conto delle specifiche esigenze derivate dalle particolari condizioni della linea. Queste condizioni includono le caratteristiche del tracciato, come curvature e pendenze, nonché le peculiarità della sede, quali la presenza di ponti, gallerie o altre infrastrutture.

Per l'elettrificazione delle nuove tratte di progetto si farà riferimento allo standard di *RFI* caratterizzato dai seguenti parametri tecnici:

- Sostegni tipo *LSU* sulle tratte di piena linea ed in stazione.
- Portali a traliccio flangiati ad uno o due binari.
- Sospensioni a mensola orizzontale in alluminio nelle stazioni e lungo le tratte di piena linea allo scoperto.
- Per le gallerie sospensioni a mensola orizzontale in alluminio con distanza filo – fune 1250 mm.
- Sezione complessiva della linea di contatto pari a 440 mm<sup>2</sup> per binari di corsa di stazione, di piena linea allo scoperto ed in galleria con velocità fino a 200 km/h.
- Sezione complessiva della linea di contatto pari a 220 mm<sup>2</sup> per i binari secondari di stazione e sulle comunicazioni tra pari/dispari.

#### **3.3.1 Architettura del sistema di alimentazione**

L'architettura dell'intero sistema di alimentazione è stata decisa in base a fattori di carattere tecnico, territoriale e ambientale. La richiesta di potenza sarà soddisfatta mediante la costruzione di nuove sottostazioni elettriche di conversione per l'alimentazione degli impianti *TE* e di nuove Cabine *TE*.

In particolare, al termine dei lavori la tratta verrà alimentata da:

- SSE di Montebelluna dotata di n°2 gruppi di conversione da 3,6 MW – alimentazione *MT* a 20 kV, situata al kilometro 20 + 026.
- SSE di Alano dotata di n°2 gruppi di conversione da 3,6 MW – alimentazione *MT* a 20 kV, situata al kilometro 37 + 404.
- SSE di Feltre dotata di n°2 gruppi di conversione da 3,6 MW – alimentazione *MT* a 20 kV, situata al kilometro 54 + 560.
- SSE di Sedico dotata di n°2 gruppi di conversione da 3,6 MW – alimentazione *MT* a 20 kV, situata al kilometro 73 + 025.
- Cabina *TE* di Treviso dotata di n°7 celle di alimentatori extrarapidi.

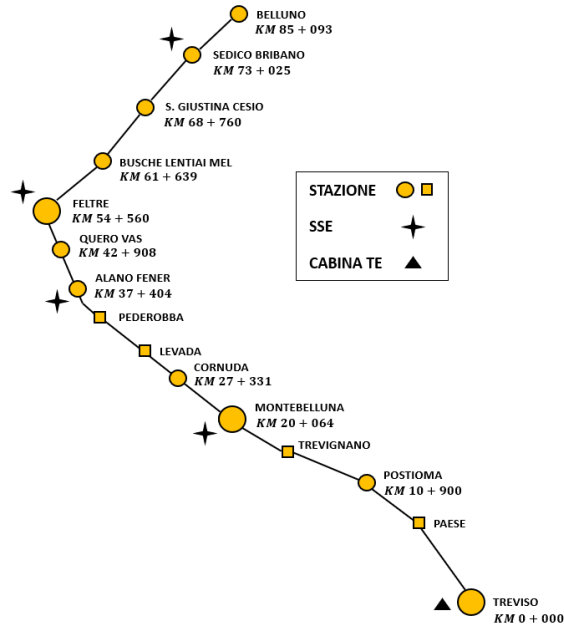


Figura 66 – Ubicazione SSE e Cabina TE per la tratta Treviso – Montebelluna – Belluno

### 3.3.1.1 Struttura di base delle SSE

Ogni SSE di conversione è realizzata con moduli di tipo prefabbricato, alimentata da una fornitura in MT con connessione in cavo a 20 kV in corrente alternata dell'ente distributore. All'interno di ogni cabina di consegna in MT viene installato il quadro MT utente, nonché i dispositivi di sezionamento e di misura fiscale dell'energia dell'ente gestore.

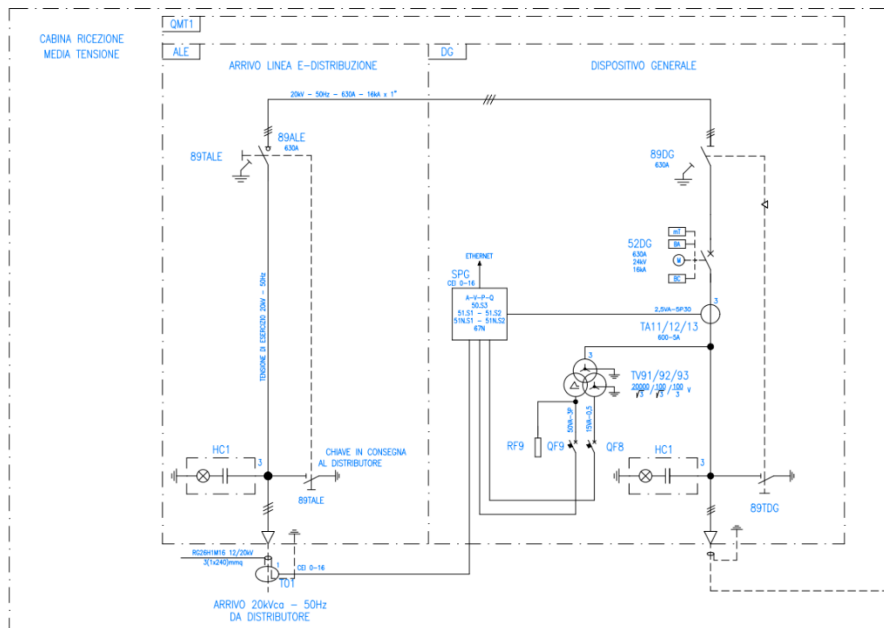


Figura 67 – Cabina di ricezione in MT della sottostazione di Sedico

Al suo interno è presente un dispositivo di protezione generale, dotato di interruttore in  $SF_6$ , interruttore di manovra – sezionatore motorizzato, sezionatore di terra,  $TA$  e  $TV$  di misura (in conformità a quanto previsto dalla normativa in vigore).

Da tale cabina si diparte il collegamento in cavo  $RG26H1M16$   $12/20kV$   $3 \times (1 \times 240) mm^2$  per l'alimentazione di un secondo quadro in media tensione, composto da vari scomparti:

- Scomparto di arrivo linea con risalita sbarre ed interruttore di manovra -sezionatore.
- Scomparto misure con presenza di trasduttore di tensione, fusibile di protezione ed opportuni sezionatori.
- Due scomparti per la protezione e l'alimentazione dei trasformatori di gruppo, completi di interruttore in  $SF_6$ , sezionatore di sbarra, sezionatore di terra e  $TA$  di misura.

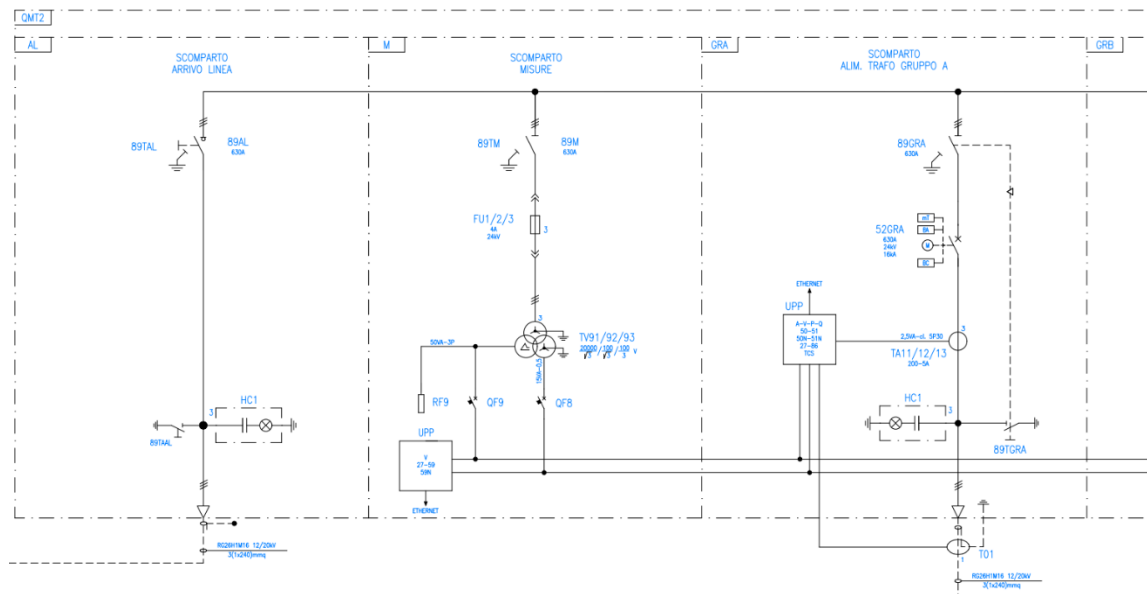


Figura 68 – Quadro di MT SSE di Sedico contenente gli scomparti di arrivo linea, misura ed alimentazione di un trasformatore di gruppo

- Due scomparti destinati a proteggere ed alimentare altrettanti trasformatori  $20/0.4kV$  –  $100 kVA$  dedicati all'alimentazione dei servizi ausiliari di SSE.

Da ogni scomparto si dipartono 3 cavi di tipo  $RG26H1M16$  di sezione  $240 mm^2$  per l'alimentazione dei trasformatori di gruppo e servizi ausiliari.

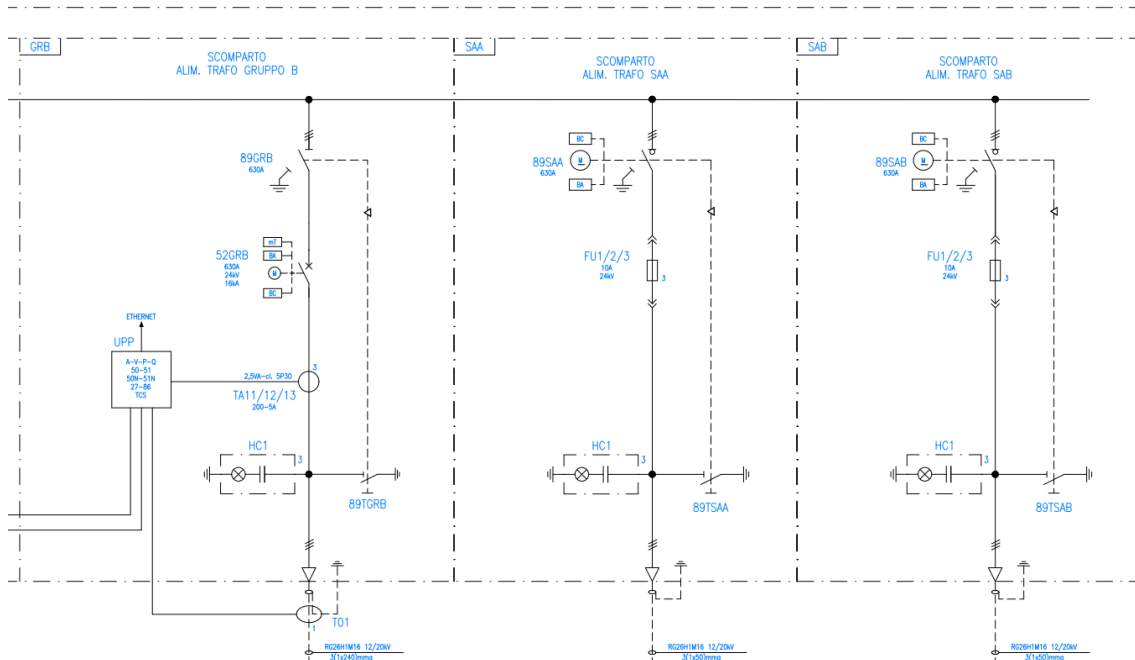


Figura 69 – Quadro di MT SSE di Sedico contenente gli scoparti di alimentazione secondo trasformatore di gruppo e servizi ausiliari

I quadri elettrici di media tensione, di tipo modulare prefabbricato, contengono al loro interno i relè elettronici a microprocessore configurabili con le logiche per implementare le protezioni previste da specifica RFI e dalla normativa in vigore, dunque, costituire le *Unità Periferiche di Protezione MT – UPP MT* previste dal sistema di automazione e diagnostica di SSE.

Per ogni SSE in questione è previsto l'impiego di due gruppi di conversione, ciascuno costituito da:

- Un trasformatore trifase a doppio secondario con isolamento in resina: rapporto di trasformazione di  $20/2 \times 2.71 \text{ kV}$  e potenza in servizio continuativo di  $5760 \text{ kVA}$ , destinato all'alimentazione dei gruppi raddrizzatori al silicio.
  - Una unità funzionale raddrizzatore a doppio ponte, completamente attrezzata con raddrizzatori in armadio blindato e organi di sezionamento e protezione. Ciascun gruppo di conversione è caratterizzato da una potenza di  $5.4 \text{ MW}$ , le SSE saranno così in grado di erogare una potenza complessiva nominale di  $10.8 \text{ MW}$  ciascuna.
  - Un filtro aperiodico LC, con reattanza in aria da  $6 \text{ mH}$  in alluminio, e celle di condensatori prefabbricate modulari, inserite tra positivo e negativo.
  - Circuiti per le misure e protezioni, per gli interblocchi delle manovre e per le segnalazioni.
- Il collegamento tra il trasformatore di gruppo ed il sezionatore è realizzato con 6 cavi del tipo *RG26H1M16 12/20kV* da  $500 \text{ mm}^2$ . Il collegamento tra l'induttanza di gruppo e l'unità filtro dovrà essere realizzato con cavi di tipo *FG16H1M18 12/20 kV* di sezione  $500 \text{ mm}^2$  e schermo da  $120 \text{ mm}^2$ .

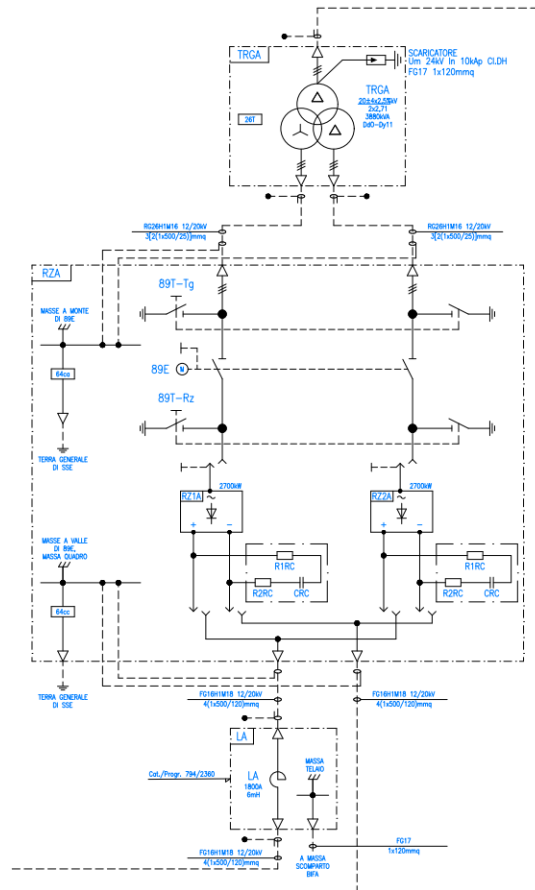


Figura 70 – Schema stadio di trasformazione e conversione della SSE di Sedico

In uscita dalle celle alimentatori sono previsti quattro cavi  $1 \times 500/120 \text{ mm}^2$  per la connessione della SSE alla sbarra omnibus. Questi cavi si attestano al sezionatore di prima fila e scendono verso la *LdC*. Il passaggio da cavo a linea aerea avviene tramite un sezionatore manuale protetto da uno scaricatore installato sullo stesso palo.

Gli interruttori extrarapidi sono connessi alle *LdC* da proteggere tramite sezionatori a corna da esterno, conformi alle specifiche *RFI* e alle normative vigenti. I suddetti sezionatori di prima fila sono da installarsi all'interno della recinzione, sulla sommità di appositi pali di tipo *LSU*, in posizione prospiciente la sede ferroviaria. Inoltre, è prevista sul piazzale l'installazione di sezionatori di seconda fila in linea con gli standard *RFI*. Tali dispositivi, eserciti normalmente aperti, sono inseriti in maniera tale da poter continuare ad esercire le linee anche in caso di fuori servizio di una cella o dell'intero impianto.

Complessivamente ogni sezionatore di seconda fila sarà costituito con i sottoelencati materiali e apparecchiature: un singolo palo di tipo *LSU*, un sezionatore unipolari a corna, una cassa di manovra per sezionatori a corna.

La realizzazione del parco sezionatori prevede la fornitura in opera dei pali *TE* tralicciati (tipo *LSU*) su cui devono essere montati e collegati i sezionatori a corna di prima fila, gli scaricatori di sovratensione  $3\text{kV}$  in corrente continua, completi di struttura portante e di gabbia di protezione, nonché i relè voltmetrici

necessari per l'asservimento. Completano l'allestimento gli argani a motore per la manovra elettrica dei sezionatori.

I collegamenti tra interruttori extrarapidi e sezionatori aerei di prima fila saranno realizzati ciascuno con cavi 12/20 kV di sezione 500 mm<sup>2</sup> e schermo da 120 mm<sup>2</sup>, così che possano risultare compatibili con la sezione di rame delle LdC cui essi si attesteranno. Per i collegamenti aerei tra i sezionatori e le condutture di contatto, invece, verranno impiegate corde aeree di rame di sezione 2 × 230 mm<sup>2</sup>.

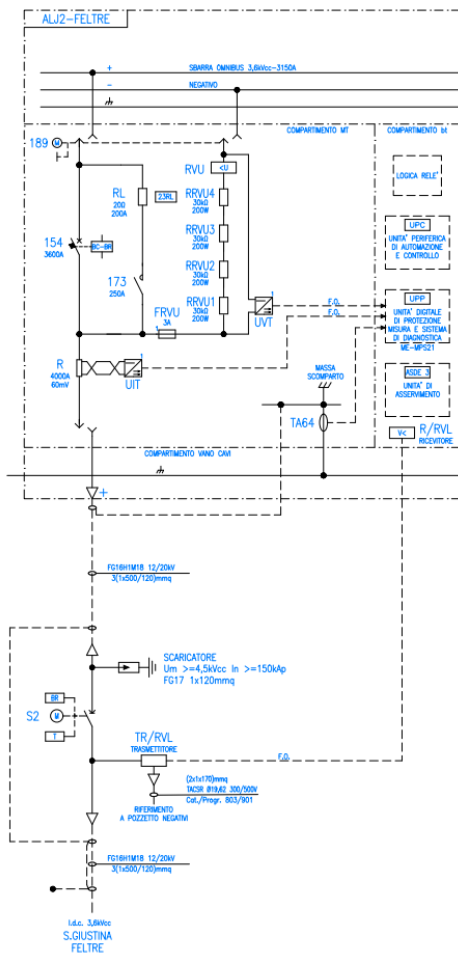


Figura 71 – Schema scomparto di arrivo linea della SSE di Sedico

Per garantire la protezione contro eventuali sovratensioni di varia natura provenienti dalla linea di contatto, accanto ad ogni sezionatore a corna è posizionato, uno scaricatore a 3 kV in corrente continua del tipo ad ossidi di zinco, conforme alle specifiche RFI vigenti.

Invece, il circuito del negativo di SSE è costituito dalla sbarra negativa in piatto di rame, dalla relativa connessione al circuito di ritorno TE e da una apposita unità, definita *Unità funzionale Misure e Negativo*. Lo scopo del suddetto circuito consiste principalmente nel consentire il ritorno della corrente di trazione e/o di guasto alla SSE, oltre a rappresentare un indispensabile riferimento equipotenziale per misure e per l'effettuazione della prova-terra.



Tali collegamenti avvengono ad opera di cavi in alluminio *TACSR* di diametro 19,62 mm. Le connessioni si attestano, lato binari, ad appositi collettori collocati entro pozzetti adiacenti ai binari medesimi. Da questi vengono poi effettuati i collegamenti alle rotaie, anch'essi in cavo di alluminio, per il tramite di una opportuna connessione induttiva.

Allo scopo di ottenere una più efficace protezione delle apparecchiature di *SSE* e garantire così la sicurezza delle persone anche nel caso di un guasto a terra di entità tale da superare la capacità di dispersione della rete di terra, nella cella misure e negativo sarà realizzato anche un collegamento tra la rete di terra medesima ed il circuito del negativo, che equivale ad una connessione della rete di terra al binario. Il collegamento non sarà franco, bensì realizzato per il tramite di un dispositivo cortocircuitatore, in modo che venga attivato solo in presenza di differenze di potenziale tra dispersore e binario, e che sia invece interdetto in condizioni normali.

#### *3.3.1.2. Opere civili ed impianti accessori*

Le sottostazioni elettriche di conversione non solo ospitano le apparecchiature fondamentali per la gestione dell'energia elettrica, ma coinvolgono anche una vasta gamma di opere civili e impianti accessori. Questi includono, non solo gli elementi di base per la protezione, la conversione e la trasmissione dell'energia, bensì una serie di dispositivi e sistemi complementari finalizzati ad assicurare il corretto funzionamento delle sottostazioni elettriche, contribuendo alla continuità e all'affidabilità dell'erogazione di energia elettrica.

Pertanto, si rende necessaria la costruzione di un piazzale e degli annessi accessi viabilistici, di un fabbricato atto a contenere le apparecchiature, la realizzazione di basamenti per impianti e pali sezionatori, le canalizzazioni per cavi, nonché gli impianti idrici e fognari.

Tra gli impianti accessori si distinguono: un impianto di telefonia automatica e selettiva, un sistema di alimentazione elettrica in bassa tensione tramite trasformatore di isolamento per garantire la separazione galvanica, un sistema di apertura generale e un sistema di illuminazione a *LED* del piazzale e del fabbricato. Inoltre, sono previsti impianti specifici per la gestione delle apparecchiature di conversione e di consegna, sistemi di monitoraggio e segnalazione, e dispositivi per la sicurezza come impianti antincendio e anti-intrusione.

#### *3.3.1.3. Cabina TE*

La cabina *TE* di Treviso è costituita da moduli di tipo prefabbricato posizionati all'interno di un'area recintata dedicata e destinata anche ad ospitare: i pali, di tipo *LSU*, da equipaggiarsi successivamente con i sezionatori a corna da 3,4 kV, scaricatori di sovratensione e trasmettitore del complesso *RV* di linea, un armadio in vetroresina contenente il trasformatore di isolamento per l'alimentazione di riserva dei servizi ausiliari a 400 V in corrente alternata.

I moduli prefabbricati comprendono un sala quadri *BT* ed una sala quadri *MT*, che prevedono le apparecchiature di seguito elencate.

La sala quadri *BT* ospita apparecchiature quali il caricabatterie e le batterie per i servizi ausiliari in corrente continua, il quadro per il sistema di governo della *SSE* computerizzato, il quadro per il comando dei sezionatori di prima fila e il sistema di ripetizione in sicurezza dello stato dei sezionatori di seconda

fila, i quadri di distribuzione ausiliaria in corrente alternata e continua, la centralina per gli impianti antincendio e antintrusione, oltre ad altre apparecchiature accessorie.

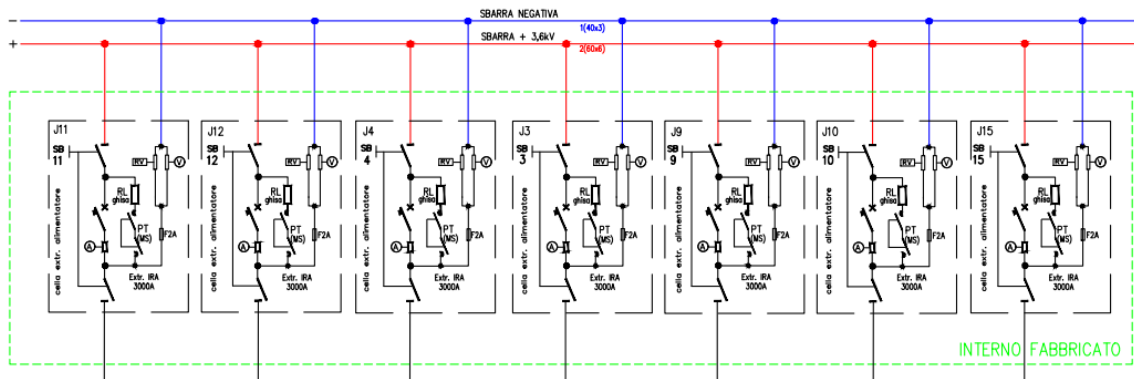


Figura 72 – Fabbricato Cabina TE Treviso contenente le celle extrapadi

Parallelamente, la sala quadri *MT*, accoglie i quadri in corrente continua a  $3\text{ kV}$ , quindi le celle degli extrapadi, la cella misure, le celle per sezionatori bipolari ed i filtri.

### 3.3.2. Linea di contatto

#### 3.3.2.1. Altezza linea di contatto

Gli interventi tengono conto del profilo degli ostacoli *PMO1*.

Compatibilmente alla tipologia di *PMO* afferente alla linea in questione, l'altezza nominale minima della linea di contatto selezionata è pari a  $5,00\text{ m}$  da piano del ferro sia allo scoperto, che in galleria. Tuttavia, in corrispondenza di punti singolari come cavalcaferrovia, pensiline, gallerie, caratterizzati da particolari caratteristiche che non consentano il rispetto di tale quota, l'altezza del piano teorico di contatto può essere ulteriormente ridotta, a seconda della tipologia di *PMO*, a  $4650\text{ mm}$ .

Le quote di progetto selezionate per la tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno* sono:

- Per la tratta *Treviso – Montebelluna* l'altezza prevista della catenaria è  $5.3\text{ m}$ .
- Per la tratta *Montebelluna – Belluno* l'altezza prevista della catenaria consiste in  $5.2\text{ m}$ , ad eccezione della galleria di *Montebelluna*, situata tra il chilometro  $20 + 618$  ed il  $20 + 784$ , per la quale l'altezza della linea di contatto è fissata a  $4.7\text{ m}$ .<sup>13</sup>

#### 3.3.2.2. Catenaria

La catenaria da adottare per i binari di corsa di stazione, di piena linea allo scoperto e in galleria (fatta eccezione per la galleria dove è presente una catenaria rigida), ha sezione complessiva  $440\text{ mm}^2$  con corda portante regolata, conformemente al vigente standard *RFI*. I binari di precedenza, secondari,

<sup>13</sup> Per l'individuazione da un punto di vista geografico della galleria in cui è installata la catenaria rigida si può fare riferimento alla Figura 63.

nonché le comunicazioni tra pari e dispari saranno dotati di catenaria con sezione complessiva pari a  $220 \text{ mm}^2$ . Le caratteristiche prestazionali della catenaria sono compatibili con una velocità di percorrenza non superiore a  $200 \text{ km/h}$ , garantendo al contempo la certificabilità di conformità alle STI da parte degli organismi preposti.

In corrispondenza della Galleria Artificiale Pian del Vento, che si estende dal kilometro 45 + 494 al kilometro 45 + 588, a causa dei ridotti franchi utili a disposizione, verrà installata una catenaria rigida.

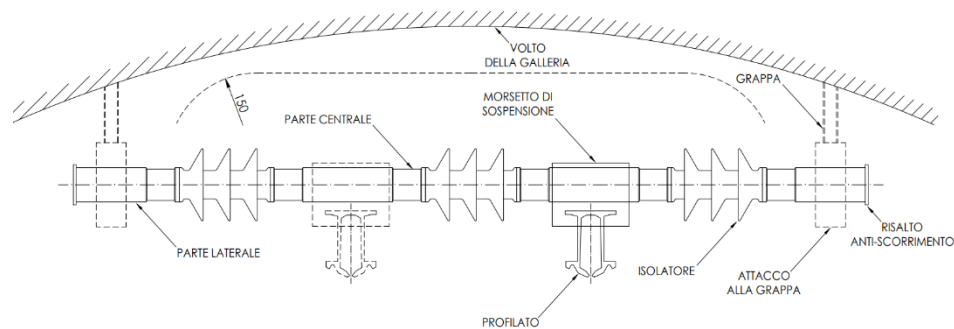


Figura 73 – Sezione della catenaria rigida nel tratto intero

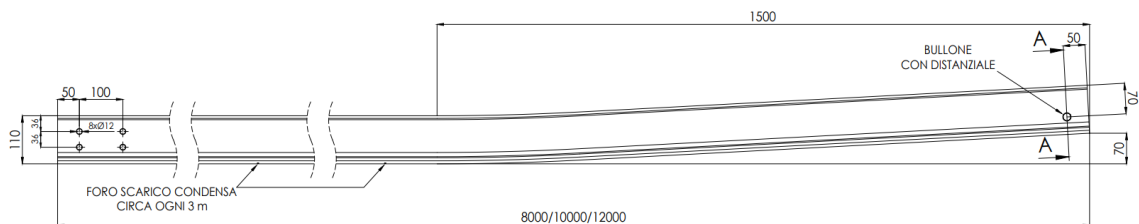


Figura 74 – Vista longitudinale della catenaria rigida nel tratto di sovrapposizione tra le pezzature

Le principali caratteristiche costruttive sono:

- Catenaria da  $440 \text{ mm}^2$ :
  - n° 2 corde portanti della sezione di  $120 \text{ mm}^2$  regolate automaticamente al tiro di  $1125 \text{ daN}$ .
  - n° 2 fili di contatto da  $100 \text{ mm}^2$  in lega di rame ed argento, tesati e regolate automaticamente al tiro di  $1000 \text{ daN}$ .
  - I fili di contatto sono sostenuti dalle funi portanti mediante pendini conduttori in cordino di rame da  $16 \text{ mm}^2$ .
- Catenaria da  $220 \text{ mm}^2$ 
  - n° 1 corda portante in rame da  $120 \text{ mm}^2$  regolata automaticamente al tiro di  $819 \text{ daN}$  (a  $15^\circ$ ).

- n° 1 filo di contatto in lega di rame ed argento di sezione  $100\text{ mm}^2$  e regolato automaticamente al tiro di  $750\text{ daN}$ .
- Catenaria rigida: si compone di un profilato scatolare di alluminio opportunamente sagomato che permette di alloggiare il filo di contatto nella sua parte inferiore.
  - Le barre di profilato in lega di alluminio che formano la catenaria rigida, della sezione di  $2200\text{ mm}^2$  (circa  $1150\text{ mm}^2$  equivalenti di rame), sono della lunghezza nominale di  $12\text{ m}$ , predisposte, su ciascuna delle due estremità, dei fori necessari per l'applicazione delle piastre di giunzione.
  - Sulla parte inferiore del profilato viene inserito, in apposita predisposizione il filo sagomato in rame della sezione di  $100\text{ mm}^2$ , per il contatto di captazione della corrente di trazione.
  - La barra sarà sostenuta tramite traverse in acciaio isolate a  $3\text{ kV}$  poste alla distanza massima di  $12\text{ m}$  in relazione alla velocità massima di fiancata del tracciato ( $140\text{ km/h}$ ).
  - Per i dettagli costruttivi, di fornitura e posa della catenaria rigida si faccia riferimento al paragrafo 2.6.
- Pali LSU con blocchi superficiali/profondi e pilastri fuori terra.
- Portali di ormeggio tralicciati.
- Dispositivi di regolazione del tiro con taglie allineate e sovrapposte.
- Opportuni contrappesi.
- Tiranti a terra con fissaggio su apposita piastra di ancoraggio.
- Sospensioni con mensola orizzontale in profilo di alluminio ed isolamento a  $3\text{ kV}$  in corrente continua.

La regolazione automatica del tiro dovrà essere ottenuta per mezzo di contrappeso e dispositivi a taglie con rapporto di riduzione 1/5.

### 3.3.2.3. Sospensioni della LdC

Nei tratti di tracciato all'aperto, per le catenarie a  $3\text{ kV}$  con condutture da  $440\text{ mm}^2$ , troveranno impiego le sospensioni a mensola orizzontale in alluminio raffigurate in seguito:

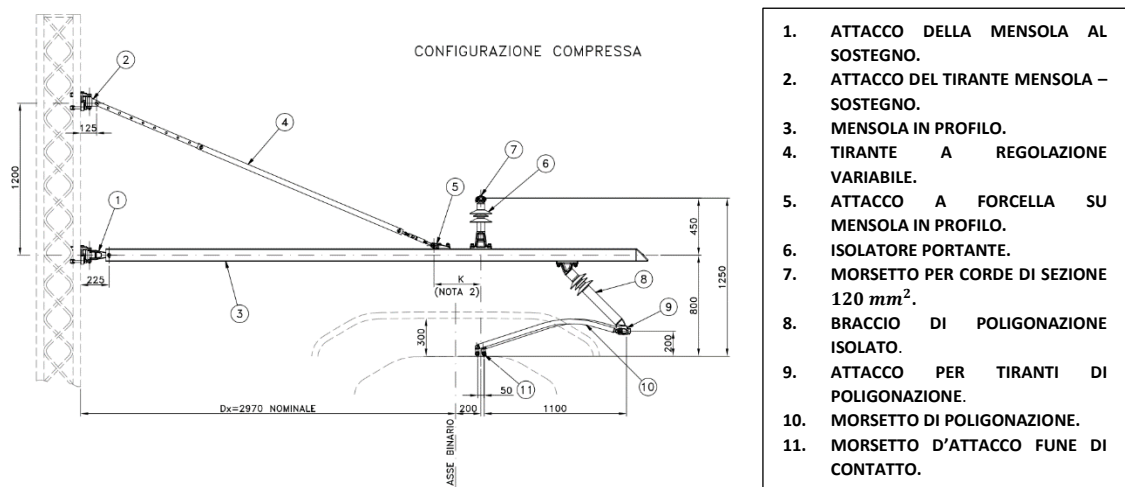


Figura 75 – Sospensione a mensola orizzontale in alluminio in configurazione compressa

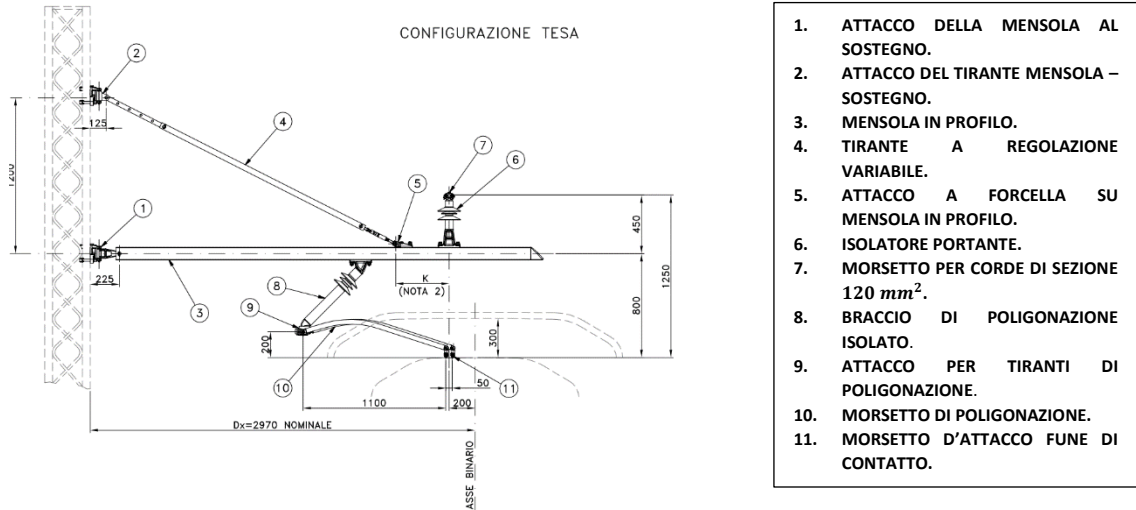


Figura 76 – Sospensione a mensola orizzontale in alluminio in configurazione tesa

La sospensione normale realizza un ingombro della catenaria, inteso come distanza tra i fili di contatto e le corde portanti, pari a 1250 mm. Per superare alcuni punti critici si potrebbe ricorrere all'impiego delle sospensioni ribassate standard.

Per altri dettagli riguardo la sospensioni si faccia riferimento a quanto riportato nel *paragrafo 2.5.3.2*.

Gli attrezzaggi della trazione elettrica nelle gallerie sono stati studiati considerando:

- Geometria della volta e l'altezza dell'intradosso di galleria.
- Il rispetto dei franchi elettrici previsti (come descritto nel capitolato *TE*).
- Sagoma del pantografo.
- Profilo minimo degli ostacoli corrispondente al *PMO1*, nonché degli ingombri degli altri equipaggiamenti previsti in galleria.

Nelle gallerie naturali ed artificiali a singolo binario (ad eccezione della galleria di Pian del Vento che monta catenaria rigida), essendo lo spazio a disposizione ridotto, allo scopo di ridurre gli ingombri, verrà utilizzata la stessa tipologia di sospensione, tuttavia, con una distanza filo di contatto – fune ridotta (nello specifico compresa tra 900 mm ÷ 1100 mm).

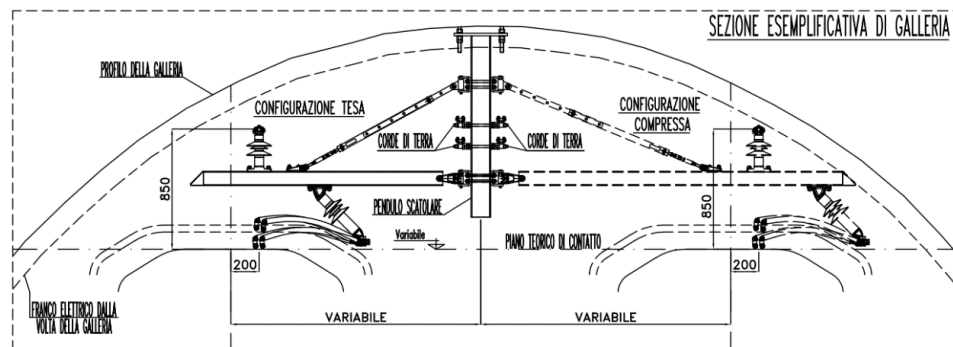


Figura 77 – Sospensione a mensola orizzontale in alluminio utilizzata in galleria in configurazione tesa e compressa

Le sospensioni saranno in generale sostenute da supporti penduli scatolari o tralicciati, flangiati, aggrappati alla volta o a parete mediante grappe, dadi e rondelle come opportunamente regolato dal capitolato tecnico di *RFI*. Invece, le grappe in acciaio per il fissaggio dei supporti penduli saranno ancorate alla volta con l'impiego di aggrappanti chimici, ed isolate dal possibile contatto con l'armatura delle strutture mediante l'impiego di opportune boccole distanziali in materiale isolante.

In merito alla catenaria rigida, le sospensioni utilizzate sono del tipo a traversa isolata con n°3 isolatori, descritta nel *paragrafo 2.6.4.4*.

#### 3.3.2.4. Sostegni

Allo scoperto, in piena linea e nelle fermate di progetto, dovranno essere utilizzati sostegni a palo del tipo a traliccio della serie *LSU* flangiati alla base e portali di ormeggio ad uno o due binari, ambedue conformi alle specifiche *RFI* vigenti.

I sostegni a palo in piena linea dovranno essere posizionati sul lato a sinistra di chi percorre la linea nel senso legale di marcia dei treni.

I portali di ormeggio standard, costituiti da n°2 piloni e da n°1 trave di ormeggio, sono delle tipologia ad un binario con luce netta tra i piloni pari a 6,40 m.

In stazione, dove non sono disponibili le idonee interviste, sarà previsto l'impiego di travi di sospensione *MEC* secondo gli standard *RFI*.

La distanza dei sostegni dalla rotaia più vicina non deve risultare inferiore a 2,25 m. Tale distanza è misurata sul piano del ferro tra la superficie esterna del sostegno dal lato del binario ed il bordo interno della rotaia più vicina. Qualora, nelle stazioni/fermate, circostanze ed impedimenti locali rendano impossibile il raggiungimento di tale quota di rispetto, dovranno essere adottate le distanze minime riportate nella seguente tabella conforme alla seguente tabella, derivata dal Capitolato Tecnico per la costruzione delle linee di contatto a 3 kV in corrente continua.

TIPO DI BINARIO	Distanza Palo Rotaia Minima	
	RETTIFILLO – ESTERNO CURVA ( $R > 250 m$ )	INTERNO CURVA ( $R > 1500 m$ )
BINARI DI CORSA, DI PRECEDENZA E DI INCROCIO	2,0 m	
BINARI SECONDARI	1,75 m	

Tabella 3.20 – distanza palo rotaia minima

In alcuni punti della linea, sia in tratta che in stazione, si è constatato che a causa di una sede ferroviaria piuttosto stretta (viadotti in pietra, trincee, portalini per sistema di guardiania paramassi, etc ...) sarà necessario derogare le distanze minime suddette riducendole, anche per i binari di corsa, fino a 1,75m.

I blocchi di fondazione per sostegni *TE* (pali di tipo *LSU* e portali di ormeggio) ed i tiranti a terra devono essere costituiti da conglomerato cementizio armato con impiego di calcestruzzo a *Prestazione Garantita* con classe minima di resistenza *C30* ( $R_{ck} > 30 N/mm$ ), con requisiti secondo normativa.

L'ancoraggio dei sostegni *LSU* e dei portali di ormeggio sulle relative fondazioni deve avvenire mediante l'impiego di appositi tirafondi di ancoraggio in acciaio zincato equipaggiati con boccole e rosette isolanti.

Le lunghezze delle campate variano tra  $14\text{ m} \div 65\text{ m}$  in funzione della geometria del tracciato e delle poligonazioni.

#### *3.3.2.5. Posti di Raccordo automatico, Posti di sezionamento, Punto fisso e ormeggio condutture*

La tesatura automatica dei fili di contatto e delle corde portanti dovrà essere realizzata ogni  $1200\text{ m}$  circa, ormeggiando le estremità dei conduttori, opportunamente isolate, alle colonne dei contrappesi che attraverso adeguati cinematismi applicano un tiro costante ai conduttori.

I posti di sezionamento e di raccordo automatico si svilupperanno in genere su tre campate.

Nei posti di regolazione automatica le due condutture dovranno essere distanziate generalmente di  $200\text{ mm}$  e dovranno essere collegate con cavallotti di continuità in corda di rame flessibile.

Nei tronchi di sezionamento le due condutture dovranno essere distanziate di  $400\text{ mm}$  ed isolate tra loro.

Il punto fisso per linea di contatto  $440\text{ mm}^2$  con mensola orizzontale in profilo di alluminio dovrà essere realizzato sempre al centro di ogni tratta di contrappesatura come regolamentato dal *Capitolato Tecnico per la costruzione delle linee alimentate a 3 kV in corrente continua*.

#### **3.3.3. Circuito di ritorno**

Il circuito di ritorno è costituito dalle rotaie a terra e risponde a quanto indicato nel *Capitolato tecnico per la costruzione delle linee aeree e di contatto a 3 kV in corrente continua* (vedasi *paragrafo 2.5.6.2*).

In base al tipo di circuito di ritorno, sono riportati di seguito i criteri e l'impiego delle connessioni da realizzare per garantire la continuità del circuito di ritorno sui binari di corsa delle stazioni e sui binari di corsa di piena linea:

- Connessione longitudinale da realizzare in corrispondenza di ogni giunzione non saldata della sola rotaia non isolata del binario.
- Nelle stazioni i collegamenti trasversali tra le fughe di rotaie non isolate da realizzare ogni quattro campate circa di conduttura elettrica.
- I collegamenti del negativo delle *SSE* saranno eseguiti sulla sola rotaia non isolata del binario, mediante conduttori isolati di sezione proporzionata alla potenza erogabile dalle *SSE* stesse ed in numero non inferiore a 4.

Inoltre, tutti i sostegni saranno provvisti di picchetto di terra.

### **3.3.4. Circuito di terra e protezione**

Il circuito di terra e di protezione in piena linea è realizzato nel rispetto di quanto definito dalla Norma *CEI EN 50122-1* e nel *Capitolato tecnico per la costruzione delle linee aeree e di contatto a 3 kV* (vedasi *paragrafo 2.5.6.3.*).

In stazione, il circuito di terra e di protezione che si sviluppa nel tratto compreso tra i portali interni esclusi, sarà realizzato con le stesse caratteristiche generali di quello di piena linea. Inoltre, saranno realizzati collegamenti aerei trasversali mediante due corde in rame da  $120 \text{ mm}^2$ , tra sostegni di palificate diverse allo scopo di costituire un circuito magliato: il circuito così costituito sarà collegato al circuito di ritorno TE (alla rotaia non isolata dei binari) mediante dispositivi a semiconduttore bidirezionali, a loro volta collegati alle rotaie a terra. I collegamenti equipotenziali e delle traversate aeree sono realizzati tramite n°2 cavi in *TACSR* diametro  $15,82 \text{ mm}$ .

Il circuito di terra e protezione, così come esposto, realizza la condizione per cui l'eventuale corrente di guasto che interessi un qualsiasi sostegno possa affluire al circuito di ritorno attraverso almeno due percorsi distinti, ognuno formato da due corde/cavi *TACSR*.

In galleria tutte le sospensioni e le attrezzature di TE tensionabili saranno collegate tra loro con identiche corde in modo da realizzare un circuito analogo a quello allo scoperto e comunque inserito in modo da garantirne la protezione in caso di tensionamenti anomali.

### **3.3.5. Linee di alimentazione 3 kV**

Le linee di alimentazione sono costruite conformemente a quanto descritto nel *paragrafo 2.5.7.*

Le linee di alimentazione per l'alimentazione delle linee di contatto da  $440 \text{ mm}^2$  saranno costituite, laddove in conduttore aereo, da due corde della sezione di  $230 \text{ mm}^2$  ciascuna. Saranno collocate preferibilmente su sostegni tipo *LSU* e portali TE indipendenti. Ove necessario saranno impiegati alimentatori in cavo.

### **3.3.6. Telecomando DOTE**

Presso le stazioni oggetto degli interventi di elettrificazione verranno costruiti ex novo i *quadri di comando e controllo dei sezionatori (QCS)* a corna a  $3,4 \text{ kV}$ . Ogni quadro sarà collegato ad un proprio armadio di telecomando per il controllo dei sezionatori attraverso il *DOTE* di Venezia Mestre ed alimentato con alimentazione dedicata dalla centralina dell'impianto di segnalamento.

Tramite i *QCS* verranno gestiti sia i sezionatori di linea che quelli di seconda fila, i quali verranno installati esternamente rispetto alla *SSE*. La comunicazione in sicurezza tra il *QCS* ed il sistema di governo della *SSE*, relativamente alle segnalazioni dello stato dei sezionatori di seconda fila e quindi per l'attuazione delle interconnessioni, sarà gestita da un dispositivo *UCP* ubicato all'interno dello stesso *QCS*.





#### **4. ADEGUAMENTO DELLE INFRASTRUTTURE CIVILI PER L'ELETTRIFICAZIONE**

L'elettificazione di una linea ferroviaria rappresenta un intervento complesso e multidisciplinare che va ben oltre la semplice installazione della linea di contatto per l'alimentazione elettrica dei treni. Questo processo coinvolge una serie di operazioni di adeguamento delle infrastrutture civili esistenti, indispensabili per garantire la conformità alle normative vigenti e, in particolare, alle *Specifiche Tecniche di Interoperabilità* stabilite a livello europeo.

*STI Infrastruttura* e *STI sicurezza nelle gallerie ferroviarie* forniscono le regole e gli standard da rispettare per il processo d'adeguamento delle opere civili connesso ad un intervento di elettrificazione, influenzando significativamente sul processo di costruzione e ristrutturazione delle stesse.

Un nodo di particolare rilevanza è costituito dalle gallerie. Lo spazio richiesto per l'installazione dei cavi elettrici sopraelevati, il rispetto delle sagome limite dei treni e l'osservanza degli standard di sicurezza impongono requisiti minimi in termini di volume, spesso rendendo necessario l'ampliamento o il rifacimento delle gallerie esistenti.

Parallelamente, l'adeguamento dei cavalcaferrovia è essenziale per sostenere la linea di contatto e garantire il passaggio sicuro dei treni, sia passeggeri che merci. La *STI infrastruttura* specifica i requisiti minimi di capacità delle strutture, variabili in base alla velocità di percorrenza della tratta e al codice di traffico. Se una struttura esistente non soddisfa questi requisiti, è indispensabile costruire nuovi ponti o modificare quelli esistenti per aumentarne la capacità portante e garantire un'altezza sufficiente per la catenaria, rispettando così gli standard di interoperabilità.

L'abbassamento del piano del ferro è frequentemente necessario per consentire il transito sicuro dei treni in sottopassi e gallerie e per ospitare la linea di contatto. Le normative riguardanti la sagoma limite, l'altezza di contatto minima delle condutture elettriche e lo spazio dedicato ai dispositivi di trazione elettrica possono richiedere la rimozione e la sostituzione dei binari esistenti e la modifica delle fondamenta delle rotaie.

In questo capitolo, verranno analizzate le principali operazioni di adeguamento delle opere civili necessarie per l'elettificazione di una linea ferroviaria basandosi sul caso studio della tratta Treviso – Montebelluna – Belluno. L'obiettivo è fornire una panoramica completa delle attività necessarie per adeguare le infrastrutture civili a supporto di un sistema ferroviario elettrificato.

Solo attraverso un'accurata pianificazione e una rigorosa esecuzione delle opere di adeguamento è possibile realizzare una rete ferroviaria moderna, efficiente e sicura, in linea con le aspettative di interoperabilità e sostenibilità del trasporto ferroviario contemporaneo.

#### 4.1. Stato di fatto

La tratta *Treviso – Montebelluna*, che si estende rispettivamente dal chilometro 00 + 000 al chilometro 20 + 064, si sviluppa in territorio prevalentemente pianeggiante. A partire dalla stazione di Treviso, in direzione Montebelluna, le livellette sono prevalentemente in salita, con pendenze generalmente variabili tra 0,2 % e 1,5 %, raggiunto in avvicinamento all'abitato di Montebelluna. Lungo il tracciato non sono presenti gallerie.

Il tratto di linea compreso tra Montebelluna e Feltre si estende dal chilometro 20 + 064 al chilometro 54 + 560, corrispondente alla stazione di Feltre. Partendo dalla città di Montebelluna, situata nel settore settentrionale della pianura veneta e caratterizzata da un'altitudine di 120 – 130 *m s. l. m.*, il tracciato si dirige verso nord lungo la Valle del Piave, attraversando i rilievi sudalpini con settori in galleria e quote che aumentano fino a raggiungere la città di Feltre, posta a 300 – 310 *m s. l. m.*

La ferrovia si sviluppa quindi lungo morfologie vallive piuttosto strette, prevalentemente sulla destra idrografica della valle del Fiume Piave, attraversando vari torrenti affluenti del Piave stesso. Provenendo da valle, dall'abitato di Montebelluna in direzione di Feltre, le livellette sono prevalentemente in salita, con pendenze generalmente variabili tra 0,3 % e 1,0 %, raggiungendo il valore massimo dell'1,5% nel tratto di approccio alla galleria di Vilalba, in avvicinamento all'abitato di Feltre.

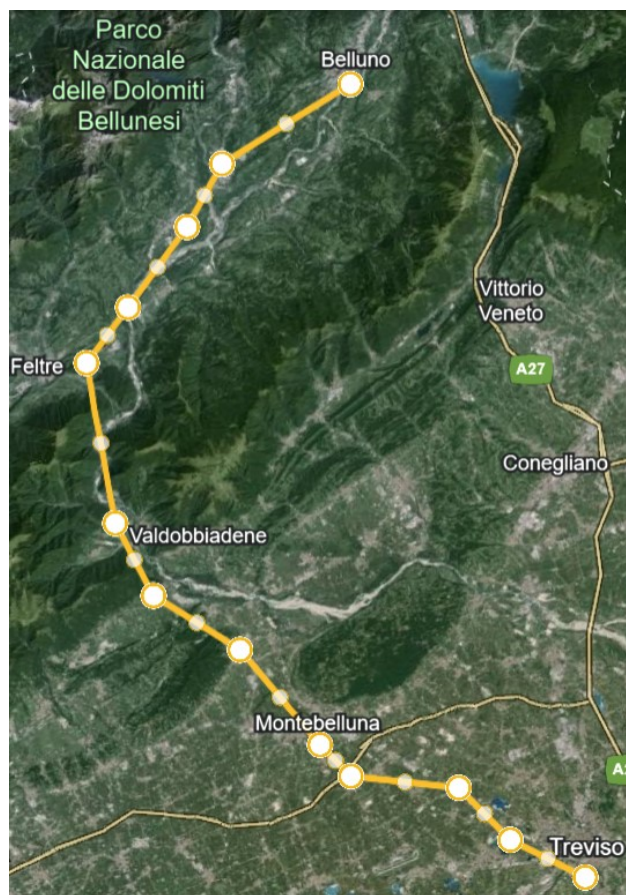


Figura 78 – Vista satellitare tratta Treviso – Montebelluna – Belluno

Il tratto compreso tra Feltre e Belluno si estende per complessivi 30533 km, dal kilometro 54 + 560 al kilometro 85 + 093, attraversando un'area di orografia prealpina. L'asse, a unico binario, collega Belluno con la città di Feltre, sviluppandosi lungo la valle del Fiume Piave. Il tracciato alterna tratti situati in piena valle a tratti che seguono vari settori dei versanti sulla destra idrografica del fiume.

La ferrovia raggiunge quote intorno a 390 – 400 m s.l.m. in corrispondenza dell'abitato di Belluno e si sviluppa verso sud-ovest con quote via via più basse in corrispondenza dell'abitato di Feltre. Provenendo da valle, dall'abitato di Feltre in direzione di Belluno le livellette sono per la gran parte del tracciato salita con pendenze variabili tra che raggiungono valori massimi del 1,5 %.

Lungo l'intera tratta si incontrano le seguenti opere di scavalco:

- 20 + 804 – cavalcaferrovia.
- 20 + 815 – cavalcaferrovia.
- 26 + 490 – cavalcaferrovia.
- 27 + 647 – cavalcaferrovia.
- 30 + 334 – cavalcaferrovia.
- 34 + 385 – cavalcaferrovia.
- 34 + 406 – cavalcaferrovia.
- 37 + 092 – cavalcaferrovia.
- 40 + 630 – cavalcaferrovia.
- 50 + 679 – cavalcaferrovia.
- 60 + 847 – cavalcaferrovia.
- 61 + 011 – cavalcaferrovia.
- 63 + 184 – cavalcaferrovia.
- 67 + 885 – cavalcaferrovia.
- 74 + 239 – cavalcaferrovia.
- 75 + 750 – cavalcaferrovia.
- 78 + 471 – cavalcaferrovia.
- 83 + 138 – cavalcaferrovia.

Nella tabella sottostante sono, invece indicate le gallerie presenti.

GALLERIE	PK IMBOCCO SUD	PK IMBOCCO NORD	LUNGHEZZA [m]
GALLERIA DI MONTEBELLUNA	20 + 618	20 + 784	166
GALLERIA 1 DEL BARCHET	39 + 757	39 + 786	29
GALLERIA 2 DEL BARCHET	39 + 846	39 + 942	96
GALLERIA ARTIFICIALE 1 CAMINON	40 + 121	40 + 182	61
GALLERIA ARTIFICIALE 2 CAMINON	40 + 233	40 + 273	40
GALLERIA DI CASTELNOVO	43 + 515	43 + 746	231
GALLERIA DI S. MARIA MADDALENA	44 + 562	44 + 755	193
GALLERIA DI PIAN DEL VENTO	45 + 494	45 + 588	94
GALLERIA ARTIFICIALE SANZAN 1	47 + 273	47 + 314	41
GALLERIA ARTIFICIALE SANZAN 2	47 + 400	47 + 460	60
GALLERIA DI VILLAGA	53 + 822	54 + 226	404
GALLERIA DEL VIERA	62 + 630	63 + 054	424

Tabella 4.1 – Gallerie tratta Treviso – Montebelluna – Belluno

## **4.2. Interventi di adeguamento delle opere civili**

### **4.2.1. Analisi preliminare geologica ed idrogeologica**

La pianificazione e l'esecuzione di interventi di adeguamento infrastrutturale richiedono una rigorosa analisi preliminare della morfologia del territorio coinvolto, con particolare attenzione agli aspetti idrogeologici e geologici. Questa fase di studio è cruciale in ogni progetto di costruzione o adeguamento di infrastrutture, soprattutto lungo percorsi ferroviari o stradali che attraversano aree con caratteristiche geologiche complesse o esposte a rischi naturali come frane o dissesti. Tale analisi è fondamentale per assicurare una pianificazione accurata e una realizzazione sicura delle future opere civili.

La valutazione della morfologia del territorio comprende la mappatura delle variazioni altimetriche lungo il percorso, la identificazione di eventuali formazioni geologiche significative e la valutazione della stabilità del terreno. Infatti, la geologia del territorio attraversato dal tracciato, così come la natura, composizione e struttura, delle formazioni rocciose può variare notevolmente, influenzando la scelta dei materiali da utilizzare per le opere civili e le misure di mitigazione dei rischi da adottare. La permeabilità del terreno, la presenza di rocce friabili, porose o la predisposizione a fenomeni di carsismo sono solo alcuni dei fattori da considerare nell'analisi geologica. Queste differenze influenzano la stabilità del terreno e la capacità di supportare strutture pesanti.

Parallelamente, l'analisi idrogeologica valuta la distribuzione e la circolazione delle acque sotterranee e superficiali lungo il tracciato, risultando cruciale per comprendere il rischio di allagamenti, erosione del terreno o instabilità dovuta a cambiamenti idrogeologici. La variabilità nella permeabilità delle formazioni rocciose e dei depositi superficiali, dovuta a fattori come la fratturazione e la porosità, può, infatti, influenzare significativamente la gestione delle acque durante e dopo i lavori di costruzione.

Inoltre, la valutazione delle aree a rischio di dissesto idrogeologico, come frane o cedimenti, è essenziale per prevenire incidenti e garantire la sicurezza dell'opera. Le cartografie del rischio geologico e idrogeologico, fornite da enti competenti, aiutano a individuare e mitigare i rischi associati.

Infine, per ogni opera oggetto di intervento, è richiesta la redazione di relazioni sismiche, nelle quali vengono indagati e descritti i caratteri macrosismici dell'area e la risposta sismica locale.

Questi studi preliminari permettono di progettare interventi mirati e consapevoli delle condizioni locali, assicurando che le opere infrastrutturali rispettino gli standard di sicurezza e siano resilienti nel tempo. La pianificazione basata su dati geologici e idrogeologici accurati contribuisce alla sostenibilità e alla longevità delle infrastrutture, riducendo l'impatto ambientale e migliorando la qualità dei servizi offerti.

#### 4.2.2. Descrizione degli interventi

I lavori consistono in una serie di interventi che prevedono la realizzazione di:

- Lavori di abbassamento del piano del ferro al fine di adeguare la livelletta ferroviaria per consentire il passaggio della linea di contatto in corrispondenza di opere esistenti (gallerie e cavalcaferrovia), nonché rifacimento del sistema idraulico di smaltimento delle acque di piattaforma.
- Lavori di impermeabilizzazione con pulizia e risanamento del rivestimento delle gallerie nelle zone degradate.
- Demolizioni e ricostruzioni di gallerie e di cavalcaferrovia.
- Inserimento delle barriere di protezione nei cavalcaferrovia.

La tipologia di intervento individuata per ciascuna opera è indicata nella tabella sottostante.

OPERA CIVILE	PK IMBOCCO SUD	PK IMBOCCO NORD	INTERVENTO
GALLERIA DI MONTEBELLUNA	20 + 618	20 + 784	CONSOLIDAMENTO STRUTTURE ED ABBASSAMENTO DEL PIANO DEL FERRO DI 74 cm CON IMPERMEABILIZZAZIONE, PULIZIA E RISANAMENTO DELLA STRUTTURA NELLE ZONE DEGRADATE
CAVALCAFERROVIA	34 + 406	–	DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE
GALLERIA 1 DEL BARCHET	39 + 757	39 + 786	CONSOLIDAMENTO STRUTTURE ED ABBASSAMENTO DEL PIANO DEL FERRO DI 63 cm CON IMPERMEABILIZZAZIONE, PULIZIA E RISANAMENTO DELLA STRUTTURA NELLE ZONE DEGRADATE
GALLERIA 2 DEL BARCHET	39 + 846	39 + 942	CONSOLIDAMENTO STRUTTURE ED ABBASSAMENTO DEL PIANO DEL FERRO DI 58 cm CON IMPERMEABILIZZAZIONE, PULIZIA E RISANAMENTO DELLA STRUTTURA NELLE ZONE DEGRADATE
GALLERIA ARTIFICIALE 1 CAMINON	40 + 121	40 + 182	CONSOLIDAMENTO STRUTTURE ED ABBASSAMENTO DEL PIANO DEL FERRO DI 50 cm CON IMPERMEABILIZZAZIONE, PULIZIA E RISANAMENTO DELLA STRUTTURA NELLE ZONE DEGRADATE
GALLERIA ARTIFICIALE 2 CAMINON	40 + 233	40 + 273	CONSOLIDAMENTO STRUTTURE ED ABBASSAMENTO DEL PIANO DEL FERRO DI 30 cm CON IMPERMEABILIZZAZIONE, PULIZIA E RISANAMENTO DELLA STRUTTURA NELLE ZONE DEGRADATE
GALLERIA DI CASTELNOVO	43 + 515	43 + 746	CONSOLIDAMENTO STRUTTURE ED ABBASSAMENTO DEL PIANO DEL FERRO DI 68 cm CON IMPERMEABILIZZAZIONE, PULIZIA E RISANAMENTO DELLA STRUTTURA NELLE ZONE DEGRADATE
GALLERIA DI S. MARIA MADDALENA	44 + 562	44 + 755	CONSOLIDAMENTO STRUTTURE ED ABBASSAMENTO DEL PIANO DEL FERRO DI 63 cm CON IMPERMEABILIZZAZIONE, PULIZIA E RISANAMENTO DELLA STRUTTURA NELLE ZONE DEGRADATE
GALLERIA DI PIAN DEL VENTO	45 + 494	45 + 588	IMPERMEABILIZZAZIONE CON PULIZIA E RISANAMENTI DELLA STRUTTURA NELLE ZONE DEGRADATE
GALLERIA ARTIFICIALE SANZAN 1	47 + 273	47 + 314	DEMOLIZIONE E COSTRUZIONE GALLERIA ARTIFICIALE CON RIPRISTINO DELLE OPERE SOVRASTANTI LA GALLERIA
GALLERIA ARTIFICIALE SANZAN 2	47 + 400	47 + 460	DEMOLIZIONE E COSTRUZIONE GALLERIA ARTIFICIALE CON RIPRISTINO DELLE OPERE SOVRASTANTI LA GALLERIA
GALLERIA DI VILLAGA	53 + 822	54 + 226	CONSOLIDAMENTO STRUTTURE ED ABBASSAMENTO DEL PIANO DEL FERRO DI 38 cm CON IMPERMEABILIZZAZIONE, PULIZIA E RISANAMENTO DELLA STRUTTURA NELLE ZONE DEGRADATE
CAVALCAFERROVIA	60 + 847	–	DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE
GALLERIA DEL VIERA	62 + 630	63 + 054	CONSOLIDAMENTO STRUTTURE ED ABBASSAMENTO DEL PIANO DEL FERRO DI 55 cm CON IMPERMEABILIZZAZIONE, PULIZIA E RISANAMENTO DELLA STRUTTURA NELLE ZONE DEGRADATE
CAVALCAFERROVIA	78 + 471	–	DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE

Tabella 4.2 – Interventi d'adeguamento previsti

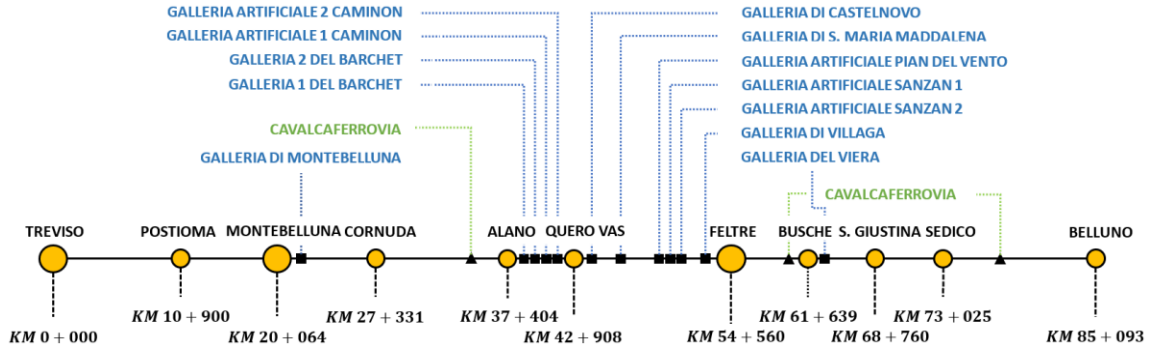


Figura 79 – Gallerie e cavalcaferrovia oggetto d'adeguamento

Gli interventi di adeguamento delle opere civili tengono conto del profilo degli ostacoli *PMO1* (*Gabarit G1*) riportato nella figura 54.

Per la sagoma del treno elettrificato, come da immagine di seguito riportata, si tiene conto della linea di contatto con *fune fissa*  $H\ 5118\ mm$ , con riferimento alla quale vengono studiate le interferenze con le opere d'arte e vengono definiti gli eventuali interventi diffusi di adeguamento del piano ferro e/o gli eventuali interventi localizzati di fresatura. Per la sola galleria di *Pian del Vento* si tiene conto della linea di contatto *catenaria rigida*  $H\ 4997\ mm$  che permette di evitare un abbassamento eccessivo del piano ferro, quindi un minore scavo.

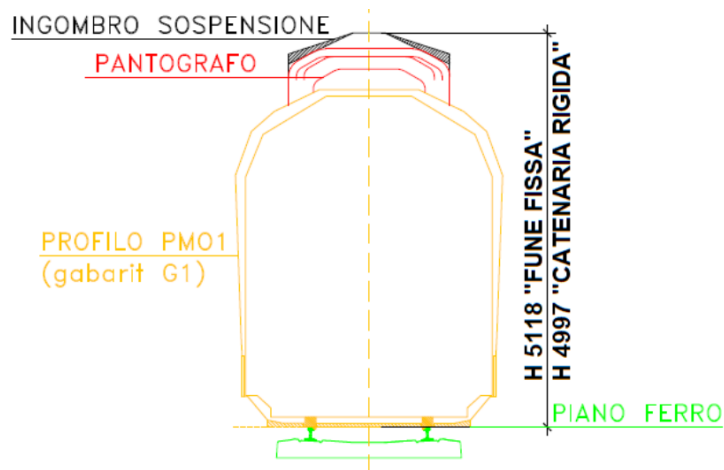


Figura 80 – Sagoma PMO1 con linea di contatto fune fissa  $H\ 5118$  o catenaria rigida  $H\ 4997$

### 4.2.3. Abbassamento del piano del ferro

#### 4.2.3.1. Lavori di abbassamento della livelletta ferroviaria in galleria

I lavori di abbassamento della quota del piano del ferro sono finalizzati all'installazione delle strutture necessarie a garantire la trazione elettrica dei vagoni. Questo abbassamento può variare fino a un massimo di circa 75 cm, a seconda della livelletta di progetto. Per realizzare questo intervento, è prevista la rimozione di una parte del materiale sottostante i binari e la conseguente stabilizzazione del nuovo piano.

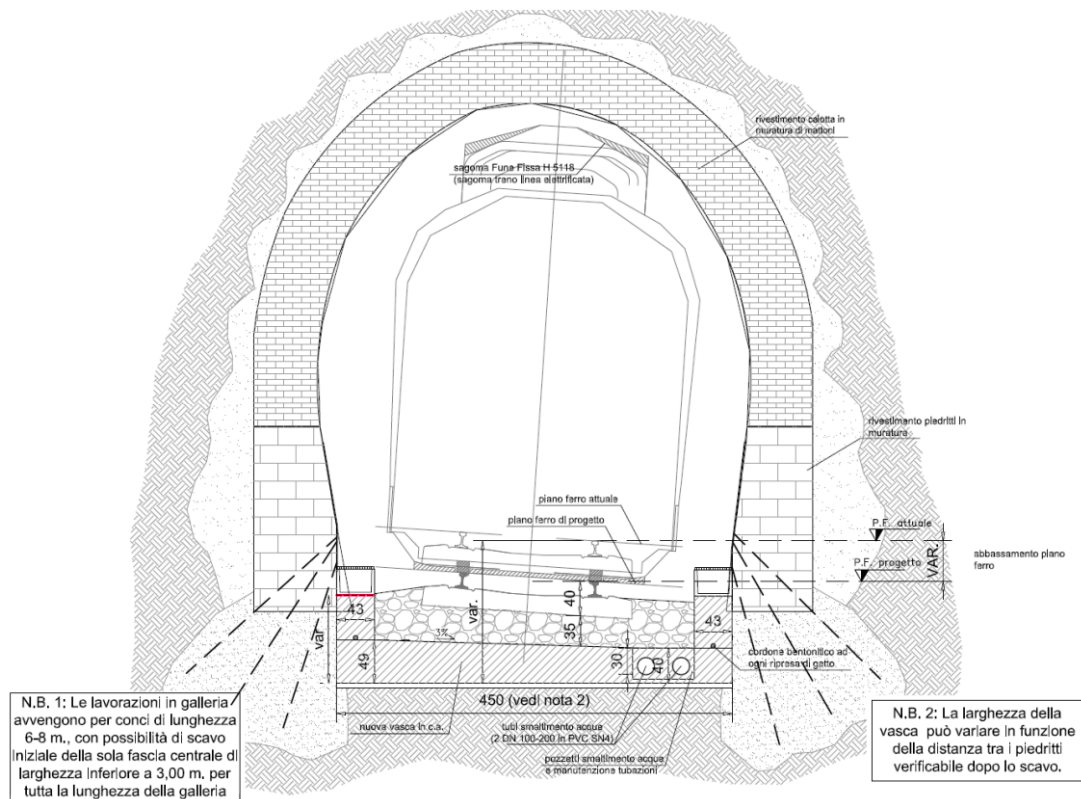


Figura 81 – Stato di fatto e di progetto livelletta ferroviaria

Il processo si articola in fasi ben definite e di seguito riassunte.

Inizialmente, si assiste alla rimozione dell'armamento e del ballast esistente. Successivamente, si procede con iniezioni cementizie di consolidamento alla base della struttura di sostegno, ulteriormente rinforzabile mediante l'inserimento di apposite sbarre in acciaio.

Laddove vengano riscontrate infiltrazioni, sono da eseguirsi iniezioni di impermeabilizzazione e riempimento dei vuoti dietro il rivestimento della galleria. Queste operazioni sono essenziali per prevenire ulteriori danni causati dall'acqua e garantire la sicurezza della struttura. Segue la pulizia della superficie del rivestimento in muratura, necessaria per preparare la galleria alle fasi successive del lavoro.



Si prosegue con lo scavo di sbancamento, fase chiave dell'intero processo e volta a creare lo spazio necessario all'intero intervento. Successivamente alla fase di scavo, si procede alla colata del calcestruzzo, il quale funge da basamento per operazione di realizzazione di una vasca in cemento armato, sulla quale avverrà la posa del nuovo ballast e dell'armamento, completando così il processo di abbassamento del piano del ferro in galleria.

La galleria viene, infine, dotata di un sistema per il drenaggio e lo smaltimento dell'acque in eccesso.

#### 4.2.3.2. Lavori di abbassamento della livelletta ferroviaria lungo la linea

L'operazione d'abbassamento del piano del ferro non risulta limitata al solo transito del treno in galleria, ma deve essere estesa anche agli imbocchi della stessa. Così facendo, viene garantita una transizione graduale e sicura tra l'esterno e l'interno della galleria. Al contrario, qualora non si intervenisse, verrebbe a crearsi un dislivello improvviso, probabile causa di problemi di sicurezza ed instabilità per il passaggio dei locomotori.

In secondo luogo, l'abbassamento degli imbocchi è fondamentale per mantenere l'altezza costante della linea di contatto, evitando così interruzioni o variazioni che potrebbero compromettere il contatto continuo con il pantografo. Quest'aspetto risulta particolarmente importante per prevenire scintille o perdite di alimentazione, che potrebbero causare danni ai sistemi elettrici del treno e ritardi operativi.

In generale, in vicinanza agli imbocchi delle gallerie, a seguito dell'abbassamento del piano del ferro è presente, a lato, una paratia di micropali per contenere gli scavi e proteggere i muri esistenti.



Figura 82 – Sezione in vicinanza all'imbocco della galleria

Lontano dagli imbocchi delle gallerie, in assenza di muri e scarpate, gli abbassamenti avvengono senza opere di contenimento degli scavi.

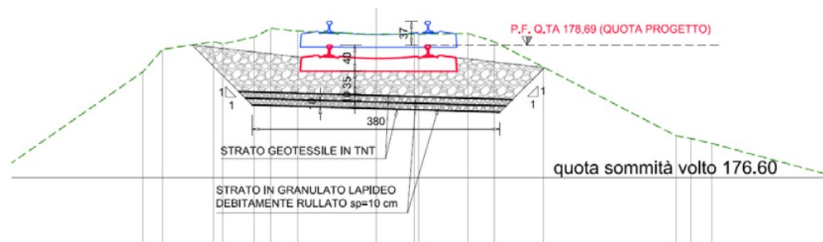


Figura 83 – Lontano dall'imbocco della galleria

Gli interventi citati, sono previsti in corrispondenza delle zone di imbocco sud e nord delle gallerie *Montebelluna, Barchet 1-2, Caminon 1-2, Castelnuovo, S. Maria Maddalena, Villaga e Viera*.

#### **4.2.4. Interventi accessori per l'adeguamento delle gallerie ferroviarie**

L'adeguamento delle gallerie ferroviarie è un processo complesso che richiede una serie di interventi accessori fondamentali per garantire la sicurezza e l'efficienza dell'infrastruttura. Questi interventi comprendono la realizzazione di sistemi di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche, l'impermeabilizzazione delle gallerie e il risanamento del rivestimento. Ogni fase di questo processo contribuisce a migliorare la funzionalità e la durabilità delle gallerie, essenziali per il corretto funzionamento delle linee ferroviarie.

##### *4.2.4.1. Sistema di raccolta e smaltimento delle acque*

Un intervento fondamentale riguarda la realizzazione di un sistema efficace per la raccolta e lo smaltimento delle acque meteoriche, come avvenuto in relazione alle operazioni d'adeguamento delle opere civili legate all'elettrificazione delle linee ferroviarie dell'anello basso del Bellunese.

Questo sistema prevede l'installazione di canalette prefabbricate in calcestruzzo lungo i lati della galleria. Le canalette prefabbricate sono progettate per raccogliere sia le acque meteoriche provenienti dalle zone esterne alla sede ferroviaria, nei tratti immediatamente a monte e a valle della galleria, sia le acque di infiltrazione raccolte dai dreni sub-orizzontali lungo la galleria. L'acqua raccolta viene, poi, convogliata in tubazioni in PVC, che hanno anche la funzione di smaltire le acque provenienti dalla piattaforma ferroviaria all'interno della galleria, prevenendo accumuli d'acqua che potrebbero compromettere la stabilità della struttura e la sicurezza dei treni in transito.

Il collegamento tra le canalette e le tubazioni è garantito da pozzetti prefabbricati in calcestruzzo di dimensioni.

##### *4.2.4.2. Demolizione e Ricostruzione di Tombini*

Per i tombini e gli attraversamenti sottostanti la piattaforma ferroviaria, che risultano interferenti con l'abbassamento del piano del ferro, si prevede la demolizione e ricostruzione degli impalcati.

Questi interventi assicurano che tutti gli elementi infrastrutturali siano adeguatamente allineati e integrati con il nuovo assetto delle gallerie.

##### *4.2.4.3. Impermeabilizzazione delle gallerie*

L'impermeabilizzazione delle gallerie rappresenta un intervento indispensabile per l'eliminazione di infiltrazioni e stillicidi, che causano degrado strutturale e danneggiano gli impianti tecnologici. Questa operazione viene eseguita attraverso iniezioni di resine bicomponenti o poliuretaniche, che sigillano fessure e porosità nel rivestimento della galleria. Infatti, le resine reagiscono in presenza di umidità, espandendosi e creando una barriera impermeabile che blocca le infiltrazioni, proteggendo l'integrità strutturale della galleria.

Per proteggere ulteriormente le apparecchiature da fenomeni di infiltrazioni e percolazioni, che in caso di temperature estremamente rigide possono causare la formazione di ghiaccioli (fenomeno comune lungo la tratta Treviso – Montebelluna – Belluno, situata in un territorio pedemontano), è prevista la realizzazione di un guscio di protezione sulla sommità della galleria. Questo guscio è costituito da iniezioni di resine sul dorso del rivestimento e da una membrana interposta a un doppio strato di malta sulla superficie interna del rivestimento.

#### 4.2.4.4. Lavori di pulizia e risanamento del rivestimento delle gallerie

Il risanamento del rivestimento delle gallerie è un'altra fase cruciale del processo di adeguamento. Questo intervento include la rimozione delle parti deteriorate del rivestimento in calcestruzzo della galleria, la pulizia della superficie e l'applicazione di un nuovo strato di calcestruzzo armato con reti in fibra di vetro. Inoltre, vengono sigillate le lesioni e ripristinati i giunti di malta, garantendo così la stabilità e la resistenza del rivestimento contro le sollecitazioni meccaniche e le condizioni ambientali avverse.

#### 4.2.5. Demolizione e ricostruzione delle gallerie

Quando l'abbassamento del piano del ferro non risulta possibile, per garantire il transito dei treni elettrificati, si rende obbligatoria la demolizione delle gallerie esistenti, la costruzione di una nuova struttura, infine il ripristino della situazione originale nelle aree al di sopra delle gallerie. Questo avviene in corrispondenza delle gallerie artificiali *Sanzan 1* e *Sanzan 2*, per la presenza del fiume Piave in adiacenza alla ferrovia, che in occasione di importanti piene allaga la linea ferroviaria ed entra nelle gallerie.

Nella figura a seguire viene riportata la nuova sezione delle gallerie *Sanzan 1* e *Sanzan 2*. In tal caso, è previsto l'innalzamento della piattaforma ferroviaria allo scopo di contrastare i fenomeni di allagamento della linea in occasione di importanti piene del fiume Piave.

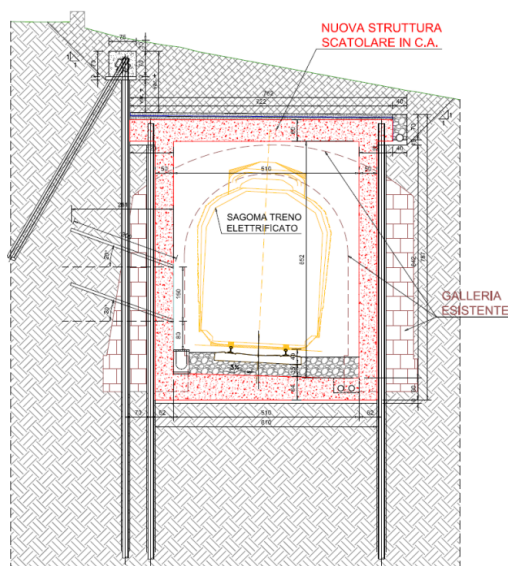


Figura 84 – Nuova sezione gallerie *Sanzan 1* e *Sanzan 2*

#### 4.2.6. Adeguamento dei cavalcaferrovia

Per i cavalcaferrovia sono previsti interventi di demolizione e ricostruzione laddove la sagoma del treno con elettrificazione interferisce con la struttura del cavalcaferrovia ed interventi di montaggio delle barriere di protezione, qualora assenti.

La demolizione e ricostruzione è prevista per i seguenti cavalcaferrovia della tratta Montebelluna – Belluno:

- Cavalcaferrovia situato al kilometro 34 + 406.
- Cavalcaferrovia situato al kilometro 60 + 847.
- Cavalcaferrovia situato al kilometro 78 + 471.

A titolo esemplificativo, viene riportata l'immagine del cavalcaferrovia ubicati in corrispondenza dei chilometri 34 + 406 e 60 + 847 la sezione con l'interferenza tra la struttura dell'opera e la sagoma del treno con elettrificazione, nonché viene riportata la nuova struttura.

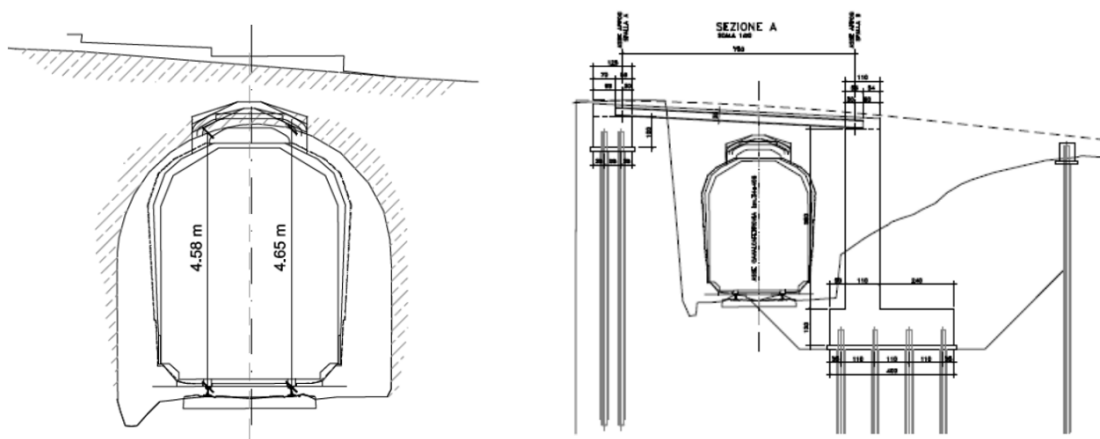


Figura 85 – Confronto tra sezione con l'interferenza tra sagoma del treno e struttura dell'opera (a sinistra) e sezione con la nuova opera e sagoma del treno (sulla destra) per il cavalcaferrovia ubicato al kilometro 34 + 406.

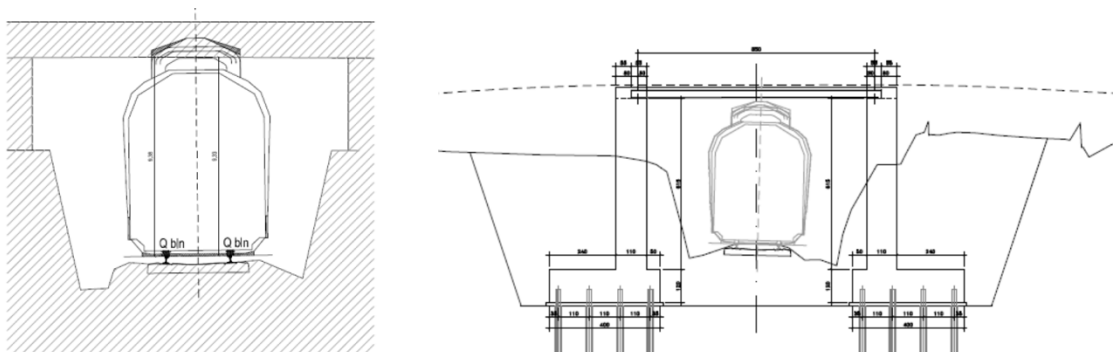


Figura 86 – Confronto tra sezione con l'interferenza tra sagoma del treno e struttura dell'opera (a sinistra) e sezione con la nuova opera e sagoma del treno (sulla destra) per il cavalcaferrovia ubicato al kilometro 60 + 847.

Il montaggio di barriere protettive è previsto nei seguenti cavalferrovia:

- Cavalferrovia situato al kilometro 20 + 804.
- Cavalferrovia situato al kilometro 37 + 092.
- Cavalferrovia situato al kilometro 40 + 630.
- Cavalferrovia situato al kilometro 50 + 679.
- Cavalferrovia situato al kilometro 61 + 011.
- Cavalferrovia situato al kilometro 63 + 184.
- Cavalferrovia situato al kilometro 67 + 885.

## **5. PROCEDURA DI MESSA IN SERVIZIO PER L'ELETTRIFICAZIONE DELLE LINEE FERROVIARIE**

L'elettrificazione di una linea ferroviaria rappresenta una fase cruciale nel processo di modernizzazione e miglioramento delle infrastrutture di trasporto su rotaia. Questo capitolo si concentra sul complesso iter di messa in servizio di una linea ferroviaria elettrificata, una procedura che richiede un'attenta pianificazione e la collaborazione di numerosi stakeholders. Dalle autorità ferroviarie nazionali agli enti certificatori, fino ai fornitori di tecnologie e alle imprese di costruzione, ciascuno svolge un ruolo fondamentale per garantire che il sistema entri in funzione in maniera sicura, efficiente e conforme agli standard richiesti.

Le direttive europee stabiliscono l'importanza del processo di messa in servizio, ponendo l'accento sulla sicurezza, l'interoperabilità e l'affidabilità delle infrastrutture ferroviarie. In particolare, le *Specifiche Tecniche di Interoperabilità* delineano le procedure dettagliate per la verifica CE dei vari sottosistemi e dei componenti di interoperabilità, garantendo che ogni elemento del sistema rispetti i requisiti normativi e tecnici necessari.

Nello specifico, per *Verifica CE* si intende:

*“Procedura effettuata dal Richiedente ai sensi dell’articolo, per dimostrare che i requisiti della pertinente normativa dell’Unione e di tutte le pertinenti norme nazionali relative a un sottosistema sono stati soddisfatti e che il sottosistema può essere autorizzato”*

Questo approccio metodico e normato assicura che le linee ferroviarie elettrificate possano operare all'interno di un contesto europeo armonizzato, facilitando il transito transfrontaliero e migliorando la coesione del mercato ferroviario.

Nelle sezioni che seguono, verranno esplorati i vari stadi del processo di messa in servizio, dalla progettazione preliminare e la valutazione dei rischi, fino ai test finali e alla certificazione. Attraverso un'analisi dettagliata delle procedure e delle normative pertinenti, il capitolo mira a fornire una panoramica esaustiva delle sfide e delle best practice legate all'elettrificazione ferroviaria, con l'obiettivo di offrire un quadro di riferimento utile per professionisti del settore e stakeholder coinvolti.

### **5.1. Procedura per l'ottenimento dell'AMIS - Autorizzazione di Messa in Servizio**

Il Gestore <sup>14</sup> dell'infrastruttura, per aprire al pubblico esercizio i sottosistemi che costituiscono la propria parte di sistema, mette in servizio i sottosistemi, portandoli nello stato di funzionamento di progetto, dopo aver ottenuto le certificazioni e autorizzazioni previste dalla normativa vigente.

L'Autorizzazione di Messa in Servizio di un sottosistema è:

*“il riconoscimento da parte dello Stato membro che, per il sottosistema in parola, il richiedente ha dimostrato che, nello stato di funzionamento di progetto, esso è conforme a tutti i requisiti essenziali della direttiva 2008/57/CE allorché viene integrato nel sistema ferroviario”*

La certificazione AMIS viene rilasciata dall'ANSFISA – Agenzia nazionale per la sicurezza delle ferrovie e delle infrastrutture stradali e autostradali.

Il processo di AMIS dei vari sottosistemi strutturali che costituiscono il sistema ferroviario è regolato da una disciplina normativa Europea e Nazionale. In Europa da:

- *Direttiva Interoperabilità 57/2008.*
- *Direttiva Interoperabilità 797/2016*, come aggiornamento della precedente.
- *D. Lgs. 14 maggio 2019, n. 50.* Attuazione della *direttiva 2016/798* del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 maggio 2016, sulla sicurezza delle ferrovie.
- *Regolamento (UE) N. 402/2013* relativo al metodo comune di sicurezza per la determinazione e valutazione dei rischi e che abroga il *regolamento (CE) n. 352/2009* (modificato dal *Regolamento (UE) 2015/1136*)
- *Specifiche Tecniche di Interoperabilità.*

In Italia da:

- *Linee guida Agenzia nazionale per la sicurezza delle ferrovie (ANSFISA) per il rilascio dell'autorizzazione di messa in servizio di veicoli, sottosistemi strutturali o parti di essi – ultimo aggiornamento al 19/12/2022.*

Il processo di AMIS coinvolge ruoli e responsabilità di un certo numero di soggetti, i principali dei quali sono:

- Il *Richiedente l'AMIS* (o la modifica di AMIS): il firmatario della dichiarazione CE di verifica in conformità alla *direttiva 2008/57/CE* che richiede l'autorizzazione di messa in servizio di un sottosistema. In genere un costruttore o una impresa Ferroviaria.
- *Organismo notificato* o *Notified Body (NoBo)*: organismo designato da uno Stato membro, incaricato di valutare la conformità o l'idoneità all'impiego dei componenti di interoperabilità o di istituire la procedura di *verifica CE* dei sottosistemi. Dunque, il soggetto incaricato dal *Richiedente* della verifica di conformità CE, ovvero l'ottemperanza alle *STI* applicabili.
- *L'Organismo designato* o *Designated Body (DeBo)*: un organismo designato da uno Stato membro in conformità alla *direttiva 2008/57/CE* con il compito di verificare la conformità di un sottosistema alle

---

<sup>14</sup> Qualsiasi organismo o impresa incaricato in particolare della realizzazione, della manutenzione di un'infrastruttura ferroviaria e della gestione dei sistemi di controllo e di sicurezza dell'infrastruttura e della circolazione ferroviaria.

norme nazionali. In altre parole, il soggetto incaricato dal *Richiedente* della verifica di conformità alle regole nazionali applicabili.

- L'OVR – *Organismo di valutazione del rischio (CSM assessor)*: la persona fisica o giuridica, indipendente e competente, esterna o interna, cui competono le indagini volte ad accertare se un determinato sistema possieda i requisiti di sicurezza.
- ANSFISA: l'*Agenzia* autorizza la messa in servizio dei sottosistemi strutturali, costitutivi del sistema ferroviario, che sono installati o gestiti sul territorio nazionale.

*Organismo notificato* ed *Organismo designato* possono coincidere nello stesso soggetto.

Il processo completo si articola in varie fasi, in seguito indicate ed approfondite nei successivi paragrafi:

- Avvio del processo.
- Esecuzione del processo di valutazione di conformità.
- Richiesta di autorizzazione temporanea di messa in servizio per prove in linea (*AMIS* per prove).
- Domanda di autorizzazione alla esecuzione delle prove in linea.
- Esecuzione delle prove in linea.
- Chiusura della *verifica CE*.
- Richiesta di autorizzazione di messa in servizio per esercizio commerciale.

#### **5.1.1. Scopo e campo d'applicazione**

La legislazione europea e nazionale, in particolare la direttiva 2016/797 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 maggio 2016, relativa all'interoperabilità del sistema ferroviario dell'Unione europea, definisce, tra l'altro, il processo di messa in servizio dei sottosistemi strutturali degli impianti fissi. Standardizzando, in questo modo, il suddetto processo e la documentazione da produrre per la messa in servizio dei sottosistemi strutturali degli impianti fissi.

Tale procedura deve obbligatoriamente essere applicata ogniqualvolta vengano apportate modifiche ai sottosistemi strutturali degli impianti fissi del sistema ferroviario nazionale: *Infrastruttura, Energia, Controllo – Comando e Segnalamento a terra*, che impattano sui requisiti essenziali di *sicurezza, affidabilità e disponibilità, salute, protezione dell'ambiente, compatibilità tecnica, accessibilità* e che pertanto richiedono uno specifico *processo di Messa in Servizio (MIS)*.

L'*AMIS* non si applica, invece, agli interventi di manutenzione, sia ordinaria che straordinaria, che non modifichino configurazione, funzioni, nonché le prestazioni preesistenti dei sottosistemi e che non introducano uno scostamento dalla dichiarazione *CE* di verifica già esistente (qualora presente).



### **5.1.2. Classificazione degli interventi**

Le modifiche al sistema ferroviario sono classificabili secondo quattro tipologie di interventi che richiedono l'applicazione di processi di messa in servizio basati su iter autorizzativi diversificati.

Gli interventi su un sottosistema strutturale degli impianti fissi possono essere classificati come di seguito.

#### **5.1.2.1. Intervento non importante**

Lavori non importanti di modifica e/o sostituzione di un sottosistema o di una sua parte che soddisfano tutti i seguenti requisiti:

- L'intervento non introduce modifiche classificate rilevanti, dunque, che non impattano su uno o più requisiti essenziali.
- Per i soli sottosistemi *Infrastruttura ed Energia*, l'intervento interessa esclusivamente una porzione limitata di linea, come: una località di servizio, una tratta ricompresa tra due località di servizio dotate di deviatori nelle quali si possono svolgere incroci, precedenza, cambi di linea e/o di binario.
- Non sono richieste deroghe ai requisiti *STI* applicabili.
- La progettazione e la realizzazione avvengono con standard, metodi e/o prassi già in uso presso il *Gestore* dell'infrastruttura.
- Esistono metodologie per le prove e per la fase realizzativa della messa in servizio in ambito del *Gestore* dell'infrastruttura.
- Non è prevista la realizzazione di nuovi tratti in galleria, o ampliamenti di gallerie esistenti, di estensione superiore a 500 metri, rientranti nel campo di applicazione della *STI Sicurezza nelle gallerie ferroviarie*.
- L'intervento non prevede la realizzazione di nuove stazioni e/o posti di movimento.
- Per il solo sottosistema *Infrastruttura*, l'intervento non prevede la realizzazione di nuove fermate, posti di comunicazione o bivi situati in galleria o caratterizzati da opere civili che presentano soluzioni strutturali innovative.
- Per i soli sottosistemi *Infrastruttura ed Energia*, l'intervento non prevede l'aggiunta di uno o più binari al tracciato di tratte esistenti.
- L'intervento non interessa tratte transfrontaliere o sottosistemi che si interfacciano con infrastrutture di altri gestori, ovvero, in caso contrario, l'intervento non ha alcun impatto sull'interfaccia con altro gestore.

#### **5.1.2.2. Rinnovo**

Lavori importanti di sostituzione di un sottosistema o di una sua parte che non modificano l'insieme delle prestazioni del sottosistema.

A tal fine, per lavoro significativo di sostituzione si deve intendere un progetto intrapreso per sostituire sistematicamente gli elementi di una linea o di una sezione di una linea. Il rinnovo differisce dalla sostituzione nell'ambito della manutenzione, in quanto offre la possibilità di realizzare un percorso conforme alla *STI*.

Un rinnovo è comparabile a una ristrutturazione, con la differenza che non comporta una modifica dei parametri di prestazioni.

### 5.1.2.3. *Ristrutturazione*

Lavori importanti di modifica di un sottosistema o di una sua parte che comportano una modifica della documentazione tecnica che accompagna la *Dichiarazione CE* di verifica, qualora tale documentazione tecnica sia presente, e che migliorano l'insieme delle prestazioni del sottosistema.

### 5.1.2.4. *Nuovo intervento*

Lavori riguardanti la realizzazione di un nuovo sottosistema strutturale prima inesistente (ad esempio, il caso di elettrificazione di una linea, in cui avviene la realizzazione di un nuovo *sottosistema Energia*).

Per *nuova linea* viene intesa una linea che crea un percorso dove prima non ne esisteva alcuno.

## 5.1.3. **Procedura di MIS – Messa in Servizio**

La *Messa in Servizio*, l'insieme delle operazioni mediante le quali un sottosistema è messo in servizio operativo, è l'atto conclusivo di un processo attraverso il quale i gestori dell'infrastruttura mettono nello stato di funzionamento un sottosistema strutturale previa dimostrazione della conformità a tutti i requisiti essenziali e quindi a tutte le normative applicabili (attraverso la dichiarazione di *Verifica CE*).

Il processo di messa in servizio è una procedura fondamentale per garantire la sicurezza, l'efficienza e la conformità degli impianti ferroviari, e si sviluppa in diverse modalità a seconda della tipologia di intervento e del sottosistema coinvolto.

### 5.1.3.1. *Fase di Progettazione e Documentazione Preliminare*

Per ogni intervento da attivare è essenziale predisporre, già dalla fase di progettazione, un *Fascicolo Preliminare*. Questo documento ha il compito di delineare l'iter procedurale da seguire per l'attivazione dell'intervento. Il *Fascicolo Preliminare* è redatto dal *Referente di Progetto (RdP)* con il supporto del *Soggetto Tecnico* e riassume le caratteristiche salienti dell'intervento. Accanto ad esso, per ciascun sottosistema, viene stilato l'*Elenco delle Norme Applicabili*, un documento che elenca tutte le norme rilevanti, incluse quelle non strettamente ferroviarie, come previsto dal *D.Lgs. 57/2019*.

### 5.1.3.2. *Responsabilità e ruoli coinvolti*

Il *Referente di Progetto* è la figura responsabile della realizzazione del progetto o di un portafoglio di progetti assegnati. In qualità di committente, il *RdP* garantisce il conseguimento degli obiettivi in termini di tempi, costi e qualità. Nello specifico, il *RdP* è responsabile dell'attuazione dei processi di messa in servizio dei sottosistemi strutturali degli impianti fissi.

Il *Soggetto Tecnico* è la struttura tecnica, interna o esterna a *RFI*, incaricata dal *RdP*, è responsabile dei servizi di progettazione e direzione lavori, oltre alle eventuali attività tecniche di supporto. Questa struttura può essere delegata a svolgere ulteriori funzioni secondo quanto previsto dalle procedure interne di *RFI*.

#### 5.1.3.3. Documentazione e Aggiornamenti

La documentazione prodotta nell'ambito del processo di messa in servizio deve sempre riflettere lo stato dell'arte del progetto. Pertanto, è necessario aggiornarla ogni qualvolta siano introdotte modifiche progettuali o realizzative.

#### 5.1.3.4. Classificazione degli Interventi

Gli interventi possono essere classificati in tre categorie principali, ciascuna con specifiche procedure di messa in servizio:

- *Interventi Nuovi*: richiedono sempre un'autorizzazione di messa in servizio da parte di ANSFISA. Il processo relativo a questi interventi sarà dettagliato nel *paragrafo 5.1.4*.
- *Interventi di Rinnovo/Ristrutturazione*: in questi casi, il RdP deve solitamente inviare ad ANSFISA una istanza di decisione per determinare la necessità di una nuova autorizzazione di messa in servizio. Il processo per questi interventi sarà trattato nel *paragrafo 5.1.5*.
- *Interventi Non Importanti*: Non prevedono il coinvolgimento di ANSFISA. Il processo di messa in servizio per tali interventi sarà descritto nel *paragrafo 5.1.6*.

#### 5.1.3.5. Processi di Supporto

A seconda della classificazione dell'intervento, possono essere attivati vari processi di supporto, tra cui:

- *Analisi e Gestione dei Rischi*.
- *Verifica CE*.
- *Deroghe alle Specifiche Tecniche di Interoperabilità (STI)*.
- *Approvazione dell'ERA (European Union Agency for Railways) per il progetto ERTMS (European Rail Traffic Management System)*.

Questi processi di supporto verranno approfonditi nei rispettivi paragrafi descrittivi.

### 5.1.4. **Messa in servizio di un nuovo intervento**

L'ottenimento dell'autorizzazione di messa in servizio (MIS) per gli interventi classificati come nuovi è un processo articolato in diverse fasi e coinvolge più soggetti. Di seguito viene descritta in dettaglio la procedura, suddivisa nelle sue fasi principali.

#### 5.1.4.1. Inquadramento dell'Intervento ed Avvio del Processo di MIS

La prima fase consiste nell'inquadramento dell'intervento e nell'avvio del processo di messa in servizio. In questa fase, è fondamentale definire chiaramente l'intervento, identificandone le caratteristiche principali e i requisiti specifici. Questo include la raccolta di tutte le informazioni necessarie per comprendere appieno l'entità e la natura dell'intervento, come i dettagli tecnici, gli obiettivi del progetto e le implicazioni normative.

Durante questa fase, il RdP, con il supporto del *Soggetto Tecnico*, redige il *Fascicolo Preliminare*, includendo l'elenco delle norme applicabili, comprese quelle di derivazione non strettamente ferroviaria.

Questo documento è essenziale per delineare l'iter procedurale da seguire per l'attivazione dell'intervento.

Per inquadrare l'intervento, il *RdP* coadiuvato dal *Soggetto Tecnico incaricato* dovrà inoltre:

- Attivare il processo di *Analisi e Gestione dei Rischi* (si faccia riferimento al *paragrafo 5.2*) per valutare la rilevanza della modifica. Dunque, emettere, secondo i casi, la *Relazione di Verifica di non Rilevanza (RVNR)* o la *Relazione per la Gestione del Rischio (RGR)*. Infine, Inserire le risultanze all'interno *Fascicolo Preliminare*.
- Avviare il processo di *Verifica CE* (dettagliato nel *paragrafo 5.3*), quindi valutare l'eventuale necessità di attivare il processo di *Deroghe alle STI*. Dunque, redigere il *Fascicolo Tecnico*<sup>15</sup> aggiornando, se necessario, l'elenco delle norme applicabili.
- Per progetti che coinvolgono le apparecchiature di *ERTMS* a terra, attivare il processo di *Approvazione ERA del progetto ERTMS* (come specificato al *paragrafo 5.4*) nei casi previsti.
- Predisporre il *Documento Registro Infrastruttura*, nel quale sono riportati, per ciascun sottosistema o parte del sottosistema interessato, le caratteristiche principali del sistema ferroviario e la loro concordanza con le caratteristiche delle *STI* applicabili.
- Redigere il documento di *Tracciatura norme di derivazione non strettamente ferroviaria*<sup>16</sup>, se necessario.

Risulta cruciale stabilire una chiara comunicazione tra tutte le parti per garantire che ognuno sia a conoscenza dei requisiti e delle tempistiche. A tal proposito, *Fascicolo Preliminare* ed *Elenco delle Norme Applicabili*, con allegate le relative *RVNR/RGR*, nonché *Fascicolo Tecnico* e *Documento Registro Infrastruttura* sono da trasmettersi aggiornati agli organismi competenti, con congruo anticipo.

#### 5.1.4.2. Impegno Preliminare per l'autorizzazione di MIS

Una volta completato l'inquadramento dell'intervento, si passa alla fase di impegno preliminare per l'autorizzazione di messa in servizio. Lo scopo principale di questa fase procedimentale è di consentire all'*Agenzia*, di familiarizzare con il progetto, mentre al *RdP* di pianificare le fasi successive, inclusi i dettagli relativi alla procedura di autorizzazione e all'individuazione o eventuale aggiornamento delle norme applicabili.

Il *RdP* provvederà ad avviare, il prima possibile e comunque entro 260 giorni dalla data prevista per la *MIS*, il procedimento di *Autorizzazione di Messa in Servizio* inviandolo all'*ANSFISA*. Tale richiesta, con riferimento allo stato di avanzamento del progetto, avrà come allegati i seguenti documenti:

- Fascicolo Preliminare.
- Relazione di *Verifica di Non Rilevanza* o, secondo i casi, relazione per la *Gestione del Rischio*.
- Elenco delle norme Applicabili.
- Fascicolo Tecnico.
- Rapporto di valutazione della completezza e della pertinenza della normativa di riferimento.

---

<sup>15</sup> È il documento emesso, per ciascun sottosistema interessato, dal *RdP* con il supporto del *Soggetto Tecnico* per l'avvio del processo di *Verifica CE* e per l'effettuazione dell'*Impegno Preliminare* verso *ANSFISA*.

<sup>16</sup> È il documento prodotto dal *Soggetto Tecnico* e inviato al *RdP* che identifica, per ciascun requisito delle *STI* e/o delle norme nazionali adottate a copertura di punti in sospenso, casi specifici o deroghe alle *STI* applicabili al sottosistema interessato, gli elaborati di progetto e di verifica del costruito che permettono di riscontrarne la conformità.

- Rapporto di valutazione di conformità alle linee guida stabilite da ANSFISA.

A tal riguardo risulta necessario effettuare un'analisi dettagliata delle norme tecniche e di sicurezza che l'intervento deve rispettare, assicurandosi che tutte le regolamentazioni applicabili siano prese in considerazione. Il *RdP* e il *Soggetto Tecnico* devono poi preparare tutta la documentazione di supporto necessaria, che può includere studi di fattibilità, analisi dei rischi, rapporti tecnici e altre evidenze richieste per dimostrare la conformità dell'intervento alle normative vigenti.

L'*ANSFISA*, acquisita e verificata positivamente la documentazione inviata dal *RdP*, rilascerà, entro tre mesi dalla richiesta, il proprio *Nulla Osta allo Sviluppo (NOS)*, per la successiva richiesta di *Autorizzazione di Messa in Servizio (AMIS)*.

Questa documentazione deve essere accurata e completa per evitare ritardi o rifiuti nella fase successiva. Potrebbe, risultare utile effettuare una consultazione preliminare con *ANSFISA* per chiarire eventuali dubbi e assicurarsi che tutta la documentazione necessaria sia completa e adeguata. Tale fase di consultazione permette di ricevere feedback preliminari e di apportare eventuali modifiche o integrazioni prima della presentazione formale della richiesta.

Qualora, tra il rilascio del *NOS* e la presentazione della relativa istanza di autorizzazione, siano intercorse modifiche ai presupposti sulla base dei quali il suddetto nulla osta è stato rilasciato, il *RdP* dovrà, contestualmente alla presentazione dell'istanza di autorizzazione, decidere se: produrre una motivata relazione in merito all'applicabilità del *NOS*, presentare una nuova comunicazione di impegno preliminare, presentare direttamente istanza di autorizzazione di messa in servizio, fornendo evidenza della propria volontà di non eseguire la fase di impegno preliminare, assumendosi così la responsabilità degli effetti di tale decisione.

#### 5.1.4.3. *Richiesta di Autorizzazione di Messa in Servizio*

Con la documentazione preliminare pronta e le conformità normative verificate, il *RdP* può procedere con la presentazione della richiesta formale di autorizzazione di messa in servizio ad *ANSFISA*. La richiesta deve includere il *Fascicolo Preliminare* e tutta la documentazione di supporto preparata nelle fasi precedenti. È fondamentale che la comunicazione all'*Agenzia* venga trasmessa dal *RdP* non oltre 160 giorni dalla data di *MIS* pianificata.

*ANSFISA* esamina la richiesta e la documentazione allegata, valutando se l'intervento rispetta tutte le norme di sicurezza e gli standard tecnici applicabili. Entro un mese dal ricevimento della suddetta richiesta, l'*Agenzia* informa il *Richiedente* che il fascicolo è completo o richiede allo stesso informazioni aggiuntive.

Se *ANSFISA* richiede ulteriori informazioni o modifiche, il *RdP* e il *Soggetto Tecnico* devono apportare gli adeguamenti necessari e presentare nuovamente la documentazione rivista per il riesame. Questo processo iterativo può richiedere diverse revisioni fino a quando tutte le richieste dell'agenzia non siano soddisfatte.

All'esito dell'esame delle eventuali integrazioni, l'*Agenzia* informa il *Richiedente* che il fascicolo è completo.

L'Agenzia, dopo aver verificato la completezza, la pertinenza e la coerenza del fascicolo e, nel caso di apparecchiature *ERTMS* a terra, l'osservanza della decisione favorevole dell'*ERA*, rilascia l'*AMIS*. In alternativa, informa il *Richiedente* della decisione negare l'autorizzazione, entro un termine massimo di quattro mesi dalla comunicazione di completezza del fascicolo.

L'autorizzazione può essere emessa anche in forma temporanea nel caso in cui l'*Agenzia* consideri che il sottosistema possa essere messo in servizio sotto particolari condizioni e/o prescrizioni che debbano essere risolte entro un determinato arco temporale.

#### 5.1.4.4. *Consegna della documentazione per la MIS alla DOIT competente*

A completamento del processo di *MIS* il *RdP*, ottenuta l'*Autorizzazione di Messa in Servizio* dall'*ANSFISA*, ne invierà copia alla *Direzione Tecnica* competente, altresì chiamata *DOIT – Direzione Operativa Infrastrutture Territoriale*.

Conseguentemente il *RdP* consegnerà alla *DOIT* competente, (di norma almeno 10 giorni prima della *MIS* e comunque in tempo utile per l'attivazione, tutta la documentazione necessaria al completamento del processo:

- Documentazione prevista dalle norme interne di *RFI* applicabili.
- Documentazione prevista dalla legislazione vigente applicabile.
- *AMIS*.
- *Dichiarazione CE di Verifica*<sup>17</sup> e relativi allegati.
- *Documentazione Tecnica di Accompagnamento* alla *Dichiarazione CE di Verifica*, ovvero: l'insieme della documentazione prodotta/acquisita dall'*OVC – Organismo di valutazione della conformità*<sup>18</sup> costituita dalla *Documentazione di Certificazione* e dalla *Documentazione Tecnica Acquisita*<sup>19</sup>, nonché dalla documentazione relativa al processo di *Analisi e Gestione dei Rischi*.
- *Autorizzazione Deroche* alle *STI* (se pertinente).
- *Documento Registro Infrastruttura*.

La *DOIT* provvederà, ai sensi del *D.Lgs. 57/2019*, all'attivazione del sottosistema strutturale solo dopo aver acquisito dal *RdP* la documentazione di cui sopra, comprese le certificazioni e le autorizzazioni, nonché tutti i permessi necessari ai sensi delle vigenti normative.

---

<sup>17</sup> È il documento emesso dal *Referente di Progetto*, mediante il quale egli dichiara, sotto la sua esclusiva responsabilità, che il sottosistema interessato, il quale è stato sottoposto alle pertinenti procedure di verifica, soddisfa i requisiti della pertinente normativa dell'Unione e di tutte le pertinenti norme nazionali.

<sup>18</sup> Organismo che è stato notificato (*NoBo*) o designato (*DeBo*) dallo Stato membro quale responsabile delle attività di valutazione della conformità rispettivamente alle norme dell'Unione europea o alle norme nazionali, tra cui tarature, prove, certificazioni e ispezioni.

<sup>19</sup> È la raccolta documentale che l'*OVC* acquisisce ai fini del rilascio del *Certificato CE di Verifica*. Tale raccolta documentale è predisposta dal *Referente di Progetto* con il supporto del *Soggetto Tecnico* incaricato e fornita all'*OVC*. Essa contiene di norma la documentazione per la verifica di conformità alle *STI* e alle norme nazionali.

### **5.1.5. Messa in Servizio di interventi a seguito di Rinnovo o Ristrutturazione**

Nei casi di interventi di *Rinnovo* o *Ristrutturazione* il RdP gestirà il processo di *MIS* svolgendo le attività descritte nei seguenti paragrafi.

#### **5.1.5.1. Inquadramento dell'intervento ed avvio del processo di MIS**

La fase d'inquadramento dell'intervento ed avvio del processo di *MIS* si articola in maniera analoga a quanto stabilito nel *paragrafo 5.1.4.1*.

#### **5.1.5.2. Istanza di Decisione all'ANSFISA**

In caso di rinnovo o di ristrutturazione di un sottosistema in esercizio, il RdP deve, di norma, inviare una richiesta di Istanza di decisione all'*Agenzia*, affinché quest'ultima possa esprimersi in relazione alla necessità di una nuova *Autorizzazione di Messa in Servizio (AMIS)*.

Tale istanza deve essere inviata all'*Agenzia* allegando il *Fascicolo Preliminare* con le relative *Relazioni di verifica di non rilevanza* o *Relazioni per la gestione del rischio* e gli *Elenchi delle Norme Applicabili* almeno 410 giorni prima della data prevista per la messa in servizio.

Entro un mese dalla ricezione dell'istanza, l'*Agenzia* esamina il fascicolo tenendo conto della strategia di attuazione indicata nella *STI* applicabile e, qualora ritenga completa la documentazione pervenuta, decide se l'importanza dei lavori giustifichi la necessità di una nuova autorizzazione di messa in servizio. Qualora l'*ANSFISA* ritenesse la documentazione incompleta richiede informazioni aggiuntive, analogamente a quanto definito del *paragrafo 5.1.4.3*.

Nel caso di un intervento di *Rinnovo* o *Ristrutturazione* per il quale l'*ANSFISA* non ritenga necessaria una nuova *AMIS*, il RdP procederà secondo le modalità definite per la messa in servizio relativa agli interventi classificati come *Non Importanti*, dettagliata al *paragrafo 5.1.6*.

#### **5.1.5.3. Impegno Preliminare per l'autorizzazione di MIS**

Vale quanto stabilito per la procedura relativa agli interventi classificati come *Nuovo Intervento*. Si faccia riferimento al *paragrafo 5.1.4.2*.

#### **5.1.5.4. Richiesta di Autorizzazione di Messa in Servizio**

Nel caso di un intervento di *Rinnovo* o *Ristrutturazione* per il quale sia stato avviato il procedimento di autorizzazione di *MIS*, il RdP dovrà procedere alla richiesta di autorizzazione di *MIS* analogamente a quanto già descritto nel *paragrafo 5.1.4.3*., relativo alla medesima procedura per gli interventi classificati come *Nuovo Intervento*.

#### **5.1.5.5. Consegna della documentazione per la MIS alla DOIT competente**

A completamento del processo di *MIS* e dei relativi processi di supporto (*Analisi e Gestione dei Rischi* e *Verifica CE*) il RdP consegnerà alla *DOIT* competente, in tempo utile per la *MIS* (di norma almeno 10 giorni prima della *MIS* e comunque in tempo utile per l'attivazione), la pertinente documentazione, analogamente a quanto già descritto al *paragrafo 5.1.4.4*.

#### **5.1.6. Messa in servizio di interventi non importanti**

Nel caso di interventi classificati come *Non Importanti*, non risulta necessaria alcuna *AMIS* da parte dell'*ANSFISA*. Allora, il processo di *MIS* viene portato a termine internamente dal *Gestore* della rete, nel caso italiano *RFI*.

Il *RdP* gestirà il processo di *MIS* secondo quanto descritto successivamente.

##### *5.1.6.1. Inquadramento dell'intervento ed avvio del processo di MIS*

Allo scopo di inquadrare l'intervento ed avviare il processo di *MIS*, il *RdP*, in collaborazione con il *Soggetto Tecnico* incaricato, dovrà innanzitutto predisporre l'*Elenco delle Norme Applicabili*, quindi, attivare il processo di *Analisi e Gestione dei Rischi* ed emettere, secondo i casi, la *Relazione di verifica di non rilevanza* o la *Relazione per la Gestione del Rischio*, le cui risultanze dovranno essere indicate nel *Fascicolo Preliminare*.

Se previsto, dovrà essere avviato il processo di *Verifica CE*. Inoltre, sarà necessario redigere: *Fascicolo Preliminare*, *Fascicolo Tecnico*, aggiornando l'*Elenco delle norme applicabili* qualora opportuno.

Infine, dovranno essere redatti il *Documento Registro Infrastruttura* ed il *Documento Tracciatura norme di derivazione non strettamente ferroviaria*, se necessario.

Come nei casi precedenti, per la buona riuscita del processo, risulta fondamentale che i documenti vengano trasmessi con tempismo ed aggiornati, agli organismi coinvolti.

##### *5.1.6.2. Consegna della documentazione per la MIS alla DOIT competente*

A completamento del processo di *MIS* e dei relativi processi di supporto (*Analisi e Gestione dei Rischi* e *Verifica CE*) il *RdP* consegnerà alla *DOIT* competente, in tempo utile per la *MIS* (di norma almeno 10 giorni prima della *MIS* e comunque in tempo utile per l'attivazione), la pertinente documentazione, analogamente a quanto già descritto al *paragrafo 5.1.4.4*.



## 5.2. Processo di analisi e gestione dei rischi

Ogni modifica ai sottosistemi strutturali attiva sempre il processo di *Analisi e Gestione dei Rischi*. In questo caso, il *Responsabile di Progetto* incarica il *Soggetto Tecnico* di preparare una *Relazione di Verifica di Non Rilevanza (RVNR)* o una *Relazione per la Gestione del Rischio (RGR)*, insieme al *Fascicolo Preliminare* e all'*Elenco delle Norme Applicabili*. Il *Soggetto Tecnico* è tenuto alla collaborazione con un *Organismo Tecnico (OT)* per verificare che la relazione sia conforme al regolamento UE vigente.

Le proposte di *RGR* e i documenti correlati devono essere prodotti dal *Soggetto Tecnico* entro un termine ragionevole, in linea con le scadenze di messa in servizio. Questo consente all'*Organismo Tecnico* di valutare la rilevanza delle modifiche e di emettere le proprie valutazioni entro 30 giorni.

Indipendentemente dall'esito della valutazione iniziale di rilevanza espressa nella *Relazione per la Gestione del Rischio*, il *RdP* invia tale relazione all'*Organismo di Valutazione del Rischio (OVR)* per le valutazioni di competenza. Attraverso il *Soggetto Tecnico* incaricato, il *RdP* monitora costantemente l'evoluzione del progetto per garantire la conformità ai requisiti di sicurezza.

L'*OVR* incaricato, dopo aver ricevuto la documentazione dal *RdP*, analizza e valuta le informazioni contenute. Sulla base di questa analisi, l'*OVR* redige un *Rapporto di Valutazione di Sicurezza (RVS)*. Questo rapporto ha l'obiettivo di verificare se il progetto soddisfa i requisiti di sicurezza stabiliti, identificare eventuali criticità e fornire raccomandazioni per garantire che il progetto sia sicuro per l'implementazione. In sostanza, il *Rapporto di Valutazione di Sicurezza* rappresenta una verifica formale e strutturata della sicurezza del progetto, basata sulla documentazione e sulle analisi fornite dal *RdP*.

All'ultimazione del processo di *Analisi e Gestione dei Rischi*, il *RdP* provvede all'emissione del *Dossier di Accettazione di Sicurezza (DAS)*<sup>20</sup> secondo i criteri e le modalità stabilite. Questo dossier è un documento formale che certifica che tutte le attività di gestione del rischio sono state completate con successo e che il progetto rispetta tutti i requisiti di sicurezza previsti. Il *DAS* include:

- *Descrizione del progetto*: Informazioni dettagliate sul progetto e sulle sue caratteristiche principali.
- *Analisi dei rischi*: una sintesi delle analisi dei rischi condotte, comprese le metodologie utilizzate e i risultati ottenuti.
- *Misure di mitigazione*: elenco delle misure adottate per mitigare i rischi identificati.
- *Valutazione della sicurezza*: valutazioni e verifiche eseguite per garantire la conformità ai requisiti di sicurezza.
- *Documentazione di supporto*: tutti i documenti e le prove che supportano le conclusioni del *DAS*, come relazioni di test, certificazioni, e approvazioni da parte di organismi competenti.

Una volta emesso, questo dossier serve come prova formale che il progetto può essere considerato sicuro per l'implementazione e l'operatività.

---

<sup>20</sup> È il documento attraverso il quale il *Richiedente*, sotto la sua esclusiva responsabilità, fornisce le evidenze che il *Richiedente* stesso e le entità coinvolte nella progettazione, fabbricazione, verifica e convalida di un'applicazione generica abbiano adempiuto i rispettivi obblighi e responsabilità, al fine di garantire la conformità con i requisiti imposti dalla normativa in vigore.

### **5.3. Processo di verifica CE**

Di norma, ogni modifica ad un sottosistema strutturale determina l'attivazione del processo di *Verifica CE*. In particolare, il processo di *Verifica CE* deve essere sempre attivato in caso di *Nuovi interventi*, *Rinnovi* e *Ristrutturazioni*, nonché qualsiasi intervento di modifica ad un sottosistema già precedentemente certificato ed interventi di realizzazione di nuove località di servizio o fermate.

Per gli interventi classificati come *Non Importanti*, che interessano un ridotto numero di parametri tale da rendere non significativa o addirittura non attuabile l'attività di certificazione a livello di sottosistema strutturale, il *RdP* può valutare di non attivare il processo di *Verifica CE*, motivando opportunamente la propria scelta all'interno del *Fascicolo Preliminare*. Infatti, la certificazione di un sottosistema assume una valenza significativa solamente se ricomprende un insieme coerente di parametri che concorrono al rispetto dei requisiti essenziali. Elementi singoli, pur essendo conformi, potrebbero non garantire singolarmente la conformità del complesso di cui fanno parte, dovendo la conformità del sottosistema essere globalmente verificata. Al contrario, qualora l'intervento classificato come *Non importante*, si inserisca in uno di portata più ampia che interessi un intero sottosistema, sebbene comprenda un ridotto numero di elementi, il processo di *Verifica CE* si rende necessario.

Alcune tipologie di interventi per i quali il processo di *Verifica CE*, previa effettuazione della suddetta valutazione, potrebbe non essere attivato, sono: la soppressione di passaggi a livello, la trasformazione di stazioni in fermate, eliminazione deviatori e relativi scambi elettrici, eliminazione binari secondari e relative linee aeree, eliminazione marciapiedi, singolo rinnovo di una sottostazione elettrica o cabina TE, spostamento o eliminazione di segnali.

#### **5.3.1. Esecuzione del processo di verifica**

La *Dichiarazione CE di verifica*<sup>21</sup> per i sottosistemi strutturali attesta che il sottosistema sia conforme ai requisiti essenziali di sicurezza e prestazione stabiliti dalle normative europee. Tali dichiarazioni dovranno essere rilasciate dal *RdP* previa esecuzione delle procedure di valutazione di conformità, note come *Verifica CE*, eseguite da organismi di certificazione competenti (*OVC*). Questi organismi indipendenti valutano se il sottosistema soddisfa tutti i requisiti necessari attraverso una serie di controlli, test e ispezioni. Solo dopo che l'*OVC* ha confermato la conformità del sottosistema, il *RdP* può rilasciare le *Dichiarazioni CE di verifica*, certificando ufficialmente che il sottosistema è sicuro e conforme agli standard europei.

All'avvio del processo di *verifica CE* il *RdP* collabora con il *Soggetto Tecnico* e con la struttura *Certificazione Standard Interoperabilità* della *Direzione Tecnica* competente. Insieme, promuovono una riunione di coordinamento con gli *Organismi di Verifica della Conformità (OVC)* incaricati, con lo scopo di garantire una chiara comprensione delle responsabilità e delle procedure da parte di tutti gli interlocutori coinvolti, così da assicurare una certificazione efficace e conforme agli standard richiesti. Durante questa riunione, vengono discusse le seguenti questioni:

---

<sup>21</sup> È il documento emesso dal *RdP*, mediante il quale egli dichiara, sotto la sua esclusiva responsabilità, che il sottosistema interessato, il quale è stato sottoposto alle pertinenti procedure di verifica, soddisfa i requisiti della pertinente normativa dell'Unione e di tutte le pertinenti norme nazionali.

- Strategia di certificazione: viene determinato l'approccio migliore per condurre la *verifica CE*, considerando i requisiti specifici del progetto e le normative applicabili. Si stabilisce come verranno effettuati i controlli e i test per garantire la conformità del sottosistema.
- Modalità di emissione delle *Dichiarazioni CE di Verifica*: si definisce il processo attraverso il quale verranno emesse le *Dichiarazioni CE di verifica* una volta completata con successo la *verifica CE*. Questo include la documentazione necessaria, i criteri di accettazione e i tempi previsti per l'emissione delle dichiarazioni.

Per ottenere la documentazione di certificazione necessaria, il *RdP*, mediante il *Soggetto Tecnico* incaricato, fornisce all'*OVC* tutto il materiale necessario allo svolgimento delle verifiche di conformità (eseguite sempre dall'*OVC*).

Il *RdP* fornirà all'*OVC* il *Documento di Tracciatura*, il quale riassume la correlazione tra gli elaborati di progetto e i requisiti stabiliti dalle *Specifiche Tecniche di Interoperabilità* e dalle norme nazionali adottate. Inoltre, il *RdP* assicurerà che siano resi disponibili all'*OVC* le *Dichiarazioni CE di Conformità* emesse ai sensi del *Decreto Legislativo 57/2019* dai fabbricanti dei componenti di interoperabilità interessati dalla modifica o dall'aggiunta forniti nei sottosistemi soggetti al processo di *Verifica CE*. L'insieme delle dichiarazioni, attesa che i componenti soddisfano i requisiti di conformità previsti dalla normativa, contribuendo così a garantire che l'intero sistema sia conforme agli standard di sicurezza e interoperabilità richiesti.

L'*OVC*, esaminata la *Documentazione Tecnica Acquisita (DTA)*<sup>22</sup>, una volta portate a termine le attività previste dalla procedura da adottare per lo svolgimento della *verifica CE*, rilascia il *Certificato CE di Verifica* predisponendo ed inviando al *RdP* la *Documentazione Tecnica di accompagnamento alla Dichiarazione CE di Verifica*<sup>23</sup>. In sostanza, questa documentazione fornisce una traccia completa delle attività svolte durante il processo di verifica, consentendo al *RdP* di avere una visione chiara e completa del lavoro eseguito dall'*OVC* e delle conclusioni raggiunte.

### **5.3.2. Effettuazione di prove**

Durante la realizzazione di modifiche o l'installazione di nuovi sottosistemi negli impianti fissi, vengono condotte diverse tipologie di prove. Le modalità di esecuzione di tali prove sono specificate in procedure, standard e documenti dedicati.

In particolare, risultano da effettuarsi una serie di prove con veicoli finalizzate alla messa in servizio dell'armamento e della linea di contatto, nelle quali avviene la misura dei parametri della dinamica di marcia e verifica della qualità della captazione. La realizzazione delle suddette prove deve avvenire con la supervisione dell'*Organismo di Verifica della Conformità* nel ruolo di soggetto responsabile delle prove, impiegando treni diagnostici per le corse prova e affidandosi a specifici laboratori. Durante le corse

---

<sup>22</sup> Tale raccolta documentale è predisposta dal *RdP* con il supporto del *Soggetto Tecnico* incaricato e fornita all'*OVC* in conformità a quanto previsto dal *D.Lgs. 57/2019*. Essa contiene di norma la documentazione per la verifica di conformità alle *STI* e alle norme nazionali.

<sup>23</sup> Insieme della documentazione prodotta/acquisita dall'*OVC* costituita dalla *Documentazione di Certificazione* e dalla *Documentazione Tecnica Acquisita*, nonché dalla documentazione relativa al processo di *Analisi e Gestione dei Rischi*.

prova, vengono rispettate le prescrizioni di esercizio fornite dalla *Struttura organizzativa (SO) Normativa Tecnica, Circolabilità ed Analisi di Rischio di Sistema*<sup>24</sup>, così come le procedure di prova stabilite dall'OVC e i protocolli di monitoraggio dei laboratori.

A tale scopo, il *RdP*, con il supporto del *Soggetto Tecnico* e coinvolgendo le competenti strutture di *RFI* e *l'OVC*, richiede alla *S.O. Normativa Tecnica, Circolabilità ed Analisi di Rischio di Sistema* la definizione dei provvedimenti di esercizio necessari. Dunque, vengono allegati alla richiesta

- La *Certificazione del sottosistema Infrastruttura*, che attesta la conformità del sistema ai requisiti normativi e di sicurezza.
- L'evidenza degli esiti positivi delle prove di controllo della geometria della linea di contatto, che confermano la corretta installazione e funzionalità della linea elettrica.
- La procedura di prova emessa dall'OVC in cui saranno dettagliati:
  - Il tratto di linea oggetto delle verifiche.
  - L'ipotesi di circolazione del convoglio di prova specificando le località di origine e termine di ciascuna corsa prova.
  - Lo stato degli impianti di segnalamento di terra.
  - La descrizione del convoglio di prova strumentato da impiegare.
  - Le procedure di monitoraggio impiegate dai laboratori.
  - Le funzioni di protezione della marcia del treno disponibili in relazione allo stato degli impianti di segnalamento di terra e del tipo di prove da eseguire.

Una volta ricevuta la documentazione, la *S.O. Normativa Tecnica, Circolabilità ed Analisi di Rischio di Sistema* emette la *Prescrizione di esercizio* in conformità alle procedure del sistema di gestione della sicurezza applicabili. Gli esiti delle prove vengono integrati nella *Documentazione Tecnica di Accompagnamento alla Dichiarazione CE di Verifica (DTCE)*.

### **5.3.3. Emissione della Dichiarazione CE di Verifica**

Acquisita dal *RdP* la documentazione di certificazione e la documentazione relativa al processo di *Analisi e Gestione dei Rischi*, sarà inviata alla *Direzione Tecnica* competente, unitamente allo schema di *Dichiarazione CE di Verifica* e al *Documento Registro Infrastruttura*, per il parere di competenza con congruo anticipo e comunque almeno 3 giorni lavorativi prima della data prevista per la relativa emissione.

Acquisito il benestare della *Direzione Tecnica*, il *RdP* provvederà alla firma della *Dichiarazione CE di Verifica* e all'invio della stessa all'ANSFISA all'atto della richiesta di *AMIS*.

---

<sup>24</sup> Struttura RFI che si occupa di tali prerogative.

#### **5.4. Processo di deroga alle STI**

Il processo *Deroghe alle STI* ha origine quando, secondo i casi previsti dal *D.Lgs. 57/2019*, è necessario derogare dall'applicazione parziale o totale delle *Specifiche Tecniche di Interoperabilità*. La deroga alle *STI* dev'essere approvata dalla Commissione Europea, alla quale viene inoltrata un'istanza di richiesta mediante il *Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT)*.

Prima della trasmissione al *MIT* dell'istanza di deroga, sarà necessario ottenere il parere vincolante di *ANSFISA* in merito all'idoneità delle disposizioni alternative adottate. Tale richiesta di parere è gestita dalla *Direzione Tecnica* con il coinvolgimento del *RdP*.

Per lo svolgimento del processo *Deroghe alle STI*, il *RdP* dovrà innanzitutto emettere, con il supporto del *Soggetto Tecnico* incaricato, le relative *Relazione per la Gestione del Rischio e Valutazione di impatto sull'interoperabilità* da condividere con la *Direzione Tecnica* competente. I suddetti documenti dovranno essere trasmessi in seguito agli *OVC* e *OVR* per l'emissione dei rispettivi rapporti di valutazione da inviare, sempre alla *Direzione Tecnica* competente, assieme al *Fascicolo Deroghe alle STI*. In questo modo, la *Direzione Tecnica* competente, almeno 12 mesi prima della data prevista di *MIS*, provvederà ad effettuare la Richiesta di parere riguardo l'istanza di deroga ad *ANSFISA* e per conoscenza al *Rdp*.

L'*ANSFISA*, potendo anche, entro un mese dalla ricezione dell'istanza fare richiesta di integrazione della documentazione, rilascerà il proprio parere entro il termine di 4 mesi dalla ricezione di tutte le informazioni.

La *Direzione Tecnica*, ottenuto il parere da parte di *ANSFISA*, ne trasmetterà l'esito al *RdP*.

La richiesta di *deroga alle STI* dovrà essere inviata da *Direzione Tecnica* al *MIT* entro 6 mesi dalla data di *MIS* completa del *Fascicolo Deroghe alle STI*, del parere di *ANSFISA*, di tutte le altre informazioni necessarie, tra le quali eventuali contratti di appalto relativi all'intervento oggetto di deroga e un cronoprogramma delle attività.

Il *MIT* trasmetterà la richiesta di deroga alla Commissione Europea entro due mesi dalla ricezione della stessa. Il *MIT* stesso, si occuperà poi di fornire il riscontro della decisione da parte della Commissione in merito alla richiesta di deroga al *Richiedente* e alla *Direzione Tecnica*, che ne comunicherà l'esito al *RdP*.

In assenza di decisione da parte della Commissione Europea nei quattro mesi successivi alla presentazione della richiesta questa si considera accolta.

Il processo *Deroghe alle STI* deve concludersi prima della data di rilascio dell'*AMIS* e sarà ripetuto ogniqualvolta se ne manifesti la necessità a seguito della emissione di una nuova *STI* prima della *MIS*.

### **5.5. Processo approvazione ERA del progetto ERTMS**

Prima di qualsiasi gara di appalto che coinvolga le apparecchiature *ERTMS* a terra, per qualsiasi intervento al sottosistema *Controllo Comando Segnalamento a terra* classificato come *Nuovo, Rinnovo o Ristrutturazione* che necessita di *AMIS* in base alla decisione espressa dall'*ANSFISA*, si dovrà presentare all'*ERA* idonea domanda di approvazione.

Il rapporto con l'*ERA* per la presentazione della suddetta domanda è gestito dalla *Struttura Organizzativa (S.O.)* competente di *RFI*.

Al fine di presentare all'*ERA* la domanda di approvazione del progetto *ERTMS*, dovrà essere inviato alla *S.O.* competente di *Direzione Tecnica* il Fascicolo Preliminare, unitamente a tutta la documentazione disponibile prima della gara di appalto. La documentazione deve includere:

- Il progetto di capitolato d'oneri o la descrizione delle soluzioni tecniche previste.
- Prove documentali delle condizioni necessarie alla compatibilità tecnica e operativa del sottosistema con i veicoli destinati a circolare sulla rete di cui trattasi.
- Prove documentali della conformità delle soluzioni tecniche previste alle pertinenti STI.
- Eventuali documenti pertinenti così come previsto dalla linea guida ERA (ved. Rif. [34]), quali pareri dell'*ANSFISA*, dichiarazioni di verifica o certificati di conformità.
- Il cronoprogramma dei lavori previsti nell'ambito dell'intervento.

Nel corso del procedimento, il *RdP*, con il supporto del *Soggetto Tecnico*, dovrà fornire alla *S.O.* competente di *Direzione Tecnica* l'eventuale ulteriore documentazione richiesta dall'*ERA* per il rilascio dell'approvazione del progetto *ERTMS*.

Entro e non oltre un mese dal ricevimento della domanda, l'*ERA* fornirà un riscontro al *Richiedente* circa la completezza del fascicolo oppure richiederà pertinenti informazioni aggiuntive entro un termine da essa fissato. Invece, entro due mesi dal ricevimento di tutte le informazioni pertinenti, fornirà una decisione favorevole o invierà, alternativamente, una comunicazione circa le eventuali carenze.

Qualora le carenze individuate dall'*ERA* siano condivise, il *RdP* provvederà a far apportare le necessarie rettifiche al progetto facendo pervenire all'*ERA*, tramite la *S.O. competente*, una nuova domanda di approvazione.

Come per il caso del processo di *deroghe alle STI*, l'iter di *Approvazione ERA del progetto ERTMS* dovrà concludersi in tempo utile per la richiesta di *AMIS*.



## **6. ANALISI DEI COSTI DELL'ELETTRIFICAZIONE FERROVIARIA E CONFRONTO CON IL SISTEMA DI TRAZIONE DIESEL**

L'elettificazione ferroviaria rappresenta una delle principali innovazioni tecnologiche volte a migliorare l'efficienza e la sostenibilità del trasporto ferroviario. Tuttavia, il processo di elettificazione comporta una serie di costi iniziali che, sebbene elevati, possono essere giustificati da risparmi e benefici a lungo termine. Questo capitolo si propone di analizzare e confrontare i costi associati all'elettificazione ferroviaria rispetto all'utilizzo di treni diesel, esaminando non solo i costi diretti di installazione, ma anche quelli legati alle infrastrutture e alle apparecchiature necessarie. L'obiettivo finale è determinare un costo medio per l'elettificazione applicabile in contesti diversi.

L'installazione di una linea elettrificata richiede investimenti significativi, sia per la posa della linea di contatto, sia per la realizzazione di un'infrastruttura che garantisca un'alimentazione continua e affidabile dei treni. Inoltre, risulta necessario implementare sistemi di controllo, comando e segnalamento per assicurare efficienza e sicurezza dell'esercizio ferroviario. A questi costi si aggiungono quelli per l'adeguamento delle infrastrutture esistenti, come ponti e gallerie, per garantire la sicurezza e l'efficienza dell'intero servizio, nonché assicurare la conformità alle *Specifiche Tecniche di Interoperabilità* valide a livello europeo.

La tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno* presenta delle peculiarità che rendono l'analisi dei costi particolarmente interessante. Situata in un territorio pedemontano, questa linea ferroviaria attraversa un'area caratterizzata dalla presenza di un fiume, variazioni altimetriche, numerosi ponti e gallerie. Questi elementi comportano sfide tecniche e logistiche che influenzano significativamente i costi di elettificazione. Tuttavia, non essendo l'elettificazione di questa tratta ancora ultimata, risulta difficile ottenere una visione d'insieme da un progetto ancora in fase di realizzazione.

Pertanto, allo scopo di fornire un'analisi dei costi più completa e rappresentativa, oltre a considerare la tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno*, si farà riferimento ad altre tratte ferroviarie la cui elettificazione, sempre a 3 kV in corrente continua, è già stata ultimata. Questo approccio consentirà di identificare i fattori comuni e specifici che influenzano i costi dell'elettificazione, offrendo una panoramica più ampia e articolata del processo.

Attraverso l'analisi di questi esempi concreti, sarà possibile delineare un costo standard per un progetto di elettificazione ferroviaria, considerando ogni variabile in gioco. Si evidenzierà come l'installazione della linea di contatto rappresenti solo una parte del costo complessivo, che include anche opere di ingegneria civile, infrastrutture accessorie e gli interventi necessari per la conformità alle *STI*. Inoltre, verranno confrontati i costi operativi di una linea elettrificata rispetto a una linea servita da treni diesel, per offrire una valutazione complessiva e ponderata della convenienza economica e ambientale delle due soluzioni.

In conclusione, questo capitolo intende fornire una comprensione approfondita dei costi associati all'elettificazione ferroviaria, esplorando le diverse componenti e le sfide tecniche specifiche della tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno*, nonché di altre linee ferroviarie già completate, per offrire una visione globale e dettagliata del tema.



### 6.1 Il Costo dell'Elettrificazione: Analisi Dettagliata delle Componenti e delle Variabili

L'elettrificazione ferroviaria comporta una serie di costi complessi e variabili che dipendono da molteplici fattori, tra cui le caratteristiche geografiche e infrastrutturali della linea ferroviaria in esame. Per comprendere appieno questi costi, verrà analizzata la tratta *Treviso - Montebelluna - Belluno*, che si sviluppa in un territorio pedemontano caratterizzato dalla presenza del fiume Piave. Questa tratta presenta numerose gallerie, ponti e cavalcaferrovia, rendendola un esempio particolarmente significativo di come le condizioni geografiche possano influenzare i costi di elettrificazione.

Come già affermato nei capitoli precedenti, gli interventi previsti per l'elettrificazione a 3 kV in corrente continua della tratta *Treviso - Montebelluna - Belluno* sono:

- Posa della linea di contatto per un'estensione d'intervento di 85,09 km e realizzazione delle relative infrastrutture.
- Realizzazione di quattro nuove sottostazioni in Montebelluna, Alano, Feltre, Sedico.
- Realizzazione di una nuova cabina TE in Treviso.
- Adeguamento/rifacimento di dodici gallerie.
- Demolizione e ricostruzione di tre cavalcaferrovia.

Considerando la particolarità della tratta *Treviso - Montebelluna - Belluno*, caratterizzata da un maggior numero di gallerie e ponti rispetto alle linee ferroviarie convenzionali, e come questa si trovi ancora in fase di realizzazione, si fa riferimento anche all'elettrificazione delle seguenti tratte<sup>25</sup>: *Camposampiero - Cittadella - Bassano*, *Conegliano - Belluno*. La prima, si sviluppa principalmente in territorio pianeggiante, di conseguenza non si registra la presenza di gallerie. La seconda, presenta caratteristiche simili alla tratta *Treviso - Montebelluna - Belluno*, sviluppandosi nello stesso territorio pedemontano.

Nello specifico, gli interventi pianificati per le tratte suddette, hanno previsto:

- Tratta *Camposampiero - Cittadella - Bassano*:
  - Posa della linea di contatto per un'estensione totale di 26,17 km e realizzazione delle relative infrastrutture.
  - Realizzazione di una nuova sottostazione elettrica in Bassano del Grappa.
  - Realizzazione di due nuove cabine TE in Cittadella e Bassano del Grappa.

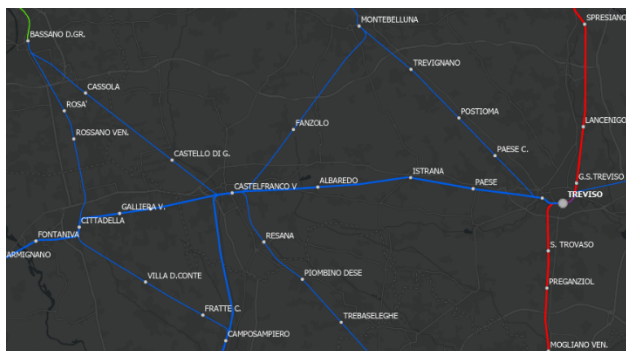


Figura 87 – Tratta Camposampiero – Cittadella – Bassano

<sup>25</sup> Il progetto di elettrificazione per le tratte in questione è già stato ultimato

- *Tratta Conegliano – Belluno:*
  - Posa della linea di contatto per un'estensione complessiva di 50,21 km e realizzazione delle relative infrastrutture.
  - Realizzazione di una nuova sottostazione elettrica in Ponte delle Alpi e Nove.
  - Realizzazione di una nuova cabina TE in Conegliano.

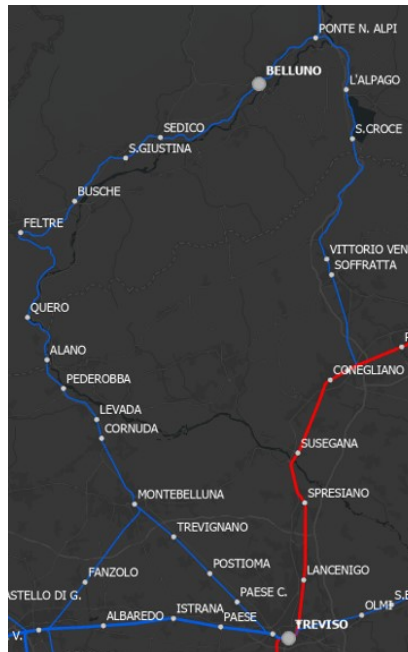


Figura 88 – Tratta Conegliano – Belluno

L'elettrificazione delle suddette tratte avviene a 3 kV in corrente continua.

L'analisi dei costi verrà articolata in diverse sezioni, prendendo in esame le varie componenti dell'elettrificazione, dai costi di installazione della linea di contatto alle infrastrutture elettriche necessarie, fino agli interventi per l'adeguamento delle strutture esistenti. Questo approccio consentirà di delineare una stima complessiva e dettagliata dei costi associati a un progetto di elettrificazione, fornendo un quadro chiaro e preciso delle risorse necessarie per la sua realizzazione.

### 6.1.1. Costi di installazione della linea di contatto

I costi di installazione della linea di contatto sono tra i più impattanti se si considerano gli oneri connessi al processo di elettrificazione ferroviaria. Questa componente, fondamentale per la trasmissione dell'energia elettrica ai treni, richiede, infatti, una serie di interventi infrastrutturali e tecnici che contribuiscono in modo significativo all'entità complessiva dei costi.

I costi associati all'installazione della linea di contatto risultano principalmente determinati dal costo della manodopera e dal costo dei materiali:

- **Materiali:** L'acquisto dei cavi di contatto, costituiti da materiali ad alta conducibilità (rame ed alluminio), la realizzazione dei pali di sostegno, caratterizzati da apposite specifiche prestazionali, nonché la realizzazione delle fondazioni, sistemi di ancoraggio e tensionamento, rappresenta una parte consistente dell'intero budget. Naturalmente, i costi dei materiali variano in base alla qualità e alla quantità necessaria per coprire la lunghezza della linea ferroviaria.
- **Manodopera:** L'installazione della linea di contatto richiede personale specializzato.

Nella tabella di seguito vengono riportati costi per l'installazione della linea di contatto stimati (l'operazione di posa della linea di contatto non è ancora stata ultimata) per la tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno*:

INSTALLAZIONE LINEA DI CONTATTO TREVISO – MONTEBELLUNA – BELLUNO		
FONDI PER APPALTATORI E/O TERZI	(1)	13 900 000 €
COSTO PER I MATERIALI		10 625 000 €
LAVORI IN ECONOMIA	(2)	973 000 €
IMPREVISTI		1 258 850 €
SPESE GENERALI	(3)	535 137 €
<b>COSTO TOTALE</b>		<b>27 291 987 €</b>

1. COSTO DEI LAVORI ESEGUITI DALL'APPALTATORE PER LA REALIZZAZIONE DELLA LINEA DI CONTATTO.
2. COSTO RELATIVO ALLE INTERRUZIONI, NONCHÉ IL COSTO DEL PERSONALE INTERNO A RFI: PERSONALE PER LA MANODOPERA, PERSONALE DI SCORTA, DIREZIONE.
3. ALIQUOTA AGGIUNTA, STIMATA IN QUESTO CASO AL 2 %, A QUESTI COSTI PER TENER CONTO DELL'ONERE ECONOMICO DERIVANTE DALLA GESTIONE AMMINISTRATIVA DEL PROGETTO.

Tabella 6.1 – costi di installazione della linea di contatto tratta Treviso – Montebelluna – Belluno

I costi di installazione della linea di contatto, indicati nella tabella in seguito, comprendono ogni aspetto del processo: dall'acquisto dei singoli materiali, all'operazione di posa, fino alla manodopera e ai componenti necessari. Di conseguenza, questi costi sono da intendersi esaustivi, poiché coprono tutte le fasi e gli elementi necessari per l'installazione completa della linea di contatto.

TRATTA	ESTENSIONE DI INTERVENTO	COSTO DI INSTALLAZIONE DELLA LINEA DI CONTATTO	COSTO PER CHILOMETRO
TREVISO – MONTEBELLUNA – BELLUNO	85,09 km	27 291 987 €	320 743 €/km
CONEGLIANO – BELLUNO	50,21 km	18 333 908 €	365 145 €/km
CAMPOSAMPIERO – CITTADELLA – BASSANO	26,17 km	13 158 194 €	502 797 €/km

Tabella 6.2 – Costi di installazione della linea di contatto per tratta

Il costo per chilometro per l'installazione della linea di contatto si attesta tra 300.000 €/km ÷ 500.000 €/km. Come si evince dalla tabella, il costo per le due tratte pedemontane risulta molto simile. Tuttavia, la differenza tra il costo delle due tratte pedemontane e la tratta che si sviluppa, da Camposampiero a Bassano, in territorio pianeggiante è ampia ed è legata a diversi fattori. Questi includono il numero di pali e la tipologia di sostegni utilizzati<sup>26</sup>, le tipologie di mensole ed altri componenti impiegati.

Inoltre, nelle gallerie, di cui i tracciati pedemontani sono ricche, vengono utilizzati appositi sostegni: i consueti pali per la piena linea, non possono essere installati in questi contesti. Appare chiaro come l'adozione di una tale soluzione di traduca in una differenza significativa in termini di costi. Infatti, questi necessitano solamente di essere ancorati, con apposite tecniche e dispositivi, alla volta della galleria, mentre l'installazione di un sostegno del tipo palo *LSU* o di un portale richiede appositi blocchi di fondazione, tiranti, e altre strutture di supporto che rappresentano senza dubbio un onore rilevante. Di conseguenza, la differenza di costo tra le due soluzioni può essere notevole.

Pertanto, il costo può variare significativamente da tratta a tratta, a seconda delle soluzioni adottate e dei componenti installati.

### 6.1.2. Costi delle Infrastrutture Elettriche

Le infrastrutture elettriche, quali le *SSE* e le cabine *TE*, sono elementi essenziali nell'ambito dell'elettrificazione ferroviaria. Queste comprendono le relative apparecchiature di alimentazione, controllo e protezione, i quadri elettrici, oltre ai sistemi di controllo e monitoraggio, nonché di gestione dell'energia.

I costi delle infrastrutture elettriche dipendono da diversi fattori che influenzano significativamente l'entità dell'investimento necessario per la loro realizzazione e il loro funzionamento.

- La capacità e la potenza che la sottostazione deve gestire rappresentano uno dei principali fattori di costo. Maggiore è la potenza richiesta, più grandi e complessi saranno i trasformatori, i convertitori e le apparecchiature elettriche necessarie. Di conseguenza, il costo complessivo aumenterà con l'incremento della capacità.

<sup>26</sup> A titolo di esempio, un portale d'ormeggio può in media costare dalle 5 ÷ 10 volte in più rispetto un singolo palo *LSU*, una trave *Mec*, utilizzata nel caso in cui le condizioni locali non consentano l'impiego di un portale d'ormeggio, presenta un costo ancora maggiore.

A tal proposito, nella tabella sottostante sono riportate le potenze dei gruppi di conversione installati per le sottostazioni elettriche afferenti alle tratte considerate:

SOTTOSTAZIONE ELETTRICA	TRATTA	POTENZA GRUPPI DI CONVERSIONE
SSE DI MONTEBELLUNA	TREVISO – MONTEBELLUNA - BELLUNO	2 GRUPPI DA 3,6 MW
SSE DI ALANO	TREVISO – MONTEBELLUNA - BELLUNO	
SSE DI FELTRE	TREVISO – MONTEBELLUNA - BELLUNO	
SSE DI SEDICO	TREVISO – MONTEBELLUNA - BELLUNO	
SSE DI BASSANO DEL GRAPPA	CAMPOSAMPIERO – CITTADELLA – BASSANO	
SSE DI NOVE	CONEGLIANO – BELLUNO	
SSE DI PONTE NELLE ALPI	CONEGLIANO – BELLUNO	

Tabella 6.3 – Potenza gruppi di conversione delle sottostazioni elettriche

- Un aspetto rilevante è rappresentato dai sistemi ausiliari, che contribuiscono in maniera non trascurabile al costo complessivo delle infrastrutture elettriche. Tali oneri sono legati: alla realizzazione dei sistemi di sorveglianza e monitoraggio, dell’impianto di illuminazione, nonché dell’impianto antincendio, cruciale per prevenire e gestire eventuali emergenze.
- La posizione geografica della sottostazione influisce sui costi di costruzione e installazione. In aree urbane, i costi del terreno e delle opere civili possono essere significativamente più alti rispetto alle aree rurali. Inoltre, la difficoltà di accesso al sito e le condizioni del terreno possono aumentare i costi di preparazione del sito e di costruzione.
- I costi della manodopera sono un'altra componente significativa. La costruzione e l'installazione delle infrastrutture elettriche, richiedono, infatti, personale altamente specializzato ed operai qualificati.
- I costi delle opere civili, come per la costruzione dei fabbricati, la preparazione dei piazzali e l'installazione delle fondamenta, sono anch'essi componenti cruciali. Questi costi possono variare in base alle condizioni del terreno, alla necessità di infrastrutture aggiuntive e alla complessità della costruzione.

Nella tabella sottostante vengono riportati i costi previsti per la realizzazione delle sottostazioni di Montebelluna, Alano, Feltre, Sedico come pianificato per la tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno*<sup>27</sup>.

ENTE	COSTO REALIZZAZIONE OPERE CIVILI	COSTO OPERE ELETTROMECCANICHE	LAVORI IN ECONOMIA (1)	IMPREVISTI	ALLACCIAMENTO ENEL
SSE DI MONTEBELLUNA	360 000 €	2 000 000 €	118 000 €	150 000 €	500 000 €
SSE DI SEDICO	360 000 €	2 400 000 €	138 000 €		
SSE DI ALANO	1 000 000 €	2 400 000 €	170 000 €		
SSE DI FELTRE	1 000 000 €	2 400 000 €	170 000 €		
CABINA TE DI TREVISO	360 000 €	2 400 000 €	138 000 €		

1. LA VOCE LAVORI IN ECONOMIA COMPRENDE IL COSTO RELATIVO ALLE INTERRUZIONI, NONCHÉ IL COSTO DEL PERSONALE INTERNO A RFI: PERSONALE PER LA MANODOPERA, PERSONALE DI SCORTA, DIREZIONE.

Tabella 6.4 – Costo delle sottostazioni previste per la tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno*

<sup>27</sup> Trattasi di costi stimati in quanto gli interventi sono attualmente in fase di realizzazione

Si osserva come la spesa per le opere elettromeccaniche sia preponderante, rappresentando il maggior onere legato alla realizzazione di una sottostazione elettrica. Questa componente comprende l'acquisto e l'installazione di trasformatori, interruttori, sezionatori e altri dispositivi critici per il funzionamento della SSE, evidenziando l'importanza di tecnologie avanzate e materiali di alta qualità nel determinare i costi complessivi.

Tra gli oneri non citati in precedenza va considerato il costo per l'allacciamento al fornitore dell'energia elettrica, dipendente dal livello di tensione richiesto. In questo caso, per tutte e quattro le SSE, il collegamento con il distributore avviene in MT.

Questi fattori combinati determinano l'investimento totale necessario per la realizzazione e il funzionamento delle SSE, assicurando che siano adeguatamente progettate e costruite per soddisfare le esigenze del sistema ferroviario elettrificato.

A titolo comparativo, nella tabella sottostante vengono indicati i costi per la realizzazione delle SSE e cabine TE per le tratte di cui al *paragrafo 6.1*. È importante sottolineare che i costi indicati nella tabella seguente sono comprensivi di tutti gli aspetti che concorrono alla realizzazione delle sottostazioni elettriche e delle cabine TE. Questi non si limitano solamente alle apparecchiature, ma includono anche gli oneri per la manodopera per l'installazione, i costi per la preparazione del terreno e la costruzione dei fabbricati e dei piazzali necessari per ospitare tali infrastrutture. Pertanto, i valori forniti sono da intendersi esaustivi e completi, rappresentando il costo complessivo per la realizzazione e l'installazione delle SSE e delle TE.

TRATTA	TIPO DI INTERVENTO	COSTO DELL'INTERVENTO	SPESA TOTALE
TREVISO – MONTEBELLUNA – BELLUNO	SSE DI MONTEBELLUNA	3 123 000 € (1)	18 659 000 €
	SSE DI ALANO	4 220 000 € (1)	
	SSE DI FELTRE	4 220 000 € (1)	
	SSE DI SEDICO	3 548 000 € (1)	
	CABINA TE DI TREVISO	3 548 000 € (1)	
CONEGLIANO – BELLUNO	SSE DI PONTE NELLE ALPI	3 314 000 € (2)	7 935 300 €
	SSE DI NOVE	3 314 000 € (2)	
	CABINA TE DI CONEGLIANO	1 307 300 € (2)	
CAMPOSAMPIERO – CITTADELLA – BASSANO	SSE BASSANO	3 079 720 € (2)	6 360 729 €
	CABINA TE DI CITTADELLA	1 369 046 € (2)	
	CABINA TE DI BASSANO	1 911 963 € (2)	

1. TRATTASI DI COSTO STIMATO: LE SOTTOSTAZIONI RISULTANO IN FASE DI REALIZZAZIONE.
2. COSTO EFFETTIVO: GLI INTERVENTI IN QUESTIONE SONO GIÀ STATI ULTIMATI.

Tabella 6.5 – Costi delle infrastrutture elettriche

La differenza tra i costi delle sottostazioni elettriche (SSE), come si evince in particolar modo dalla *Tabella 6.4*, è legata a diversi fattori: la capacità richiesta, la localizzazione, la complessità dell'infrastruttura, i materiali e le tecnologie utilizzate, nonché la manodopera e le opere civili necessarie. Questi elementi contribuiscono a creare variazioni significative nei costi delle SSE. Tuttavia, analizzando i dati disponibili, è possibile individuare un costo medio per le SSE, con due gruppi di conversione da 3,6 MW, che si aggira attorno ai 3 500 000 €.

Anche i costi della cabina *TE* dipendono da fattori analoghi a quelli delle sottostazioni elettriche. Tra questi, la capacità richiesta gioca un ruolo cruciale: all'aumentare della capacità, aumenta l'area necessaria, la grandezza dei quadri *MT* e *BT*, etc ... Altri fattori determinanti sono la localizzazione, le opere civili necessarie, gli enti elettromeccanici, i dispositivi e le apparecchiature ospitate.

A tal proposito, si osserva un costo maggiore per la cabina *TE* di Treviso rispetto alle altre cabine *TE* citate, in quanto questa è di dimensioni significativamente maggiori, presentando svariate interconnessioni con gli enti adiacenti ed ospitando numerose celle per interruttori extrarapidi con le relative apparecchiature (come si può dedurre dalla *Figura 89*, nella quale gli interruttori extrarapidi sono rappresentati da un quadrato di colore rosso numerato).

Per questo motivo, i costi delle cabine *TE* risultano essere molto più variabili rispetto a quelli delle SSE. Nonostante questa variabilità, possiamo individuare un costo medio per una cabina *TE* che si aggira intorno 2 000 000 €.

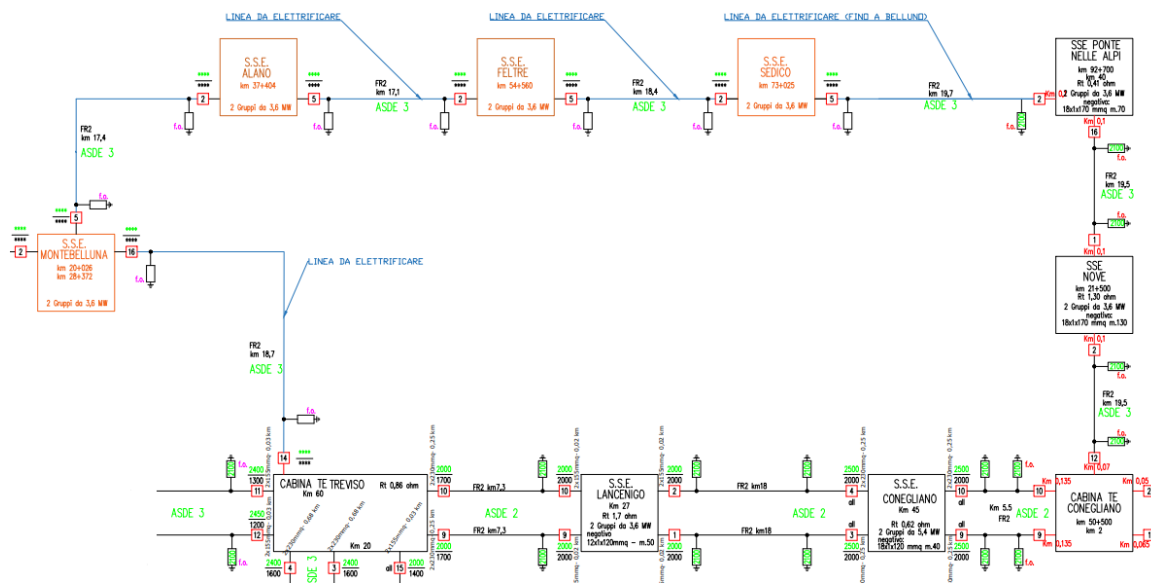


Figura 89 – Schema parziale rete di alimentazione delle linee del basso anello bellunese

### 6.1.3. Costi di adeguamento delle infrastrutture esistenti

L'elettificazione di una linea ferroviaria spesso richiede l'adeguamento delle infrastrutture esistenti per garantire la conformità alle *STI*, dunque, l'interoperabilità dell'intero sistema elettrico. Questi adeguamenti possono riguardare diversi aspetti delle infrastrutture ferroviarie, includendo binari, ponti, gallerie e stazioni. Di seguito si analizzano i principali fattori che contribuiscono ai costi di adeguamento delle infrastrutture esistenti.

- L'adeguamento di ponti e gallerie, nonché l'abbassamento del piano del ferro, risulta cruciale per ospitare la linea di contatto e le altre infrastrutture elettriche.
  - Per i cavalcaferrovia, si rivela spesso opportuna la demolizione e la ricostruzione delle strutture esistenti, dunque l'installazione di barriere di protezione.
  - Le gallerie possono richiedere interventi di diversa entità. In alcuni casi, è necessaria la demolizione o la ricostruzione della galleria per ospitare la nuova infrastruttura elettrica. Tuttavia, quando la demolizione non è praticabile o conveniente, si procede con interventi di adeguamento strutturale. Questi interventi di solito comprendono operazioni di consolidamento e impermeabilizzazione della struttura per migliorarne la stabilità e la durabilità. In tal caso, molto spesso si rende necessario l'abbassamento del piano del ferro, un intervento che si rivela in genere, particolarmente oneroso.

Nella tabella sottostante sono riportate le spese stimate per l'adeguamento delle opere civili per la tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno*.

OPERA CIVILE	LUNGHEZZA	TIPOLOGIA DI INTERVENTO	COSTO INTERVENTO	COSTO TOTALE (1)
GALLERIA DI MONTEBELLUNA	166 m	CONSOLIDAMENTO	396 388 €	1 590 119 €
		ABBASSAMENTO PF	1 183 428 €	
GALLERIA BARCHET 1	29 m	CONSOLIDAMENTO	12 430 €	418 888 €
		ABBASSAMENTO PF	397 070 €	
GALLERIA BARCHET 2	96 m	CONSOLIDAMENTO	37 289 €	422 702 €
		ABBASSAMENTO PF	377 589 €	
GALLERIA CAMINON 1	61 m	CONSOLIDAMENTO	34 182 €	524 262 €
		ABBASSAMENTO PF	480 734 €	
GALLERIA CAMINON 2	40 m	CONSOLIDAMENTO	148 603 €	434 681 €
		ABBASSAMENTO PF	277 434 €	
GALLERIA DI CASTELNOVO	231 m	CONSOLIDAMENTO	801 626 €	2 291 004 €
		ABBASSAMENTO PF	1 479 829 €	
GALLERIA MADDALENA	193 m	CONSOLIDAMENTO	1 245 716 €	2 339 016 €
		ABBASSAMENTO PF	1 087 326 €	
GALLERIA DI PIAN DEL VENTO	94 m	CONSOLIDAMENTO	295 542 €	297 130 €
GALLERIA SANZAN 1	41 m	DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE	917 887 €	940 872 €
GALLERIA SANZAN 2	60 m	DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE	987 211 €	1 002 532 €
GALLERIA DI VILLAGA	404 m	CONSOLIDAMENTO	1 307 857 €	2 563 010 €
		ABBASSAMENTO PF	1 328 830 €	
GALLERIA DEL VIERA	424 m	CONSOLIDAMENTO	2 715 812 €	5 160 910 €
		ABBASSAMENTO PF	2 433 041 €	
CAVALCAFERROVIA	–	DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE	255 644 €	256 501 €
CAVALCAFERROVIA	–	DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE	240 649 €	244 251 €
CAVALCAFERROVIA	–	DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE	134 106 €	136 530 €

1. LA DIFFERENZA PRESENTE TRA IL VALORE OTTENUTO COME SOMMA DEL COSTO DEI SINGOLI INTERVENTI ED IL COSTO TOTALE DELL'INTERVENTO È DOVUTA AI COSTI PER LA PREPARAZIONE ED ALLESTIMENTO DEL CANTIERE (QUESTI VENGONO CONSIDERATI SOLAMENTE NELLA COLONNA *COSTO TOTALE*).

*Tabella 6.6 – Costi di adeguamento delle infrastrutture esistenti*



Dai dati, appare chiaro come il costo di adeguamento delle opere civili aumenti all'aumentare della lunghezza dell'opera da ristrutturare. Inoltre, si evince come l'intervento d'abbassamento del piano del ferro risulti particolarmente dispendioso, rappresentando la maggior parte della spesa.

A titolo comparativo nella tabella sottostante viene riportato quanto speso per l'adeguamento di gallerie e cavalcaferrovia per la tratte *Camposampiero – Cittadella – Bassano* e *Conegliano – Belluno*:

TRATTA	OPERE CIVILI OGGETTO D'ADEGUAMENTO	COSTO TOTALE
TREVISO – MONTEBELLUNA – BELLUNO (1)	12 GALLERIE	17 608 729 €
	3 CAVALCAFERROVIE	627 282 €
CONEGLIANO – BELLUNO	10 GALLERIE	15 103 973 €
CAMPOSAMPIERO – CITTADELLA – BASSANO	(2)	–

1. TRATTASI DI COSTI STIMATI: I LAVORI NON SONO AD OGGI ULTIMATI.
2. LUNGO QUESTA TRATTA NON SONO PRESENTI GALLERIE/CAVALCAFERROVIA OGGETTO D'ADEGUAMENTO.

*Tabella 6.7 – Spese per l'adeguamento delle opere civili per le varie tratte*

La spesa per l'adeguamento delle opere civili per le due tracciati che si sviluppano in territorio pedemontano risulta essere simile. Entrambe le tratte richiedono, infatti, interventi strutturali complessi dovuti alla presenza di ponti, gallerie e variazioni altimetriche.

- Anche le stazioni ferroviarie e gli impianti di servizio devono essere adeguati al fine di gestire le nuove esigenze del sistema elettrificato. Questo può includere l'installazione di nuove apparecchiature di alimentazione e controllo, l'aggiornamento dei sistemi. Inoltre, potrebbe essere necessario adattare le banchine e gli accessi per garantire la sicurezza dei passeggeri e del personale, come dettagliato dalle STI.

Le necessità di adeguamento possono variare ampiamente da una stazione all'altra, a seconda dello stato attuale delle strutture e delle infrastrutture. Alcune stazioni potrebbero richiedere lavori estesi di ristrutturazione e modernizzazione, mentre altre potrebbero essere già adeguate agli standard richiesti e necessitare solo piccoli interventi. Questa variabilità rende difficile esprimere un valore medio di costo o definire un costo standard per l'adeguamento delle stazioni ferroviarie, poiché le specifiche condizioni di ciascuna stazione influenzano significativamente i costi complessivi.

- L'elettrificazione richiede anche l'aggiornamento dei sistemi di segnalamento e telecomunicazione, l'adeguamento dell'impianto di terra, nonché la realizzazione di un impianto d'illuminazione adatto.

Lo stesso principio si applica agli impianti di segnalamento, illuminazione e adeguamento degli impianti di terra. Le necessità di intervento possono variare considerevolmente in base alle condizioni specifiche di ogni stazione e tracciato. Alcune tratte potrebbero richiedere una completa revisione e aggiornamento di questi impianti, mentre altre potrebbero necessitare solo di piccoli upgrade. Questa variabilità rende difficile stabilire un valore medio di costo o un costo standard per questi adeguamenti. Tuttavia, per la tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno* sono stati spesi circa 6 000 000 € in totale, fornendo un riferimento specifico per i costi associati a tali interventi.

Si ricorda come valori indicati nelle precedenti tabelle sono comprensivi di ogni aspetto legato all'intervento citato: dall'acquisto dei materiali necessari, alla manodopera specializzata, fino ai costi di

progettazione e realizzazione. Tali costi sono quindi da intendersi esaustivi e completi, rappresentando l'investimento totale necessario per adeguare le infrastrutture esistenti alle nuove esigenze del sistema elettrificato.

#### **6.1.4. Costi di manutenzione ed operativi per un sistema a trazione elettrica**

L'elettrificazione ferroviaria comporta non solo costi iniziali di installazione e adeguamento, ma anche costi di manutenzione e operativi che incidono sul budget a lungo termine. Questi costi sono fondamentali per garantire il funzionamento sicuro, efficiente e continuo del sistema ferroviario elettrificato. Di seguito si esaminano i principali elementi che influenzano i costi di manutenzione e operativi.

- La linea di contatto richiede una manutenzione regolare per assicurare che i cavi, i pali di sostegno e le altre apparecchiature si trovino in condizioni ottimali. Questa manutenzione include l'ispezione e la riparazione dei cavi di contatto, il controllo della poligonazione, e la sostituzione dei componenti usurati.
- Le SSE e le cabine TE necessitano di manutenzione periodica per garantire efficienza e affidabilità. Questo include la verifica e la calibrazione delle apparecchiature di alimentazione e controllo, la sostituzione dei componenti obsoleti, e l'aggiornamento dei sistemi di protezione. Inoltre, le infrastrutture devono essere monitorate costantemente per identificare e risolvere tempestivamente eventuali problemi.
- Anche i binari e le opere civili, come ponti e gallerie, richiedono manutenzione regolare per garantire la sicurezza e la stabilità del sistema ferroviario. La manutenzione dei binari include la verifica della geometria del binario, il controllo della massicciata, e la sostituzione delle traverse danneggiate. Le opere civili devono essere ispezionate per rilevare segni di deterioramento e per effettuare riparazioni strutturali quando necessario.
- I costi operativi includono l'energia elettrica necessaria per alimentare i treni, il personale per la gestione e il controllo del sistema, e le spese amministrative. L'energia elettrica rappresenta una parte significativa dei costi operativi e può variare in base al consumo e alle tariffe energetiche.

Nella tabella sottostante vengono riportati i costi operativi annui relativi alla tratta *Conegliano – Belluno*.

I costi di manutenzione e operativi indicati in seguito sono comprensivi di tutti gli aspetti necessari per garantire il funzionamento continuo e sicuro del sistema ferroviario elettrificato. Questi includono il personale previsto per la manutenzione, i materiali di ricambio e le spese per gli aggiornamenti tecnologici. Sono quindi da intendersi esaustivi e completi, fornendo una visione chiara e dettagliata delle risorse necessarie per la gestione a lungo termine del sistema.

TRATTA	COSTO DEL PERSONALE	COSTO DEI MATERIALI	COSTO TOTALE	COSTO PER CHILOMETRO
CONEGLIANO – BELLUNO	528 287 €	410 838 €	939 125 €	18 703 €/km

*Tabella 6.8 – Costi operativi*

Dunque, il costo annuo per la manutenzione della tratta *Conegliano – Belluno*, della lunghezza di 50,21 km, si attesta di poco inferiore al milione di euro ed è suddiviso come sopra riportato.

I costi del personale indicati nella suddetta tabella si riferiscono a un team composto da dodici persone, suddivise tra nove operatori specializzati per la manutenzione e tre tecnici della manutenzione. Questo personale è impiegato a tempo pieno per garantire il corretto funzionamento e la manutenzione dell'infrastruttura ferroviaria. I costi annui (528 287 €) associati a questi dodici membri del personale riflettono l'importanza di un mantenimento adeguato e costante delle infrastrutture.

#### 6.1.5. Conclusioni

Il costo dell'elettrificazione di una linea ferroviaria dipende da diverse voci di spesa che contribuiscono al totale complessivo.

Di seguito vengono riportati costi complessivi per il processo di elettrificazione delle tre tratte considerate.

TRATTA	LUNGHEZZA	COSTO LdC	COSTO INFRASTRUTTURE ELETTRICHE	COSTO OPERE CIVILI	COSTO PER CHILOMETRO
TREVISO – BELLUNO – MONTEBELLUNA	85,09 km	27 291 987 €	18 659 000 €	18 236 011 €	754 342 €/km
CONEGLIANO – BELLUNO	50,21 km	18 333 908 €	7 935 300 €	15 103 973 €	824 003 €/km
CAMPOSAMPIERO – CITTADELLA – BASSANO	26,17 km	13 158 194 €	6 360 729 €	–	745 851 €/km

Tabella 6.9 – Costi complessivi per tratta

Alla base, il costo d'installazione della linea di contatto, che rappresenta la voce di spesa principale e può essere stimato tra 300.000 €/km ÷ 500.000 €/km. Come citato nel *Paragrafo 6.1.1.* dipende da numerosi fattori, risultando generalmente variabile all'interno del range indicato.

A questo si aggiungono gli oneri relativi alla realizzazione dell'infrastruttura elettrica necessaria al funzionamento ed al mantenimento del sistema elettrificato. Pertanto, a seconda del numero di sottostazioni elettriche (SSE) e cabine TE previste, il cui costo medio è stimato rispettivamente in 3 500 000 €<sup>28</sup> e 2 000 000 € ciascuna (come dettagliato nel *Paragrafo 6.1.3.*), l'investimento necessario può crescere notevolmente. Appare chiaro come quest'ultima voce di spesa venga fortemente influenzata dal contesto specifico in cui la linea si inserisce, nonché dalla rete di alimentazione elettrica già esistente. In molti casi, l'infrastruttura elettrica preesistente può essere sfruttata parzialmente per alimentare la nuova linea, riducendo così l'investimento necessario per nuove installazioni.

Inoltre, i costi per l'adeguamento delle opere civili, delle gallerie e dei cavalcaferrovie, nonché per l'adeguamento delle stazioni ferroviarie e dei sistemi di terra e segnalamento, devono essere considerati. Questi costi aumentano con il numero e la complessità delle opere da ristrutturare.

Risulta di difficile determinazione la stima di un costo standard per l'adeguamento o il rifacimento di una galleria, dipendendo quest'ultimo dalla lunghezza dell'opera e dalle specifiche necessità a cui sono volti gli interventi. Come si evince dalla *Tabella 6.6.*, che riporta le spese per l'adeguamento delle opere civili della tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno*, l'onere legato ai lavori effettuati può variare notevolmente a seconda del singolo caso. Ciò nonostante, dai dati disponibili risulta possibile individuare un range di

<sup>28</sup> Costo medio stimato per una SSE dotata di due gruppi di conversione da 3,6 MW

costo medio, all'interno del quale rientrano la maggior parte dei casi, per gli interventi di: consolidamento della struttura, abbassamento del piano del ferro, demolizione e ricostruzione di gallerie e cavalcaferrovie.

Tali dati vengono indicati nella seguente tabella:

OPERA	INTERVENTO	COSTO MEDIO
GALLERIA	CONSOLIDAMENTO	2500 €/m ÷ 6500 €/m
	ABBASSAMENTO DEL PIANO DEL FERRO	4000 €/m ÷ 8000 €/m
	DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE	16 000 €/m ÷ 22 000 €/m
CAVALCAFERROVIA	DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE + INSTALLAZIONE BARRIERE DI SICUREZZA	200 000 € (1)

#### 1. COSTO MEDIO TOTALE PER L'INTERVENTO

*Tabella 6.10 – costi medi interventi di adeguamento delle opere civili*

Appare, dunque, di facile comprensione come si possa verificare un aumento del costo complessivo del processo di elettrificazione all'aumentare del numero di cavalcaferrovie e gallerie presenti (nonché all'aumentare della loro lunghezza), soprattutto se queste richiedono demolizione e ricostruzione, anziché interventi di consolidamento e ristrutturazione. Infatti, come evidenziato dai dati analizzati, il costo di demolizione e ricostruzione delle gallerie può risultare notevolmente più elevato rispetto all'adeguamento delle strutture esistenti.

A questi si aggiungono le spese per la realizzazione del sistema di segnalamento, l'adeguamento degli impianti e delle strutture di stazione ed il rinforzo o l'adattamento dei binari (non indicati in *Tabella 6.9*). Tuttavia, i costi associati a questi ultimi interventi possono variare notevolmente da tratta a tratta, rendendo difficile stimare un costo medio o un range di costo standard per tali lavori.

In sintesi, i costi dell'intero processo di elettrificazione ferroviaria dipendono da numerosi fattori. Se per l'installazione della linea di contatto può essere delineato un range di costo standard per chilometro, mentre un costo medio può essere individuato per quanto riguarda le SSE e le cabine TE, che vengono costruite in serie, per altri fattori non risulta possibile effettuare le medesime valutazioni. Infatti, la complessità delle opere civili, quali gallerie, cavalcaferrovie, nonché la necessità di modernizzare le stazioni ferroviarie ed i sistemi di segnalamento, sono elementi che variano significativamente da un contesto all'altro. Pertanto, come già espresso, la variabilità intrinseca delle condizioni specifiche di ciascuna tratta rende ogni progetto unico e richiede una valutazione dettagliata per ottenere una stima accurata.

## **6.2. Analisi comparativa dei costi: sistema di trazione elettrica – sistema di trazione termico**

L'analisi comparativa dei costi tra treni diesel ed elettrici è una componente essenziale per la pianificazione strategica nel settore ferroviario. La scelta tra queste due tecnologie influisce non solo sulle spese immediate ma anche su quelle a lungo termine, incidendo profondamente sull'efficienza operativa e sulla sostenibilità ambientale.

Questo paragrafo mira ad esplorare le varie componenti di costo associate all'utilizzo di treni diesel ed elettrici. A tal proposito, verranno approfonditi i costi iniziali di implementazione, i costi operativi, l'integrazione con la rete esistente, evidenziando, in questo modo, le differenze chiave e le implicazioni economiche legate a ciascuna tecnologia.

### **6.2.1. Costi iniziali di implementazione**

L'implementazione di treni diesel ed elettrici richiede investimenti iniziali differenti, influenzati dalla complessità e dalla natura delle infrastrutture necessarie per il loro funzionamento.

Appare chiaro ed evidente come i treni diesel siano caratterizzati da costi iniziali di implementazione notevolmente inferiori rispetto ai convogli elettrici, richiedendo un'infrastruttura relativamente semplice rispetto ai treni elettrici. Generalmente, i treni diesel possono utilizzare i binari già esistenti, nonché transitare per ponti e gallerie presenti, senza modifiche sostanziali. Sebbene si renda imprescindibile la costruzione di stazioni per il rifornimento dei locomotori, la mancanza di necessità di installazioni aggiuntive come le linee di contatto, le sottostazioni e altre componenti specifiche per l'elettificazione, non solo si traduce in un abbassamento dei costi dei materiali, ma semplifica anche i processi di costruzione e manutenzione iniziale, rendendo i treni diesel una scelta più economica dal punto di vista.

Come già affermato nel *paragrafo 6.1.5.*, il costo d'installazione della linea di contatto può essere stimato tra 300.000 €/km e 500.000 €/km.

A tale spesa vanno sommati gli oneri relativi alla realizzazione dell'infrastruttura elettrica necessaria al funzionamento e al mantenimento del sistema elettrificato. In particolare, per una sottostazione elettrica può essere definito un costo medio di 3.500.000 €, mentre per una cabina *TE* è possibile individuare un costo medio di 2.000.000 €. All'aumentare del numero di sottostazioni e cabine *TE* previste, il costo d'investimento iniziale aumenta notevolmente, segnando già un'importante differenza rispetto alla trazione termica.

Inoltre, all'elettificazione è connesso l'adeguamento delle infrastrutture civili, in adempimento alle *Specifiche Tecniche di Interoperabilità*, per ottenere l'interoperabilità della rete. Questo comporta ulteriori costi per l'adeguamento di ponti, gallerie, e altre strutture esistenti, che devono essere modificate o rinforzate per ospitare le nuove infrastrutture elettriche (per un riscontro riguardo i costi d'adeguamento delle opere civili si faccia riferimento al *paragrafo 6.1.3.* relativo all'elettificazione delle linee del basso anello bellunese).

### 6.2.2. Treni elettrici e treni diesel

I treni elettrici e diesel presentano caratteristiche prestazionali e costi ben differenti, come evidenziato dalla tabella sottostante.<sup>29</sup>

MODELLO	ATR 220	MINUETTO – MD	VIVALTO – ETR 464	ROCK – ETR 421	ROCK – ETR 521	POP – ETR 103	POP – ETR 104
ALIMENTAZIONE	DIESEL		ELETTRICO				
POTENZA	0,78 MW	1,12 MW	3,5 MW	2,8 MW	3,4 MW	2 MW	
PREZZO MEDIO	4 000 000 €	3 500 000 €	8 000 000 €	8 000 000 € ÷ 9 000 000 €		6 000 000 €	
LUNGHEZZA	56 m	51 m	164 m	110 m	137 m	66 m	84 m
POSTI A SEDERE	155	170	596	466	598	239	321
PESO	136 t	150 t	340 t	297 t	364 t	140 t	180 t
VELOCITÀ MASSIMA	130 km/h		160 km/h				

Tabella 6.11 – Caratteristiche convogli elettrici e diesel

Dalla tabella si può notare come i treni elettrici presentino caratteristiche prestazionali superiori rispetto ai treni diesel. I motori elettrici consentono infatti una velocità di punta maggiore ed alte efficienze, riducendo i tempi di percorrenza e la frequenza oraria dei collegamenti con le tratte limitrofe. Inoltre, i treni elettrici offrono una capienza maggiore per i passeggeri, aumentando la capacità di trasporto e migliorando il servizio complessivo.

Tuttavia, le prestazioni superiori hanno un costo: il prezzo dei treni elettrici è significativamente più alto rispetto ai treni diesel, rappresentano un altro punto di differenza importante nell'analisi comparativa.

### 6.2.3. Costi operativi

I costi operativi dei treni diesel ed elettrici differiscono significativamente, come evidenziato dai dati sul consumo energetico dei treni diesel ed elettrici forniti da *Trenitalia* per la provincia di Treviso<sup>30</sup> ed analizzati in seguito.

#### 6.2.3.1. Differenze nei costi operativi tra treni diesel ed elettrici

MODELLO	QUANTITÀ MEDIA DI GASOLIO ANNUA PRELEVATA	PERCORRENZA MEDIA ANNUA	CONSUMO MEDIO ANNUO
ATR 220	30 598 l	22 958 km	1,33 l/km
MD	49 465 l	29 890 km	1,65 l/km

Tabella 6.12 - Consumo gasolio treni diesel

<sup>29</sup> Per redigere tale tabella sono stati considerati i treni *Rock*, *Pop*, tra le tipologie di treni elettrici più moderni e diffuse, nonché l'elettrotreno *Vivalto*, destinato a percorrere la tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno*. Mentre, sono stati presi in esame i treni diesel modelli *ATR 220* e *Minuetto MD*, che costituiscono la maggioranza del parco dei treni diesel della regione (non sono stati considerati treni ibridi).

<sup>30</sup> Il parco treni della provincia prevede attualmente 28 treni diesel, di cui 6 modelli *ATR 200* e 22 modelli *Minuetto MD*, e 107 treni elettrici di cui: 63 treni *Pop* modello (23 *ETR 103*, 40 *ETR 104*), 46 treni modello *Rock* (10 *ETR 421*, 36 *ETR 521*).

MODELLO	PERCORRENZA	ENERGIA CONSUMATA	ENERGIA RIGENERATA	CONSUMO MEDIO SENZA RIGENERAZIONE	CONSUMO MEDIO CON RIGENERAZIONE
POP – ETR 103	7783 km	44 743 kW	11 205 kW	5,76 kWh/km	4,35 kWh/km
POP – ETR 104	10 766 km	71 746 kW	20 561 kW	6,62 kWh/km	4,71 kWh/km
ROCK – ETR 421	13 158 km	125 544 kW	32 066 kW	9,22 kWh/km	6,86 kWh/km
ROCK – ETR 521	12 591 km	136 488 kW	32 418 kW	11,04 kWh/km	8,41 kWh/km

Tabella 6.13 – Consumo energetico treni elettrici<sup>31</sup>

Basandosi su quanto esposto nelle *Tabelle 6.12 e 6.13* possono essere meglio analizzati i costi operativi legati all'utilizzo di treni diesel ed elettrici<sup>32</sup>.

MODELLO	CONSUMO MEDIO ANNUO	PREZZO DEL DIESEL	COSTO MEDIO PER CHILOMETRO
ATR 220	1,33 l/km	1,66 €/l	2,20 €/km
MD	1,65 l/km		2,74 €/km

Tabella 6.14 – Costo medio per chilometro di treni diesel

MODELLO	PREZZO DELL'ENERGIA ELETTRICA	CONSUMO MEDIO SENZA RIGENERAZIONE	COSTO MEDIO PER CHILOMETRO SENZA RIGENERAZIONE	CONSUMO MEDIO CON RIGENERAZIONE	COSTO MEDIO PER CHILOMETRO CON RIGENERAZIONE
POP – ETR 103	0,127 €/kWh	5,76 kWh/km	0,73 €/km	4,35 kWh/km	0,55 €/km
POP – ETR 104		6,62 kWh/km	0,84 €/km	4,71 kWh/km	0,60 €/km
ROCK – ETR 421		9,22 kWh/km	1,17 €/km	6,86 kWh/km	0,87 €/km
ROCK – ETR 521		11,04 kWh/km	1,40 €/km	8,41 kWh/km	1,07 €/km

Tabella 6.15 – Costo medio per chilometro di treni elettrici

Come si evince dai dati, sebbene i treni elettrici risultino più costosi, pesanti e lunghi rispetto ai treni diesel, i loro costi operativi sono notevolmente inferiori, in particolare dalle due alle quattro volte. Questo aspetto molto favorevole controbilancia il maggiore costo iniziale legato all'elettificazione.

Naturalmente, tale beneficio diventa tanto maggiore quanto più elevati sono i chilometri percorsi dal treno. Infatti, se il treno è destinato a percorrere brevi distanze, gli investimenti iniziali legati all'elettificazione potrebbero presentare un tempo di ritorno particolarmente elevato. Pertanto, per le linee trafficate o comunque con una soglia minima di traffico, l'alto investimento iniziale legato all'elettificazione è in gran parte giustificato dai costi operativi notevolmente inferiori. Inoltre, la possibilità di recuperare parte dell'energia elettrica da parte dei treni elettrici rappresenta sicuramente un aspetto importante, permettendo la riduzione dei costi operativi di un ulteriore 25 % ÷ 30 %.

<sup>31</sup> Dati del mese di maggio 2024.

<sup>32</sup> Sono stati presi come riferimento il prezzo medio del diesel in Italia per l'anno 2023, mentre per il costo dell'energia elettrica è stato considerato il PUN medio per l'anno 2023.

Un ulteriore aspetto d'incidenza è la maggiore efficienza del motore elettrico rispetto a quello diesel, unitamente all'intero processo di conversione e trasmissione dell'energia. Per ulteriori dettagli si faccia riferimento al paragrafo successivo.

### 6.2.3.2. Efficienza energetica, impatto ambientale e costi operativi dei treni: diesel vs elettrico

Considerando un rendimento del motore termico variabile tra il 25 % ÷ 35 % e che 1 l di gasolio corrisponde a 8,5 kWh può essere stilata la seguente tabella <sup>33</sup>:

MODELLO	CONSUMO MEDIO SENZA RIGENERAZIONE	VALORE ENERGETICO DI 1 l DI GASOLIO	VALORE ENERGETICO DI 1 l DI GASOLIO CONSIDERANDO IL RENDIMENTO DEL MOTORE TERMICO	CONSUMO IPOTETICO
POP – ETR 103	5,76 kWh/km	8,5 kWh	2,125 kW ÷ 2,975 kW	1,93 l/km ÷ 2,71 l/km
POP – ETR 104	6,62 kWh/km			2,23 l/km ÷ 3,12 l/km
ROCK – ETR 421	9,22 kWh/km			3,10 l/km ÷ 4,34 l/km
ROCK – ETR 521	11,04 kWh/km			3,71 l/km ÷ 5,20 l/km

Tabella 6.16 – Consumo ipotetico di un treno diesel con le stesse caratteristiche prestazionali degli elettrotreni considerati

Considerando, poi, i dati già esposti nelle precedenti tabelle ed il medesimo prezzo del diesel, può essere realizzato un confronto tra il costo operativo di un elettrotreno ed il costo operativo di un treno con le stesse caratteristiche prestazionali ma alimentato a diesel:

MODELLO	COSTO MEDIO PER CHILOMETRO SENZA RIGENERAZIONE	COSTO MEDIO PER CHILOMETRO CON RIGENERAZIONE	COSTO MEDIO PER CHILOMETRO DI UN IPOTETICO TRENO DIESEL
POP – ETR 103	0,73 €/km	0,55 €/km	3,20 €/km ÷ 4,50 €/km
POP – ETR 104	0,84 €/km	0,60 €/km	3,70 €/km ÷ 5,18 €/km
ROCK – ETR 421	1,17 €/km	0,87 €/km	5,15 €/km ÷ 7,20 €/km
ROCK – ETR 521	1,40 €/km	1,07 €/km	6,16 €/km ÷ 8,63 €/km

Tabella 6.17 – confronto tra i costi operativi di un elettrotreno ed i costi di un treno con le medesime caratteristiche prestazionali ma alimentato a diesel

Come emerge dai dati della tabella, alimentare un treno diesel con le medesime caratteristiche dei corrispondenti elettrotreni risulta essere assai più costoso, con costi da 6 a 8 volte superiori. Tale differenza è resa notevolmente più ampia dalla possibilità di recupero dell'energia in frenata offerta dai treni elettrici e dal basso rendimento del motore diesel. Infatti, solo una quota del 25 % ÷ 30 % del potere energetico del gasolio viene convertita in energia utile per il movimento, mentre il resto viene disperso. Questa inefficienza, combinata con l'alta efficienza dei motori elettrici e la capacità di rigenerare energia, rende i treni elettrici nettamente più vantaggiosi dal punto di vista dei costi operativi.

Considerando l'intera catena di approvvigionamento energetico del sistema, partendo dall'energia meccanica necessaria al moto del veicolo e includendo i rendimenti della catena di trasmissione dell'energia, è evidente quanto l'inefficienza del motore diesel rappresenti una limitazione non solo in termini di costo, ma anche di consumo energetico, dunque impatto ambientale. A tal proposito si valutino gli scenari presentati in seguito.

<sup>33</sup> Non è stato considerato il caso con rigenerazione in quanto un convoglio alimentato da un motore termico non presenta questa possibilità.



- *Trazione Diesel*: ipotizzando sia  $E$  la quantità di energia l'energia necessaria per il moto del veicolo con motore endotermico, il cui rendimento può essere supposto al 25 %, il consumo primario di energia fossile sarà di  $4E$ , corrispondente a quattro volte l'energia necessaria al moto del veicolo.
- *Trazione elettrica*:
  - *Energia primaria proveniente 2/3 da fonte fossile – 1/3 da fonte rinnovabile*: si supponga sempre, sia  $E$  la quantità di energia necessaria al moto del veicolo. Si considerino poi un rendimento del 90 % per il motore elettrico ed un'efficienza complessiva del 90 % per il processo di conversione, trasformazione e trasmissione dell'energia elettrica. Dunque, con un rendimento della centrale termica pari al 55 %, il consumo dell'energia primaria è corrispondente a  $2,2E$ , poco più di due volte dell'energia necessaria la moto del treno. Sotto tale ipotesi,  $1,38E$  sarebbe proveniente da fonte fossile, con un più che dimezzamento rispetto alla trazione diesel, e  $0,82E$  da fonte rinnovabile.
  - *Energia primaria proveniente 1/3 da fonte fossile – 2/3 da fonte rinnovabile*: considerano i medesimi rendimenti, in tal caso il consumo di energia primaria si attesta a  $1,5E$ . Nelle condizioni specificate, solo un terzo dell'energia necessaria al moto del veicolo risulterebbe proveniente da fonte fossile, a cui corrisponderebbe un contributo di  $1/10$  rispetto la trazione diesel.

In conclusione, il motore diesel si traduce in un significativo aumento dei costi operativi e dell'impatto ambientale, mentre la trazione elettrica, soprattutto quando integrata con fonti rinnovabili, offre una soluzione molto più efficiente e sostenibile. Questo rafforza ulteriormente la giustificazione per l'investimento iniziale nell'elettrificazione delle linee ferroviarie caratterizzate da una soglia minima di traffico, che risulta essere vantaggioso sia dal punto di vista economico che ambientale.

#### **6.2.4. Considerazioni sul confronto diesel – elettrico**

Le differenze che contraddistinguono i sistemi di trazione ferroviaria attualmente in uso, diesel ed elettrico, sono molteplici ed evidenti in ambito tecnologico, di efficienza energetica, a livello di impatto ambientale ed oneri finanziari.

Manifesta e lampante è la differenza nel sistema di alimentazione, con la trazione diesel che impiega un motore a combustione interna. Se da un lato questa caratteristica comporta l'emissione in atmosfera di agenti inquinanti, la trazione diesel conferisce una maggior flessibilità operativa poiché consente ai convogli di percorrere reti ferroviarie non elettrificate non dipendendo dalle specifiche infrastrutture richieste dalla trazione elettrica, di conseguenza risultando funzionale in tratte caratterizzate da un particolare profilo piano altimetrico.

L'alimentazione di un sistema ferroviario a trazione elettrica avviene ad opera di un'infrastruttura dedicata, che richiede la presenza di idonei impianti di produzione, trasmissione e conversione dell'energia elettrica. Quest'aspetto si configura indubbiamente come una limitazione, in quanto la realizzazione degli apparati dedicati rappresenta un onere non indifferente. Parallelamente, richiede interventi di adattamento di ponti e gallerie, bonifiche e adeguamento del terreno, superamento di barriere e vincoli ambientali, non direttamente correlati alla realizzazione dell'impianto di alimentazione ma volti ad ospitarlo. Sebbene la transizione ad un sistema ferroviario elettrificato si attesti assai articolata, non solamente da un punto di vista economico – civile ma anche in ambito normativo, i benefici introdotti sono molteplici.

Di facile deduzione come la scelta di un convoglio elettrificato si traduca in una consistente riduzione delle emissioni di  $CO_2$ . Accanto a quest'aspetto, chiaro ed evidente, l'inserimento di una linea ferroviaria elettrificata consente di: migliorare i tempi di percorrenza, la frequenza oraria tra le stazioni e la capacità di trasporto merci e passeggeri grazie alle caratteristiche prestazionali superiori dei convogli elettrici rispetto quelli diesel (i motori elettrici consentono maggiori velocità ed accelerazioni, elevato rendimento, possibilità di utilizzo in regime di sovraccarico), ridurre l'inquinamento atmosferico ed acustico, sia in linea che nelle stazioni, potendo alimentare i convogli con energia derivante da fonti rinnovabili (la riduzione dell'inquinamento atmosferico e acustico è particolarmente sensibile nelle aree contigue ai centri abitati). Infine, il rendimento globale del processo di produzione, trasmissione e conversione dell'energia elettrica risulta notevolmente più alto in confronto alla combustione di carburante.

In termini di servizio, l'adozione di materiale rotabile più moderno ed affidabile migliora l'efficienza e il comfort del trasporto pubblico locale. La riduzione dell'impatto ambientale e l'aumento dell'efficienza legati alla rete elettrificata portano benefici socio-economici, con un prevedibile incremento dell'utilizzo della rete ferroviaria e una conseguente riduzione del traffico veicolare.

Da un punto di vista della convenienza economica dei due sistemi, gli investimenti iniziali necessari alla costruzione di un'infrastruttura elettrica dedicata rendono la trazione diesel meno onerosa. Al contrario, i sistemi elettrici presentano costi operativi potenzialmente più contenuti dimostrandosi significativamente più efficienti rispetto le controparti a trazione termica e riducendo la dipendenza dall'acquisto di carburante. In linea generale, il prezzo dell'energia risulta più stabile e tale vantaggio si accentua se la fonte di provenienza è di natura rinnovabile.

L'elettificazione delle linee permette di sfruttarne al meglio le potenzialità, migliorando la gestione dei mezzi grazie all'omogeneità del materiale rotabile, con conseguente riduzione dei costi di investimento e manutenzione. L'unificazione del parco macchine con motrici elettriche moderne permette una maggiore efficienza nella rotazione per manutenzione e nella sostituzione dei mezzi soggetti a guasti.

Di conseguenza, la trazione diesel, pur essendo meno ecologica e a minore rendimento rispetto a quella elettrica, può essere giustificata sulle linee a scarso traffico, quindi, a basse caratteristiche infrastrutturali e tecnologiche. Invece, l'elettificazione risulta efficace laddove vi sia una soglia minima di traffico che permetta di recuperare l'alto investimento iniziale. Infatti, i costi operativi da sostenere con la trazione termica sarebbero molto più alti e nel tempo la trazione termica potrebbe diventare più costosa dell'intero processo di elettificazione.

## 7. CONCLUSIONI

In questo elaborato è stato esposto ciò che un progetto di elettrificazione comporta, sia da un punto di vista teorico – normativo, che da un punto di vista realizzativo. Attraverso l'approfondimento del caso studio della tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno*, è stato possibile esaminare come i vari aspetti normativi si traducano in pratica e quali siano gli interventi necessari e le sfide connesse a un progetto di elettrificazione.

Emerge chiaramente come l'Unione Europea, con il proprio impegno verso la decarbonizzazione, promuove l'elettrificazione delle infrastrutture ferroviarie come mezzo per ridurre le emissioni di  $CO_2$  ed il miglioramento dell'efficienza energetica nel settore dei trasporti.

La storia dell'elettrificazione in Italia, insieme alla descrizione del funzionamento degli impianti a 3 kV in corrente continua, ha fornito un quadro dettagliato delle basi tecniche e storiche di questa tecnologia.

Il secondo capitolo ha affrontato gli aspetti normativi, concentrandosi sulle specifiche tecniche di interoperabilità (STI) europee e sulla normativa italiana. Le STI impongono non solo standard tecnici ma anche requisiti rigorosi per garantire l'interoperabilità dell'intera rete ferroviaria. Questi regolamenti si traducono nella necessità di intraprendere una serie di opere e interventi significativi. Il sistema energetico deve conformarsi a specifiche prestazionali precise, mentre il materiale rotabile e le infrastrutture devono rispettare particolari prerogative costruttive e prestazionali. Tale scenario comporta inevitabilmente costi elevati e complessità aggiuntive, come il rifacimento di gallerie, ponti e interventi di bonifica sul territorio, tra le altre sfide affrontate.

Tuttavia, questo impegno è cruciale per raggiungere l'interoperabilità desiderata, consentendo ai treni di viaggiare senza interruzioni da un paese all'altro. In passato, il cambio di treno e altre interruzioni erano comuni, ma le normative attuali mirano a superare queste barriere, migliorando l'efficienza del trasporto ferroviario e facilitando la mobilità transfrontaliera.

Il terzo e il quarto capitolo hanno esaminato dettagliatamente il caso studio della tratta *Treviso – Montebelluna – Belluno*, illustrando il complesso processo che porta dalla teoria normativa alla pratica ingegneristica. La pianificazione accurata è emersa come elemento cruciale, poiché il dimensionamento del sistema elettrico deve rispettare rigide normative tecniche. Le scelte progettuali, riflettenti dei capitolati tecnici, sono state esplorate in dettaglio, evidenziando come l'elettrificazione richieda non solo l'installazione di linee di contatto e infrastrutture elettriche, ma anche un rinnovamento significativo delle opere civili. Le operazioni di rifacimento delle gallerie e dei ponti, insieme all'abbassamento del piano del ferro, si rivelano infatti essenziali per l'integrazione del sistema di trazione elettrica.

Da qui emerge indelebilmente la complessità insita in un progetto di elettrificazione, che non solo si manifesta nelle fasi iniziali di progettazione e costruzione, ma anche nel lungo ed articolato processo di messa in servizio descritto nel penultimo capitolo.

Questa fase cruciale implica un coinvolgimento esteso di vari stakeholders ed autorità regolatorie, ciascuno con ruoli specifici e responsabilità ben definite. La collaborazione tra queste parti è

fondamentale per coordinare le attività necessarie e garantire il rispetto delle tempistiche e degli standard di sicurezza richiesti.

Il processo di messa in servizio non si limita semplicemente all'attivazione delle nuove infrastrutture e del sistema di trazione elettrica. Esso richiede la produzione dettagliata di specifiche documentazioni tecniche, la verifica delle performance degli impianti, e la formazione del personale per l'utilizzo delle nuove tecnologie. Questo approccio rigoroso è essenziale per garantire un avvio sicuro e efficiente delle operazioni ferroviarie e per mitigare eventuali rischi associati alla transizione tecnologica.

Inoltre, durante la fase di messa in servizio emergono spesso ulteriori adattamenti e ottimizzazioni necessari per affinare il funzionamento del sistema elettrificato. Questo processo iterativo può implicare aggiustamenti delle procedure operative, miglioramenti infrastrutturali minori, o la risoluzione di eventuali problematiche tecniche emerse durante i primi periodi di utilizzo.

Infine, l'analisi dei costi effettuata nel capitolo conclusivo è stata finalizzata da un lato, alla definizione di un costo standard per un progetto di elettrificazione, d'altra parte a mettere in luce i benefici economici e ambientali dell'elettrificazione rispetto ai sistemi a diesel. Tuttavia, la stima dei costi per le opere civili è risultata notevolmente più complessa, in quanto le necessarie modifiche possono variare considerevolmente a seconda delle specifiche locali.

Il confronto sui costi operativi con i sistemi diesel ha altresì evidenziato le situazioni in cui la trazione diesel può rimanere competitiva, soprattutto in contesti con basso traffico e infrastrutture meno complesse. Quanto affermato rafforza l'idea che l'elettrificazione, nonostante richieda investimenti iniziali significativi, rimanga una scelta vantaggiosa a lungo termine per la maggior parte degli scenari, offrendo benefici chiari in termini di riduzione delle emissioni e di efficienza operativa.

Questo elaborato ha pertanto fornito una panoramica esaustiva dei molteplici aspetti coinvolti nell'elettrificazione delle infrastrutture ferroviarie, dimostrando come un progetto di tale entità si dimostri assai lungo, complesso e costoso, comportando investimenti iniziali non indifferenti. Sebbene queste difficoltà, l'elettrificazione si configura non solo come una risposta efficace agli obiettivi climatici dell'Unione Europea, ma anche come un motore di innovazione e sviluppo nel settore dei trasporti. La presenza del *Green Deal* e del *PNRR* ha sicuramente dato un importante impulso, tuttavia molti di questi progetti erano già in programma antecedentemente, il che dimostra la validità e l'importanza della tecnologia.





*Desidero esprimere profondi ringraziamenti a diverse persone che hanno reso possibile la realizzazione di questa tesi.*

*Innanzitutto, esprimo i miei ringraziamenti al Professor Turri per il ruolo cruciale che ha ricoperto nell'avviare e seguire questo percorso e per avermi fatto appassionare alla materia.*

*Un grazie speciale va rivolto anche al Tutor Patric Marini e a Michele Benetti per la straordinaria disponibilità e il supporto fondamentale durante la stesura di questa tesi. Senza il loro sostegno, sarebbe stato impossibile portare avanti il mio percorso accademico e concludere questa esperienza di studio e crescita.*

*Vorrei, poi, esprimere la mia gratitudine a tutti i colleghi di Direzione Investimenti, che mi hanno accolto durante il periodo di tirocinio.*

*Per ultimo, ma non meno importante, un ringraziamento particolare va alla mia famiglia, che ha sempre creduto in me e mi ha supportato in ogni fase del mio percorso di studi universitari. Senza la loro fiducia ed incoraggiamento, non avrei potuto raggiungere questo importante traguardo umano e professionale.*





## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] R. Turri, Chinazzo, Casagrande, *Sottostazioni elettriche per l'alimentazione di impianti TE in corrente continua*, Corso di Sistemi elettrici per l'industria ed i trasporti, Università degli studi di Padova, ottobre 2006.
- [2] A. Polo, M. Barisone, P. Saienni, L. Beccastrini, A. Gaggelli, C. Spalvieri, G. Guidi Buffarini, S. Miceli, A. Palmieri, F. Ianello, A. Ancona, A. Vannucchi, L. Croppi, G. Travaini, G. Fadin, D. Bozzolo, P. Patti, "L'evoluzione dei sistemi di trazione ferroviaria per un trasporto più efficiente e sostenibile", *La Tecnica Professionale*, n.2 pp 20-29, febbraio 2024.
- [3] A. Polo, M. Barisone, P. Saienni, L. Beccastrini, A. Gaggelli, C. Spalvieri, G. Guidi Buffarini, S. Miceli, A. Palmieri, F. Ianello, A. Ancona, A. Vannucchi, L. Croppi, G. Travaini, G. Fadin, D. Bozzolo, P. Patti, "L'evoluzione dei sistemi di trazione ferroviaria per un trasporto più efficiente e sostenibile", *La Tecnica Professionale*, n.3 pp 6-16, marzo 2024.
- [4] M. Finocchi, "Le fasi dell'attuale Processo di Verifica CE e Verifica Nazionale e di richiesta di Autorizzazione di Messa in Servizio (AMIS) del Sottosistema Materiale Rotabile e l'Analisi dei Rischi", seminario CIFI, 12/12/2016.
- [5] A. Florian, "Struttura ed aspetti della catenaria di trazione elettrica", seminario CIFI, Padova, 10/11/2017.
- [6] C. Spalverì, "Il quadro normativo per interazione catenaria-pantografo", convegno CIFI, 31/01/2022.
- [7] P. Marini, S. Trivellin, "Le Sotto Stazioni elettriche nei progetti di sviluppo e potenziamento della Rete ferroviaria nel Veneto Orientale", convegno CIFI, Padova, 01/12/2022.
- [8] M. Stellin, I. Rossetta, "Potenziamento del sistema di trazione elettrica per treni merci pesanti", convegno CIFI, Padova, 24/11/2023.
- [9] *Piano Commerciale RFI: edizione speciale PNRR*, RFI, edizione speciale agosto 2021.
- [10] *STI Energia*, regolamento (UE) n. 1301/2014 della Commissione Europea, 18/11/2014.
- [11] *STI Infrastruttura*, regolamento (UE) n. 1299/2014 della Commissione Europea, 18/11/2014.
- [12] *STI Materiale Rotabile – Locomotive e Passeggeri*, regolamento (UE) n. 1302/2014 della Commissione Europea, 18/11/2014.
- [13] *Direttiva 2008/57/CE del parlamento europeo e del consiglio europeo relativa all'interoperabilità del sistema ferroviario comunitario*, 17/06/2008.
- [14] *CEI EN 50119 – Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Impianti fissi - Linee aeree di contatto per trazione elettrica*, maggio 2010.
- [15] *CEI EN 50163 - Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Tensioni di alimentazione dei sistemi di trazione*, seconda edizione, ottobre 2006.

- [16] CEI EN 50388 – Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Alimentazione elettrica e materiale rotabile – Criteri tecnici per il coordinamento tra alimentazione elettrica (sottostazione) e materiale rotabile per ottenere l'interoperabilità, agosto 2012.
- [17] CEI EN 50122 – Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi – Sicurezza elettrica, messa a terra e circuito di ritorno, agosto 2012.
- [18] Capitolato tecnico per la Costruzione delle Linee Aeree di Contatto e di Alimentazione a 3 kV in corrente continua, Direzione Tecnica, Standard Energia, RFI, edizione 2014.
- [19] Catenaria Rigida Fissa per Installazioni a 3 kV in corrente continua, Direzione Tecnica, Standard Tecnologie Energia, RFI, edizione 2018.
- [20] Manuale di Progettazione delle Opere Civili – Parte II – sezione 6 Sagome e Profilo Minimo degli Ostacoli, Direzione Tecnica, RFI, edizione 2023.
- [21] Opere Civili Funzionali all'Elettrificazione dell'Anello Basso Bellunese, Direzione Territoriale Produzione di Venezia, S.O. Ingegneria, RFI, 10/07/2019.
- [22] Messa in Servizio dei Sottosistemi Strutturali degli Impianti Fissi, RFI.
- [23] Linee guida per il rilascio dell'autorizzazione di messa in servizio di veicoli, sottosistemi strutturali o parti di essi, ANSF, 22/02/2016.
- [24] Fascicolo linea n.°54 – linee Calalzo – Padova, Montebelluna – Treviso, Ponte delle Alpi – Conegliano, materiale RFI.
- [25] <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/clean-and-sustainable-mobility/>
- [26] <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/rail-transport-policy/>
- [27] <https://www.rfi.it/it/Sicurezza-e-tecnologie/tecnologie/energia/un-po--di-storia.html>
- [28] <https://www.ansfisa.gov.it/specifiche-tecniche-interoperabilit%C3%A0>
- [29] [https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/search-all-eu-institutions-and-bodies/european-union-agency-railways-era\\_it](https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/search-all-eu-institutions-and-bodies/european-union-agency-railways-era_it)
- [30] <https://www.ferrovienord.it/flotta-treni/>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – I sistemi di trazione ferroviaria in Italia.....	18
Figura 2 – Schema di funzionamento sistema di trazione elettrico.....	19
Figura 3 – Architettura del sistema di alimentazione a 3 kV in corrente continua .....	21
Figura 4 – Sezione di arrivo linea in AT.....	22
Figura 5 – Schema elettrico sezione d’arrivo linea in AT.....	22
Figura 6 – Schema di un quadro d’arrivo linea in MT.....	23
Figura 7 – Stadio di trasformazione SSE.....	24
Figura 8 – Stadio di conversione dell’energia.....	26
Figura 9 – Stadio di protezione e distribuzione TE.....	27
Figura 10 – Interruttore extrarapido .....	27
Figura 11– Schema stadio di smistamento e alimentazione TE in corrente continua .....	28
Figura 12 – Sistema di trazione principale nei vari paesi europei .....	31
Figura 13 – Zona di rispetto TE.....	47
Figura 14 – Archetto di lunghezza 1600 mm.....	53
Figura 15 – Archetto di lunghezza 1950 mm.....	53
Figura 16 – LdC sezione 340 mm <sup>2</sup> – 440 mm <sup>2</sup> .....	57
Figura 17 – LdC sezione 440 mm <sup>2</sup> – 540 mm <sup>2</sup> .....	57
Figura 18 – Sospensione di piena linea per catenarie 440 mm <sup>2</sup> e 540 mm <sup>2</sup> con mensola orizzontale in alluminio.....	59
Figura 19 – Isolatore portante .....	60
Figura 20 – Sospensione di piena linea per catenarie 320 mm <sup>2</sup> e 440 mm <sup>2</sup> con mensola orizzontale in alluminio.....	61
Figura 21 – Poligonazione LdC da 320 mm <sup>2</sup> e 440 mm <sup>2</sup> .....	65
Figura 22 – Poligonazione LdC da 440 mm <sup>2</sup> e 540 mm <sup>2</sup> .....	66
Figura 23 – Mensola tubulare in acciaio ed apposito sostegno per installazione in galleria .....	68
Figura 24 – Disposizione sospensione a mensola tubulare in acciaio in galleria .....	68
Figura 25 – Sospensione a traversa isolata .....	69
Figura 26 – Disposizione sospensione a traversa isolata in galleria.....	69
Figura 27 – Sospensione autoportante per LdC da 440 mm <sup>2</sup> e 540 mm <sup>2</sup> in configurazione tesa e compressa per utilizzo in galleria .....	70
Figura 28 – Vista in galleria sospensione autoportante per LdC da 440 mm <sup>2</sup> e 540 mm <sup>2</sup> .....	70
Figura 29 – Portale di ormeggio, vista frontale e laterale .....	75
Figura 30 – Trave Mec con pali di sostegno .....	76
Figura 31 – Vista frontale e laterale, Trave Mec, sostegno e sospensione .....	76
Figura 32– Ormeggio delle corde di terra su sostegno di tipo LSU.....	79
Figura 33 – Circuito di terra.....	80
Figura 34– Pali di sostegno LSU, rispettivamente con 2 corde da 230 mm <sup>2</sup> sezione da 460 mm <sup>2</sup> e con 4 corde da 155 mm <sup>2</sup> sezione da 630 mm <sup>2</sup> .....	81
Figura 35 – sagome del pantografo in rettifilo ed in curva .....	83
Figura 36 – Poligonazione della catenaria rigida.....	86
Figura 37 – Sezione profilato catenaria rigida .....	88
Figura 38 – Vista longitudinale e sezione A-A delle piastre di giunzione .....	88

<i>Figura 39 – Vista d’assieme piastre di giunzione .....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 40 – Sospensione a traversa isolata con due isolatori .....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 41 – Sospensione a traversa isolata con tre isolatori .....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 42 – Vista longitudinale rampa .....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 43 – Sezione A-A rampa .....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 44 – Vista longitudinale barra di transizione .....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 45 – Sezione A-A barra di transizione.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 46 – Vista longitudinale barra di ancoraggio.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 47 – Sezione A-A barra di ancoraggio.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 48 – Illustrazione generale delle sagome .....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 49 – Parti costituenti il profilo di riferimento .....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 50 – Profili di riferimento G1 (sulla destra), GA e GB (sulla sinistra).....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 51 – Profili di riferimento GC (sulla sinistra) e GB1 (sulla destra). .....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 52 – Profilo di riferimento per la sagoma bassa GI2 .....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 53 – Profilo di riferimento per la sagoma bassa cinematica GI3 .....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 54 – PMO 1.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 55 – PMO 1A .....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 56 – PMO 2.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 57 – PMO 3.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 58 – PMO 4.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 59 – PMO 5.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 60 – Interasse minimo nominale dei binari .....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 61 – Mappa tratta Treviso – Belluno, collegamento con Padova e Venezia .....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 62 – Fermate tratta Treviso – Montebelluna – Belluno .....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 63 – Ubicazione gallerie tratta Treviso – Montebelluna – Belluno .....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 64 – Limiti di taratura extrarapidi.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 65 – Schema di alimentazione della linea in esame.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 66 – Ubicazione SSE e Cabina TE per la tratta Treviso – Montebelluna – Belluno .....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 67 – Cabina di ricezione in MT della sottostazione di Sedico .....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 68 – Quadro di MT SSE di Sedico contente gli scoparti di arrivo linea, misura ed alimentazione di un trasformatore di gruppo.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 69 – Quadro di MT SSE di Sedico contente gli scoparti di alimentazione secondo trasformatore di gruppo e servizi ausiliari.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 70 – Schema stadio di trasformazione e conversione della SSE di Sedico .....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 71 – Schema scomparto di arrivo linea della SSE di Sedico.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 72 – Fabbricato Cabina TE Treviso contenente le celle extrarapidi.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 73 – Sezione della catenaria rigida nel tratto intero .....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 74 – Vista longitudinale della catenaria rigida nel tratto di sovrapposizione tra le pezzature.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 75 – Sospensione a mensola orizzontale in alluminio in configurazione compressa .....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 76 – Sospensione a mensola orizzontale in alluminio in configurazione tesa.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 77 – Sospensione a mensola orizzontale in alluminio utilizzata in galleria in configurazione tesa e compressa .....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 78 – Vista satellitare tratta Treviso – Montebelluna – Belluno.....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 79 – Gallerie e cavalcaferrovia oggetto d’adeguamento.....</i>	<i>136</i>

<i>Figura 80 – Sagoma PMO1 con linea di contatto fune fissa H 5118 o catenaria rigida H 4997 .....</i>	<i>136</i>
<i>Figura 81 – Stato di fatto e di progetto livelletta ferroviaria .....</i>	<i>137</i>
<i>Figura 82 – Sezione in vicinanza all’imbocco della galleria .....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 83 – Lontano dall’imbocco della galleria .....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 84 – Nuova sezione gallerie Sanzan 1 e Sanzan 2 .....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 85 – Confronto tra sezione con l’interferenza tra sagoma del treno e struttura dell’opera (a sinistra) e sezione con la nuova opera e sagoma del treno (sulla destra) per il cavalcaferrovia ubicato al kilometro 34 + 406. ....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 86 – Confronto tra sezione con l’interferenza tra sagoma del treno e struttura dell’opera (a sinistra) e sezione con la nuova opera e sagoma del treno (sulla destra) per il cavalcaferrovia ubicato al kilometro 60 + 847. ....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 87 – Tratta Camposampiero – Cittadella – Bassano .....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 88 – Tratta Conegliano – Belluno .....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 89 – Schema parziale rete di alimentazione delle linee del basso anello bellunese .....</i>	<i>168</i>

## APPENDICE A

Il sistema di *asservimento a disseccitazione (ASDE)* assicura la teleprotezione della linea *TE*, mediante l'asservimento tra gli enti di protezione extrarapidi, messi in comunicazione per mezzo di cavi in fibra ottica.

Infatti, ogni qual volta venga a verificarsi un guasto, opportunamente rilevato dai dispositivi di protezione voltmetrici ed amperometrici installati in linea, avviene l'intervento coordinato degli interruttori extrarapidi afferenti alla tratta da proteggere. A tal proposito, l'intervento di uno dei due extrarapidi provoca, grazie il sistema *ASDE*, anche l'intervento del secondo interruttore extrarapido presente.

Ne consegue la possibilità di aumentare la corrente taratura degli interruttori, predisponendo ognuno di essi poiché si occupino della protezione di una sola metà di tratta.

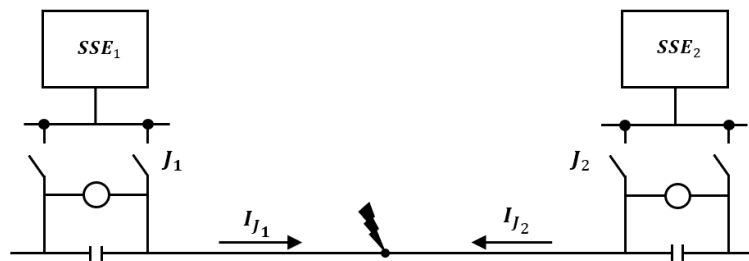


Figura A – Schema di rappresentazione ASDE

## APPENDICE B

Il grado di frenatura è un indice che definisce la pendenza di un tratto di linea, per ciascun senso di marcia, in relazione alle esigenze di frenatura di un convoglio, in marcia e in stazionamento. Ad ogni tratto di linea è assegnato un grado di frenatura, riportato in *Orario* sui fascicoli linea e in scheda treno. I gradi sono in complesso dieci, ai quali corrispondono pendenze specifiche, indicate nella relativa tabella.

Gradi di frenatura	Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Pendenze (‰) (da / a)	0 / 4	4 / 6	6 / 8	8 / 11	11 / 13	13 / 16	16 / 20	20 / 25	25 / 30	30 / 35

Tabella B – Grado di frenatura

Il grado di prestazione è un indice che definisce le caratteristiche di una linea, in relazione alla resistenza che essa oppone alla trazione di un treno, per le sue caratteristiche altimetriche e planimetriche. I gradi di prestazione, nelle linee ferroviarie italiane, sono 31 e sono indicati in apposita colonna delle fiancate principali dell'*Orario di Servizio* in corrispondenza dell'inizio dei singoli tratti. Il grado 1 si riferisce alle linee o tratti di linea pianeggianti o in discesa. Gli altri gradi, in ordine progressivo, sono attribuiti alle linee o tratti di linea con resistenza alla trazione via via crescente in relazione alle livellette in salita ed alle curve.