POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in

Ingegneria Civile – Infrastrutture e Sistemi di Trasporto

Tesi di Laurea Magistrale

Studio dei parametri fondamentali e delle procedure operative interne di Rete Ferroviaria Italiana finalizzato alla creazione di un modello di priorità degli interventi manutentivi sui deviatoi

Relatore:

Professor Ing. Orazio Baglieri

Correlatori:

Ing. Claudio Biglia

Geom. Cristoforo Paolo Vignale

Candidato:

Enrico Musso

Marzo 2021

«E beh insomma…

il treno è sempre il treno eh!»

Cit. Renato Pozzetto

"Il Ragazzo di Campagna"

«Stüdia che 't sapi»

Detto popolare Piemontese

Sommario

Indice delle Figure VI

Indice delle Tabelle XI

Abstract XIII

Glossario tecnico – aziendale R.F.I. XIV

1. Introduzione 1

1.1. Caratteristiche delle linee ferroviarie 2

1.2. Infrastruttura ferroviaria 4

1.2.1. Corpo stradale 4

1.2.2. Sovrastruttura ferroviaria 7

1.3. Armamento 10

2. Deviatoi 12

2.1. Componenti del Deviatoio 14

2.1.1. Telaio degli aghi 17

2.1.2. Rotaie intermedie 25

2.1.3. Telaio del cuore 26

2.2. Tipologie di deviatoi 34

2.3. Metodologia di posa dei deviatoi 39

2.4. Velocità di percorrenza dei deviatoi 41

2.5. Designazione dei deviatoi RFI 43

2.6. Manovra dei deviatoi 44

2.7. Caratteristiche geometriche dei deviatoi 49

2.8. Verifica allo svio per deviatoi e intersezioni 51

3. Rotaie (“Armamento”) 53

3.1. Scelta del profilo di rotaia 58

3.2. Comparazione tra tipologie di rotaie italiane 58
4. Traverse e traversoni 59
4.1. Traverse lignee 60
4.1.1. Vantaggi e svantaggi delle traverse in legname 62
4.2. Traverse in calcestruzzo armato vibrato precompresso 64
4.2.1. Vantaggi e svantaggi delle traverse in c.a.v.p. 69
4.3. Comparazione traverse in legno e c.a.v.p. 71
5. Manutenzione del tracciato e dell'armamento 72
5.1. Parametri del tracciato 74
5.1.1. Usura del fungo delle rotaie 79
5.1.2. Scartamento "S" 79
5.1.3. Allineamento "A" 80
5.1.4. Livello longitudinale "L" 82
5.1.5. Livello trasversale "XL" 83
5.1.6. Sghembo "γ" 85
5.1.7. Deviazione standard 86
5.1.8. Conicità equivalente 87
5.1.9. Accelerazione in cassa in direzione verticale 87
5.1.10. Accelerazione in cassa in direzione trasversale all'asse del binario 88
5.1.11. Accelerazione al carrello in direzione verticale 89
5.1.12. Accelerazione al carrello in direzione trasversale 89
5.1.13. Instabilità di marcia 90
5.2. Valori dei parametri geometrici 91
5.2.1. Livelli di qualità geometrica 92
5.2.2. Valori comportanti vincoli all'esercizio 93
5.2.3. Valori limite secondo le Specifiche Europee 94
5.3. Evoluzione dei parametri geometrici 95
5.3.1. Livello longitudinale e posizione media 95

5.3.2. Difetto di sopraelevazione 97
5.3.3. Allineamento 97
5.3.4. Sghembo 98
5.4. Rilevazione diagnostica 99
5.4.1. Visite ordinarie 103
5.4.2. Indice di qualità rincalzatura del binario 104
6. Manutenzione degli A.d.B. 105
6.1. Grandezze caratteristiche dei deviatoi 105
6.1.1. Scartamento “S” 107
6.1.2. Quote di passaggio “QP” 109
6.1.3. Intervallo/gola “A” 113
6.2. Valori delle caratteristiche 114
6.3. Controlli delle grandezze dei deviatoi 116
6.3.1. Controlli strumentali degli A.d.B. 116
6.3.2. Controlli visivi sugli A.d.B. 117
6.4. Periodicità delle visite di controllo e tempi di intervento 123
6.4.1. Frequenze di controllo delle grandezze 123
7. Studio di un modello finalizzato alla previsione dello stato manutentivo dei deviatoi 126
7.1. Iter decisionale per gli interventi manutentivi 126
7.2. Parametri fondamentali utilizzati 129
7.2.1. Sede Tecnica 129
7.2.2. Traffico interessante la linea 132
7.2.3. Velocità di corretto tracciato 133
7.2.4. Velocità di percorrenza del ramo secondario 135
7.2.5. Data di posa del deviatoio 136
7.2.6. Tipologia di binario 136
7.2.7. Tipologia di armamento 137
7.2.8. Tipologia di traversoni 138

7.2.9. Avvisi 138
7.3. Considerazioni tecniche sui dati utilizzati 140
7.4. Determinazione del modello previsionale 141
7.4.1. "Ambiti" e "Parametri" 141
7.4.1.1. Stato infrastruttura 141
7.4.1.2. Rilevanza del Percorso 142
7.4.1.3. Stress dell'infrastruttura 143
7.4.1.4. Avvisi 144
7.4.2. Algoritmo 147
7.4.3. Redazione classifica priorità deviatoi 148
8. Analisi degli Scenari 149
8.1. Creazione degli Scenari 149
8.1.1. Scenari di variazione degli "Ambiti" 150
8.1.2. Scenari di variazione dei "Parametri" 151
8.1.3. Scenari di variazione simultanea di "Ambiti" e "Parametri" 152
8.1.3.1. Variazione del singolo ambito "Stato Infrastruttura" e di tutti i "Parametri" 152
8.1.3.2. Variazione del singolo ambito "Rilevanza del Percorso" e di tutti i "Parametri" 154
8.1.3.3. Variazione del singolo ambito "Stress Infrastruttura" e di tutti i "Parametri" 156
8.1.3.4. Variazione del singolo ambito "Avvisi" e di tutti i "Parametri" 157
8.1.3.5. Variazione di singoli "Ambiti" e di più "Parametri" 159
8.2. Impatto degli scenari sulle classifiche 161
8.2.1. Comparazione delle classifiche derivanti dai nuovi scenari con quella relativa allo scenario "Base" 161
8.2.2. Individuazione, nella totalità dei deviatoi analizzati, di eventuali "fasce di variabilità omogenea" nella classificazione 165
8.2.3. Considerazioni 169
9. Validazione dei risultati ottenuti 170
9.1. Sopralluogo sugli A.d.B. in "Località" Asti 170
9.2. Comparazione della classifica "in situ" con quelle derivanti dalla analisi degli scenari 173
10. Conclusioni 176

10.1. Considerazioni finali 176
10.2. Osservazioni pratiche 177
10.3. Calendarizzazione degli interventi 178
10.4. Sviluppi futuri 179
Ringraziamenti 182
Bibliografia 184

Indice delle Figure

FIGURA 1: RAPPRESENTAZIONE PLANO-ALTIMETRICA DI UN TRACCIATO FERROVIARIO [2] 2
FIGURA 2: SEZIONE DI INFRASTRUTTURA FERROVIARIA IN RILEVATO [2] 4
FIGURA 3: STRATIGRAFIA DI CORPO STRADALE FERROVIARIO [3] 4
FIGURA 4: STRATIGRAFIA DI CORPO STRADALE FERROVIARIO (A: SOVRASTRUTTURA FLESSIBILE; B: SOVRASTRUTTURA RIGIDA) 5
FIGURA 5: SEDE STRADALE FERROVIARIA IN RILEVATO 5
FIGURA 6: SEDE STRADALE FERROVIARIA A MEZZA COSTA 6
FIGURA 7: SEDE STRADALE FERROVIARIA IN TRINCEA 6
FIGURA 8: LINEA A SINGOLO BINARIO. SEZIONE TIPO IN CURVA IN RILEVATO [15] 7
FIGURA 9: LINEA A DOPPIO BINARIO. SEZIONE TIPO IN RETTIFILO IN TRINCEA [15] 7
FIGURA 10: LINEA A DOPPIO BINARIO. SEZIONE TIPO IN CURVA IN RILEVATO [15] 8
FIGURA 11: SCHEMA RAPPRESENTATIVO DI SEDE STRADALE E SOVRASTRUTTURA FERROVIARIA [2] 8
FIGURA 12: ESEMPIO DI "ARMAMENTO" COMPRENDENTE ROTAIE, DEVIATOIO, TRAVERSE E TRAVERSONI, ORGANI DI ATTACCO (FOTO REALIZZATA PRESSO "LOCALITÀ" ASTI) 10
FIGURA 13: INSIEME DI DEVIATOI, SCAMBI INTERSEZIONI E INTERSEZIONI PRESSO GENERICA LOCALITÀ [2] 12
FIGURA 14: SCHEMA E COMPONENTI DI DEVIATOIO SEMPLICE [3] 14
FIGURA 15: RAPPRESENTAZIONE IN PIANTA DELLA “DISTANZA LIMITE DI MANOVRA” ("FOULING DISTANCE") [21] 15
FIGURA 16: TRAVERSA LIMITE DI MANOVRA ("FOULING MARK") PRESSO LA STAZIONE DI ALANO-FENER-VALDOBBIADENE [18] 15
FIGURA 17: PARTI PRINCIPALI DI UN DEVIATOIO SEMPLICE (POSA DESTRA) [2] 16
FIGURA 18: SCHEMA DELLE PARTI METALLICHE DI DEVIATOIO, CON RELATIVA DESIGNAZIONE E MARCATURA IMPRESSA A VERNICE [2] 16
FIGURA 19: PIALLATURA AGO AL BANCO 17
FIGURA 20: PROFILO DELLA BARRA D’AGO 50E1T1 (A50U) [16] 18
FIGURA 21: PROFILO DELLA BARRA D’AGO 60E1A2 (A 60 U) [16] 18
FIGURA 22: PROSPETTO LATERALE E VISTA IN PIANTA DI AGO GREZZO SALDATO, NON LAVORATO, PER DEVIATOI DI ARMAMENTO 60UNI [2] 19
FIGURA 23: SEZIONI TRASVERSALI DI AGO E ROTAIA DEL DEVIATOIO 19
FIGURA 24: PARTICOLARE DI CERNIERA ELASTICA [2] 20
FIGURA 25: PARTICOLARE DI CERNIERA ARTICOLATA [2] 20
FIGURA 26: CUSCINETTO DI SCORRIMENTO AD ATTACCO RIGIDO (MONTATO SU SCAMBI TRADIZIONALE) [2] 20
FIGURA 27: VISTA ASSONOMETRICA DI CUSCINETTO DI SCORRIMENTO [2] 21
FIGURA 28: CUSCINETTO AD ATTACCO ELASTICO CON RULLI DI SCORRIMENTO (MONTATO SU SCAMBI DI TIPO INNOVATIVO) [2] 21
FIGURA 29: PARTICOLARE DI CUSCINETTO AD ATTACCO ELASTICO CON RULLI DI SCORRIMENTO [2] 21
FIGURA 30: VISTA ASSONOMETRICA DI CUSCINETTO AUTOLUBRIFICANTE CON INSERTI IN POLIMERO ANTIFRIZIONE SOSTITUIBILI [2] 22

FIGURA 31: VISTA ASSONOMETRICA DI BLOCCO DI DISTANZIAMENTO AGHI [2] 22
FIGURA 32: VISTA IN PIANTA DI BLOCCO DI DISTANZA PER AGHI [2] 22
FIGURA 33: ACCOPPIAMENTO AGO-CONTRAGO DISCOSTI [2] 23
FIGURA 34: ACCOPPIAMENTO AGO-CONTRAGO ACCOSTI [2] 23
FIGURA 35: MODI DI IMPEGNARE UNO SCAMBIO SEMPLICE [2] 23
FIGURA 36: TALLONAMENTO DI UN DEVIATOIO IMPEGNATO DI CALCIO [2] 24
FIGURA 37: SCHEMATIZZAZIONE DI ROTAIE INTERMEDIE [2] 25
FIGURA 38: SCHEMA DI CUORE RETTO (FIGURA IN ALTO) E SCHEMA DI CUORE CURVO (FIGURA IN BASSO) [2] 26
FIGURA 39: CUORE IN ACCIAIO FUSO AL MANGANESE (ATTACCO INDIRETTO E GAMBINI SALDABILI) [2] 27
FIGURA 40: SEZIONE DI CUORE AL MANGANESE AD ATTACCO DIRETTO (PER POSA SU TRAVERSONE IN LEGNO [2]) 27
FIGURA 41: CUORE MONOBLOCCO AL MN A POSA INDIRETTA [2] 28
FIGURA 42: SEZIONE DI CUORE AL MANGANESE AD ATTACCO INDIRETTO (PER POSA SU TRAVERSONI IN C.A.V.P.) [2] 28
FIGURA 43: CARATTERISTICHE DEL CUORE SEMPLICE [2] 29
FIGURA 44: GUIDA DELLA CONTROROTAIA NEI CUORI SEMPLICI [2] 29
FIGURA 45: SCHEMA INDIVIDUAZIONE TANGENTE TRIGONOMETRICA CUORI RETTI [2] 30
FIGURA 46: QUOTA DI PROTEZIONE DI SCAMBIO SEMPLICE [2] 30
FIGURA 47: QUOTA DI LIBERO PASSAGGIO DI SCAMBIO SEMPLICE [2] 31
FIGURA 48: DIMENSIONI CARATTERISTICHE DELLE SALE [2] 31
FIGURA 49: SCHEMA E PIANTA DI CUORE A PUNTA MOBILE [2] 32
FIGURA 50: SEZIONE DI CONTROROTAIA DI TIPO TRADIZIONALE. A SINISTRA RAPPRESENTAZIONE DI PIASTRA DI SERRAGGIO, A DESTRA RAFFIGURAZIONE DI BLOCCO DISTANZIATORE [2] 32
FIGURA 51: CONTROROTAIA DI TIPO INNOVATIVO [2] 33
FIGURA 52: QUOTE CARATTERISTICHE DELLA CONTROROTAIA [2] 33
FIGURA 53: SCHEMA DI SCAMBIO SEMPLICE DESTRO [2] 34
FIGURA 54: SCHEMA DI SCAMBIO SEMPLICE SINISTRO [2] 34
FIGURA 55: SCAMBIO SEMPLICE SIMMETRICO [2] 34
FIGURA 56: SCHEMA DI SCAMBIO SEMPLICE NON SIMMETRICO [2] 35
FIGURA 57: SCAMBIO DOPPIO DESTRO [2] 35
FIGURA 58: SCHEMA DI INTERSEZIONE RETTA [2] 36
FIGURA 59: SCHEMA DI SCAMBIO INTERSEZIONE SEMPLICE [2] 36
FIGURA 60: SCHEMA DI SCAMBIO INTERSEZIONE DOPPIO [2] 37
FIGURA 61: COMUNICAZIONE SEMPLICE SINISTRA (REALIZZATA CON SCAMBI SEMPLICI ACCODATI AVENTI CUORI RETTI) [2] 37
FIGURA 62: COMUNICAZIONE SEMPLICE DESTRA (REALIZZATA CON DUE SCAMBI INTERSEZIONE SEMPLICI E TRATTO DI SERRAGLIA) [2] 38
FIGURA 63: COMUNICAZIONE SEMPLICE DESTRA (REALIZZATA CON DUE SCAMBI INTERSEZIONE SEMPLICI E TRATTO DI SERRAGLIA) [2] 38
FIGURA 64: TRAVERSONI IN C.A.V.P. ALLESTITI PER LA POSA DELLE PARTI METALLICHE DI DEVIATOIO [2] 39
FIGURA 65: POSA PARTI METALLICHE DI DEVIATOIO [2] 39
FIGURA 66: SCHEMA DI POSA TRAVERSONI PER UN DEVIATOIO DI ARMAMENTO 60UIC [3] 40

FIGURA 67: COMUNICAZIONE DOPPIA A "FORBICE" (REALIZZATA CON QUATTRO SCAMBI SEMPLICI ED UNA INTERSEZIONE) [2] 42
FIGURA 68: SCHEMA DI DEVIATOIO CON MANOVRA MANUALE A PUNTA DIRETTA [2] 44
FIGURA 69: RAPPRESENTAZIONE DI MANOVRA MANUALE, DESTRA E SINISTRA, CON REINVIO [2] 45
FIGURA 70: COPPIA AGO-CONTRAGO SINISTRA IN POSIZIONE ACCOSTA 45
FIGURA 71: COPPIA AGO-CONTRAGO DESTRA IN POSIZIONE DISCOSTA 46
FIGURA 72: PARTICOLARE DI DEVIATOIO A MANOVRA MANUALE ("MACACO") ACCOPPIATO A DISPOSITIVO DI FERMASCAMBIATURA ELETTRICO [19] 46
FIGURA 73: SCHEMA DI MANOVRA ELETTRICA CON CASSA TRADIZIONALE [2] 47
FIGURA 74: DEVIATOIO A MANOVRA OLEODINAMICA [20] 47
FIGURA 75: CUORE A "PUNTA MOBILE" [2] 48
FIGURA 76: SCHEMA DELLE OPERAZIONI EFFETTUATE NELLA MANOVRA AUTOMATICA [3] 48
FIGURA 77: CONTATTO RUOTA-ROTAIA IN CORRISPONDENZA DI UN DEVIATOIO 51
FIGURA 78: SEZIONE DI ROTAIA TIPO VIGNOLES [2] 53
FIGURA 79: PROFILO DI ROTAIA 46E4 (EX 46UNI) [16] 54
FIGURA 80: PROFILO DI ROTAIA 50E5 (EX 50UNI) [16] 55
FIGURA 81: PROFILO DI ROTAIA 60E1 (EX 60UIC) [16] 56
FIGURA 82: ESEMPIO DESIGNAZIONE ROTAIA [2] 57
FIGURA 83: SCHEMATIZZAZIONE DI TRAVERSA FERROVIARIA [2] 59
FIGURA 84: RAPPRESENTAZIONE QUALITATIVA DI TRAVERSE IN LEGNO [2] 60
FIGURA 85: PIANTA E SEZIONI TRASVERSALI DI TRAVERSA IN LEGNO PER SCARTAMENTO ORDINARIO [3] 61
FIGURA 86: DEFORMATE DI TRAVERSE LIGNEE PER VARIE TIPOLOGIE DI SOTTOFONDO [3] 63
FIGURA 87: TRAVERSA CEMENTIZIA TIPO FS 50 - 60 (215 KG) [2] 64
FIGURA 88: TRAVERSE IN SITU [2] 64
FIGURA 89: A) TRAVERSA TIPO FS V.35 P (ATTACCO PANDROL), PESO 250 KG, ARMATURA NON ADERENTE, ARPIONI PORTAFERMAGLIO IMMERSI NEL CONGLOMERATO. B) TRAVERSA TIPO FS U.35 P (ATTACCO PANDROL), PESO 300 KG, ARMATURA ADERENTE, ARPIONI PORTAFERMAGLIO IMMERSI NEL CONGLOMERATO. [2] 65
FIGURA 90: TRAVERSA FS 60 E (PER V>250KM/H), PESO 380 KG, ARMATURA NON ADERENTE E ARPIONI PORTAFERMAGLIO IMMERSI NEL CONGLOMERATO. [2] 65
FIGURA 91: TRAVERSE CEMENTIZIE DELLA NUOVA SPECIFICA RFI [2] 66
FIGURA 92: TRAVERSONI IN C.A.V.P. PER DEVIATOI [2] 67
FIGURA 93: DEFORMATE DI TRAVERSE MONOBLOCCO PER DIVERSE TIPOLOGIE DI SOTTOFONDO [3] 70
FIGURA 94: COMPARAZIONE FRECCE TRAVERSE C.A.V.P. E TRAVERSE LIGNEE SU DUE DIVERSI TIPI DI SOTTOFONDO [3] 71
FIGURA 95: SISTEMA DI RIFERIMENTO DEL BINARIO 75
FIGURA 96: DIFETTI "A ONDA LUNGA" (IN ALTO) E "A ONDA CORTA" (IN BASSO) 76
FIGURA 97: SCARTAMENTO (VISTA LATERALE) [17] 79
FIGURA 98: SCARTAMENTO (VISTA IN PIANTA) [17] 80
FIGURA 99: SISTEMA DI RIFERIMENTO E QUOTE CARATTERISTICHE PER LA DETERMINAZIONE DELL'ALLINEAMENTO [5] 80
FIGURA 100: SINGOLI DIFETTI DI ALLINEAMENTO. CAMPO DI LUNGHEZZE D'ONDA D1 (3-25 M) 81
FIGURA 101: SINGOLI DIFETTI DI ALLINEAMENTO. CAMPO DI LUNGHEZZE D'ONDA D2 (25-70 M) 81
FIGURA 102: SINGOLI DIFETTI DI ALLINEAMENTO. CAMPO DI LUNGHEZZE D'ONDA D3 (70-200 M) 81

FIGURA 103: SISTEMA DI RIFERIMENTO E QUOTE CARATTERISTICHE PER LA DETERMINAZIONE DEL LIVELLO LONGITUDINALE [5] 82
FIGURA 104: SINGOLI DIFETTI DI LIVELLO LONGITUDINALE. CAMPO DI LUNGHEZZE D'ONDA D1 (3-25 M) 82
FIGURA 105: SINGOLI DIFETTI DI LIVELLO LONGITUDINALE. CAMPO DI LUNGHEZZE D'ONDA D2 (25-70 M) 83
FIGURA 106: SINGOLI DIFETTI DI LIVELLO LONGITUDINALE. CAMPO DI LUNGHEZZE D'ONDA D3 (70-200 M) 83
FIGURA 107: SCHEMA E QUOTE CARATTERISTICHE PER LA DETERMINAZIONE DEL LIVELLO TRASVERSALE [2] 83
FIGURA 108: SINGOLI DIFETTI DI SCARTO DI LIVELLO TRASVERSALE [2] 84
FIGURA 109: SINGOLI DIFETTI DI SOPRAELEVAZIONE [2] 85
FIGURA 110: SGHEMBO E CONSEGUENZE SULLA RIPARTIZIONE DEL CARICO VEICOLARE SULLE FILE DI ROTAIE [2] 85
FIGURA 111: SINGOLI DIFETTI DI SGHEMBO 86
FIGURA 112: ACCELERAZIONI VERTICALI IN CASSA DELLA LOCOMOTIVA E 406 652 88
FIGURA 113: ACCELERAZIONI TRASVERSALI IN CASSA DELLA LOCOMOTIVA E 404 652 88
FIGURA 114: ACCELERAZIONI VERTICALI SUL CARRELLO DELLA LOCOMOTIVA E 404 649 89
FIGURA 115: ACCELERAZIONI TRASVERSALI SUL CARRELLO DELLA LOCOMOTIVA E 404 649 89
FIGURA 116: ACCELERAZIONI TRASVERSALI SUL CARRELLO DELLA CARROZZA 050.5, CON EVIDENZIATE LE REGIONI DI INSTABILITÀ 90
FIGURA 117: VALORI LIMITE DI SGHEMBO IN RELAZIONE ALLA LUNGHEZZA DELLA BASE DI MISURA, IN ACCORDO ALLE SPECIFICHE EUROPEE 94
FIGURA 118: EVOLUZIONE DELLA POSIZIONE MEDIA DEL TRACCIATO IN BASE AL CARICO VEICOLARE [3] 95
FIGURA 119: TRENO DIAGNOSTICO "ARCHIMEDE" E RELATIVI GRAFICI DELLE MISURE [2] 100
FIGURA 120: TRENO DIAGNOSTICO "TALETE" E RELATIVI GRAFICI DELLE MISURE [2] 101
FIGURA 121: CARRELLO DIAGNOSTICO "PV7" E RELATIVI GRAFICI DELLE MISURE [2] 102
FIGURA 122: SCARTAMENTI MISURATI SUL TELAIO DEGLI AGHI [7] 108
FIGURA 123: SCARTAMENTI MISURATI SUL CUORE SEMPLICE [7] 108
FIGURA 124: SCARTAMENTI MISURATI SUL CUORE DOPPIO [7] 108
FIGURA 125: SCARTAMENTI MISURATI SUL CUORE A PUNTA MOBILE [7] 109
FIGURA 126: QUOTE DI PASSAGGIO AGHI SUL TELAIO DEGLI AGHI 109
FIGURA 127: QUOTE DI PASSAGGIO SUL CUORE SEMPLICE A PUNTA FISSA 109
FIGURA 128: QUOTE DI PASSAGGIO SUL CUORE DOPPIO 110
FIGURA 129: QUOTE DI PASSAGGIO CUORE A PUNTA MOBILE 110
FIGURA 130: QUOTA DI PASSAGGIO AGHI 110
FIGURA 131: QUOTA ALL'INGRESSO DELLA CONTROROTAIA SUL CUORE SEMPLICE 111
FIGURA 132: QUOTA ALL'INGRESSO DELLA CONTROROTAIA SUL CUORE DOPPIO 111
FIGURA 133: QUOTA ALL'INGRESSO DELLA ZAMPA DI LEPRE 111
FIGURA 134: QUOTA DI LIBERO PASSAGGIO SU CUORE SEMPLICE 112
FIGURA 135: QUOTA DI LIBERO PASSAGGIO SU CUORE DOPPIO 112
FIGURA 136: QUOTA DI PROTEZIONE NEL CUORE SEMPLICE 112
FIGURA 137: QUOTA DI PROTEZIONE NEL CUORE DOPPIO 113
FIGURA 138: INTERVALLI SUL TELAIO DEGLI AGHI 113
FIGURA 139: INTERVALLI SUL CUORE SEMPLICE (SINISTRA) E SU CUORE MOBILE (DESTRA) 113
FIGURA 140: AFFOSSAMENTO PIASTRE SU TRAVERSA IN LEGNO 118

FIGURA 141: ZONE DI VALUTAZIONE DELLA INTEGRITÀ CONTRAGHI 118
FIGURA 142: CALIBRO FS 97 SAGOMA 2, UTILIZZATO PER LA MISURA DI CONSUMI E SCHEGGIATURE DEL TELAIO DEGLI AGHI 119
FIGURA 143: PRESENZA DI "CRETTI" CHE SI PROPAGANO DAL FORO DI ALLOGGIAMENTO 119
FIGURA 144: SEGNI DI BORDINO NEI PRIMI 100 MM DELLA PUNTA DEL CUORE 120
FIGURA 145: MISURAZIONE SPESSORE CONTROROTAIE, TRAMITE CALIBRO A CORSOIO MANUALE, NELLA ZONA DI MASSIMA USURA 120
FIGURA 146: VERIFICA DELLE QUOTE DI LIBERO PASSAGGIO QLP1 E QLP2 NEL TRATTO TRA 100 MM E 200 MM DALLA PUNTA REALE (DEVE ESSERE PARI A 58 MM) 121
FIGURA 147: MISURAZIONE DI USURA MASSIMA NEI CUORI DOPPI, COME DIFFERENZA TRA GLI SPESSORI DELLA SEZIONE NON USURATA E DELLA SEZIONE USURATA (VALORE MASSIMO AMMESSO 8 MM) 121
FIGURA 148: MISURAZIONE DI USURA MASSIMA NEI CUORI DOPPI, COME DIFFERENZA TRA GLI SPESSORI DELLA SEZIONE NON USURATA E DELLA SEZIONE USURATA (VALORE MASSIMO AMMESSO 8 MM) 122
FIGURA 149: ESEMPIO DI FREQUENZE DI CONTROLLO CALENDARIZZATE 124
FIGURA 150: PERIODICITÀ E TIPOLOGIA VISITE NELL'AMBITO "ARMAMENTO E SEDE" [11] 125
FIGURA 151: PARTE APICALE DELL'ORGANIGRAMMA DELLE STRUTTURE ORGANIZZATIVE 127
FIGURA 152: PARTE TERMINALE DELL'ORGANIGRAMMA DELLE STRUTTURE ORGANIZZATIVE 128
FIGURA 153: SEDE TECNICA DI 5° LIVELLO, TIPO DEVIATOIO 131
FIGURA 154: SCHEMA RIASSUNTIVO DEI LIVELLI “OGGETTO” DI UNA SEDE TECNICA 131
FIGURA 155: ESEMPIO DI CARTELLO INDICATORE DELLE VELOCITÀ [12] 134
FIGURA 156: DESIGNAZIONE ARMAMENTO [2] 137

Indice delle Tabelle

TABELLA 1: CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DI ALCUNE TIPOLOGIE DI DEVIATOI 49
TABELLA 2: CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DI ALCUNE TIPOLOGIE DI INTERSEZIONI 49
TABELLA 3: CARATTERISTICHE DEVIATOI FS 50
TABELLA 4: CLASSI DI ACCIAIO DA ROTAIA [2] 57
TABELLA 5: FORME E DIMENSIONI DELLE TRAVERSE IN LEGNO [2] 61
TABELLA 6: PARAMETRI TRAVERSE CEMENTIZIE DELLA NUOVA SPECIFICA RFI [2] 66
TABELLA 7: CARATTERISTICHE MECCANICHE DI TRAVERSE MONOBLOCCO IN C.A.V.P. UTILIZZATE IN VARI PAESI [3] 68
TABELLA 8: VALORI LIMITE DELLA VARIAZIONE DI SCARTAMENTO SECONDO LE SPECIFICHE TECNICHE EUROPEE DI INTEROPERABILITÀ [3] 94
TABELLA 9: PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI TRENI DIAGNOSTICI [5] 99
TABELLA 10: CASISTICHE DEI RILIEVI DELLA GEOMETRIA DEL BINARIO 103
TABELLA 11:PERIODICITÀ DEI CONTROLLI 124
TABELLA 12: CARATTERISTICHE DEVIATOI FS 135
TABELLA 13: ESTRATTO DI COMPUTO DEI DEVIATOI A CUI SONO ASSOCIATE LE QUANTITÀ DI AVVISI RIPORTATE 144
TABELLA 14: ESTRATTO DI CLASSIFICAZIONE PRIORITÀ DEI DEVIATOI DTP PIEMONTE 148
TABELLA 15: RIEPILOGO SCENARI DI VARIAZIONE DEGLI "AMBITI" 150
TABELLA 16: RIEPILOGO SCENARI DI VARIAZIONE DEI "PARAMETRI" 152
TABELLA 17: RIEPILOGO SCENARI DI VARIAZIONE DELL'AMBITO "STATO INFRASTRUTTURA" E DEI "PARAMETRI" 154
TABELLA 18: RIEPILOGO SCENARI DI VARIAZIONE DELL'AMBITO "RILEVANZA DEL PERCORSO" E DEI "PARAMETRI" 155
TABELLA 19: RIEPILOGO SCENARI DI VARIAZIONE DELL'AMBITO "STRESS INFRASTRUTTURA" E DEI "PARAMETRI" 157
TABELLA 20: RIEPILOGO SCENARI DI VARIAZIONE DELL'AMBITO "AVVISI" E DEI "PARAMETRI" 159
TABELLA 21: RIEPILOGO SCENARI DI VARIAZIONE DELL'AMBITO "AVVISI" E DEI "PARAMETRI" DI PESO MASSIMO E MINIMO NELLO SCENARIO "BASE" 160
TABELLA 22: NUMERO CORRISPONDENZE CON CLASSIFICA BASE DEI DEVIATOI RISPETTO SCENARI VARIAZIONE "AMBITI" 162
TABELLA 23: NUMERO CORRISPONDENZE CON CLASSIFICA BASE DEI DEVIATOI RISPETTO SCENARI VARIAZIONE "PARAMETRI" 162
TABELLA 24: NUMERO CORRISPONDENZE CON CLASSIFICA BASE DEI DEVIATOI RISPETTO SCENARI VARIAZIONE "STATO" E "PARAMETRI" 162
TABELLA 25: NUMERO CORRISPONDENZE CON CLASSIFICA BASE DEI DEVIATOI RISPETTO SCENARI VARIAZIONE "RIL. PERCORSO" E "PARAMETRI" 162
TABELLA 26: NUMERO CORRISPONDENZE CON CLASSIFICA BASE DEI DEVIATOI RISPETTO SCENARI VARIAZIONE "STRESS" E "PARAMETRI" 162
TABELLA 27: NUMERO CORRISPONDENZE CON CLASSIFICA BASE DEI DEVIATOI RISPETTO SCENARI VARIAZIONE "AVVISI" E "PARAMETRI" 163

TABELLA 28: NUMERO CORRISPONDENZE CON CLASSIFICA BASE DEI DEVIATOI RISPETTO SCENARI VARIAZIONE SINGOLI "AMBITI" E PIÙ "PARAMETRI" 163
TABELLA 29: "AMBITI" E "PARAMETRI "CARATTERIZZANTI" 164
TABELLA 30: "AMBITI" E "PARAMETRI" "NON CARATTERIZZANTI" 164
TABELLA 31: SEDI TECNICHE IN POSIZIONE1-8 DELLA CLASSIFICA SCENARIO "BASE" 165
TABELLA 32: SEDI TECNICHE IN POSIZIONE 9-19 DELLA CLASSIFICA SCENARIO "BASE" 166
TABELLA 33: SEDI TECNICHE IN POSIZIONE 20-51 DELLA CLASSIFICA SCENARIO "BASE" 167
TABELLA 34: SEDI TECNICHE IN POSIZIONE 53-57 DELLA CLASSIFICA SCENARIO "BASE" 168
TABELLA 35: SEDI TECNICHE IN POSIZIONE 58-61 DELLA CLASSIFICA SCENARIO "BASE" 168
TABELLA 36: A.D.B. SELEZIONATI PER LA VISITA ISPETTIVA A PIEDI IN "LOCALITÀ" ASTI (ELENCATI SECONDO LA CLASSIFICA DELLO SCENARIO "BASE") 170
TABELLA 37: TIPOLOGIE DEVIATOI PIÙ COMUNI E RELATIVO NUMERO DI TRAVERSONI 171
TABELLA 38: REPORT QUALITATIVO DELLA VISITA AGLI A.D.B. SELEZIONATI 172
TABELLA 39: CLASSIFICAZIONE "IN SITU" DEGLI A.D.B. SELEZIONATI 172
TABELLA 40: COMPARAZIONE TRA CLASSIFICA "IN SITU" E CLASSIFICA DERIVANTE DA SCENARIO "+STRESS+VET." 173
TABELLA 41: SCHEMA RIASSUNTIVO DI "AMBITI", "PARAMETRI", "PESI", "VALORI" E "DISCRETIZZAZIONI" UTILIZZATI NEL MODELLO 175
TABELLA 42: PROGRAMMAZIONE DEGLI INTERVENTI MANUTENTIVI 178

Sinossi

Il presente lavoro di tesi è stato intrapreso con l'obiettivo di elaborare un sistema in grado di pianificare gli interventi manutentivi sui deviatoi (apparecchi del binario), fornendo un supporto oggettivo alle strutture preposte. Tra le competenze delle Direzioni Territoriali Produzione, facenti parte della Direzione Produzione di Rete Ferroviaria Italiana S.p.a., la vigilanza ed il controllo dell'Infrastruttura Ferroviaria Nazione rivestono uno dei principali compiti, assegnati in quanto Gestore dell'infrastruttura. Nello specifico le Unità Manutentive hanno il compito di effettuare sopralluoghi e visite specialistiche programmate finalizzate a definire la consistenza dello stato manutentivo degli impianti di armamento. Dovendo pertanto pianificare correttamente le risorse assegnate è stato sviluppato, in collaborazione con R.F.I. - Direzione Territoriale Produzione di Torino, un algoritmo il quale, elaborando una serie di parametri facilmente estrapolabili dai database aziendali, restituisca una "classificazione" delle priorità di sostituzione degli apparecchi di binario.

Abstract

The aim of this thesis work is to develop a system able to plan maintenance interventions on railway switches (track equipment), providing objective support to the structures in charge. Among the competences of the Territorial Production Directorates, part of the Production Directorate of Rete Ferroviaria Italiana S.p.a., the supervision and control of the National Railway Infrastructure has one of the main tasks, assigned as infrastructure's manager. Specifically, the Maintenance Units have the role of carrying out inspections and planned specialist visits, aimed at defining the consistency of the maintenance status of the rail systems. Therefore, having to correctly plan the assigned resources, an algorithm has been developed in collaboration with R.F.I. - Territorial Production Directorate of Turin. This algorithm elaborates a series of parameters easily extrapolated from the company databases and returns a "classification" of the priorities for replacing track equipment.

Glossario tecnico – aziendale R.F.I.

Vengono in seguito riportate le abbreviazioni tecniche di RFI utilizzate nell'elaborato [1]:

A.d.B: Apparecchio del Binario

A.M.P.C.: Asset Management Pianificazione e Controllo

AV/AC: Alta Velocità/Alta Capacità

CdL: Cento di Lavoro

C.E.I.: Coordinatore Esercizio Infrastruttura

C.S.: Capo Stazione

C.U.M.: Capo Unità Manutentiva

DPR: Direzione Produzione di RFI

DTC: Direzione Tecnica di RFI

DTP: Direzione Territoriale Produzione della Direzione Produzione di RFI

GdL: Gruppo di Lavoro

GI: Gestore dell'Infrastruttura ferroviaria

LO/TR: Località/Tratta

MDO: Mezzo d'Opera

P.C.: Pianificazione e Controllo

RFI: Rete Ferroviaria Italiana

Se-Te: Sede Tecnica

SO: Struttura Organizzativa

U.M.: Unità Manutentiva

1. Introduzione

L'organizzazione delle risorse e l'ottimizzazione degli interventi manutentivi, in ambito infrastrutturale, è uno dei capisaldi delle policy aziendali mirate a rendere più efficienti gli apparati produttivi non solamente in base al ricavo ma anche dal punto di vista del rendimento e della qualità del prodotto finito.

Nel caso della gestione delle infrastrutture, in cui è inserita Rete Ferroviaria Italiana – Gruppo Ferrovie dello Stato, risulta necessario garantire il corretto funzionamento, il mantenimento di un livello prestazionale minimo e consentire la circolazione ferroviaria evitando eccessivi rallentamenti e slittamenti nell'orario grafico, con conseguenti ritardi.

Il seguente lavoro ha il compito di intervenire a favore di una migliore e più puntuale organizzazione degli interventi manutentivi infrastrutturali, nello specifico sui deviatoi, utilizzando un approccio gestionale frutto di un compromesso tra lo stato reale degli A.d.B. e i parametri oggettivi a disposizione nelle banche dati aziendali.

1.1. Caratteristiche delle linee ferroviarie

Le linee ferroviarie, in Tratta (TR) e in Località (LO), vengono rappresentate tramite il loro inserimento nel contesto topografico.

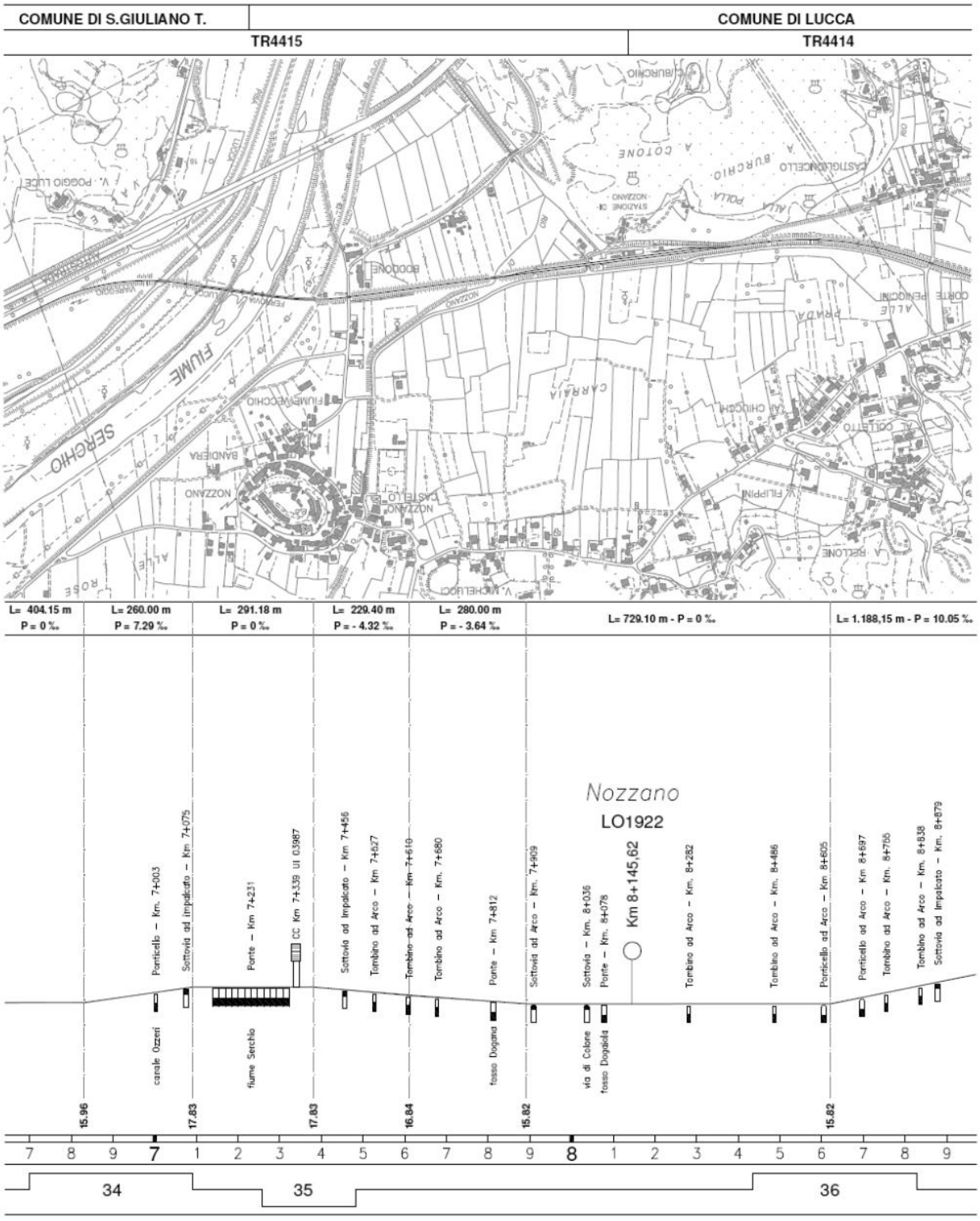


Figura 1: Rappresentazione plano-altimetrica di un tracciato ferroviario [2]

Si rende dunque necessaria una rappresentazione plano-altimetrica, al fine di evidenziare le interferenze tra la linea medesima e la geomorfologia del territorio.

In Figura 1 (in alto) viene riportato uno stralcio di tracciato ferroviario planimetrico della linea Viareggio-Pistoia-Firenze, nell'intorno della stazione di Nozzano (LU) [2]. Si riconoscono le seguenti caratteristiche:

- Morfologia del territorio (fiumi, terreni, strade, ecc.).
- Limiti giurisdizionali di comuni, province, regioni.
- Opere d'arte (ponti, viadotti, attraversamenti).
- Trincee e rilevati (rappresentati tramite opportune barbettature).

In Figura 1 (in basso) è riportato, a completamento, il profilo altimetrico. Esso viene reso tramite "esagerazione di scala" verticale, per rendere meglio evidenti i dislivelli. Si riconoscono le seguenti caratteristiche:

- Lunghezza "L" [m] e pendenza "P" [‰], quote dei vertici delle livellette.
- Opere d'arte (ponti, gallerie, attraversamenti ecc.).
- Progressive chilometriche relative a località di servizio, opere d'arte, passaggi a livello ecc.
- Elementi del territorio, quali nomi di reti viarie attraversate, fiumi, torrenti, comuni ecc.

Viene inoltre riportato il diagramma delle curvature, mentre in altimetria sono assenti gli archi di parabola atti a unire due rami di livelletta convergenti in un vertice.

1.2. Infrastruttura ferroviaria

L'infrastruttura ferroviaria è costituita, in generale, da due elementi principali: il corpo stradale e la sovrastruttura ferroviaria.

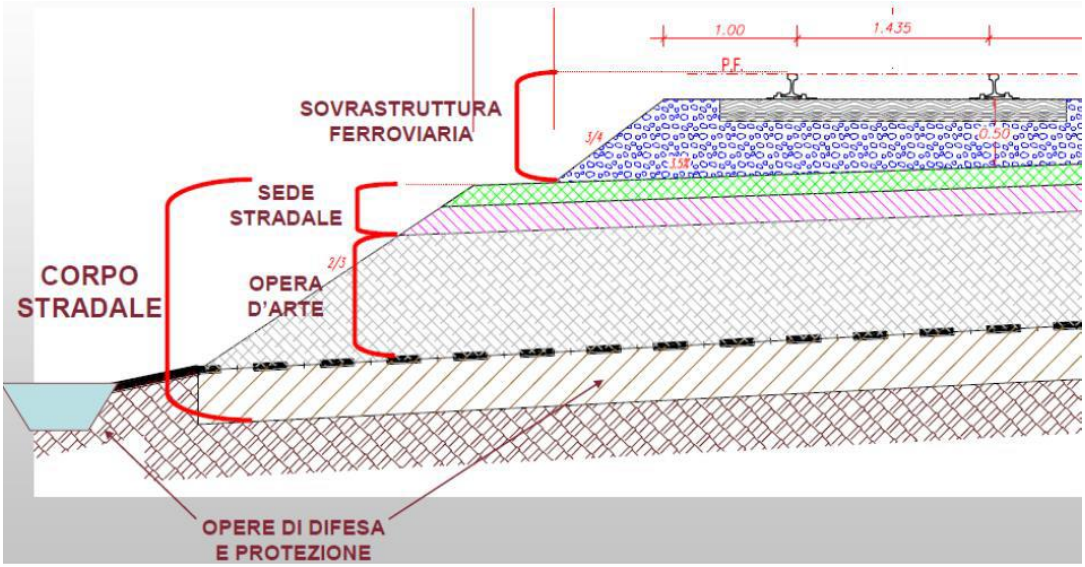


Figura 2: Sezione di infrastruttura ferroviaria in rilevato [2]

1.2.1. Corpo stradale

Viene definito come "l'insieme delle opere civili, delle opere d'arte, delle opere di difesa, di protezione, di confine e di integrazione tra la linea ferroviaria e l'ambiente esterno." [2]. Rappresenta pertanto la base di supporto per la sovrastruttura, ed ha il compito di distribuire e attutire i carichi verticali indotti dalla circolazione. Nel caso di rilevato, esso è tipicamente realizzato con una pendenza di 2/3.

Il corpo stradale presenta, a livello di materiali, la seguente stratigrafia:

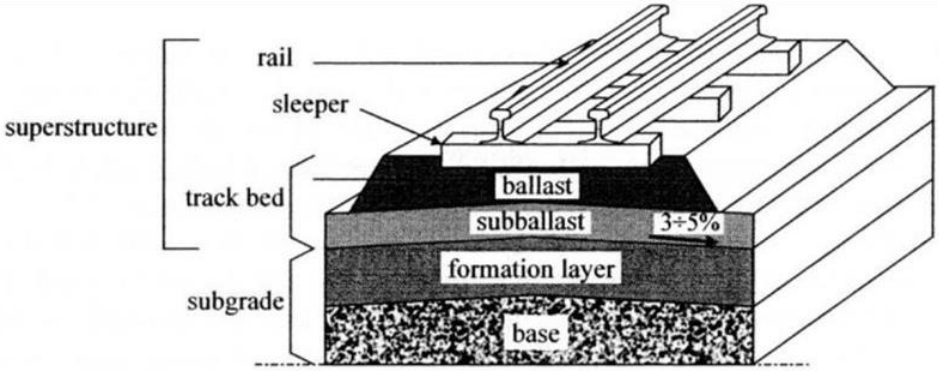


Figura 3: Stratigrafia di corpo stradale ferroviario [3]

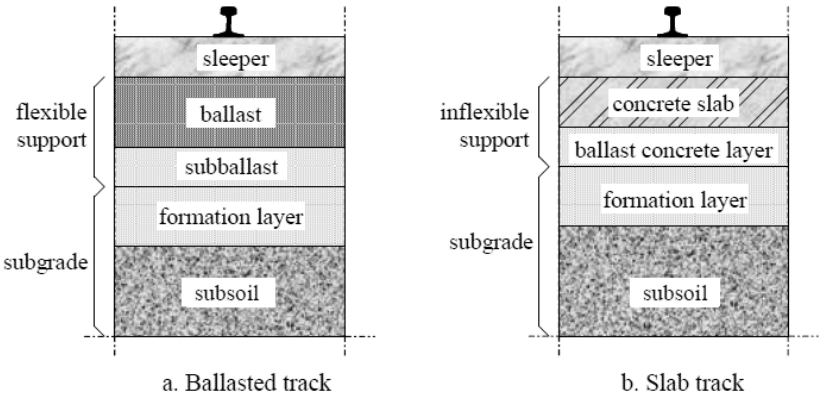


Figura 4: Stratigrafia di corpo stradale ferroviario (a: sovrastruttura flessibile; b: sovrastruttura rigida)

In essa si evidenziano:

- **Subballast**: strato di materiale ghiaioso compattato, eventualmente legato con miscele bituminose nelle linee di nuova costruzione. Ha la funzione di consentire il deflusso delle acque piovane, provenienti dalla sovrastruttura, al di fuori del corpo stradale, impedendo eventuale infiltrazione negli strati sottostanti. Nel caso di sovrastruttura rigida, lo strato di subballast viene ad essere sostituito da ballast cementato.
- **Sottofondo (subgrade)**: strato di fondazione del corpo stradale, a sua volta suddiviso in **strato di formazione** (**formation layer**) e **base**, a diretto contatto con il terreno naturale o con un'opera d'arte.

I suddetti strati hanno una pendenza tipicamente del 3-5%, indipendente dal tracciato.

A seconda della posizione della linea di tracciato, si identificano i seguenti casi:

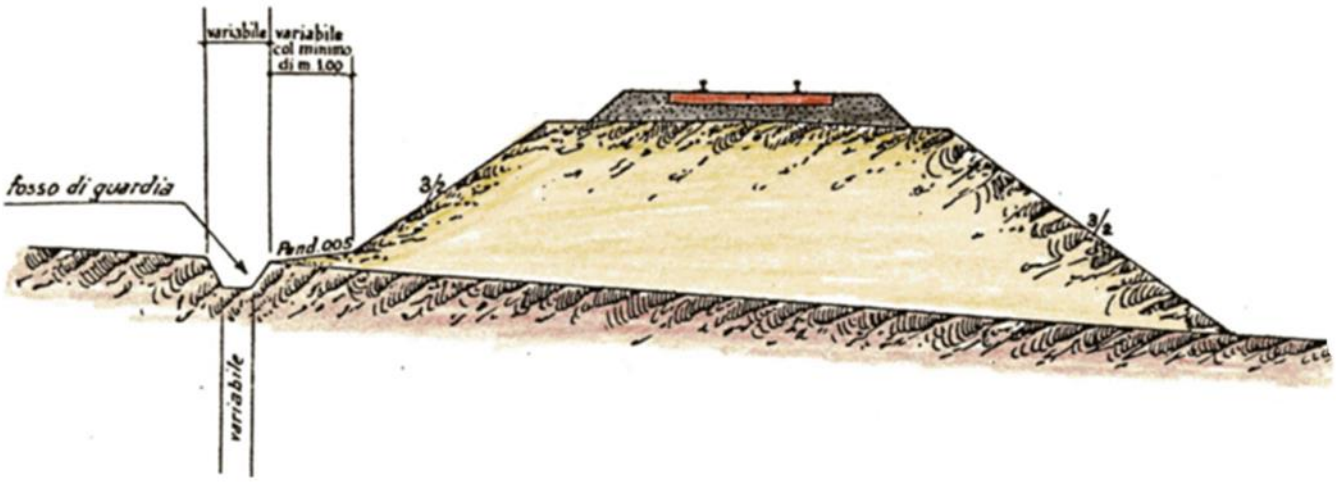


Figura 5: Sede stradale ferroviaria in rilevato

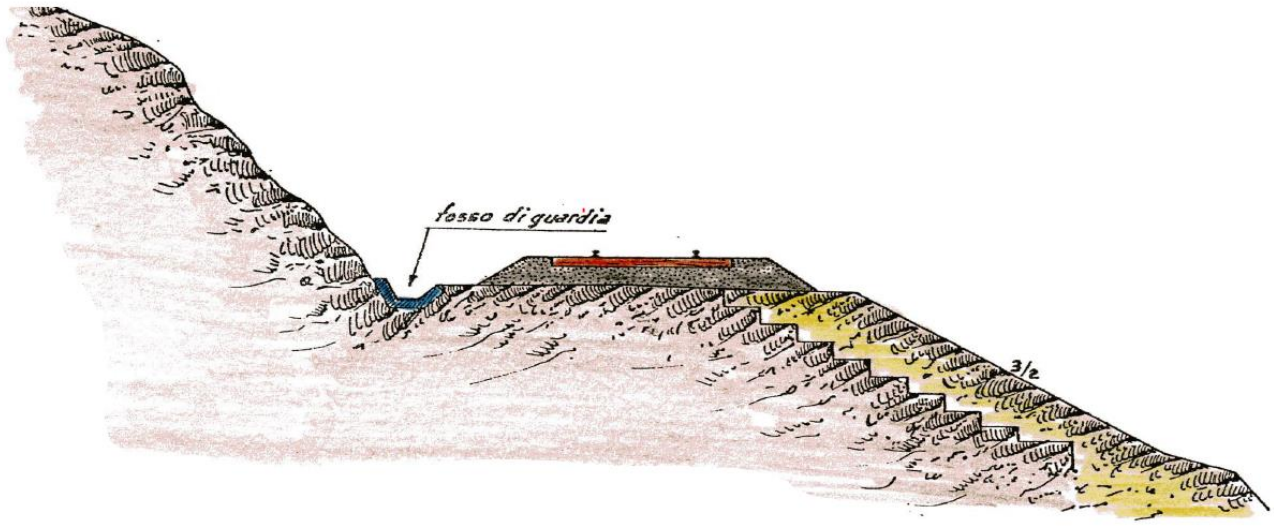


Figura 6: Sede stradale ferroviaria a mezza costa

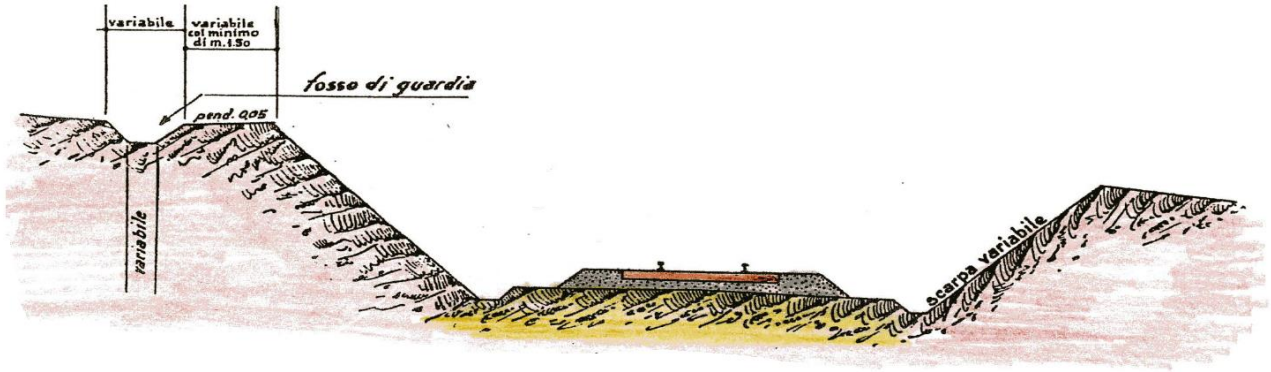


Figura 7: Sede stradale ferroviaria in trincea

All'interno del corpo stradale si identificano:

- **Sede Stradale**: in essa, a livello macroscopico, si possono individuare piattaforma, banchine, cigli, vie di accesso.
- **Opere d'arte**: consistono essenzialmente in rilevati, trincee, viadotti, ponti, su cui trova alloggio la sede stradale, oppure in gallerie.
- **Opere di difesa e protezione**: consistono in cunette, fossi di guardia, opere di difesa da frane, smottamenti e mareggiate.

1.2.2. Sovrastruttura ferroviaria

È la parte sommitale del corpo stradale. Essa risulta definita come nelle seguenti immagini:

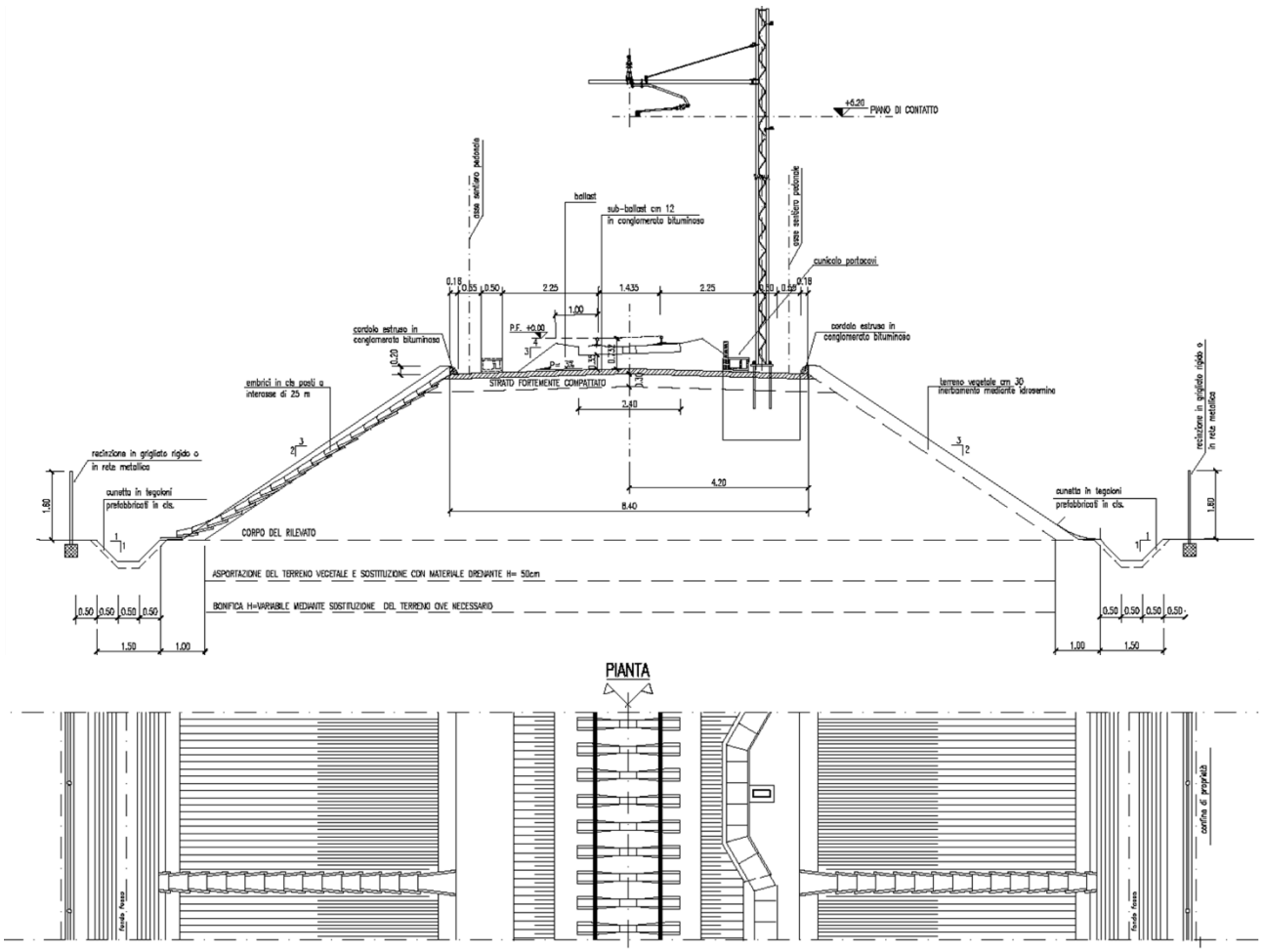


Figura 8: Linea a singolo binario. Sezione tipo in curva in rilevato [15]

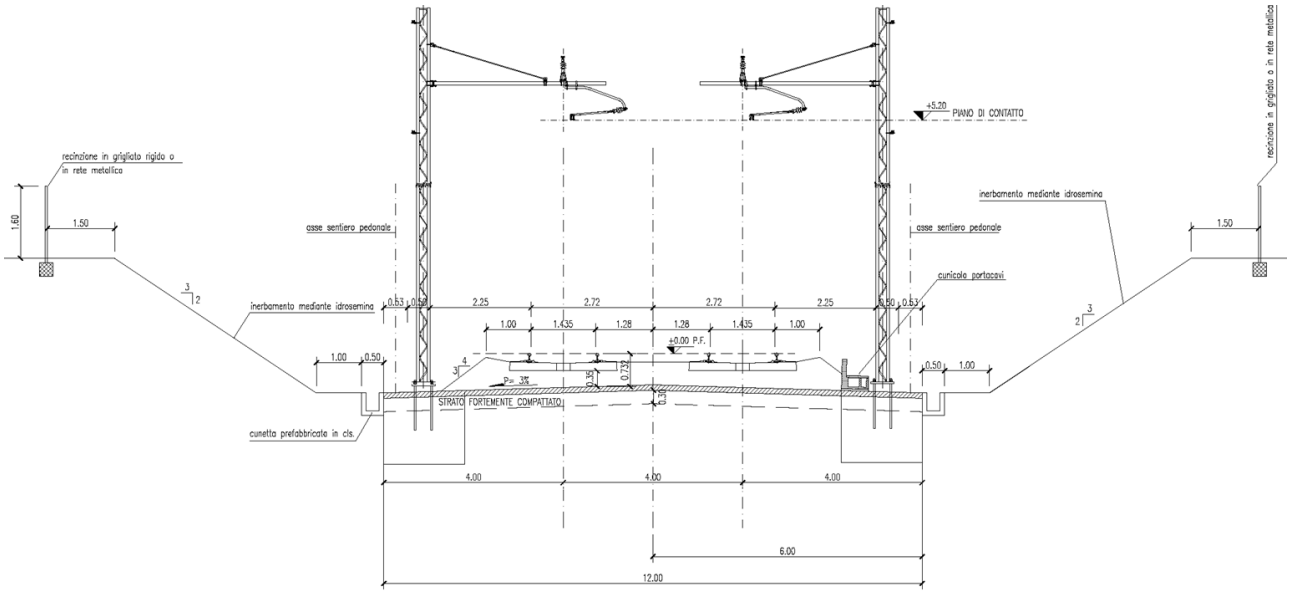


Figura 9: Linea a doppio binario. Sezione tipo in rettifilo in trincea [15]

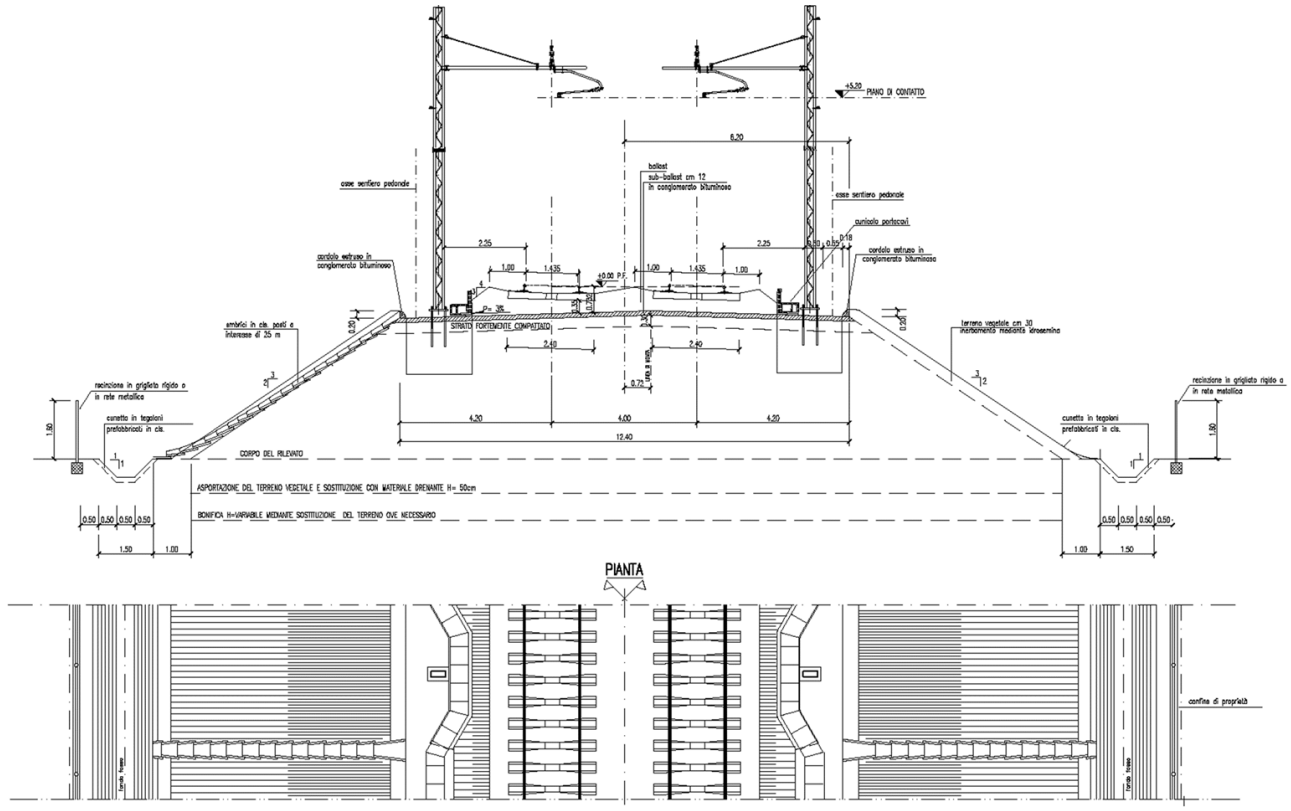


Figura 10: Linea a doppio binario. Sezione tipo in curva in rilevato [15]

Più nel dettaglio, viene presentato il seguente schema:

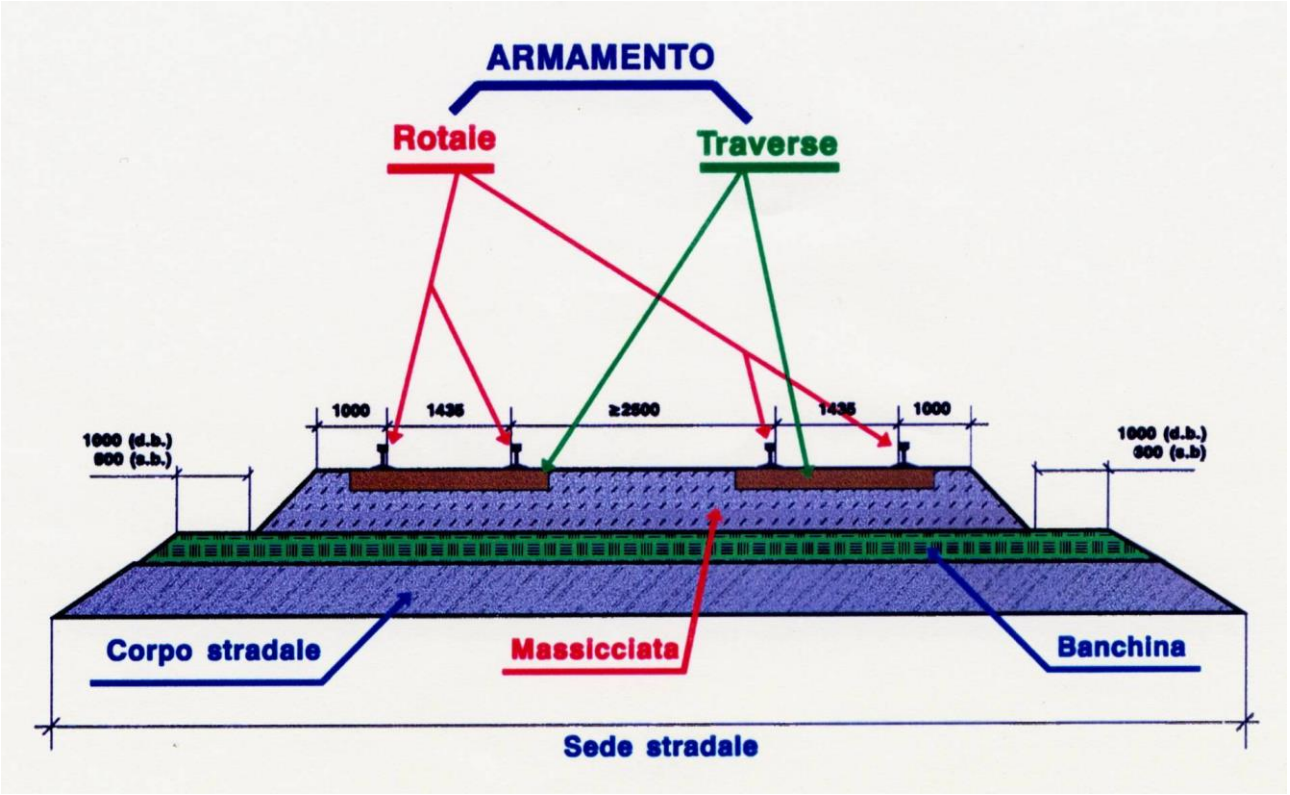


Figura 11: Schema rappresentativo di sede stradale e sovrastruttura ferroviaria [2]

La sovrastruttura ferroviaria risulta quindi costituita da:

- “Armamento”: viene definito come l’insieme di rotaie, traverse, organi di attacco e A.d.B.
- Massicciata: strato di ballast utile per la stabilizzazione dell’armamento e ripartizione dei carichi.

In particolar modo, la sede stradale è il luogo in cui si trovano gli A.d.B., oggetto dell’elaborato di tesi.

1.3. Armamento

La sovrastruttura ferroviaria è l'ambito in cui si inserisce l'"Armamento", vale a dire l'insieme dei seguenti componenti:

- **Rotaie**
- **Traverse e traversoni**
- **Apparecchi del binario**
- **Organi di attacco**

Figura 12: Esempio di "Armamento" comprendente rotaie, deviatoio, traverse e traversoni, organi di attacco (Foto realizzata presso "Località" Asti)

La gestione dell'armamento risulta di fondamentale importanza per consentire la sicurezza dell'esercizio ferroviario nonché un adeguato comfort per l'utenza.

Una manutenzione regolare e organizzata è pertanto necessaria al fine di ottimizzare i costi e migliorare costantemente gli standard, disponendo quindi di una infrastruttura all'avanguardia associata ad elevati livelli di sicurezza.

Nel seguito dell'elaborato vengono analizzati i "Deviatoi", vale a dire quegli apparecchi del binario che consentono ai convogli di proseguire la corsa lungo una direzione diversa da quella originaria, cambiando binario di percorrenza.

Al fine di ottenere una visione dello stato manutentivo dei deviatoi, viene proposta la creazione di un modello che prenda in conto le caratteristiche principali dei medesimi, sia da un punto di vista strutturale che di logiche manutentive aziendali.

Nei successivi capitoli vengono descritti i deviatoi nella loro visione d'insieme, strutturale e funzionale; inoltre, si farà riferimento alle componenti strutturali che più influenzano, da un punto di vista qualitativo e ingegneristico, la funzionalità medesima degli apparecchi del binario, ossia le rotaie e i traversoni.

2. Deviatoi

Una caratteristica fondamentale della linea ferroviaria è rappresentata dal moto veicolare vincolato lungo la linea d'asse: pertanto i binari sono un sistema ad un grado di libertà nei confronti del movimento dei rotabili [3]. Tuttavia, i convogli devono avere la possibilità di cambiare la loro direzione di marcia, passando da un binario ad un altro (bivi e comunicazioni), oppure da un tracciato a un altro: ciò viene reso possibile dai "deviatoi" e dalle "intersezioni", definiti come i dispositivi e le parti di binario grazie ai quali la direzione del treno può essere variata senza l'interruzione della sua corsa.

Figura 13: Insieme di deviatoi, scambi intersezioni e intersezioni presso generica località [2]

Questi dispositivi del binario si utilizzano:

- All'interno dei piazzali nelle stazioni, per consentire l'attraversamento e il collegamento tra i vari binari.
- Lunga la linea ferroviaria, per consentire la diramazione di una linea a partire da un'altra (in corrispondenza dei "bivi") o permettere il passaggio da un binario a un altro (in corrispondenza dei "posti di comunicazione").

Deviatoi e intersezioni presentano una grande varietà di tipologie e conformazioni, riconducibili a tre differenti categorie [3]:

1. **“Deviatoi semplici o multipli”**: consentono di dividere il tracciato originario (ramo principale) in due o tre rami secondari (rami deviati), e di instradare il convoglio su uno di questi.
2. **“Intersezioni”**: in essi, due tracciati si intersecano a raso senza cambiamento di direzione di corsa.
3. **“Scambi intersezione”**: essi combinano le funzioni dei deviatoi e delle intersezioni.

Pertanto, le funzioni di scambi e intersezioni sono quelle di consentire alla linea ferroviaria di diramarsi o congiungersi con un’altra, garantire flessibilità così da consentire il passaggio del convoglio da un tracciato ad un altro, permettere le manovre di traino e posizionamento finalizzate all’assemblaggio dei convogli. Al fine di soddisfare queste richieste, deviatoi e intersezioni devono essere in linea con alcuni requisiti, tra i quali [3]:

- Imporre le restrizioni di velocità minori possibili
- Essere posizionati esattamente laddove le esigenze operative lo richiedono
- Garantire la massima flessibilità operazionale
- Sostenere il carico assiale richiesto
- Economicità degli interventi di manutenzione, facilità di posa e lavorazione, robustezza, facilità di sostituzione
- Resistenza a usura, corrosione e invecchiamento, e richiedere minima manutenzione
- Compatibilità con i requisiti del segnalamento.

2.1. Componenti del Deviatoio

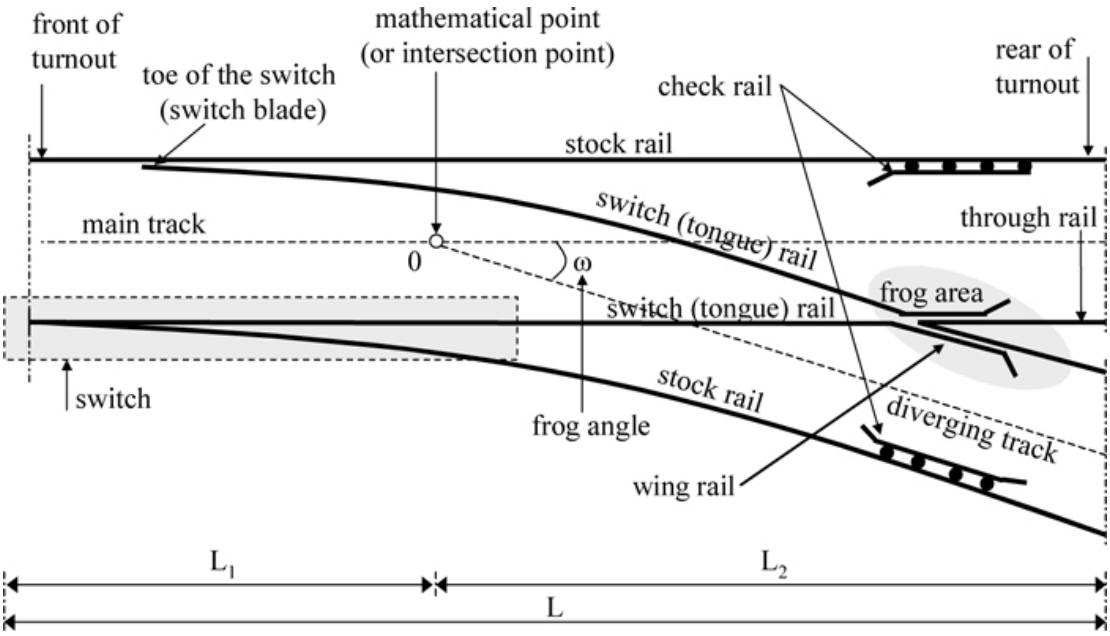


Figura 14: Schema e componenti di deviatoio semplice [3]

In un deviatoio si distinguono [3]:

- **Ramo principale del tracciato** ("Main track")
- **Ramo secondario/deviato** ("Diverging track"), sul quale il convoglio può essere instradato
- **Centro geometrico del deviatoio** ("Mathematical point 0"), ossia l'intersezione tra gli assi del ramo principale e deviato.
- **Tangente** o **Angolo di deviazione del ramo secondario *ω*** ("Frog angle"), compreso tra gli assi dei due rami: viene per lo più approssimato con la sua tangente.
- **Aghi** ("Tongue rail"), ossia le parti mobili di rotaia che, compiendo movimento di traslazione, permettono al convoglio il cambio di traiettoria. La loro posizione pertanto è indicativa della direzione che prenderà il treno. Un parametro critico è il raggio di curvatura R del deviatoio.
- **Contraghi** ("Stock rail"), ossia le rotaie che non compiono movimento di traslazione.
- **Spazio nocivo** ("Frog area"), ossia il punto di intersezione geometrica tra la rotaia esterna del corretto tracciato e la rotaia interna del ramo deviato: in questo punto (di pur breve estensione) vi è uno spazio vuoto, in corrispondenza del quale la ruota del convoglio risulta non essere vincolata.
- **Controrotaia** o **controguida** ("Check rail"), ossia un segmento di rotaia (lunghezza tipica tra 3÷10 m) posizionato dalla parte opposta rispetto allo spazio nocivo, sulla rotaia interna del ramo deviato e su quella esterna del ramo di corretto tracciato. La controrotaia ha il ruolo

fondamentale di impedire movimenti irregolari e incontrollati delle sale montate. Infatti, mancando il supporto fisico nella zona nociva, la ruota interessata subisce spostamenti verso l'esterno curva (nel caso di deviatoio azionato sul ramo deviato) causando uno scivolamento verso il basso della ruota opposta, che rientra spostandosi verso l'asse del tracciato del ramo secondario: la controrotaia pertanto limita questo rientro, essendo posizionata tipicamente a 38÷46 mm dalla rotaia vera e propria ("stock rail"). Analoga considerazione per il ramo di corretto tracciato.

Da un punto di vista geometrico-descrittivo, si definiscono le seguenti lunghezze [3]:

- L_1: distanza tra la punta della coppia ago-contrago e il centro geometrico del deviatoio.
- L_2: distanza tra il centro geometrico e la fine del deviatoio.
- $L = L_1 + L_2$: lunghezza complessiva del deviatoio.
- c: distanza limite di manovra ("fouling distance"). È la distanza alla quale, partendo dall'inizio del deviatoio, viene a ricrearsi il franco di sicurezza laterale tra i convogli occupanti i due rami. Viene indicata sul tracciato dal posizionamento della "traversa limite di manovra" ("fouling mark"). Per linee a scartamento ordinario la distanza tra gli assi dei due binari è di almeno 3,50 m.

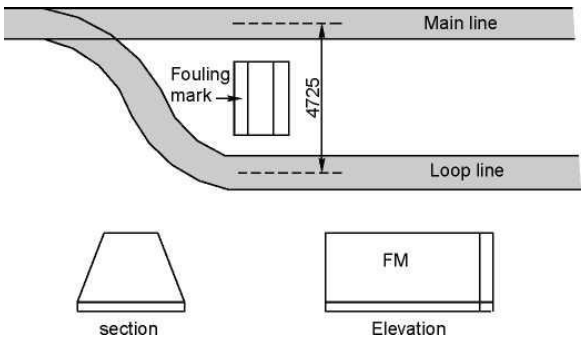


Figura 15: Rappresentazione in pianta della "distanza limite di manovra" ("fouling distance") [21]

Figura 16: Traversa limite di manovra ("fouling mark") presso la stazione di Alano-Fener-Valdobbiadene [18]

I valori tipici del raggio R del deviatoio per linee ordinarie sono compresi tra i 150÷500 m, consentendo pertanto delle velocità di percorrenza sul ramo deviato comprese tra 30÷65 km/h.

Nel caso di tratte percorribili a velocità medio-basse, la tangente del deviatoio (ossia il "frog angle") è dell'ordine di 1:8 e 1:10 per gli scambi di vecchia generazione, di 1:9 o 1:12 in quelli di più recente costruzione e posa.

I deviatoi risultano composti dalle seguenti parti, rappresentate nella figura sottostante:

- **Telaio degli aghi**
- **Rotaie intermedie**
- **Telaio del cuore**

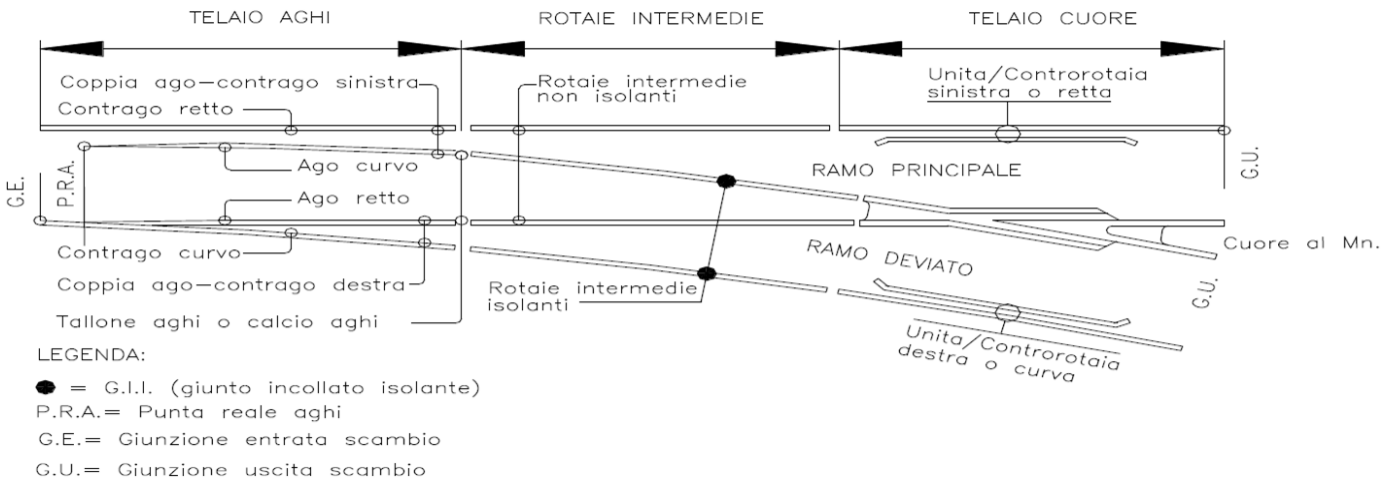


Figura 17: Parti principali di un deviatoio semplice (posa destra) [2]

Più nel dettaglio, si evidenziano le seguenti componenti delle parti metalliche:

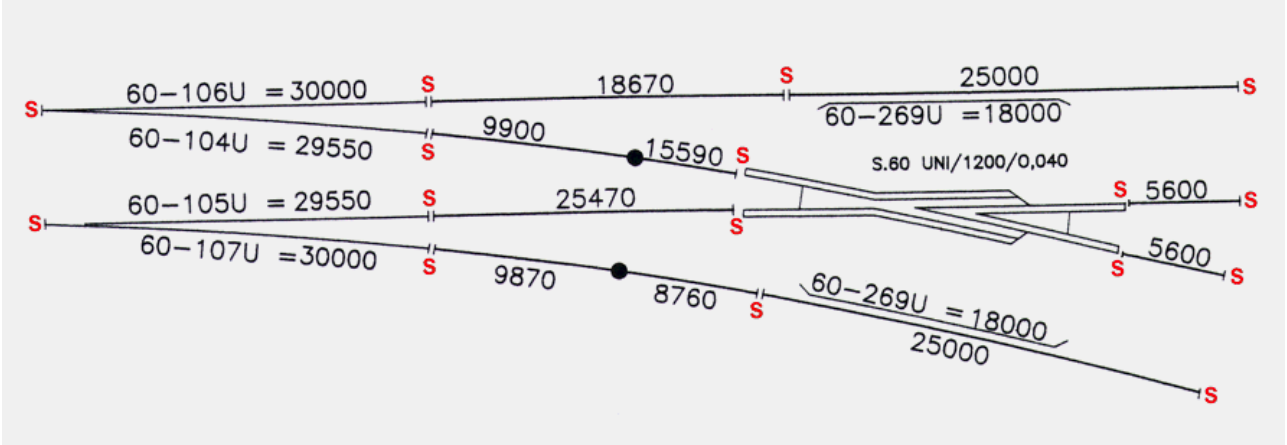


Figura 18: Schema delle parti metalliche di deviatoio, con relativa designazione e marcatura impressa a vernice [2]

2.1.1. Telaio degli aghi

Il telaio degli aghi, altrimenti detto "dispositivo di deviazione" o "cambiamento", è quella sezione del deviatoio che si estende dalla giunzione d'ingresso G.E (attualmente lo standard prevede che siano saldate) fino al tallone degli aghi; la sua funzione è quella di consentire l'instradamento del materiale rotabile da un binario all'altro. Il suddetto telaio è composto da due "coppie ago-contrago" denominate "coppia sinistra" e "coppia destra"[1]. Gli aghi costituiscono l'elemento fondamentale del deviatoio, e poggiano su appositi "cuscinetti di scorrimento"; essi sono collegati tra loro con tiranti che permettono di eseguire la "manovra simultanea" e fanno sì che quando un ago è accosto al rispettivo contrago, l'altro risulti in posizione discosta[2] [2]. Si hanno quindi le seguenti componenti:

- **Aghi**: possono essere curvi o retti, e si muovono solidalmente sul piano orizzontale. In base alla loro posizione il treno prenderà la direzione deviata (ad esempio ago sinistro accosto e ago destro discosto) oppure continuerà lungo il ramo principale (ago sinistro discosto e ago destro accosto). Aghi e contraghi omologhi formano le rispettive coppie ago-contrago.
  Gli aghi sono essenzialmente di due tipologie, in base al processo di lavorazione: vengono definiti "aghi di barra" quando ricavati per lavorazione meccanica a partire da barre a profilo speciale, oppure "aghi di rotaia" quando ricavati da rotaie di profilo standard. Le rotaie (oppure le barre) vengono lavorate al fine di consentire il regolare accoppiamento al rispettivo contrago [2]. A partire dalla metà dell'ago, si effettua un'assottigliamento del fungo verso la punta dell'ago stesso, fino ad ottenere un triangolo allungato con vertice posizionato nella punta dell'ago medesimo; la parte opposta costituisce invece il "tallone" o "calcio". In base a questa nomenclatura, è di uso comune rifersirsi ad uno scambio come "preso di punta" o di "calcio" a seconda che i convogli impegnino gli aghi a partire dalla punta o dal calcio [2].

Figura 19: Piallatura ago al banco

[1] Tale denominazione si basa sulla direzione in cui si osserva il complesso del deviatoio: in questo caso, l'osservatore guarda a partire dalla giunzione d'ingresso,.
[2] Nel caso in cui manchi tale requisito o non sia completamente soddisfatto, si potrebbe verificare lo svio.

Gli aghi definiti “di barra” deravano dalla lavorazione di rotaie 50 e 60 UNI (che costituiscono i deviatoi attualmente utilizzati) mentre gli aghi detti “di rotaia” derivano da rotaie del tipo 36 e 46 (deviatoi di vecchia concezione). Gli aghi derivanti da rotaie 60 UNI vengono definiti “aghi saldati”, in quanto si ottengono dall’unione tramite elettrosaldatura di una barra forgiata con un tratto di rotaia: tramite questa modalità è possibile “passare dal profilo di barra d'ago a quello di rotaia del 60 UNI in un tratto di circa 350 mm” [2]

Legenda:
1 asse per la marcatura

- area sezione trasversale : 77,66 cm^2
- massa per metro lineare : 60,96 kg/m
- momento d’inerzia asse X-X : 1997,3 cm^4
- modulo di inerzia della sezione – Fungo : 250,9 cm^3
- modulo di inerzia della sezione – Suola : 292,0 cm^3
- momento d’inerzia asse Y-Y : 437,8 cm^4
- modulo di inerzia della sezione asse Y-Y : 64,9 cm^3
- dimensioni indicative : A=40,471 mm

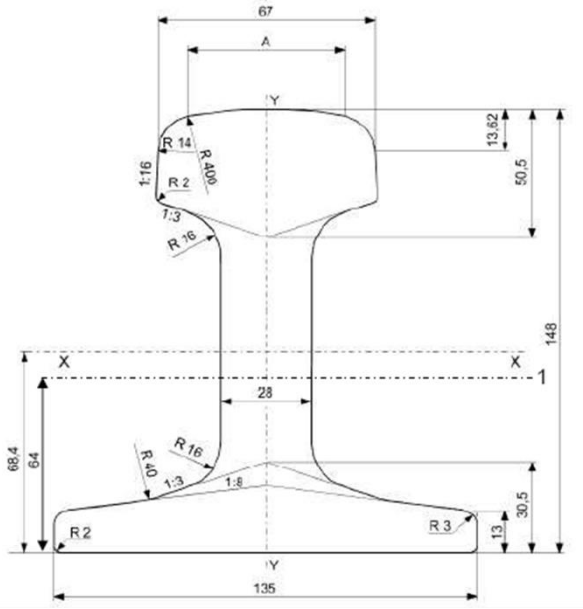


Figura 20: Profilo della barra d’ago 50E1T1 (A50U) [16]

Legenda:
1 asse per la marcatura

- area sezione trasversale : 87,95 cm^2
- massa per metro lineare : 69,04 kg/m
- momento d’inerzia asse X-X : 1738,7 cm^4
- modulo di inerzia della sezione – Fungo : 233,8 cm^3
- modulo di inerzia della sezione – Suola : 291,6 cm^3
- momento d’inerzia asse Y-Y : 645,1 cm^4
- modulo di inerzia della sezione asse Y-Y sinistro : 110,4 cm^3
- modulo di inerzia della sezione asse Y-Y destro : 79,1 cm^3
- dimensioni indicative : A=20,456 mm
  B=52,053 mm

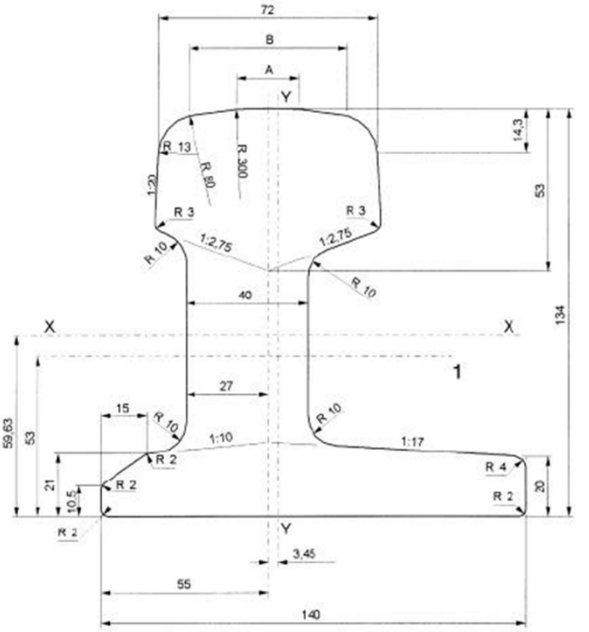


Figura 21: Profilo della barra d’ago 60E1A2 (A 60 U) [16]

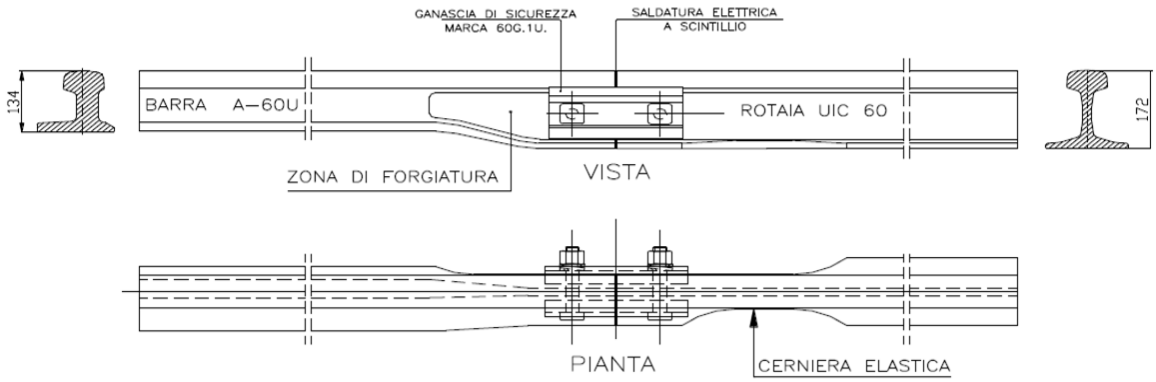


Figura 22: Prospetto laterale e vista in pianta di ago grezzo saldato, non lavorato, per deviatoi di armamento 60UNI [2]

La sezione trasversale delle rotaie del deviatoio varia gradualmente a partire dalla punta della coppia ago-contrago [3]:

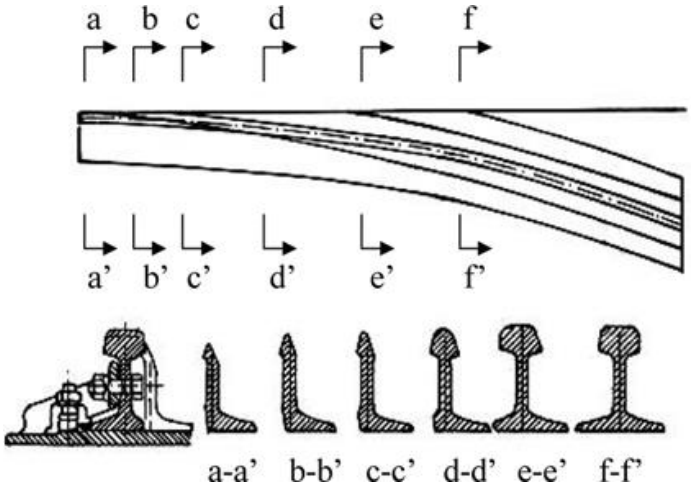


Figura 23: Sezioni trasversali di ago e rotaia del deviatoio

La presenza di una cerniera "elastica" o "articolata", in prossimità del tallone, consente all'ago di assumere posizione "accosta" o "discosta" nei confronti del rispettivo contrago: pertanto gli aghi con cerniera elastica mostrano inflessione attorno una cerniera "teorica" (ossia punto di annullamento delle inflessioni), mentre quelli con cerniera articolata mostrano rotazione attorno ad un punto geometrico reale (aghi rigidi). La cerniera elastica si ottiene "mediante alleggerimento della suola in modo tale da ridurre il momento d'inerzia rispetto all'asse verticale dell'ago" [2]; la cerniera articolata invece viene "realizzata con perno verticale infisso in un apposito cuscinetto di cerniera, posto in corrispondenza del tallone, attorno al quale l'ago ruota" [2]. I deviatoi di più antica concezione presentano generalmente cerniera articolata, al contrario dei più recenti derivanti da rotaie 50 e 60 UNI nonché del 46 UNI modificato, che presentano cerniera elastica.

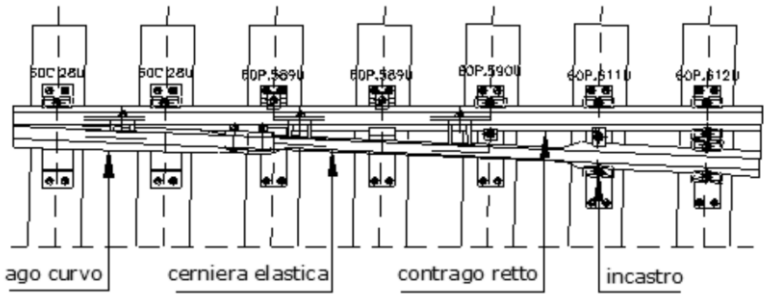


Figura 24: Particolare di cerniera elastica [2]

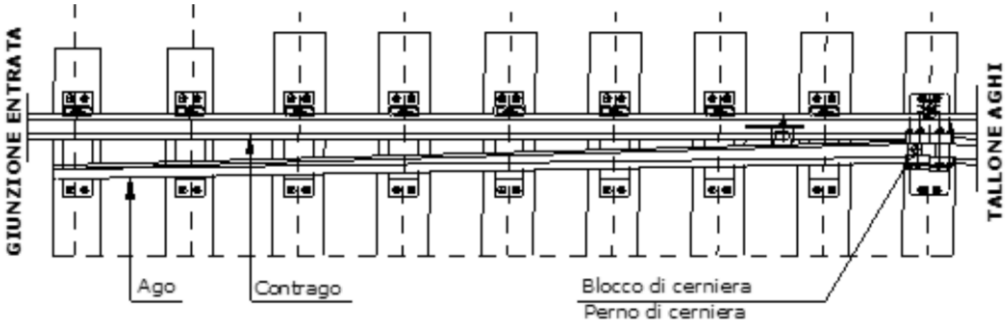


Figura 25: Particolare di cerniera articolata [2]

- **Contraghi:** sono rotaie presentanti profilo classico che consentono il mantenimento della direzione imposta dalla posizione dell'ago; possono essere contraghi curvi o contraghi retti. Sono lavorate sotto il lembo interno del fungo: ivi trova alloggiamento l'ago, per essere protetto nella zona della punta. Tale lavorazione avviene mediante fresatura, e permette che si realizzi il perfetto accoppiamento dell'ago con il contrago. I "cuscinetti di scorrimento" sono delle piastre che permettono il "serraggio del contrago" e il movimento di scorrimento dell'ago durante la manovra di apertura o chiusura del deviatoio medesimo [2].

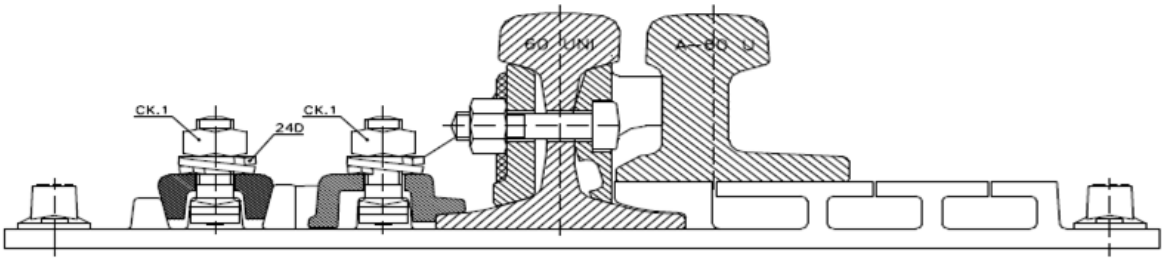


Figura 26: Cuscinetto di scorrimento ad attacco rigido (montato su scambi tradizionale) [2]

I cuscinetti necessitano di costanti operazioni di pulizia, manutenzione e lubrificazione; di recente si è avuta l'introduzione di cuscinetti innovativi, muniti di dispositivi di autolubrificazione "a rulli o a strisciamento" [2].

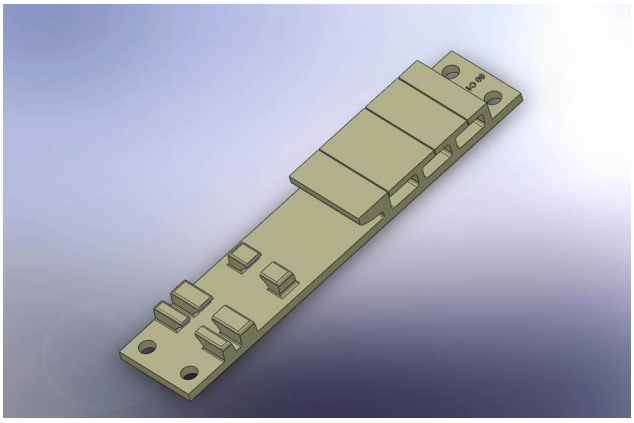


Figura 27: Vista assonometrica di cuscinetto di scorrimento [2]

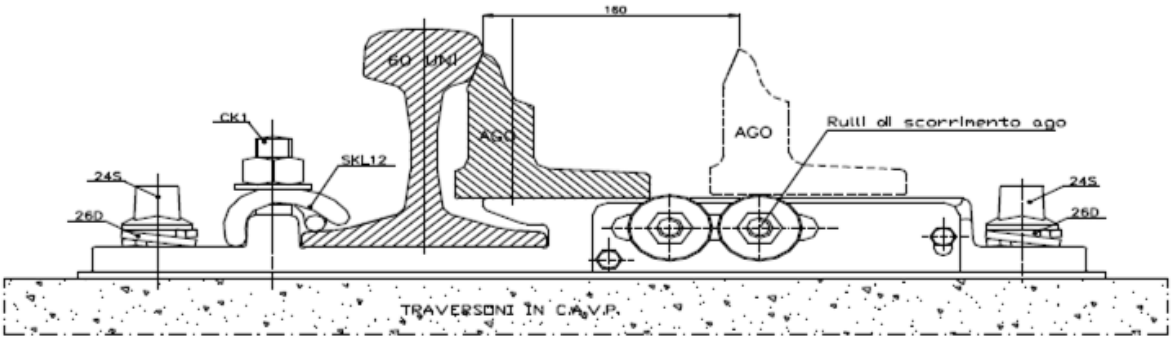


Figura 28: Cuscinetto ad attacco elastico con rulli di scorrimento (montato su scambi di tipo innovativo) [2]

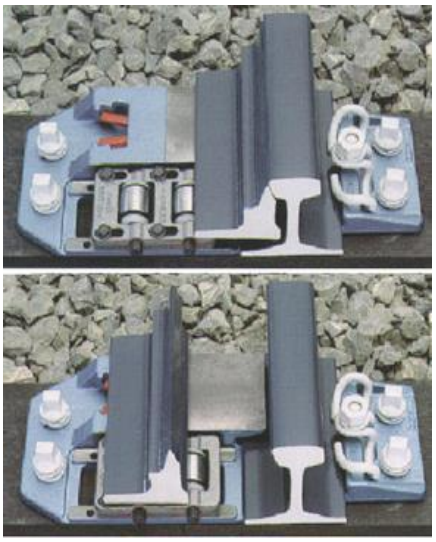


Figura 29: Particolare di cuscinetto ad attacco elastico con rulli di scorrimento [2]

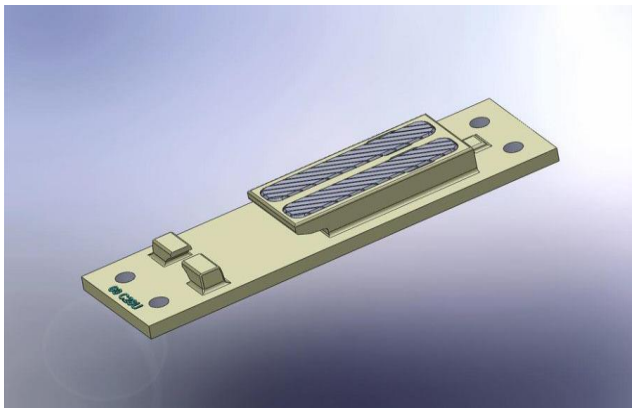


Figura 30: Vista assonometrica di cuscinetto autolubrificante con inserti in polimero antifrizione sostituibili [2]

La coppia ago-contrago è inoltre caratterizzata dalla presenza dei "blocchi di distanza" per gli aghi: essi sono dei blocchi a forma di "corna", serrati al contrago per mezzo di "chiavarde", ed hanno il compito di fare sì che l'ago permanga accosto nella giusta posizione nel momento in cui è soggetto alle spinte dei rotabili [2].

Nei deviatoi di moderna concezione, l'ago quando accosto risulta sempre essere a riposo, ossia privo di tensione.

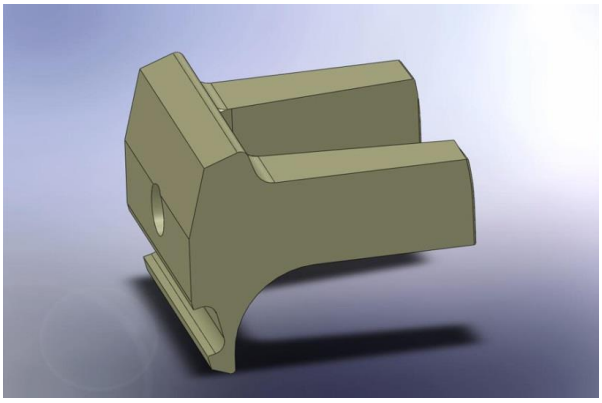


Figura 31: Vista assonometrica di blocco di distanziamento aghi [2]

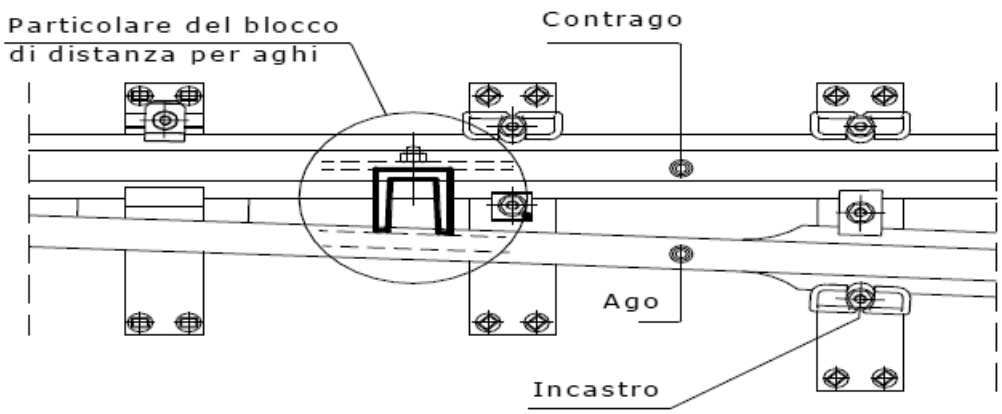


Figura 32: Vista in pianta di blocco di distanza per aghi [2]

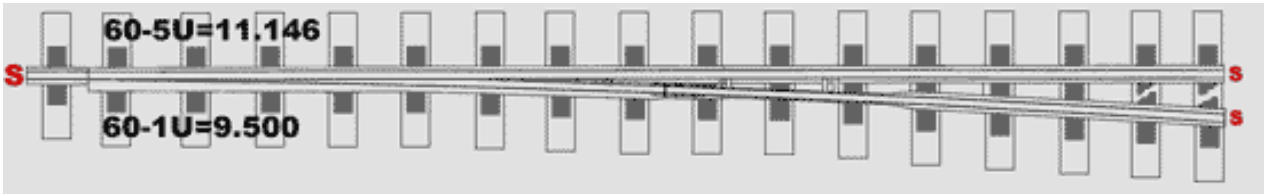


Figura 34: Accoppiamento ago-contrago accosti [2]

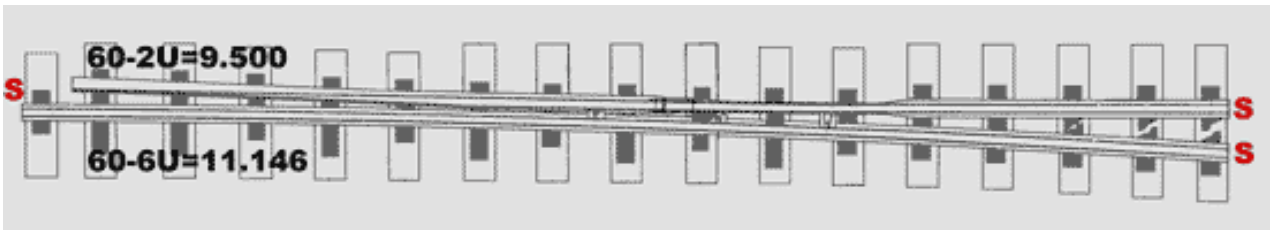


Figura 33: Accoppiamento ago-contrago discosti [2]

- **P.R.A.**: Punta reale degli aghi.

- **G.E.**: Giunzione in entrata del deviatoio.

- **Tallone/calcio degli aghi**: i deviatoi vengono "impegnati" essenzialmente in due modi [2]:
  - "di punta": a partire dalla punta verso il cuore (ossia dalla giunzione di entrata)
  - "di calcio":a partire dal cuore verso la punta degli aghi.

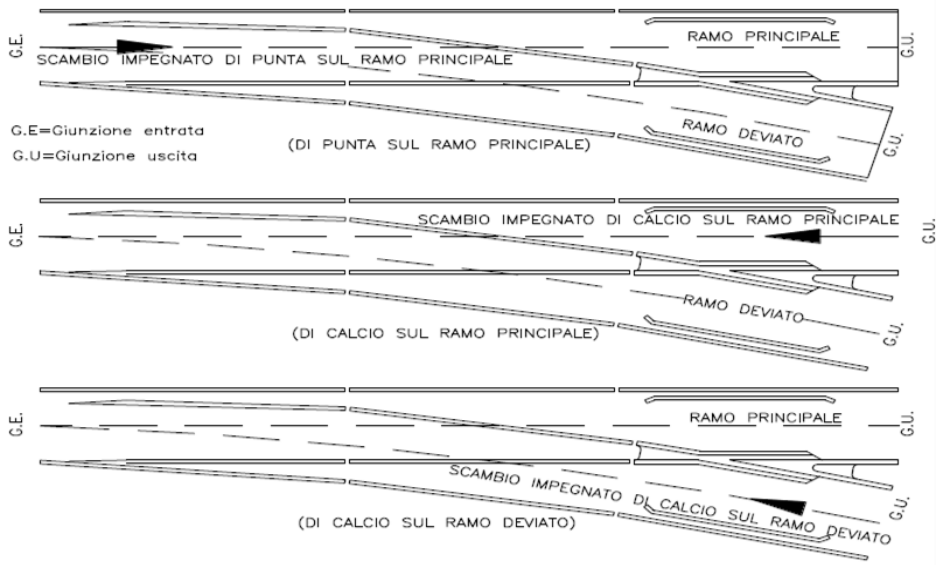


Figura 35: Modi di impegnare uno scambio semplice [2]

Nel momento in cui un convoglio impegna “di calcio” un deviatoio per il quale non era stato preventivamente creato il corretto instradamento (ovvero viene percorso su un ramo nel quale gli aghi si trovano nella posizione errata rispetto al senso di marcia del treno), il bordino delle ruote va a forzare il telaio degli aghi imponendo la modifica della sua posizione: questo scenario viene detto di “scambio tallonato”. Al contrario, se la cassa di manovra viene predisposta per il cambio di posizione, si ha una situazione di “scambio tallonabile”. I deviatoi prersenti sulle linee AC/AV sono tutti “intallonabili” [2]

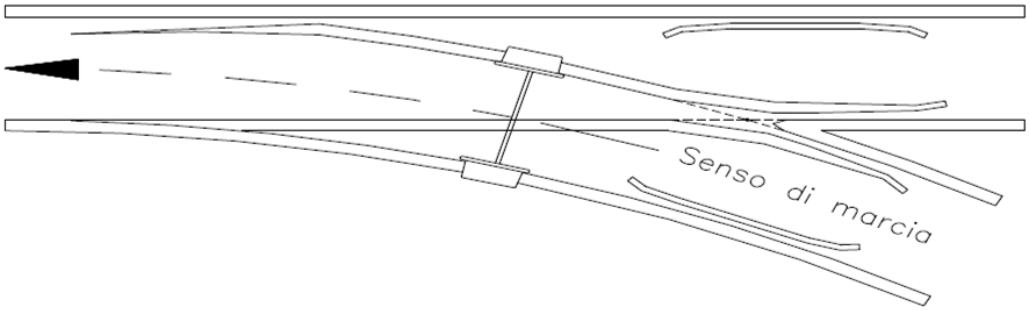


Figura 36: Tallonamento di un deviatoio impegnato di calcio [2]

2.1.2. Rotaie intermedie

Le rotaie intermedie costituiscono le parti metalliche di unione tra il telaio degli aghi e il telaio del cuore. Queste vengono realizzate rette e di una lunghezza di poco maggiore rispetto alle misure standard per i casi di posa destra e sinistra, tenendo conto di un possibile adattamento in situ alla tipologia di posa che si vuole ottenere[3], oppure per interventi di eliminazione di precedenti saldature (bonifica) durante le operazioni di sostituzione di coppie ago-contrago e dei cuori [2].

Le "rotaie intermedie isolanti" consentono che lo scambio possa inserirsi nel "circuito elettrico del binario": ciò protegge l'itinerario dei convogli tracciando dunque l'occupazione del ramo del deviatoio.

Le rotaie intermedie vengono saldate con processo alluminotermico alle "rotaie attestanti del telaio degli aghi e del cuore", al fine di assicurare continuità al piano di rotolamento ed eliminare le usure anomale [2].

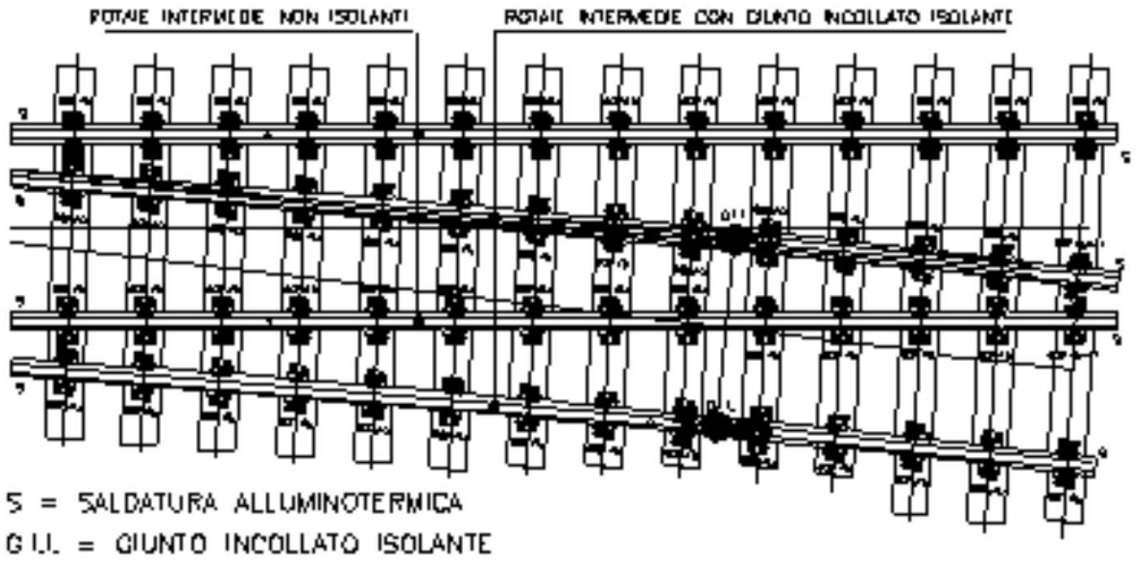


Figura 37: Schematizzazione di rotaie intermedie [2]

[3] Si può infatti realizzare un taglio ad una estremità del telaio degli aghi oppure del telaio del cuore

2.1.3. Telaio del cuore

Il telaio del cuore è definito come la parte di deviatoio comprendente le “controrotaie” ed il “cuore” del deviatoio.

- **Cuore del deviatoio**: altrimenti detto “dispositivo d’incrocio” o “crociamento” (costruito con la punta fissa o mobile) è la parte di deviatoio nella quale si intersecano “i lembi di corsa delle due fughe di rotaie diretta prosecuzione degli aghi” [2]. Il cuore “a punta fissa” è composto da due “piegate a gomito” e una punta (fissa); a seconda della sua disposizione e tipologia, si po' avere il “cuore retto” (presentare ambedue i rami retti) oppure il “cuore curvo” (presentante un ramo retto e l’altro ramo curvo).

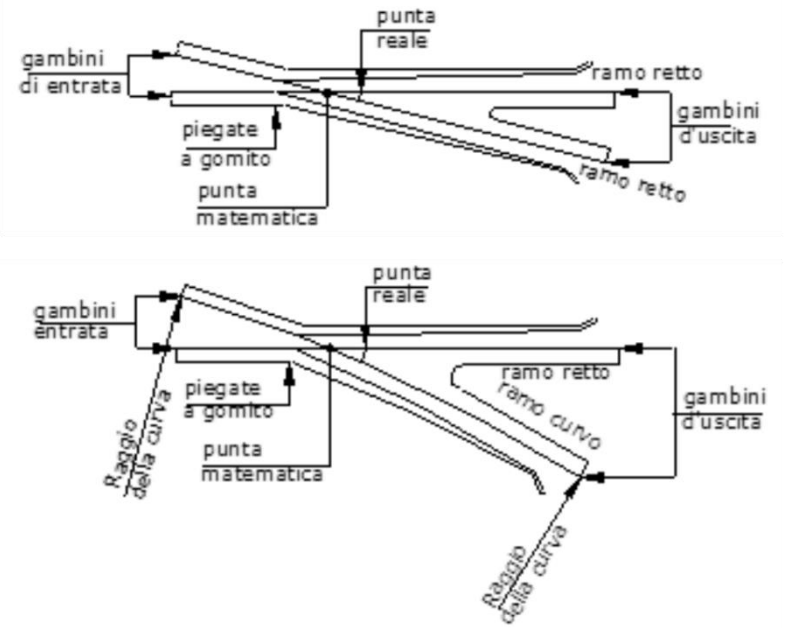


Figura 38: Schema di cuore retto (figura in alto) e schema di cuore curvo (figura in basso) [2]

I cuori curvi possono essere “destri” oppure “sinistri", pertanto verranno impiegati su deviatoi destri o sinistri rispettivamente. Per contro, i cuori retti vengono impiegati su deviatoi destri o sinistri senza distinzione alcuna. I cuori a punta fissa possono essere “cuori di rotaia” o “cuori di acciaio fuso al manganese”.

I “cuori di rotaia” vengono ricavati a partire da classici profili di rotaia: questi subiscono lavorazione della punta, contropunta e delle piegate a gomito, dopodiché vengono assemblati tra loro e mantenuti solidali grazie a “blocchi di distanza” e “chiavarde di giunzione”.

I “cuori monoblocco” (realizzati in acciaio fuso al manganese) vengono realizzati con “piani di rotolamento delle piegate a gomito di uguale larghezza e sagoma dei cerchioni dei veicoli

ferroviari (piani di rotolamento a profilo di cerchione)" [2]. Tale profilo rende più performante l'accoppiamento tra ruota e rotaia, accresce la superficie d'appoggio dei cerchioni e consente una netta diminuzione del carico specifico trasferito sul cuore. Si ha pertanto una riduzione dell'azione di schiacciamento sia delle "piegate a gomito" che della "punta", mentre nel caso dei "cuori di rotaia" questa azione non viene mitigata, motivo per cui le nuove politiche manutentive tendono alla sostituzione di tali cuori a favore dei monoblocco [2].

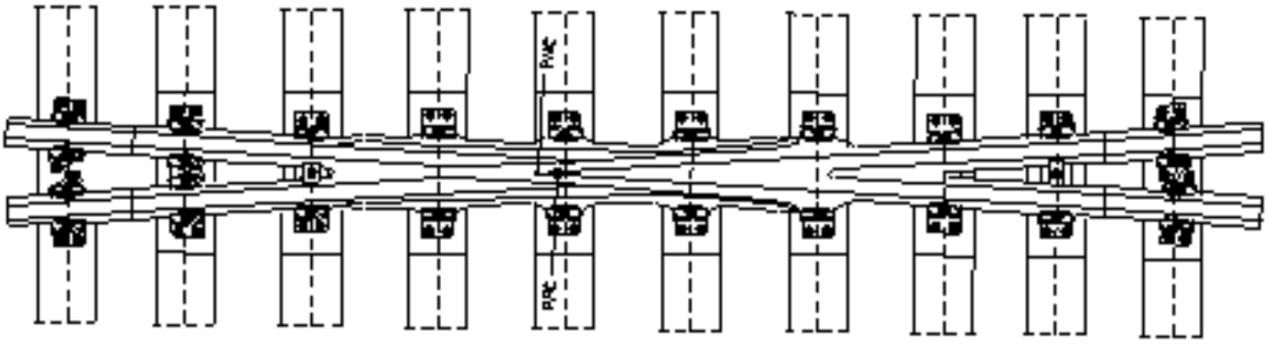


Figura 39: Cuore in acciaio fuso al manganese (attacco indiretto e gambini saldabili) [2]

I cuori sono inoltre suddivisi in due tipologie: ad "attacco diretto" e ad "attacco indiretto". I primi presentano fori alloggiati sulla base d'appoggio, al fine di effettuare l'ancoraggio diretto sui traversoni in legno; presentano inoltre gambini lavorati e forati per favorirne il serraggio alle rotaie. I secondi sono dotati di "sottopiastre in acciaio" finalizzate all'ancoraggio indiretto su traversoni in c.a.v.p.; presentano inoltre gambini saldabili per consentire l'unione con le rotaie [2]

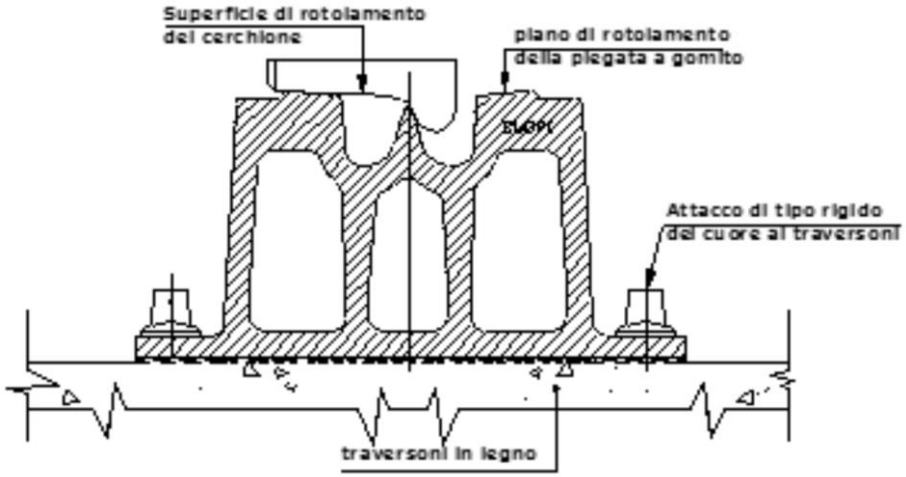


Figura 40: sezione di cuore al manganese ad attacco diretto (per posa su traversone in legno [2])

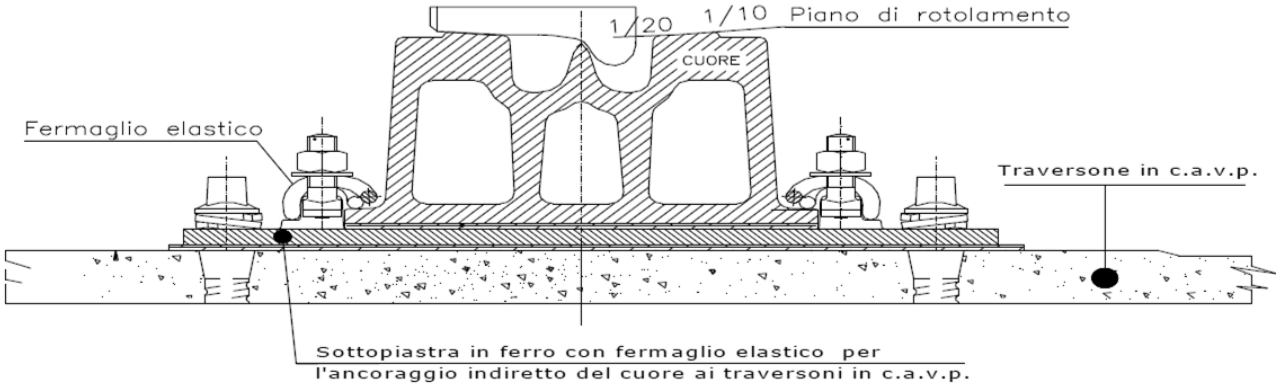


Figura 42: Sezione di cuore al manganese ad attacco indiretto (per posa su traversoni in c.a.v.p.) [2]

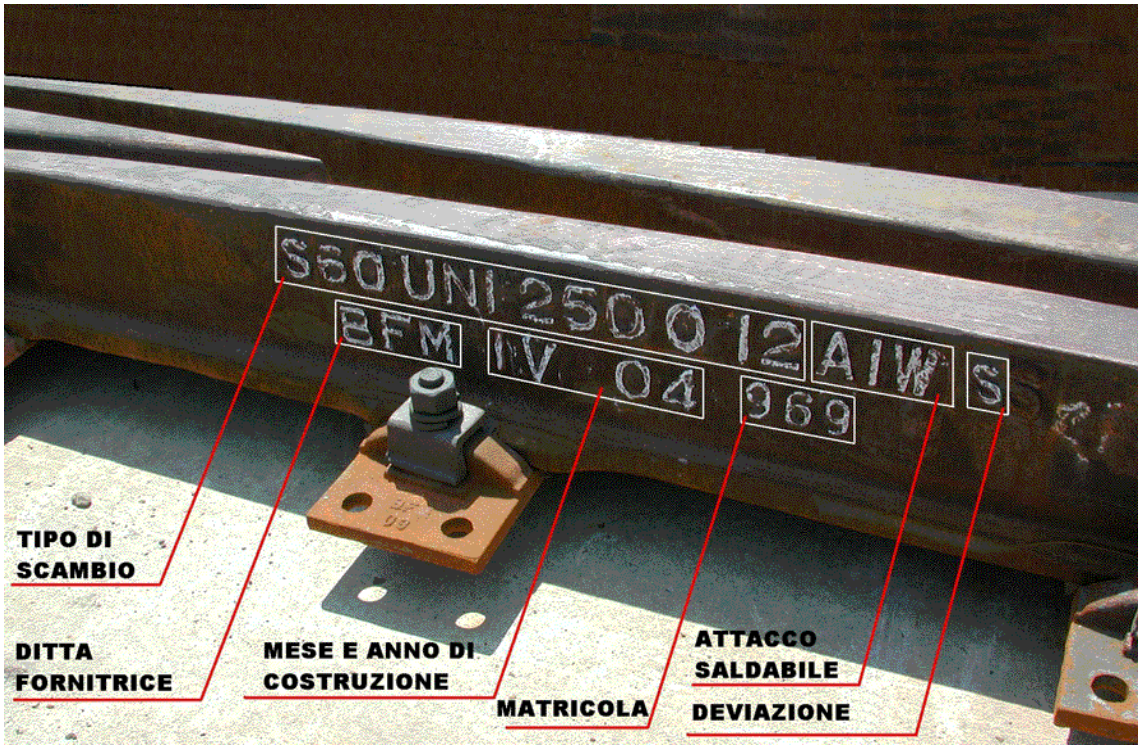


Figura 41: Cuore monoblocco al Mn a posa indiretta [2]

I **"cuori a punta fissa"** presentano diverse parti costituenti, ognuna delle quali viene indicata con uno specifico nome nel gergo tecnico ferroviario. Si hanno [2]:

- **"Punta matematica del cuore (P.M.C.)"**: è definita come "il punto teorico dove s'intersecano i lembi interni delle due fughe di rotaie diretta prosecuzione degli aghi"
- **"Punta reale del cuore (P.R.C.)"**: è definita come "il punto dove fisicamente inizia la punta del cuore e dove lo spessore assume valori sufficienti a sopportare eventuali urti dei convogli ferroviari"

- **"Estremità in ingresso e in uscita del cuore (gambini)"**: sono definite come "i punti di inganasciamento o saldatura dei cuori alle rotaie attestanti"
- **"Piegate a gomito (zampe di lepre)"**: esse costituiscono la "diretta prosecuzione dei gambini d'ingresso del cuore". Svolgono la funzione cosiddetta di "invito e di richiamo dei cerchioni dei veicoli ferroviari" che percorrono il cuore "di calcio". La funzione di "richiamo" è quella per cui i bordini vengono costretti "a lambire i fianchi della punta del cuore", al fine di costringerli ad "impegnare contemporaneamente la piegata opposta e la punta del cuore, quando questa ha ancora una sezione sufficientemente robusta da sopportare con sicurezza i ripetuti passaggi dei veicoli in moto" [2].
- "**Spazio nocivo"**: viene definito come il tratto di cuore all'interno del quale alla ruota viene a mancare il supporto laterale, e necessita pertanto della presenza della controrotaia. Lo spazio nocivo si estende dal punto più ristretto delle piegate a gomito alla punta reale del cuore [2].

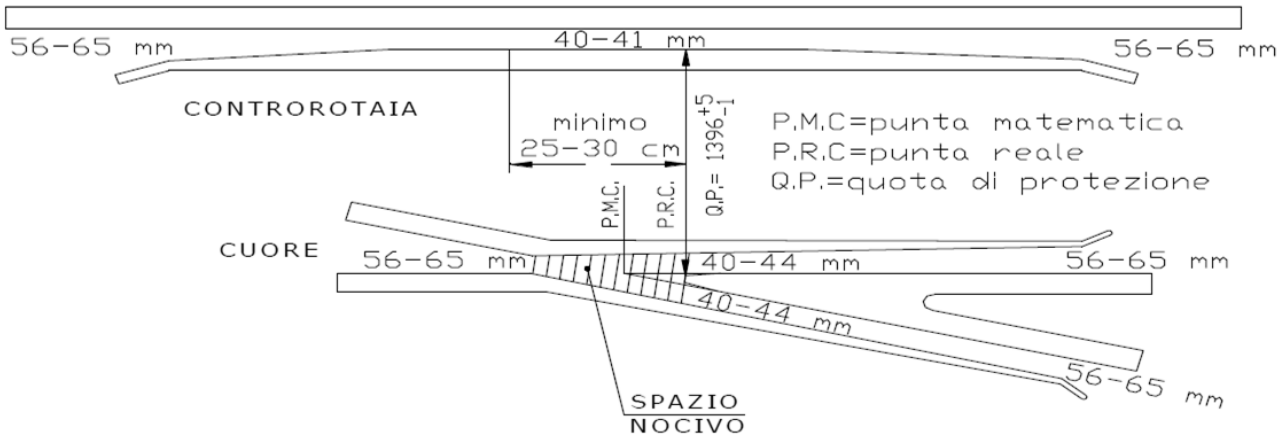


Figura 43: Caratteristiche del cuore semplice [2]

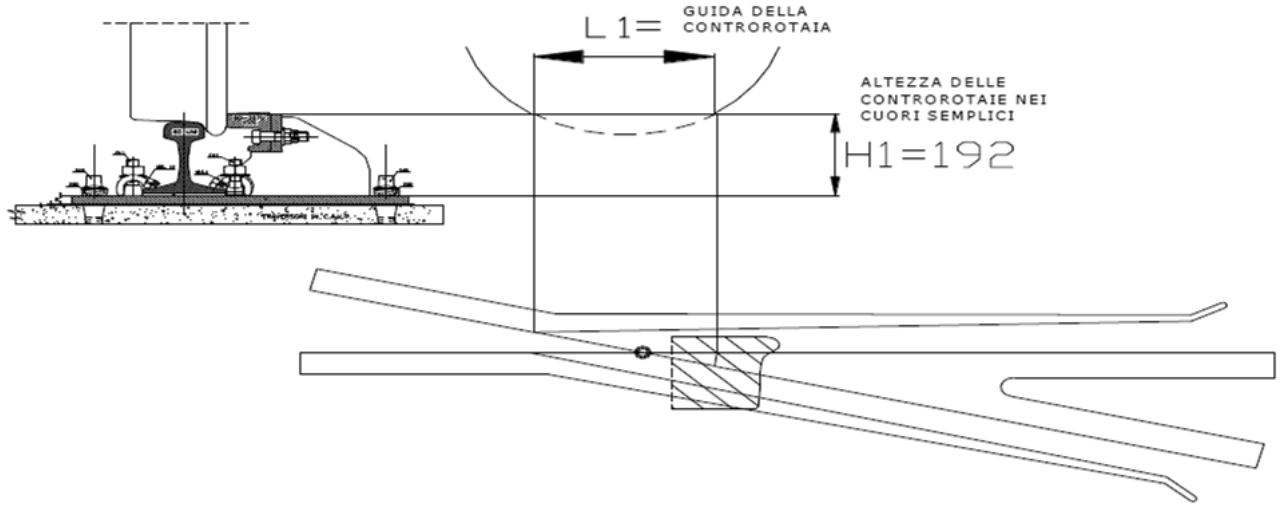


Figura 44: Guida della controrotaia nei cuori semplici [2]

Ogni tipologia di deviatoio presenta un proprio "angolo di uscita" caratteristico. L'identificazione dei deviatoi avviene però tramite il valore della loro "tangente", ossia la tangente trigonometrica dell'angolo di uscita medesimo. Nel momento in cui si effettuano verifiche in situ sui cuori retti, la tangente deve essere individuata come mostrato nella figura sottostante: infatti, a causa della lavorazione in officina, la punta fisica del cuore non viene più a trovarsi coincidente alla posizione geometrica o matematica, bensì più arretrata. La sua individuazione avviene mediante "incrocio di filo di acciaio armonico oppure arretrando fino al punto di contatto funghi di punta e contropunta" [2].

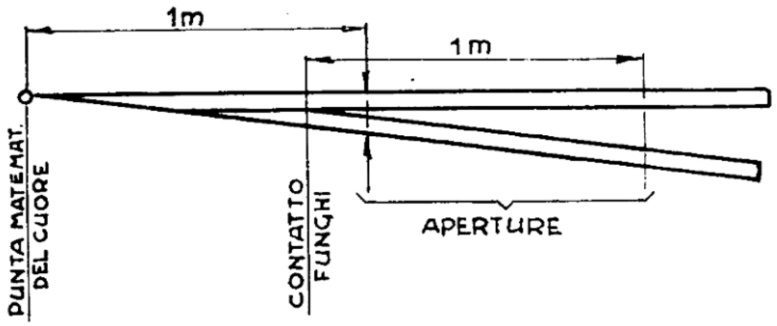


Figura 45: Schema individuazione tangente trigonometrica cuori retti [2]

I cuori presentano inoltre alcune quote caratteristiche, di cui le principali sono [2]:

- **"Quota di protezione (Q.P.)"**: è definita come la "distanza che va dalla punta reale del cuore al lembo attivo della controrotaia". Nel caso dei cuori semplici, affinché il bordino non urti contro la punta reale dei cuori, la quota di protezione deve essere di 1396 mm.

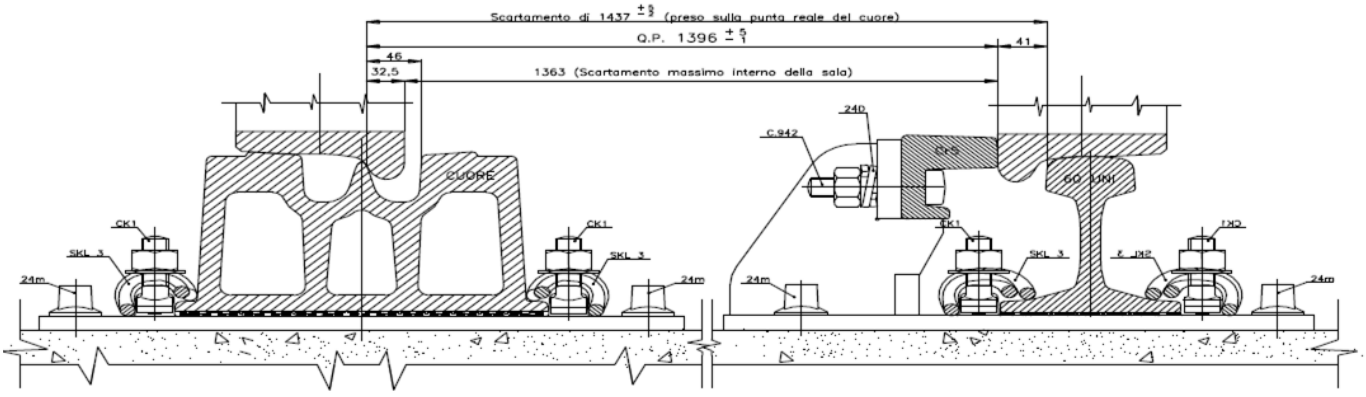


Figura 46: Quota di protezione di scambio semplice [2]

- **"Quota di libero passaggio (Q.L.P.)"**: è definita come "la distanza che va dalla piegata a gomito al lembo attivo della controrotaia". Nel caso dei cuori semplici, affinché le sale montate non si incastrino tra la piegata a gomito e la controrotaia, la quota di libero passaggio è di 1350 mm.

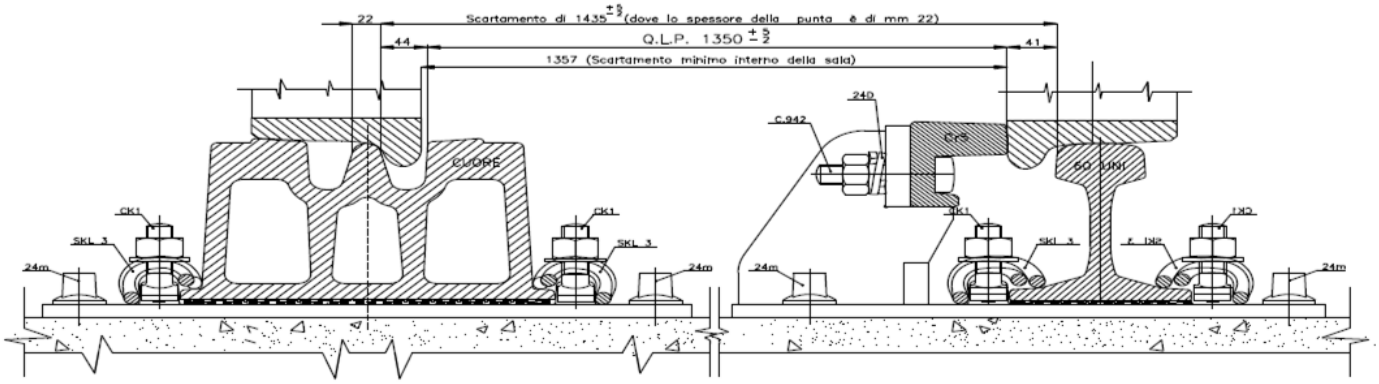
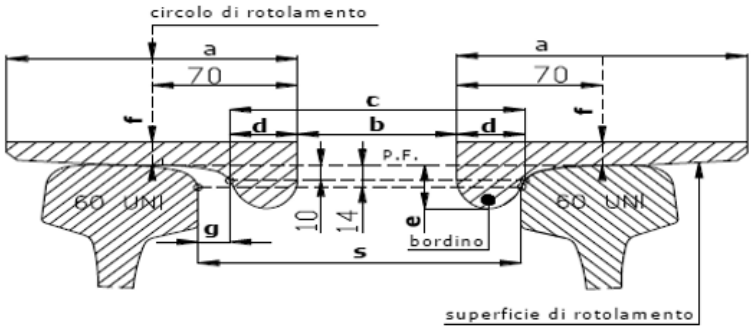


Figura 47: Quota di libero passaggio di scambio semplice [2]



LEGENDA

a = larghezza del cerchione.

e = altezza del bordino.

b = scartamento interno della sala.

f = spessore dei cerchioni.

c = scartamento esterno della sala.

g = gioco tra (c) ed (s).

d = spessore del bordino.

s = scartamento del binario.

a		b		c		d		e		f		g		s	
min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
133	136	1357	1363	1410	1426	22	32,5	28	36	70	75	7	30	1433	1440

Figura 48: Dimensioni caratteristiche delle sale [2]

I **"cuori a punta mobile"** vengono utilizzati su linee AC/AV; sono costituiti dalla punta mobile vera e propria e da uno "scatolare" in acciaio che comprende i gambini di accesso saldabili, le piegate a gomito lavorate per accogliere la punta mobile, i piani di scorrimento della punta e il "giunto a pettine", utile a limitare le spinte che nascono dagli effetti di dilatazione termica del binario [2]. I cuori di questa tipologia permettono alla punta mobile (che si muove attorno a una cerniera elastica) di spostarsi sui fianchi della piegata a gomito di destra o di sinistra, al fine di consentire la continuità delle "file direttrici" e del piano di rotolamento: in questo modo viene a mancare lo "spazio nocivo", e ciò garantisce maggiore sicurezza e comfort per i treni ad alta velocità. I cuori mobili, inoltre, presentano "attacco indiretto" e gambini saldabili atti alla posa su traversoni in c.a.v.p. [2].

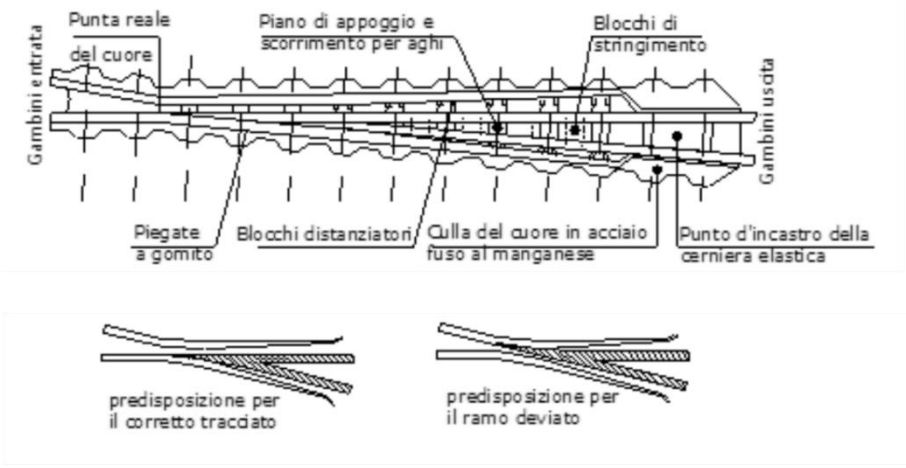


Figura 49: Schema e pianta di cuore a punta mobile [2]

- **Controrotaie (controguide)**: sono costituite da "barre laminate a profilo speciale", le quali assieme alle rotaie unite vanno a costituire la "coppia rotaia unita/controrotaia" destra o sinistra, in base alla tipologia e configurazione del deviatoio. Negli scambi di concezione tradizionale, le controrotaie risultano accoppiate alle rispettive rotaie unite tramite appositi "blocchi distanziatori" e "chiavarde di serraggio", mentre nei deviatoi più recenti l'accoppiamento avviene grazie a "piastre speciali ad attacco elastico": queste presentano specifiche "piastrine a dente" che consentono di regolare le quote di protezione e di libero passaggio, basandosi sui consumi delle controrotaie e sulla variazione di scartamento in corrispondenza della punta reale del cuore [2].

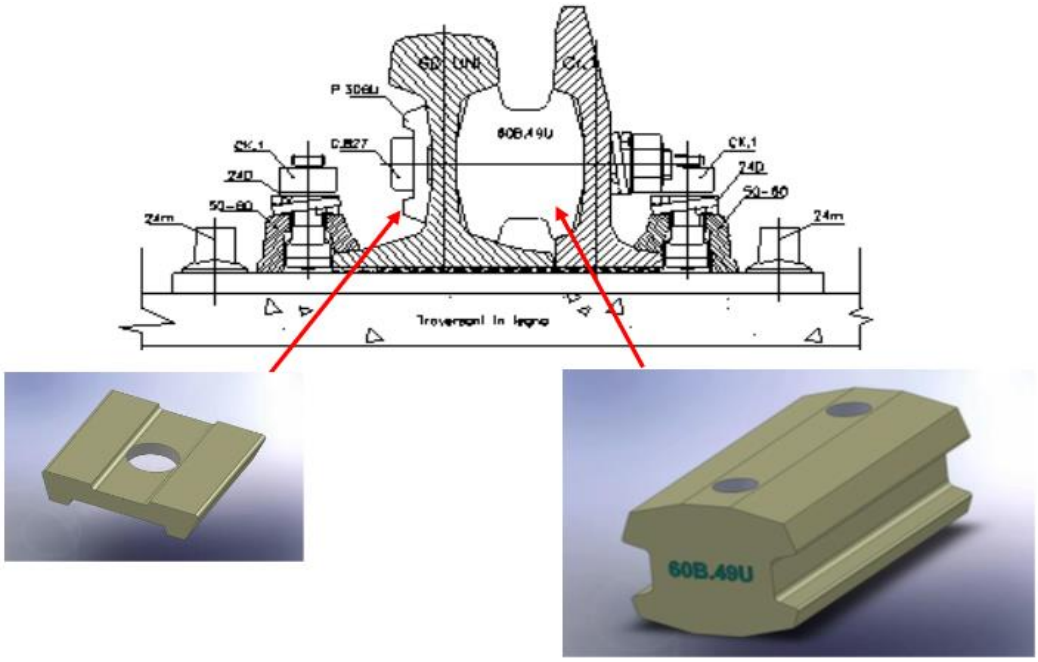


Figura 50: sezione di controrotaia di tipo tradizionale. A sinistra rappresentazione di piastra di serraggio, a destra raffigurazione di blocco distanziatore [2]

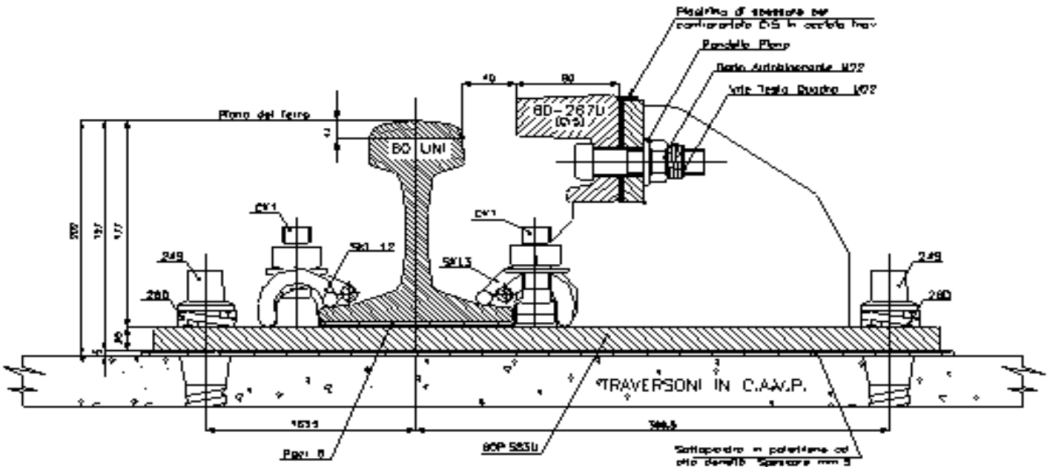


Figura 51: Controrotaia di tipo innovativo [2]

Gli spazi tra la rotaia unita e controrotaia sono ricavati in funzione delle "quote d'ingombro" e dalle tolleranze delle sale montate (ovvero 40÷41 mm nella punta del cuore e 56÷65 mm nelle estremità). La lunghezza (e pertanto la "pendenza" delle controrotaie) viene ricavata in base alla velocità ammessa su entrambi i rami del deviatoio [2].

Figura 52: Quote caratteristiche della controrotaia [2]

2.2. Tipologie di deviatoi

I deviatoi e le intersezioni vengo suddivisi in diverse tipologie, sulla base del cambiamento di direzione designato. Si possono avere pertanto:

- **"Scambi semplici"**: in essi un singolo binario viene ripartito in due direzioni uscenti, e il ramo principale rimane rettilineo [3]; consentono pertanto la diramazione da un binario ad un altro. Lo "scambio semplice" può essere sinistro, destro (con ramo principale retto), simmetrico (assenza rami retti), non simmetrico (raggi curvatura diversi e assenza asse di simmetria) [2]:

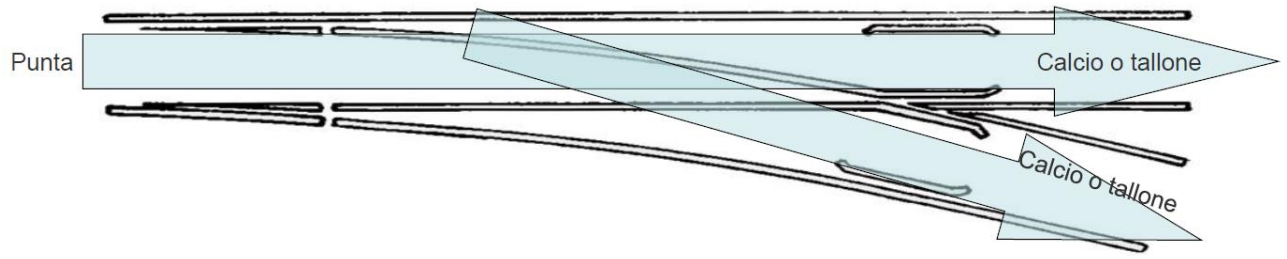


Figura 53: Schema di Scambio Semplice Destro [2]

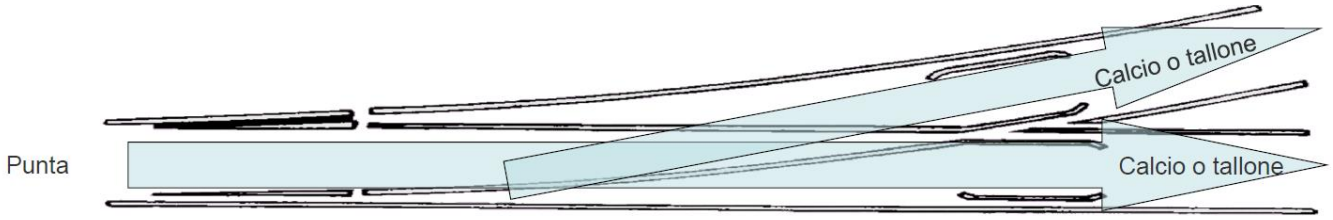


Figura 54: Schema di Scambio Semplice Sinistro [2]

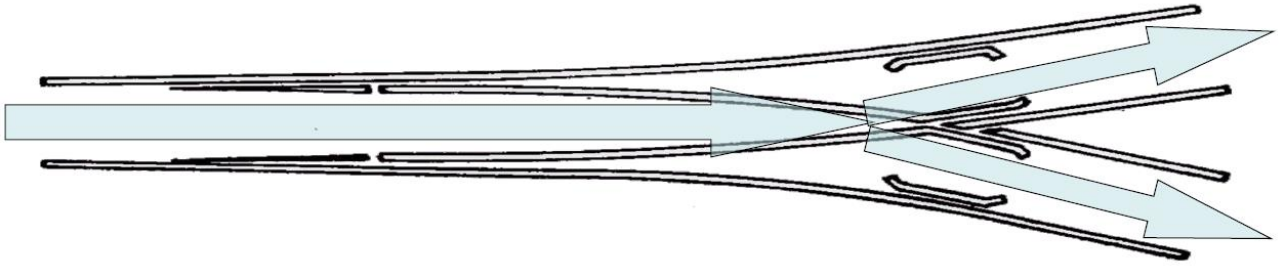


Figura 55: Scambio Semplice Simmetrico [2]

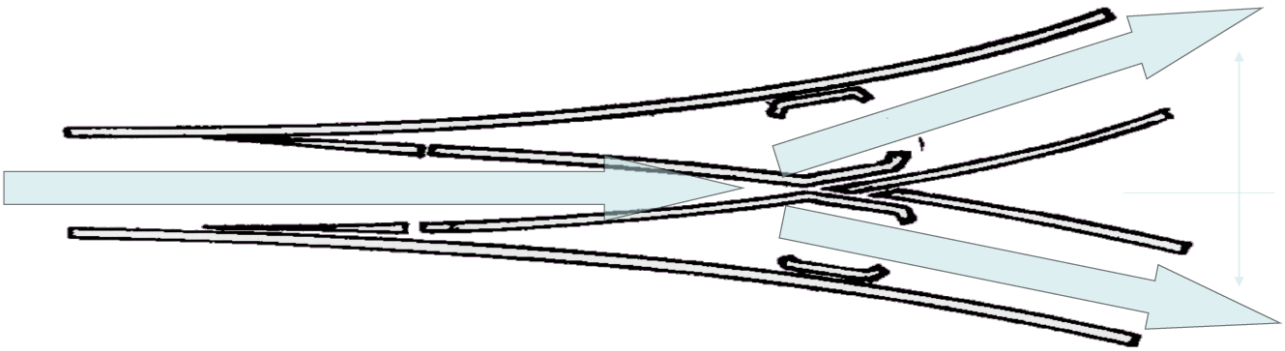


Figura 56: Schema di Scambio Semplice Non Simmetrico [2]

- **"Scambi Doppi"**: in essi un singolo binario viene simmetricamente suddiviso in tre binari uscenti: un binario mediano rettilineo e due binari uscenti in curva simmetricamente. Lo scambio doppio può essere definito destro (nel caso in cui il primo ramo deviato sia a destra) oppure sinistro (per analoga motivazione) [3].

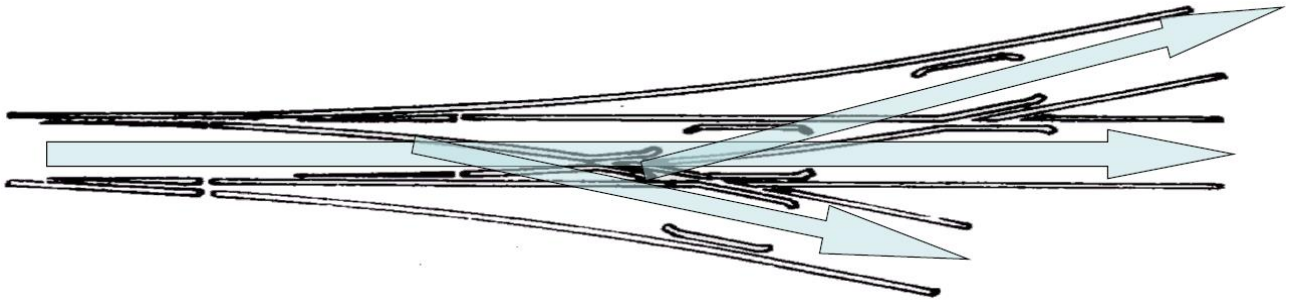


Figura 57: Scambio doppio destro [2]

- **"Intersezione"**: è un dispositivo che consente l'incrocio di due binari tra loro intersecantisi. Le intersezioni possono essere [2]:
  - Rettilinee: se presentano entrambi i rami retti;
  - Curvilinee: se presentano entrambi i rami curvi;
  - Miste: se presentano un ramo retto e uno curvo o parzialmente curvo.

  Le intersezioni classiche presentano tutte attacco rigido, e sono inoltre predisposte per la posa su traversoni in legname. Possono avere cuori semplici e doppi di rotaia, oppure cuori semplici e doppi in acciaio fuso al manganese.

  Le intersezioni inoltre possono essere disposte con un raggio minimo di 500 m.

Le intersezioni possono essere rette, nel caso in cui entrambi i rami incrociantisi siano retti (con conseguente presenza di due cuori semplici e due cuori doppi di rotaia), oppure miste, nel caso in cui vi sia la presenza di un ramo curvo [2].

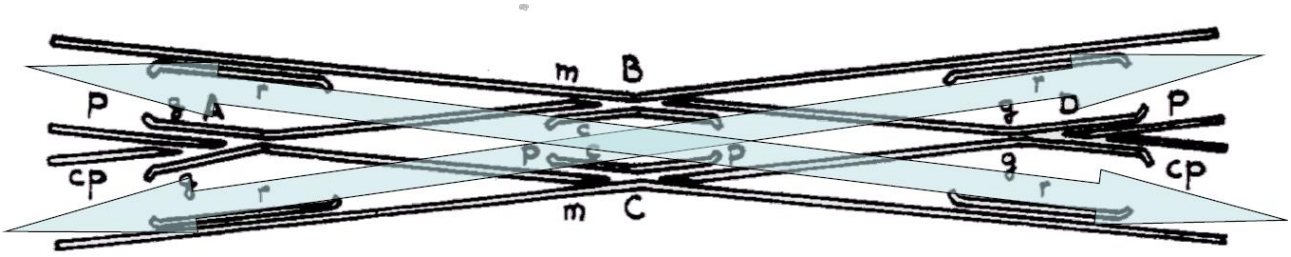


Figura 58: Schema di Intersezione retta [2]

- **"Scambio Intersezione (Scambi "Inglesi")"**: questi dispositivi permettono di realizzare sia le funzioni di incrocio che quelle di deviazione tra due binari tra loro intersecanti, il tutto all'interno di uno spazio limitato. Essi risultano utili all'interno dei piazzali di smistamento carri merci, poiché consentono le suddette manovre in spazi ridotti, ma non sono utilizzati in corrispondenza di binari di corsa BC: infatti il loro impiego è complesso, così come le operazioni per la loro manutenzione a causa degli spazi di rincalzatura meccanica ridotti e alla difficoltà nella sostituzione dei cuori doppi. Gli scambi intersezione adottati da RFI presentano $tg = 0{,}12$, aghi interni con raggio di 170 m e velocità di percorrenza in deviata pari a 30 km/h [2].
  Gli scambi intersezione possono essere "semplici" quando permettono sia l'attraversamento di un binario che l'istradamento verso il medesimo, ma unicamente per un solo senso di marcia (si tratta infatti dell'unione di un'intersezione e di due scambi semplici, con presenza di un ramo curvo), oppure "doppi" nel caso in cui consentano sia l'attraversamento di un altro binario che l'istradamento verso il medesimo, per entrambe le direzioni di marcia (si tratta infatti dell'unione di un'intersezione e di quattro scambi semplici, pertanto sono presenti due rami curvi) [2].

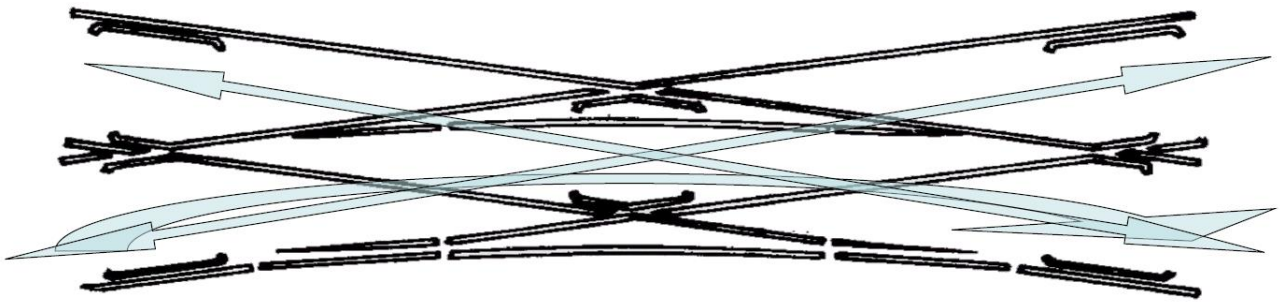


Figura 59: Schema di scambio intersezione semplice [2]

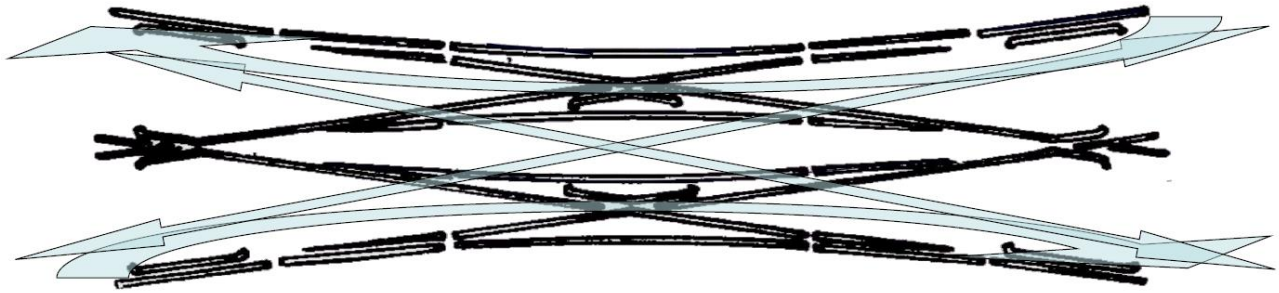


Figura 60: Schema di scambio intersezione doppio [2]

- **"Comunicazioni"**: sono dispositivi che permettono il passaggio di un convoglio fra due binari adiacenti, tramite l'opportuno utilizzo di scambi semplici, scambi intersezione ed intersezioni; le comunicazioni possono essere "semplici" o "doppie". Nelle linee AC/AV esse vengono utilizzate nei posti di comunicazione, al fine di consentire le "circolazioni illegali"[4] e "banalizzate"[5].

  Le comunicazioni "semplici" consentono il collegamento tra due binari rettilinei, tramite due deviatoi semplici con "ramo deviato accodato". Vengono definite comunicazioni "destre" o "sinistre" nel caso in cui vengano realizzate con deviatoi destri o sinistri; inoltre possono essere "normali" o "promiscue" se realizzate con deviatoi con tangente uguale o diversa [2].

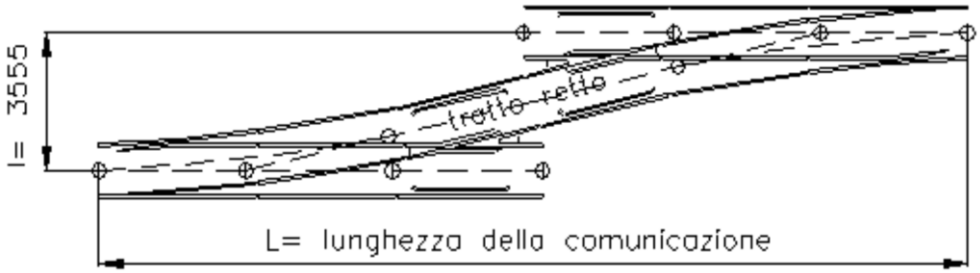


Figura 61: Comunicazione semplice sinistra (realizzata con scambi semplici accodati aventi cuori retti) [2]

[4] Per "circolazione illegale" si intende la circolazione che avviene nel senso opposto rispetto a quello di marcia ordinaria (binario di sinistra).
[5] Per "circolazione banalizzata" si intende la circolazione che avviene su ambedue i sensi di marcia. Questa è resa possibile unicamente su linee dotate di segnalamento su entrambi i sensi di marcia.

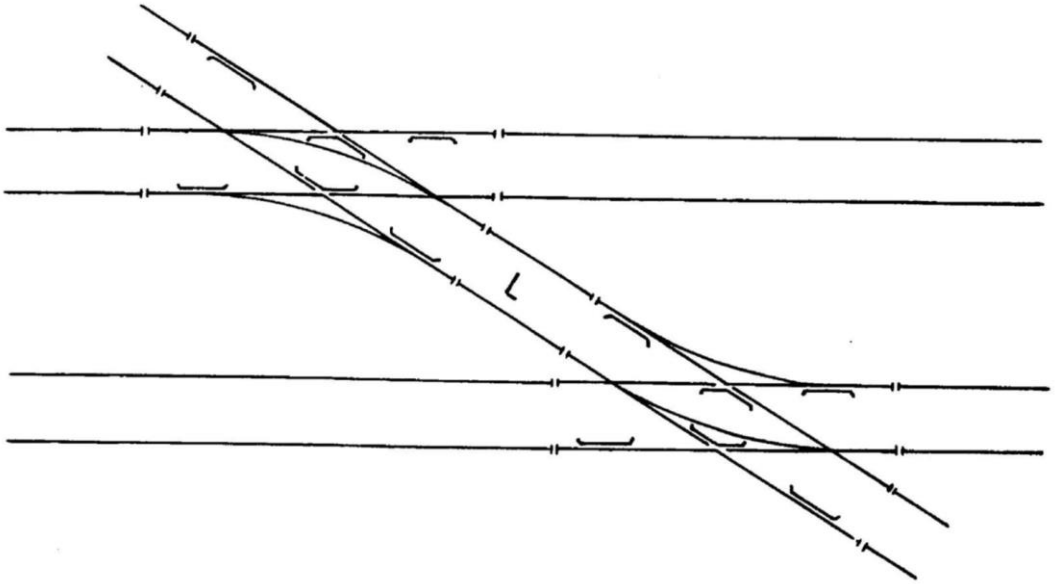


Figura 62: Comunicazione semplice destra (realizzata con due scambi intersezione semplici e tratto di serraglia) [2]

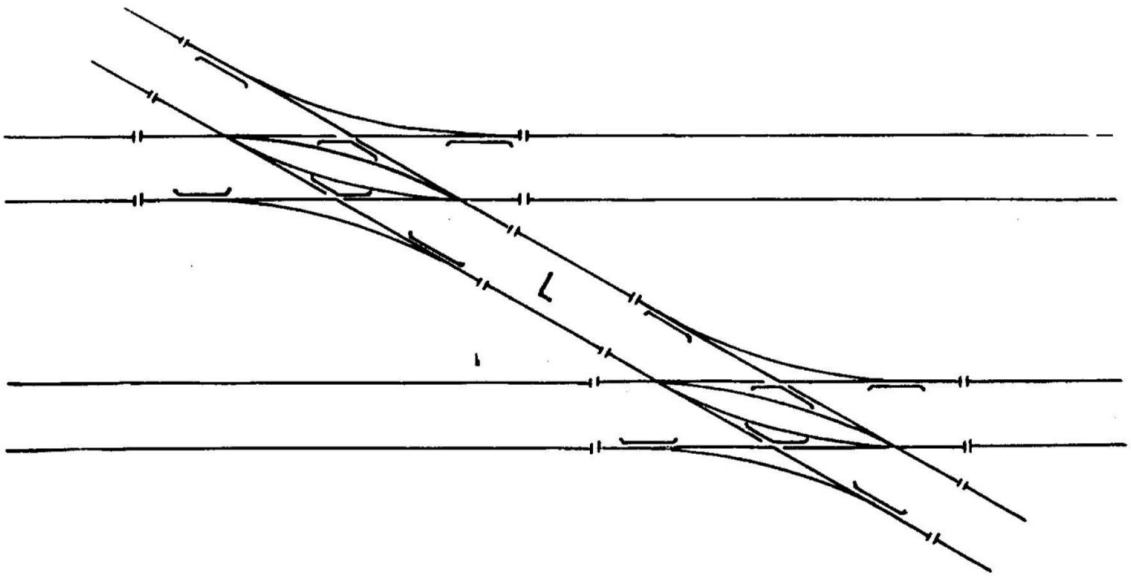


Figura 63: Comunicazione semplice destra (realizzata con due scambi intersezione semplici e tratto di serraglia) [2]

2.3. Metodologia di posa dei deviatoi

Ogni traversone in c.a.v.p. trova alloggiamento in una specifica posizione nel piano di posa del deviatoio. Pertanto, trattandosi di elementi tra loro differenti, "vengono predisposte serie numerate che, per gli scambi semplici possono essere destre o sinistre, mentre per intersezioni e scambi intersezioni sono serie uniche" [2].

Figura 64: Traversoni in c.a.v.p. allestiti per la posa delle parti metalliche di deviatoio [2]

Gli elementi metallici del deviatoio vengono assemblati in situ con particolare cura riguardo la posizione degli appoggi: un errore nella posizione dei medesimi causa delle difettosità nel tracciato.

Figura 65: Posa parti metalliche di deviatoio [2]

I traversoni vengono disposti perpendicolarmente all'asse del ramo principale fino al raggiungimento del centro geometrico del deviatoio. A partire da questo punto e fino ad alcuni metri oltre il cuore, la loro posa diviene perpendicolare alla bisettrice dell'angolo di deviazione [3], dopodiché si avrà nuovamente la perpendicolarità delle traverse singole nei confronti dell'asse del rispettivo ramo.

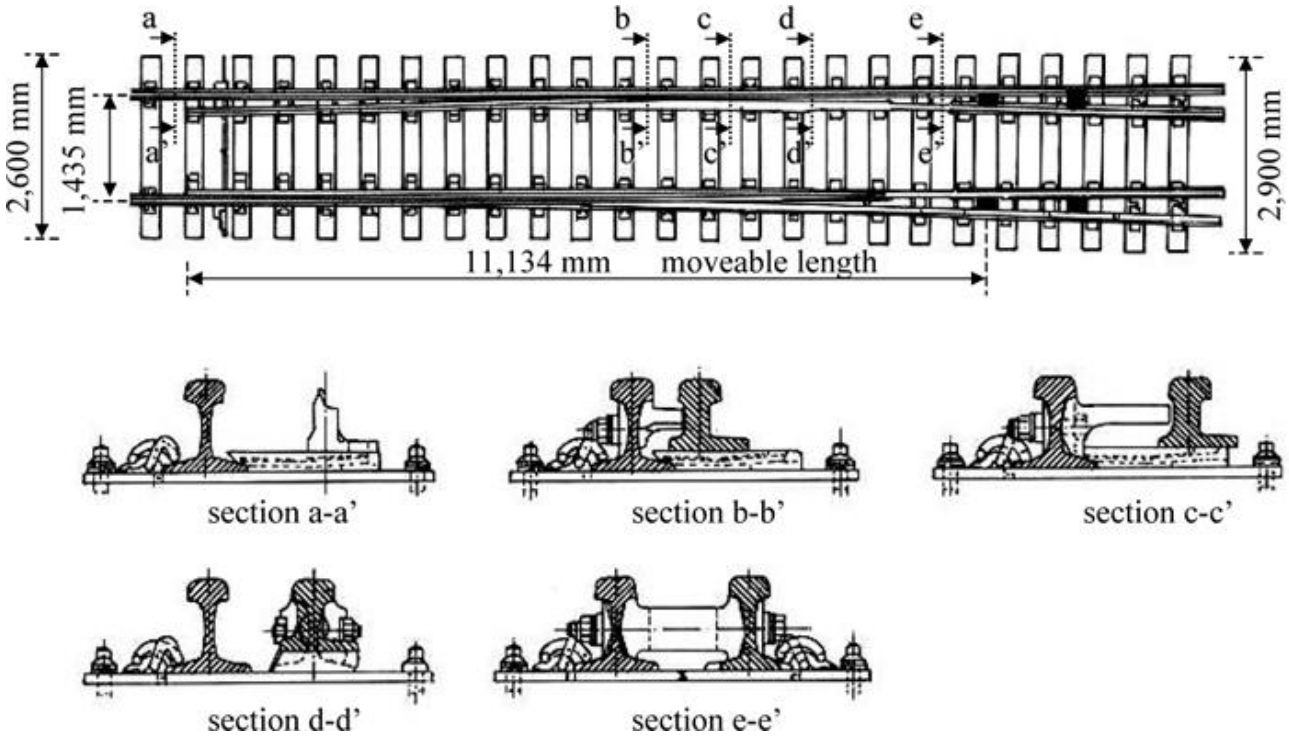


Figura 66: Schema di posa traversoni per un deviatoio di armamento 60UIC [3]

2.4. Velocità di percorrenza dei deviatoi

I deviatoi differiscono dal tracciato regolare per il fatto che in corrispondenza di essi non vengono utilizzate né la sopraelevazione né le curve di transizione. Pertanto, la massima velocità di percorrenza su un deviatoio dipende dal valore della accelerazione centrifuga non compensata b e dal raggio di curvatura del deviatoio R [3].

Il valore minimo della sopraelevazione h_{min}, legato alla accelerazione centrifuga non compensata, viene definito come:

$$h_{min} = 11{,}8 \cdot \frac{V^2[km/h]}{R[m]} - 152 \cdot b_{max}[m/s^2]$$

L'accelerazione centrifuga non compensata, in corrispondenza di un deviatoio, non deve essere troppo elevata per ragioni di comfort di viaggio e usura dei bordini della rotaia. Valori limite di accelerazione centripeta non compensata b_{max} variano tendenzialmente tra $0{,}6 \div 0{,}7\ m/s^2$. Considerando nulla la sopraelevazione nel deviatoio, si ottiene:

$$V[km/h] = 3{,}58 \cdot \sqrt{b_{max}[m/s^2] \cdot R[m]}$$

Alcune ferrovie calcolano la velocità di percorrenza sul deviatoio in relazione al difetto di sopraelevazione j. In questo caso è possibile utilizzare la formula:

$$V[km/h] = 0{,}29 \cdot \sqrt{j[mm] \cdot R[m]}$$

Pertanto, il raggio di curvatura minimo del deviatoio viene calcolato considerando il valore limite della accelerazione centrifuga non compensata oppure il difetto di sopraelevazione j. Per buona parte delle ferrovie si considera il valore $b_{max} = 0{,}7\ m/s^2$, e sostituendolo nella formula di cui sopra si ottiene la relazione tra la velocità di percorrenza e il raggio del deviatoio:

$$V[km/h] = 3 \cdot \sqrt{R[m]}$$

I deviatoi impiegati da RFI permettono velocità sul ramo deviato e nelle comunicazioni pari a 30, 60 e 100 km/h [2]. Alcuni presentano ramo deviato curvo mentre altri hanno parte del ramo deviato curvo e parte retto, pur consentendo le medesime velocità in deviata. I primi trovano utilizzo nel deviare i convogli da un binario all'altro, mentre i secondi si utilizzano per realizzare delle

comunicazioni tra “binari paralleli con scambi accodati”: infatti, quando si realizza una comunicazione semplice tra binari con interasse[6] minimo $I_{min} = 3{,}555\ m$, le giunzioni esterne dei due deviatoi in questione vengono ad essere coincidenti; quando invece per motivi riconducibili al tracciato si dispongono comunicazioni con interasse $I > 3{,}555\ m$, è necessario inserire un tratto di binario denominato “serraglia di continuità” la cui lunghezza risulta [2]:

$$L_s = \frac{I - 3{,}555[m]}{tg\alpha}$$

Nel caso in cui non risulti possibile realizzare comunicazioni semplici su entrambi i lati di due binari paralleli, è possibile fare ricorso ad una “comunicazione doppia” in luogo di due comunicazioni semplici destre e sinistre. Tale configurazione viene anche denominata “comunicazione doppia a forbice”, ed è costituita da due comunicazioni semplici le quali, l’una in senso contrario rispetto all’altra, vanno a sovrapporsi e incrociarsi. Nell’incrocio in corrispondenza della parte centrale si ha una intersezione retta [2].

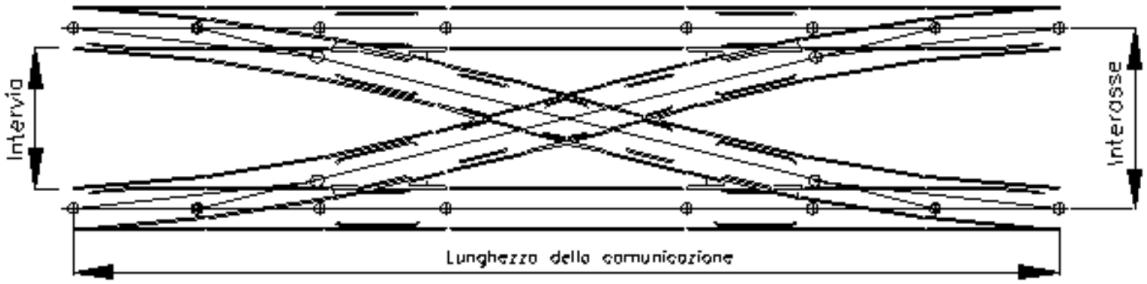


Figura 67: Comunicazione doppia a "forbice" (realizzata con quattro scambi semplici ed una intersezione) [2]

[6] L’interasse *I* viene definito come la “distanza tra gli assi di due binari adiacenti” (questa entità è diversa dall’”Intervia”, definita come la “distanza fra i lembi attivi delle rotaie interne”).

2.5. Designazione dei deviatoi RFI

I deviatoi utilizzati da RFI mostrano le seguenti designazioni [2]:

- **Scambio semplice**: si ha a titolo esemplificativo

  S.60UNI/400/0,074/d

  ovvero uno Scambio tipo 60UNI, raggio deviata 400 m, tangente 0,074, posa destra.

- **Scambio doppio**: si ha a titolo esemplificativo

  D.46/190-200/0,145-0,10/d

  ovvero uno Scambio Doppio tipo FS46, raggi deviate 190 e 200 m, tangenti 0,145 e 0,10, posa destra.

- **Intersezione**: si ha a titolo esemplificativo

  I.60UNI/0,243

  ovvero una Intersezione retta tipo 60UNI, tangente 0,243.

- **Scambio Intersezione**: si ha a titolo esemplificativo

  SI.60UNI/170/0,12/sp o dp

  ovvero uno Scambio Intersezione tipo 60UNI, raggio deviata/e 170 m, tangente 0,12, posa semplice “sp” o posa doppia “dp”.

2.6. Manovra dei deviatoi

L'instradamento dei rotabili nella direzione prescelta è realizzato tramite le operazioni di manovra del deviatoio. Essa può avvenire tramite:

- **"Manovra a mano"**: operata sul posto.
- **"Manovra elettrica"**: viene condotta a distanza tramiti attivatori elettronici, azionati da comandi presenti sulle postazioni di controllo negli uffici dei dirigenti movimento.
- **"Manovra a distanza oleodinamica"**: caratterizza la manovra degli aghi e della punta mobile dei cuori nelle linee ad alta velocità.

Un deviatoio opera come segue [3]: uno dei due aghi permane tangente al relativo contrago, mentre l'altro risulta discosto di una distanza sufficiente a consentire il passaggio del bordino della ruota.
Quando viene operata la manovra del deviatoio, sia essa manuale o automatica, le posizioni degli aghi sopra elencate vengono scambiate: pertanto l'ago che era accosto si sposterà creando lo spazio per il passaggio del bordino della ruota, mentre l'altro colmerà lo spazio presente in precedenza.
Vi sono appositi dispositivi, detti "fermascambi" ("meccanici" o "elettromeccanici") che consentono l'effettuazione in sicurezza dell'esercizio ferroviario una volta completata la manovra, tramite il controllo della corretta posizione degli aghi: la loro punta reale, nella posizione discosta, deve risultare a 160 mm dal lembo attivo del contrago (caso di deviatoi con casse di manovra elettriche) oppure a 116 mm (caso di deviatoi con sistemi di manovra oleodinamici) [2].

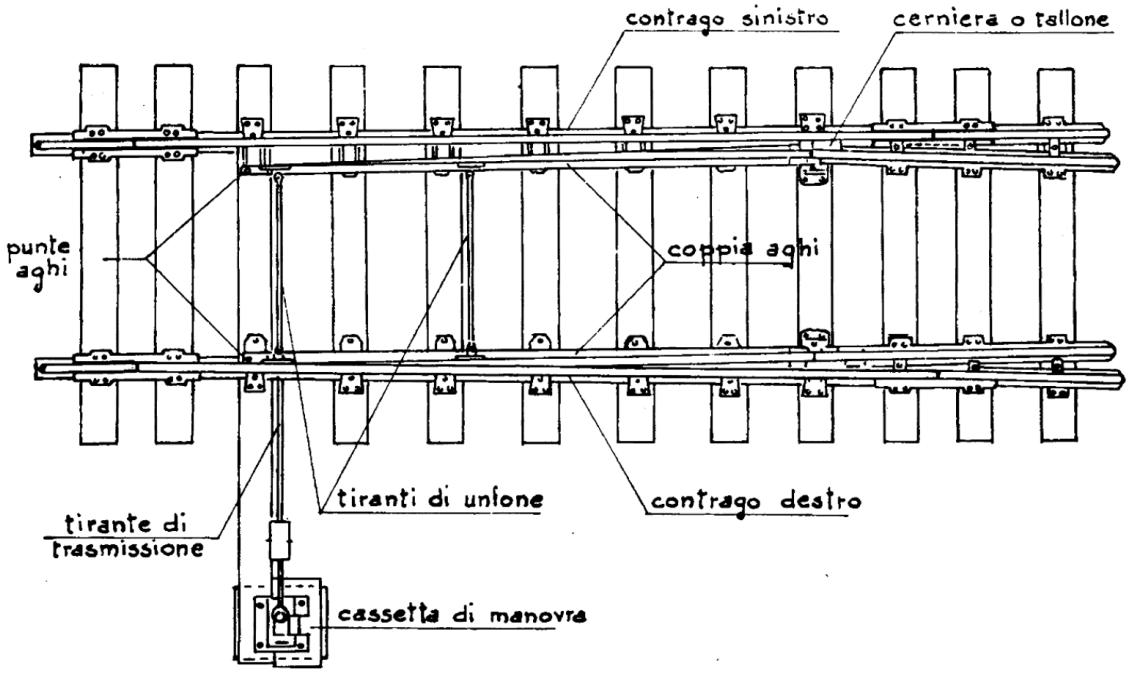


Figura 68: Schema di deviatoio con manovra manuale a punta diretta [2]

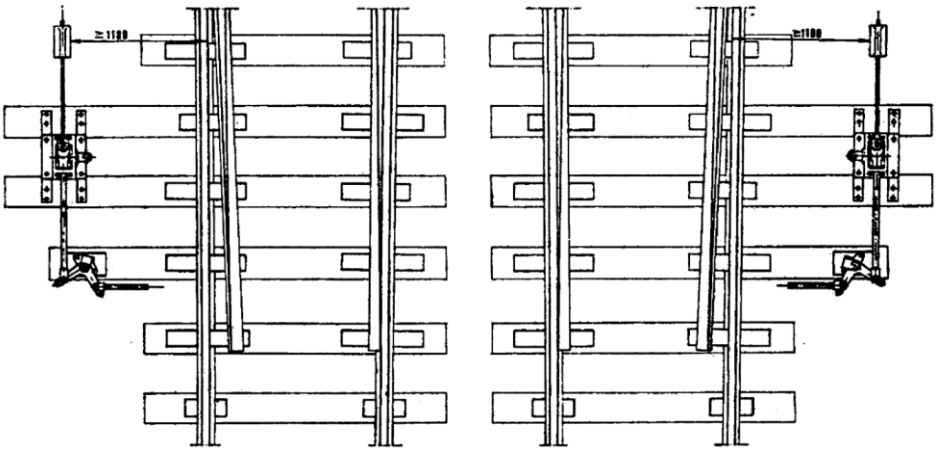


Figura 69: Rappresentazione di manovra manuale, destra e sinistra, con reinvio [2]

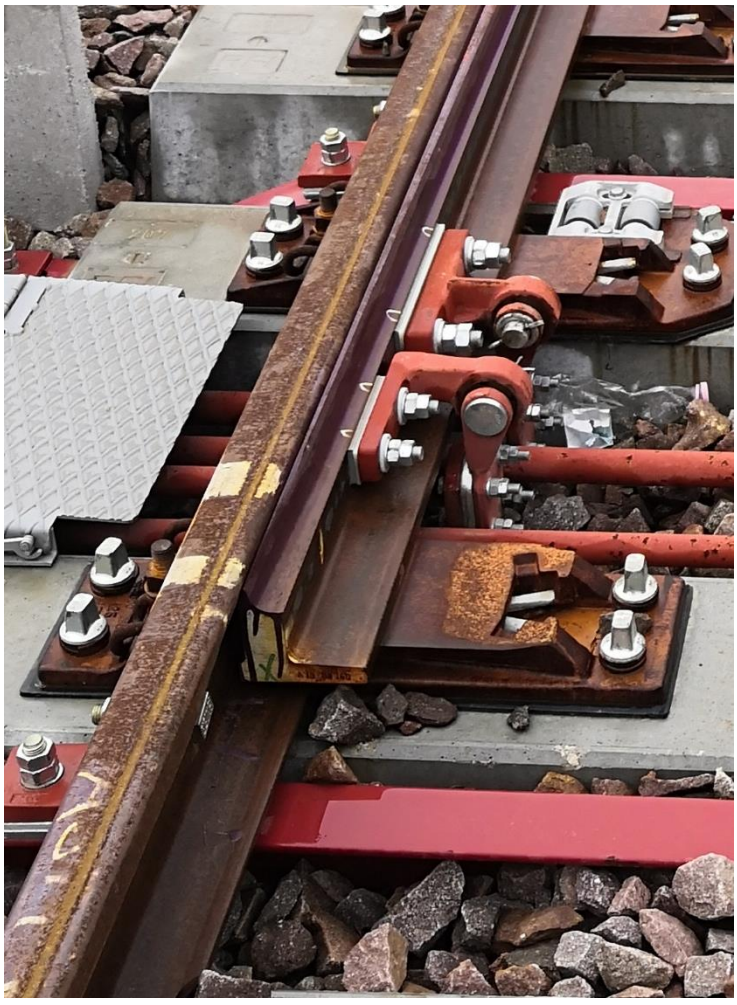


Figura 70: Coppia ago-contrago sinistra in posizione accosta

Figura 71: Coppia ago-contrago destra in posizione discosta

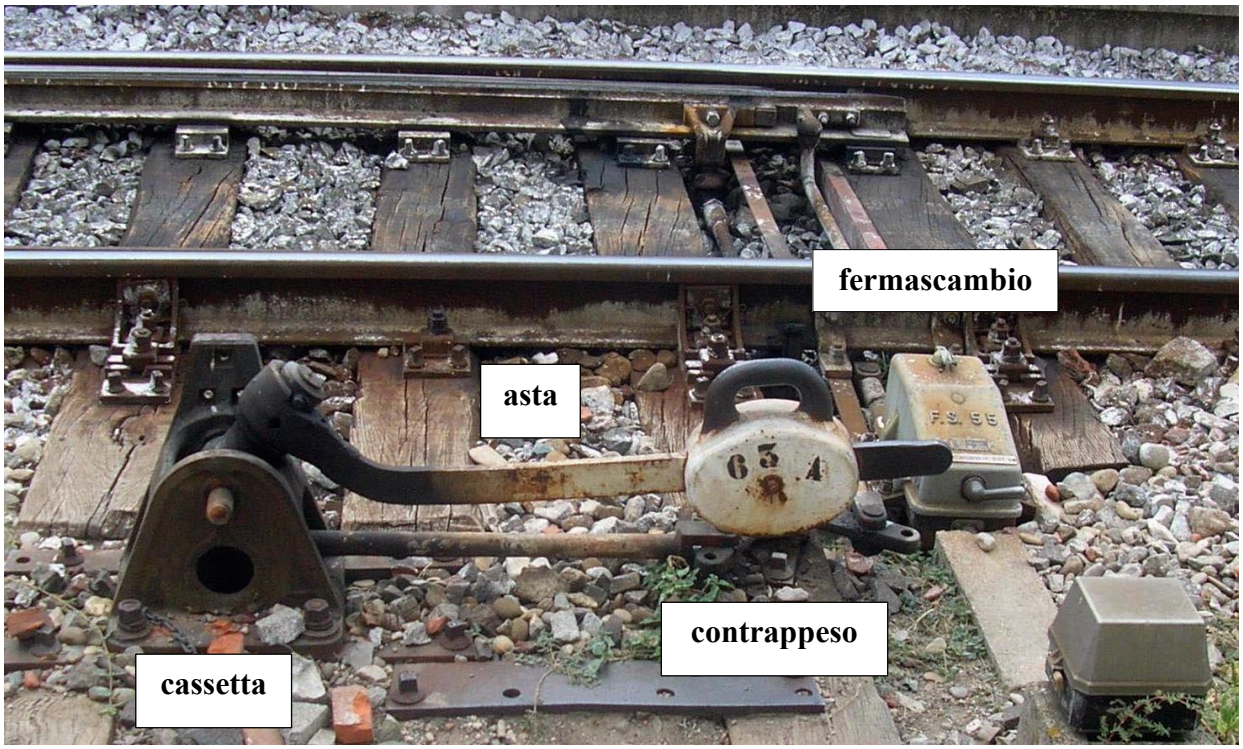


Figura 72: Particolare di deviatoio a manovra manuale ("macaco") accoppiato a dispositivo di fermascambiatura elettrico [19]

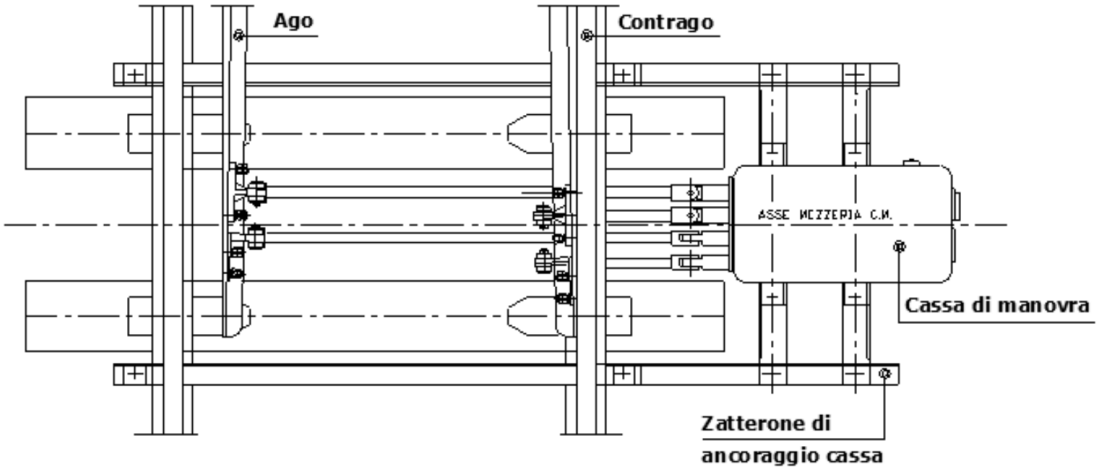


Figura 73: Schema di manovra elettrica con cassa tradizionale [2]

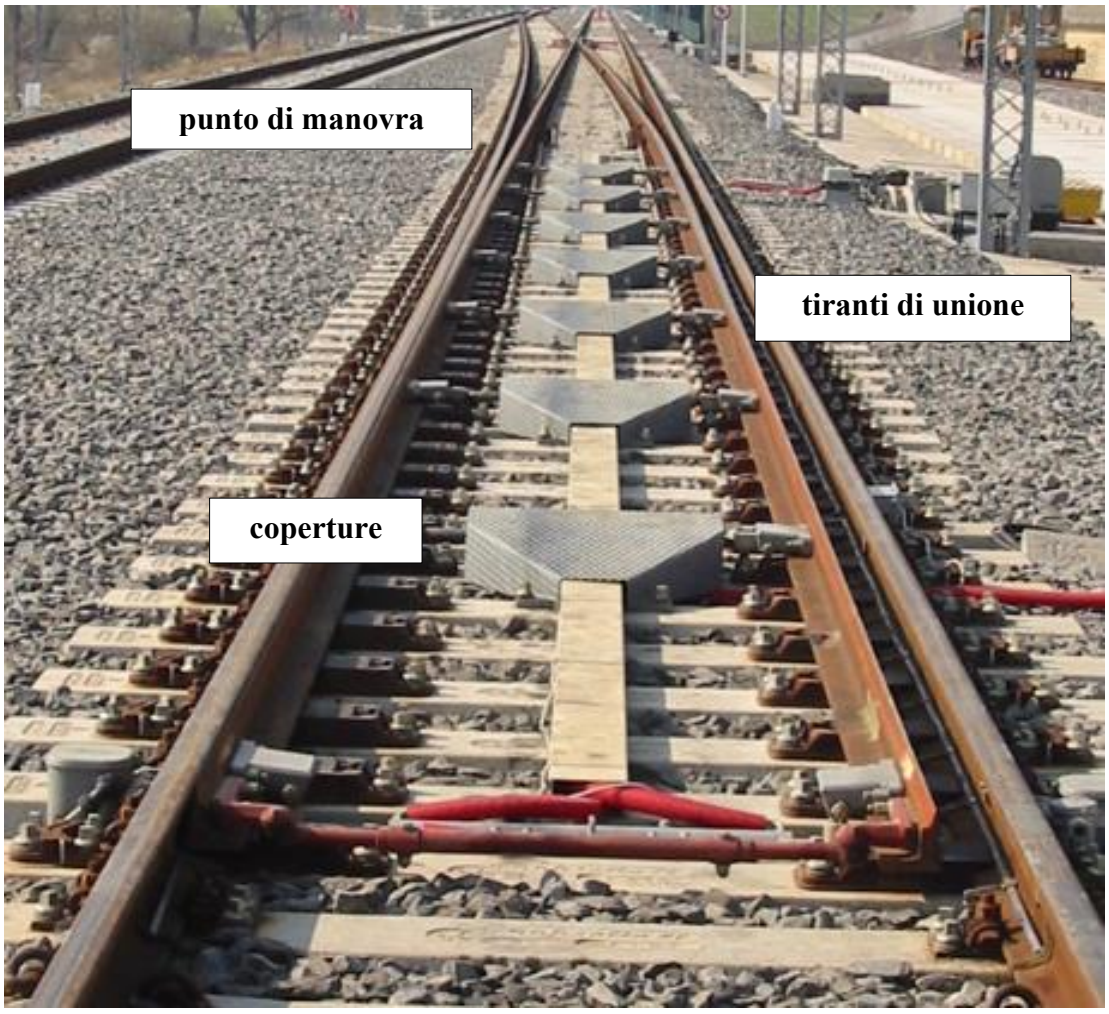


Figura 74: Deviatoio a manovra oleodinamica [20]

Figura 75: Cuore a "punta mobile" [2]

Nella manovra automatica, I seguenti processi di controllo vengono eseguiti automaticamente [3]:

- Gestione della distanza tra ago e contrago
- Controllo dello scartamento e dell'usura nell'area nociva.

Uno schema dei seguenti processi viene rappresentato nella seguente figura:

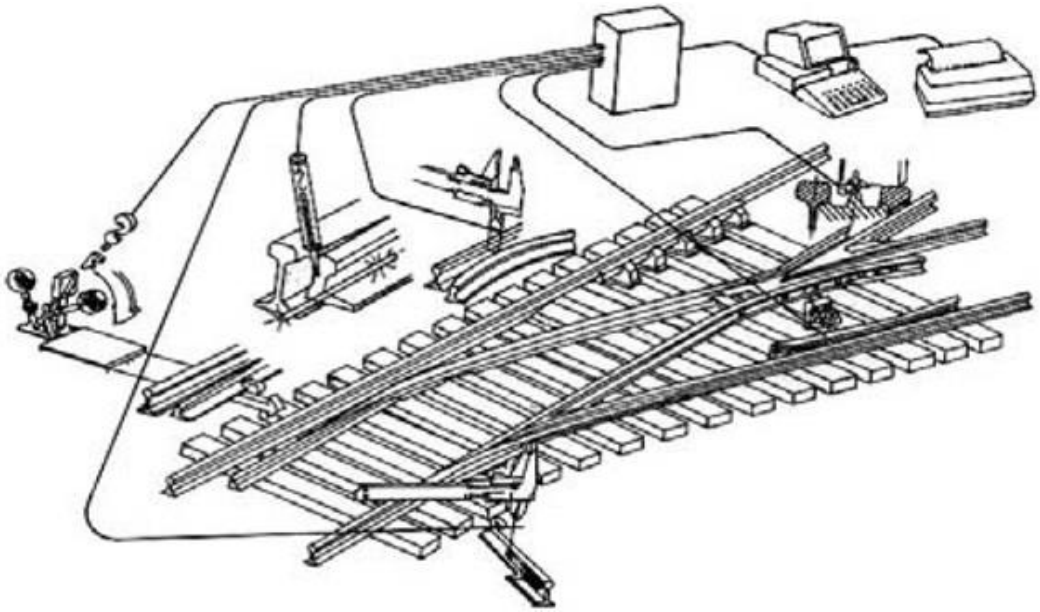


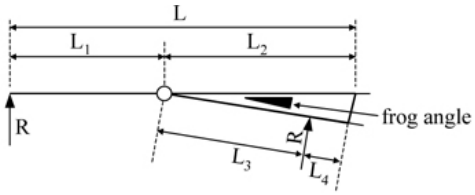
Figura 76: Schema delle operazioni effettuate nella manovra automatica [3]

2.7. Caratteristiche geometriche dei deviatoi

L'industria ferroviaria offre una grande varietà di deviatoi, e i costruttori possono eventualmente adattare i medesimi alle condizioni presenti nel sito di posa.

Di seguito viene riportata una tabella in cui sono presenti le caratteristiche di alcune tipologie di deviatoi in uso per tracciati con scartamento standard e metrico [3]. Tuttavia, si possono osservare differenze minime, nelle caratteristiche geometriche, tra i diversi costruttori.

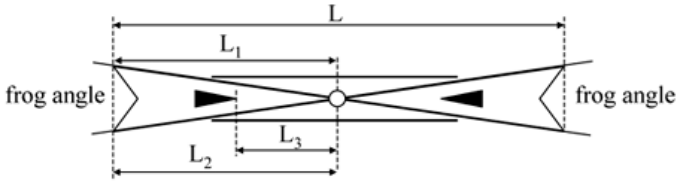
Tabella 1: Caratteristiche geometriche di alcune tipologie di deviatoi



track gauge	frog (inter-section) angle	R (m)	L (mm)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	L_4 (mm)
	1:5	100	19,804	9,902	9,902	9,902	0
	1:6	100	19,804	8,276	11,528	8,276	3,252
	1:6	140	23,174	11,587	11,587	11,587	0
	1:7	140	23,174	9,950	13,224	9,950	3,274
	1:7	190	27,006	13,503	13,503	13,503	0
	1:9	190	27,006	10,523	16,483	10,523	5,960
standard	1:9	300	33,230	16,615	16,615	16,615	0
	1:12	500	41,594	20,797	20,797	20,797	0
	1:14	760	54,216	27,108	27,108	27,108	0
	1:18.5	1,200	64,818	32,409	32,409	32,409	0
	1:21	1,540	73,292	36,646	36,646	36,646	
	1:26.5	2,500	94,306	47,153	47,153	47,153	
	1:29.74	3,000	100,846	50,423	50,423	50,423	
metric	1:7	100	18,276	7,107	11,169	11,169	0

La seguente tabella riporta le caratteristiche geometriche di alcune tipologie di intersezioni, per linee a scartamento standard e metrico [3].

Tabella 2: Caratteristiche geometriche di alcune tipologie di intersezioni



track gauge	frog (inter-section) angle	R (m)	L (mm)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)
	1:9	190	33,230	16,615	16,615	12,955
standard	1:9	300	45,278	22,639	22,639	9,525
	1:9	500	55,386	27,693	27,693	12,955
metric	1:7	50	22,339	11,169.5	11,169.5	7,035

Nella seguente tabella vengono riportate le caratteristiche geometriche di raggio di curvatura e angolo di uscita, tangente del deviatoio e velocità di percorrenza del ramo deviato di alcuni tipici scambi in dotazione presso le Ferrovie dello Stato Italiane [4].

Tabella 3: Caratteristiche deviatoi FS

Raggio curvatura [m]	Angolo di uscita	Tangente	Velocità di impegno sul ramo deviato [km/h]
170	6° 50' 34"	0,12	**30**
250	5° 15' 30"	0,092	**30**
250	6° 50' 34"	0,12	**30**
400	4° 13' 46"	0,094	**60**
400	5° 21' 55"	0,074	**60**
1200	2° 17' 26"	0,040	**100**
3000 e oltre	1° 15' 23"	0,022	**160**
6000 e oltre	0° 51' 26"	0,015	**220**

2.8. Verifica allo svio per deviatoi e intersezioni

In corrispondenza di un deviatoio o una intersezione, il bordino della ruota potrebbe sormontare la rotaia e causare deragliamento. Le forze in gioco vengono rappresentate nella seguente figura [3]:

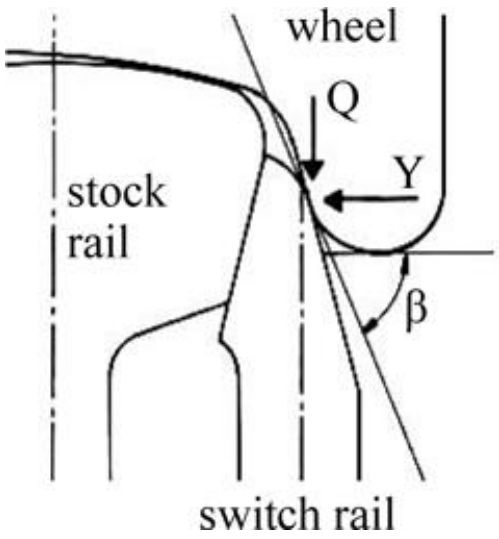


Figura 77: Contatto ruota-rotaia in corrispondenza di un deviatoio

nella quale:

- Y: forza trasversale esplicata al contatto tra il bordino della ruota e la rotaia.
- Q: peso scaricato dalla ruota.
- β: angolo del piano tangente al punto di contatto ruota rotaia.

In generale, al fine di evitare lo svio, il rapporto tra Y e Q deve essere contenuto entro il limite indicato dalla relazione di Nadal (o equazione di Boedecher e Chartet) indicata di seguito:

$$\frac{Y}{Q} \leq \frac{tg(\beta) - f}{1 + f \cdot tg(\beta)}$$

in cui f rappresenta il coefficiente di attrito tra la ruota e la rotaia.
Partendo dal più basso valore di questo rapporto ricavato da dati sperimentali e dal valore medio del coefficiente di attrito, è possibile ricavare, dato l'angolo β, un valore che sia a favore di scurezza nei confronti dello svio, e di conseguenza anche il massimo grado di usura ammissibile della superficie interna del bordino.
Nel caso di transito del convoglio in corrispondenza di deviatoi e intersezioni viene suggerito, sulla base di diverse casistiche registrate negli anni, che la condizione limite per prevenire il deragliamento sia la seguente:

$$\frac{Y}{Q} \leq 0{,}4 \div 0{,}8$$

Assunte le metodologie di posa e i criteri di manutenzione per i deviatoi, è consigliabile considerare per la condizione critica del rapporto sopracitato un valore dell'ordine di 0,8, che è il più rappresentativo delle attuali condizioni di sicurezza e svio.

Pertanto, assumendo un peso trasmesso alle ruote Q di 20 tonn, un valore medio del coefficiente di attrito f pari a 0,3, e considerando la condizione critica di $\frac{Y}{Q} = 0{,}8$, dalla formula di Nadal si ottiene un valore critico dell'angolo del piano tangente al punto di contatto ruota rotaia, $\beta_{crit} \cong 40^{\circ}$.

3. Rotaie (“Armamento”)

L’insieme dei binari (ossia rotaie accoppiate e distanziate dello scartamento), apparecchi del binario A.d.B. e traverse viene denominato nel gergo ferroviario “armamento”. Quest’ultimo risulta definito come [2]:

- **“Pesante”**: nel caso in cui le rotaie abbiano peso unitario almeno pari a $46\ \frac{kg}{m}$
- **“Leggero”**: nel caso in cui le rotaie abbiano peso unitario inferiore a $46\ \frac{kg}{m}$

Il profilo di rotaia utilizzato nelle moderne ferrovie è quello denominato Vignoles, dall’ingegnere australiano che le progettò [3].

Questa rotaia è costituita dalle seguenti parti principali [2]:

- Fungo: parte sommitale, che viene interessata dal contatto ruota-rotaia
- Gambo: zona centrale che viene interessata dalla foratura per le giunzioni.
- Suola: zona inferiore, che viene interessata dall’appoggio e dagli organi di attacco alle traverse.

Le principali caratteristiche della sezione trasversale sono:

- Peso per unità di lunghezza $\frac{W}{l}$
- Momento di inerzia I

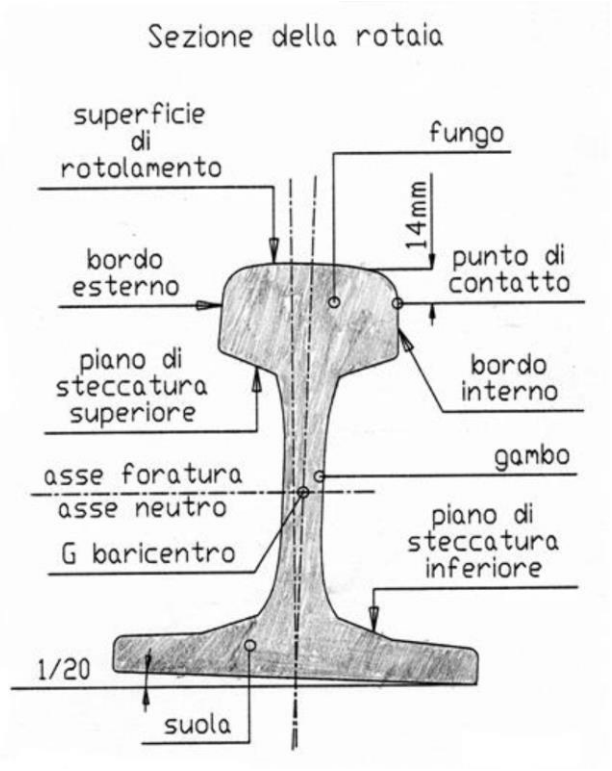
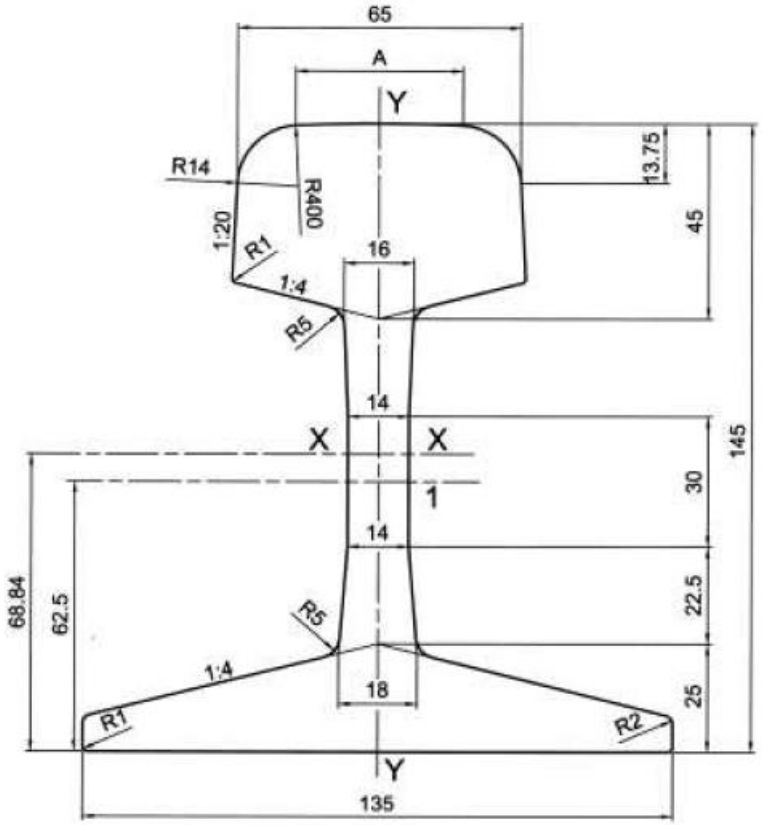


Figura 78: Sezione di rotaia tipo Vignoles [2]

Un obbiettivo ricorrente è stato quello di incrementare, in modo contenuto, il peso per unità di lunghezza a fronte di un importante incremento del momento di inerzia, al fine di assicurare che il rapporto $\frac{I}{m}$ crescesse più rapidamente del peso w. Ciò portò ad ottenere un costante incremento dell’altezza della rotaia [3].

L’incremento dei carichi assiali e delle velocità dei convogli ha portato nel tempo ad un aumento del carico cui sono sottoposte le rotaie. Esse vengo standardizzate da diversi enti, tra cui UNI e UIC. In Italia i profili storicamente più utilizzati sono i seguenti:

- **Rotaia 46E4 (ex 46UNI)**



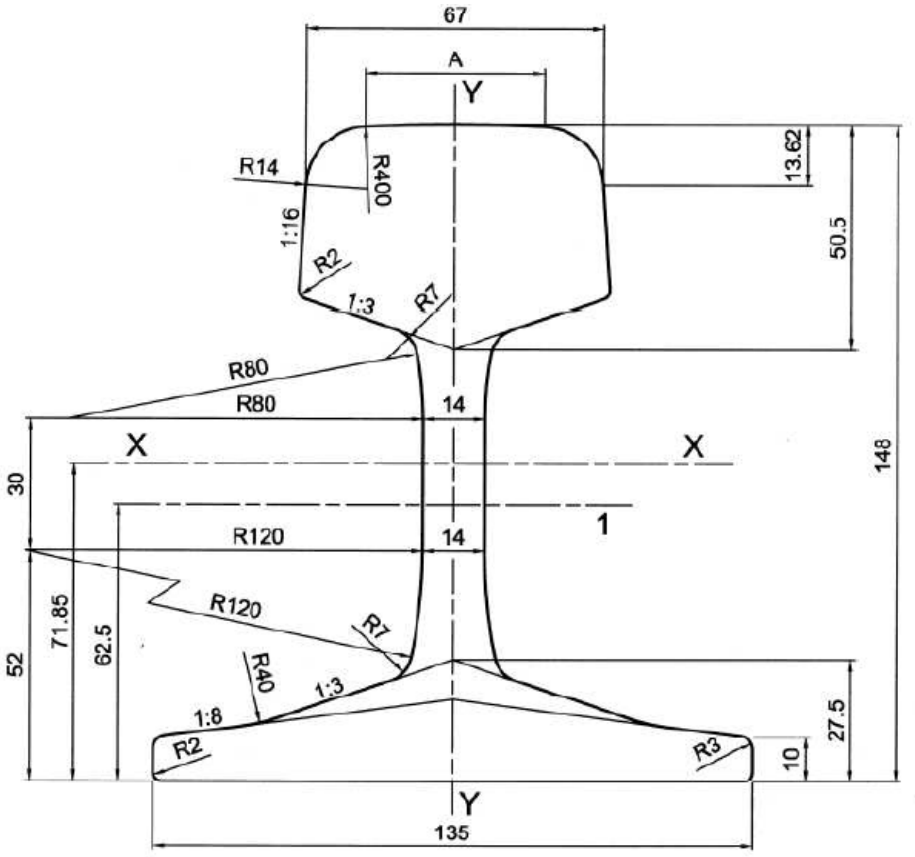
Legenda:

1 asse per la marcatura

- area sezione trasversale : 59,78 cm^2
- massa per metro lineare : 46,9 kg/m
- momento d’inerzia asse X-X : 1688 cm^4
- modulo di inerzia della sezione – Fungo : 221,6 cm^3
- modulo di inerzia della sezione – Suola : 245,2 cm^3
- momento d’inerzia asse Y-Y : 338,6 cm^4
- modulo di inerzia della sezione asse Y-Y : 50,2 cm^3
- dimensioni indicative : A=38,378 mm

Figura 79: Profilo di rotaia 46E4 (ex 46UNI) [16]

- **Rotaia 50E5 (ex 50UNI)**



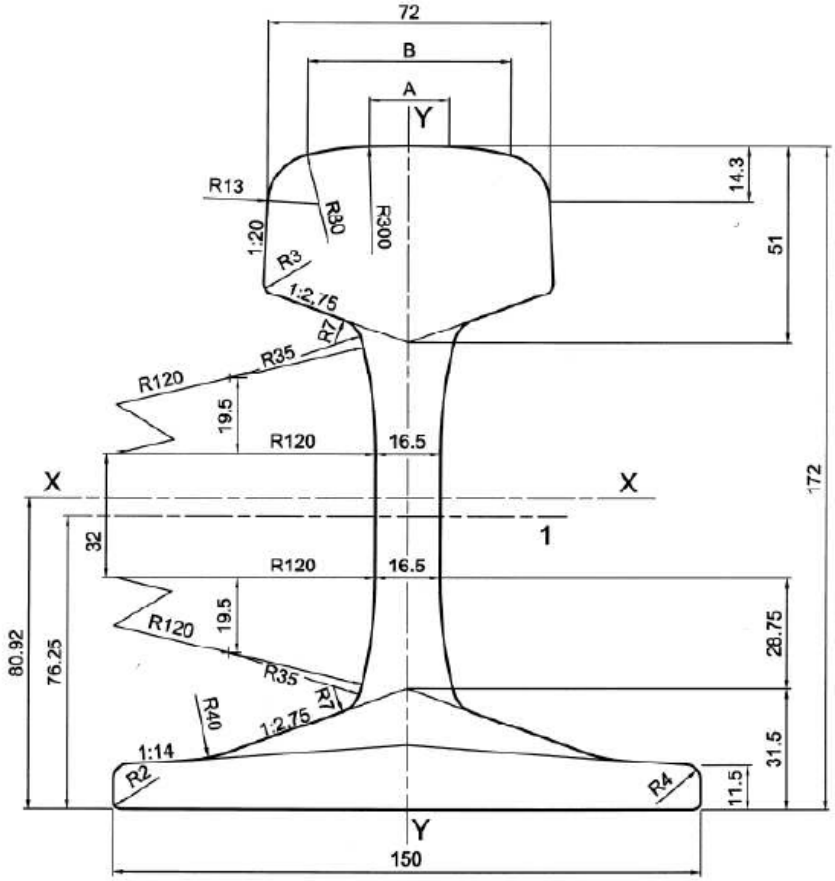
Legenda:

1 asse per la marcatura

- area sezione trasversale : 63,62 cm^2
- massa per metro lineare : 49,9 kg/m
- momento d’inerzia asse X-X : 1844 cm^4
- modulo di inerzia della sezione – Fungo : 242,1 cm^3
- modulo di inerzia della sezione – Suola : 256,6 cm^3
- momento d’inerzia asse Y-Y : 362,4 cm^4
- modulo di inerzia della sezione asse Y-Y : 53,7 cm^3
- dimensioni indicative : A=40,471 mm

Figura 80: Profilo di rotaia 50E5 (ex 50UNI) [16]

- **Rotaia 60E1 (ex 60UIC)**



Legenda:

1 asse per la marcatura

• area sezione trasversale	:	76,70 cm^2
• massa per metro lineare	:	60,21 kg/m
• momento d'inerzia asse X-X	:	3038,3 cm^4
• modulo di inerzia della sezione – Fungo	:	333,6 cm^3
• modulo di inerzia della sezione – Suola	:	375,5 cm^3
• momento d'inerzia asse Y-Y	:	512,3 cm^4
• modulo di inerzia della sezione asse Y-Y	:	68,3 cm^3
• dimensioni indicative	:	A=20,456 mm
		B=52,053 mm

Figura 81: Profilo di rotaia 60E1 (ex 60UIC) [16]

La lunghezza delle rotaie ha subìto diverse evoluzioni, di pari passo con i progressi tecnici delle modalità produttive: quelle di recente produzione sono consentite nelle lunghezze di 36 m e 108 m. Le prime possono essere ricavate tramite laminazione dei lingotti di acciaio ottenuti dalla colata, mentre le seconde possono essere ricavate tramite laminazione diretta da colata continua [2].

Le politiche manutentive e di miglioramento della qualità generale dell’infrastruttura hanno portato ad avere, anche sui binari secondari poco utilizzati, rotaie di tipologie e lunghezze standard in luogo a quelle più datate.

In Tabella 4 sono riportate le classi di acciai per rotaie più comuni, caratterizzate dal valore della resistenza a trazione e dalla composizione chimica.

Tabella 4: Classi di acciaio da rotaia [2]

Tipo	C%	Mn%	Si%	Cr%	P%	S%	Carico Rottura N/mm²	Tensione Esercizio N/mm²
700	min 0,40 max 0,60	0,8 1,25	0,05 0,35	-	0,05	0,05	680 830	230
900A	min 0,60 max 0,80	0,8 1,3	0,10 0,50	-	0,04	0,04	880 1.030	280
900B	min 0,55 max 0,75	1,3 1,7	0,10 0,50	-	0,04	0,04	880 1.030	280
1.100	min 0,60 max 0,82	0,8 1,3	0,30 0,90	0,8 1,3	0,03	0,03	1.110	330

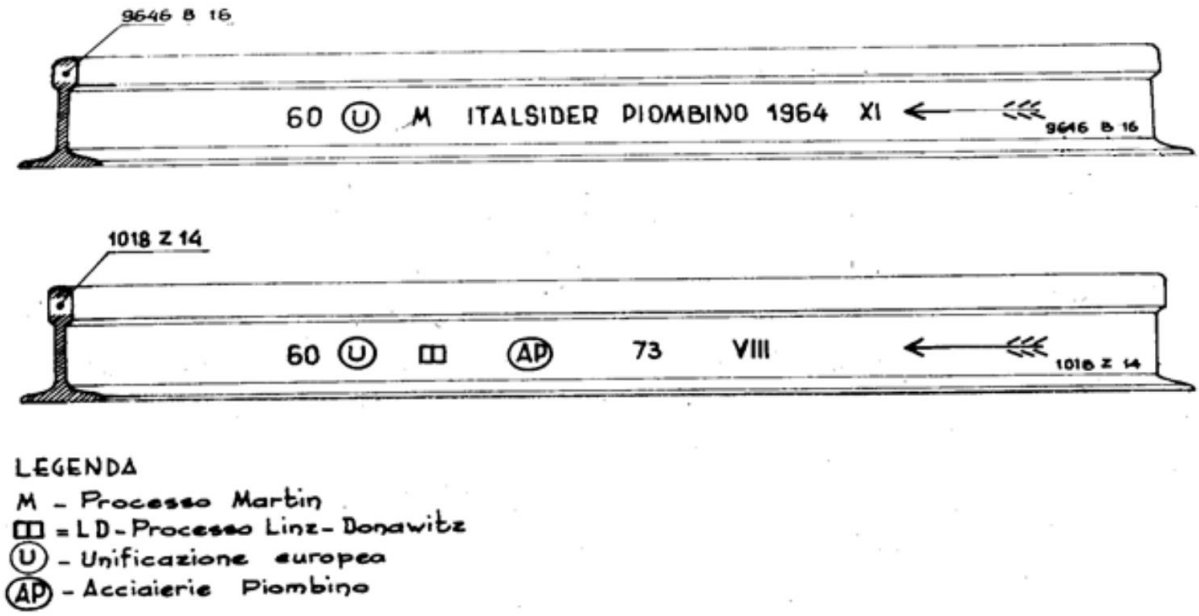


Figura 82: Esempio designazione rotaia [2]

3.1. Scelta del profilo di rotaia

La scelta del profilo della rotaia dipende in modo consistente dal carico veicolare e dall’aspettativa di vita utile della rotaia stessa. Per lo scartamento ordinario si utilizza per lo più la rotaia 54UIC per linee a basso carico e rotaie 60E1 (ex 60UIC) per linee a medio-alto carico da traffico veicolare.

La scelta del profilo adeguato dovrebbe tenere in conto i seguenti parametri [3]:

- Velocità massima linea
- Carico assiale dei convogli
- Traffico della linea
- Modulo delle traverse
- Vita utile considerata
- Eventuale riutilizzo

Ad ogni modo, le autorità in campo ferroviario hanno redatto delle linee guida a riguardo. In Europa, per lo scartamento ordinario, è consuetudine adottare il profilo 54UIC nel caso di linee a basso carico da traffico (ossia con un carico giornaliero inferiore a 25000 tonn), e il profilo 60UIC nel caso di linee ad alto carico da traffico (maggiore di 35000 tonn) [3]. Nel caso di carichi da traffici giornalieri compresi tra 25000 tonn e 35000 tonn, in presenza di traverse in legno è sufficiente il profilo 54UIC; in caso di traverse in c.a.v.p. viene suggerito l’impiego di rotaie 60E1 (ex 60UIC).

3.2. Comparazione tra tipologie di rotaie italiane

Perseguendo l’obiettivo di assegnare una priorità di intervento ai deviatoi, la tipologia di rotaia dalla quale originano risulta determinante: infatti è lecito collegare la medesima con le proprietà di resistenza meccanica, resistenza a fatica e all’usura.

Una strada alternativa all’indagine delle suddette proprietà, legate al degrado e tipo di profilo, consiste nel considerare il fatto che le rotaie 46E4 e 50E5 appartengono ad uno standard desueto, in quanto le nuove linee, nonché le rotaie di nuova posa a seguito di sostituzione, risultano di tipo 60E1. Pertanto, ai fini della creazione dell’algoritmo di priorità degli interventi manutentivi è lecito assumere queste ultime con una “importanza” minore, in quanto sicuramente poste in opera più recentemente rispetto alle altre tipologie.

4. Traverse e traversoni

Sono strutture sulle quali si appoggiano i binari e consentono il mantenimento regolare dello scartamento previsto.

Figura 83: Schematizzazione di traversa ferroviaria [2]

Le traverse sono immerse nel ballast della sovrastruttura, e grazie a ciò viene a crearsi l'interazione meccanica che permette il mantenimento del corretto assetto del binario, l'appropriato trasferimento e distribuzione dei carichi, l'adeguata resistenza meccanica in direzione orizzontale e verticale [3]. Inoltre, le traverse consentono, tramite la propria conformazione o grazie a interposte piastre metalliche, di mantenere l'inclinazione delle rotaie prevista (nel caso di binario corrente tale inclinazione è di 1/20 verso l'interno del binario) [2]. Nel caso del binario corrente, le traverse possono essere viste come travi rovesce dalla forma prismatica e di lunghezza standardizzata, poste su due appoggi in corrispondenza delle rotaie.

Con il termine "traversoni" si intendono quelle particolari traverse sulle quali insiste il deviatoio in tutte le sue componenti e per tutta la sua lunghezza: sono delle traverse più lunghe di quelle normali atte ad accogliere i binari, in quanto sulle medesime vengono alloggiati parte del ramo principale e del ramo deviato (nell'intorno del deviatoio stesso): in questo caso il numero degli appoggi può aumentare fino a oltre una decina, nei casi più complessi. Si distinguono [2]:

- "Traverse e traversoni in legno"
- "Traverse e traversoni in cemento armato vibrato e precompresso"
- "Traverse metalliche"
- "Piattaforme in c.a.v.p."

La distanza, o interasse, tra due appoggi consecutivi è denominato "modulo" (anche noto come "passo" o "spartito"). Il "modulo" va ad influenzare profondamente le prestazioni del binario per quanto concerne il carico assiale, la velocità e la stabilità; esso varia in base allo standard utilizzato, e viene definito dal "numero di traverse presenti entro una lunghezza di sei metri di binario (che

rappresenta un sottomultiplo di tutte le lunghezze delle rotaie esistenti)" [2]. Si deve avere uniformità di modulo, pertanto la sua tolleranza è bassa: sono ammesse variazioni localizzate entro un massimo del 10%.

Rete Ferroviaria Italiana ammette tre possibili standard per le traverse [2]:

- "10 traverse su 6 m (6/10)": si applica per i binari di corsa BC delle linee più importanti e con alti carichi assiali.
- "9 traverse su 6 m (6/9)": si applica i per binari di corsa BC di linee secondarie.
- "8 traverse su 6 m (6/8)": vecchio standard per i binari secondari.

4.1. Traverse lignee

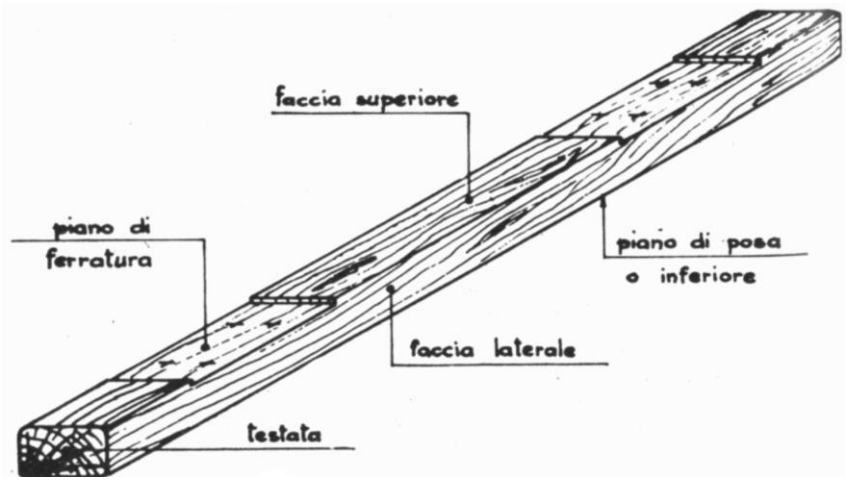


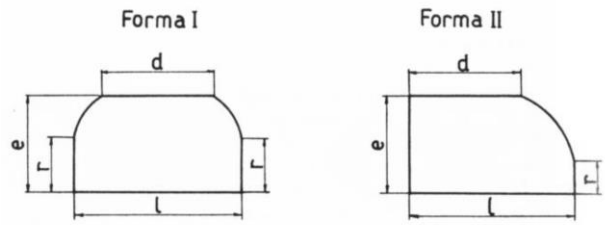
Figura 84: Rappresentazione qualitativa di traverse in legno [2]

Le traverse in legname si dividono in gruppi, così come riportato in Tabella 5. Tutti i gruppi presentano lunghezza pari a 260 cm; in generale, la lunghezza deve sempre essere superiore a 230 cm.

Le tipologie di legname utilizzato, anche dette "essenze", risultano essere tipicamente le seguenti [2]:

- "Essenze forti": rovere, cerro, leccio
- "Essenze medie": faggio, olmo
- "Essenze dolci": pino, larice

Tabella 5: Forme e dimensioni delle traverse in legno [2]



Gruppo	l	e	d		r	Specie
			I e III	II	I e II	
1	26	16	16	20	8	pini e larice
2	26	15	17	20	8	
5	24	14	16	18	7	rovere, cerro, faggio, ecc.
7	22	13	13	16	5	

N.B.: La larghezza l non può superare i 30 cm.
L'altezza e non può superare i 17 cm

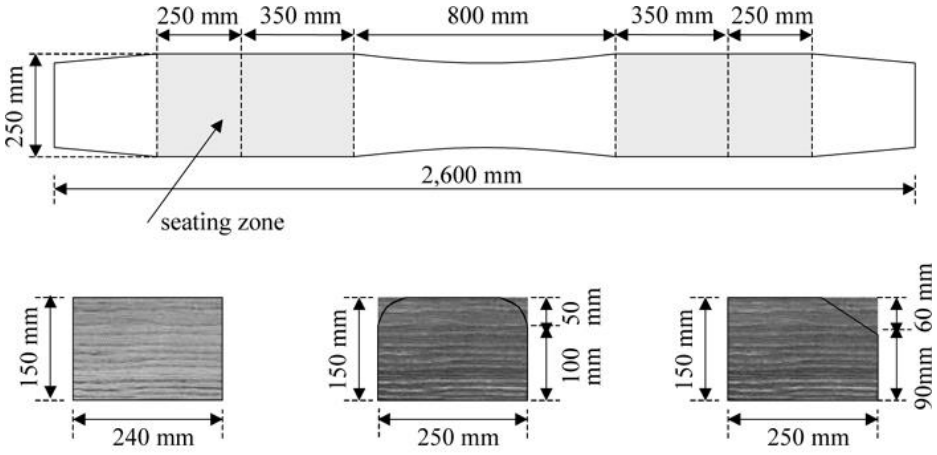


Figura 85: Pianta e sezioni trasversali di traversa in legno per scartamento ordinario [3]

Nelle traverse in legname l'inclinazione della rotaia (tipicamente di 1/20) viene resa possibile grazie all'interposizione di piastre d'acciaio con tale profilo, poste sui piani di ferratura.

Le traverse in legno consentono una distribuzione dei carichi migliore rispetto agli altri tipi di traverse; sono pertanto raccomandate in tracciati ferroviari che insistono su sottofondi e terreni di modesta o scarsa qualità, in cui a confronto le traverse in c.a.v.p. richiederebbero uno strato di ballast più esteso. Dato il maggiore costo e una vita utile minore, il loro impiego viene circoscritto ai casi in cui non sia possibile utilizzare le traverse in c.a.v.p. [3], oppure nei binari di fascio AF o in generale in brevi tratti di binari AB in cui si hanno frequenze di passaggio veicolare minore e a velocità ridotte (ad esempio all'uscita dalle località delle linee secondarie).

Le traverse lignee sono soggette a [3]:

- degrado chimico-fisico del legno dovuto a umidità, cicli di gelo-disgelo, calore e polveri.
- degrado biologico, dovuto all'attacco di funghi e insetti.

Vi sono numerose tipologie di trattamento per il legname delle traverse, la più comune delle quali consiste nella impregnazione sotto pressione. Le sostanze prevalentemente utilizzate sono:

- creosoto al 100% (puro), non più utilizzato poiché cancerogeno
- miscela di creosoto e olio di fornace (nafta)
- altre sostanze chimiche, pure o miscelate.

Al fine di prevenire la frammentazione del legno o lo scivolamento della traversa una volta in situ, risulta necessario che siano "ammorsate" nel ballast medesimo: ciò è reso possibile dalle estremità delle traverse, che possono essere rinforzate tramite un cinturino di acciaio oppure da piastre metalliche inserite nella sezione verticale della estremità.

Le traverse in legname sono estremamente sensibili ai seguenti fattori, che nel tempo comportano una diminuzione della loro resistenza [3]:

- decadimento delle proprietà meccaniche
- influenze di natura chimica
- influenze di natura biologica.

4.1.1. Vantaggi e svantaggi delle traverse in legname

I vantaggi principali delle traverse in legno sono i seguenti [3]:

- Maggiore flessibilità data dal materiale
- Migliore distribuzione dei carichi: esse sono pertanto raccomandate nel caso di sottofondi di scarsa qualità.
- Buon isolamento elettrico
- Altezza minore rispetto alle traverse in c.a.v.p.

Gli svantaggi principali delle traverse in legno risultano essere [3]:

- Minore vita utile
- Costo più elevato nel mercato europeo (situazione inversa nei paesi extra europei)
- Bassa resistenza alle azioni trasversali dovuta alla loro leggerezza, che preclude su di esse il passaggio di convogli a velocità elevate.

Nella seguente immagine si riportano le deformate di traverse monoblocco per diverse qualità di sottofondo (S_1, S_2, S_3, R).

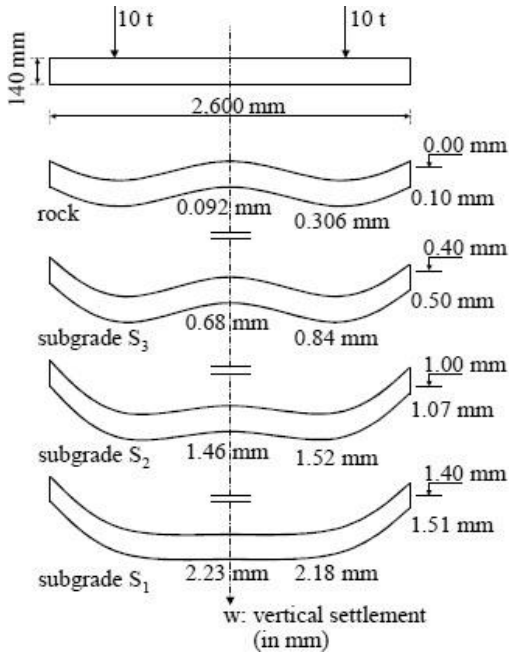


Figura 86: Deformate di traverse lignee per varie tipologie di sottofondo [3]

4.2. Traverse in calcestruzzo armato vibrato precompresso

Le Ferrovie dello Stato Italiane hanno adottato un gran numero di tipologie di traverse in calcestruzzo armato precompresso, utilizzabili con le varie tipologie di attacchi per le rotaie [2]. Le traverse in c.a.v.p. possono essere di due tipi:

- Traverse in c.a.v.p. ad "armature pretese (a fili aderenti)":
- Traverse in c.a.v.p. ad "armature post-tese (a fili non aderenti)".

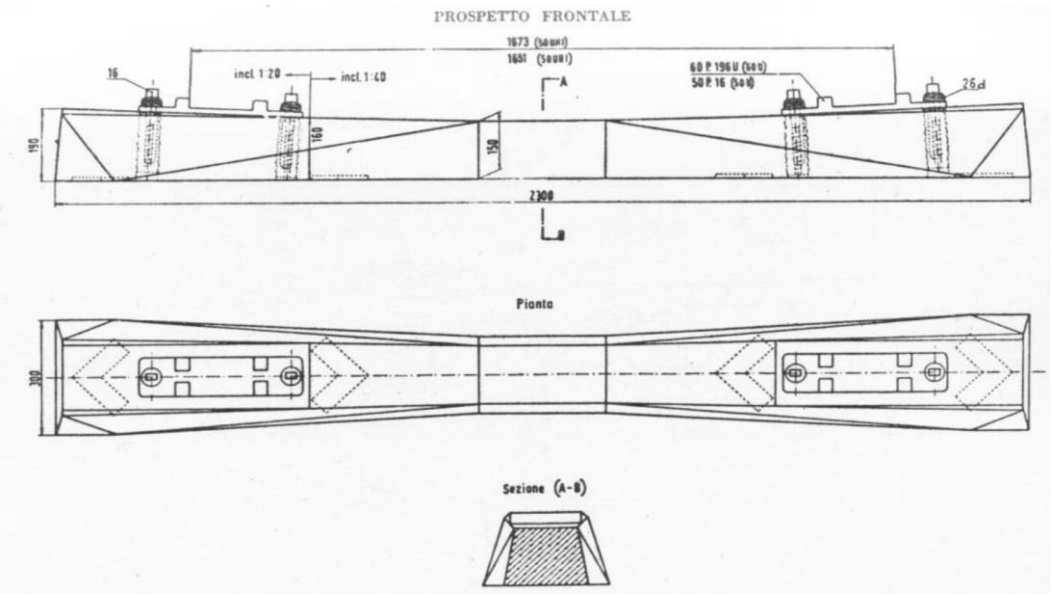


Figura 87: Traversa cementizia tipo FS 50 - 60 (215 kg) [2]

Figura 88: Traverse in situ [2]

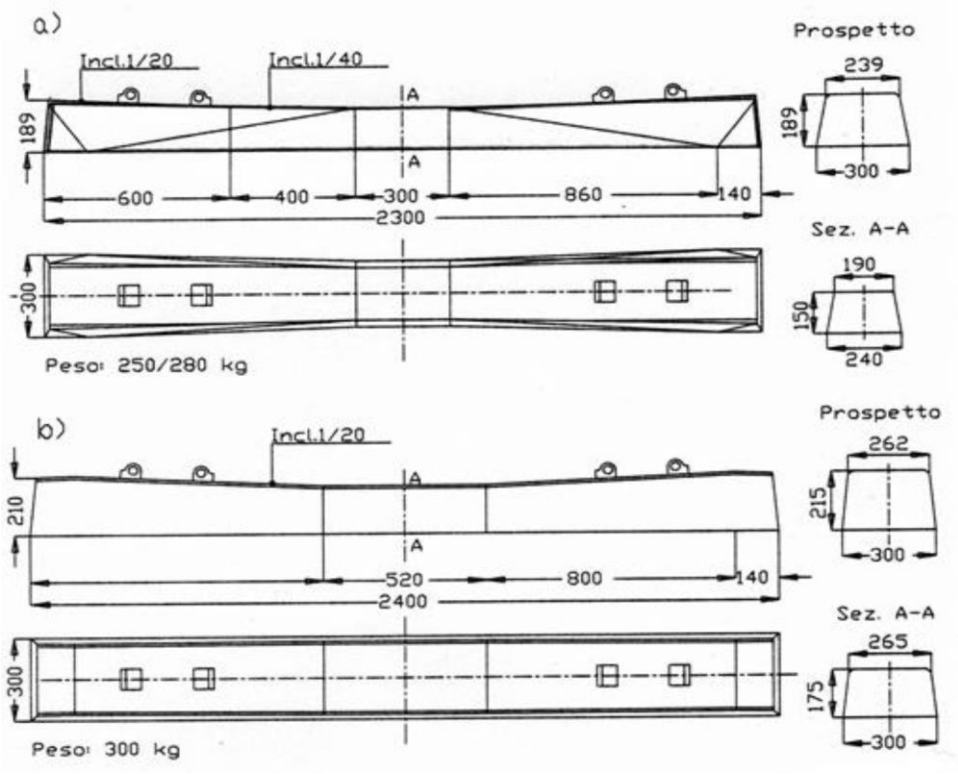


Figura 89: a) Traversa tipo FS V.35 P (attacco Pandrol), peso 250 kg, armatura non aderente, arpioni portafermaglio immersi nel conglomerato. b) Traversa tipo FS U.35 P (attacco Pandrol), peso 300 kg, armatura aderente, arpioni portafermaglio immersi nel conglomerato. [2]

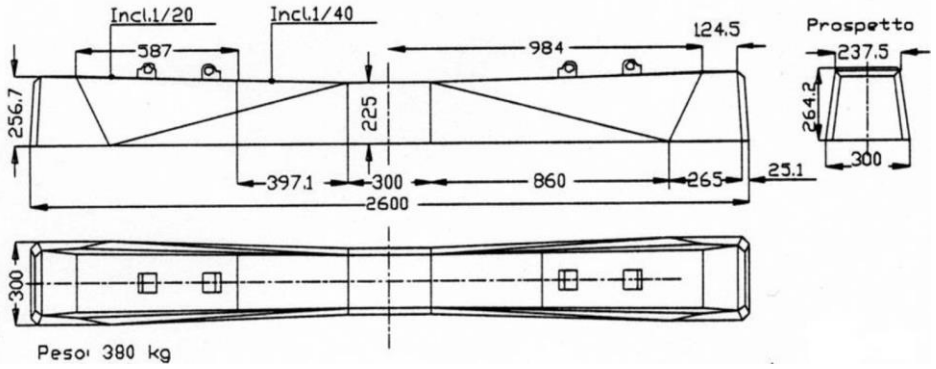


Figura 90: Traversa FS 60 E (per V>250km/h), peso 380 kg, armatura non aderente e arpioni portafermaglio immersi nel conglomerato. [2]

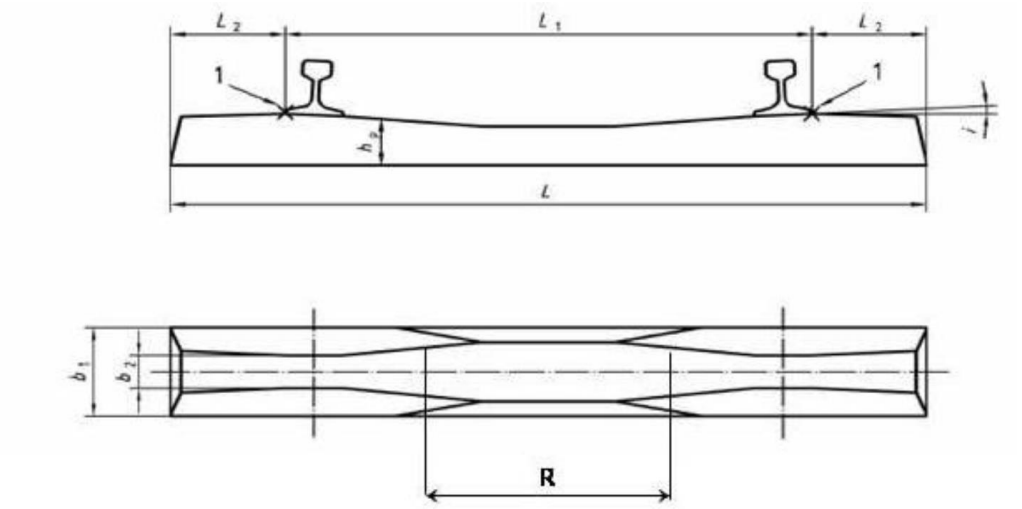


Figura 91: Traverse cementizie della nuova specifica RFI [2]

Descrizione del parametro	**Traversa RFI 230**	**Traversa RFI 240**	**Traversa RFI 260**
Lunghezza L della traversa riferita al piano di appoggio	2300 mm	2400 mm	2600 mm
Larghezza b1 della traversa riferita al piano di appoggio	300 mm	300 mm	300 mm
Larghezza b1 della traversa riferita al piano di appoggio, nel tratto centrale R(1) della traversa	240 ÷ 260 mm	250 ÷ 300 mm	240 ÷ 300 mm
Altezza della traversa nella sezione sottorotaia	170 ÷ 190 mm	215 ÷ 220 mm	220 ÷ 230 mm
Altezza della traversa nella sezione di mezzeria	≥ 150 mm	≥ 190 mm	≥ 190 mm
Inclinazione del piano d'appoggio della rotaia	1/20	1/20	1/20
Massa teorica della traversa al netto del peso degli inserti del sistema di attacco (attacco di primo livello)	≥ 225 Kg	≥ 300 Kg	≥ 350 Kg

(1) *la lunghezza del tratto R è definita dal Fornitore*

Tabella 6: Parametri traverse cementizie della nuova specifica RFI [2]

I deviatoi trovano alloggiamento su traversoni composti da serie continue di elementi prefabbricati di diverse dimensioni e forme, in relazione ai componenti metallici che dovranno accogliere.

Figura 92: Traversoni in c.a.v.p. per deviatoi [2]

La tipologia di traverse sopra riportata è quella monoblocco. In origine essa presentò le seguenti importanti debolezze intrinseche [3]:

- Tendenza a manifestare frattura fragile sotto carichi dinamici dei convogli e alla fessurazione fino alla rottura
- Assai modesta resistenza a fatica, con conseguente stato di trazione elevato nella parte centrale: se superiore alla resistenza a trazione, esso porta allo sfilamento delle barre d'armatura.

Il superamento di queste due debolezze strutturali richiese:

- Interposizione di un materiale assorbente, tra rotaie e traverse evitando dunque il contatto diretto, per smorzare l'impatto del carico. Questo materiale include per lo più cuscinetti di gomma.
- Utilizzo di barre d'armatura con la stessa vita utile del calcestruzzo.

La distribuzione delle tensioni di contatto tra le traverse e il ballast mostra come nella parte centrale le tensioni siano molto piccole. In questa zona è pertanto lecito utilizzare una minore quantità di materiale, rimanendo a favore di sicurezza: nelle traverse monoblocco si ha dunque una riduzione delle dimensioni delle sezioni trasversali centrali.

In Italia si utilizzano per lo più traverse monoblocco post-tese (a fili non aderenti).

Le traversine monoblocco presentano le seguenti caratteristiche [3]:

- Migliore resistenza ai carichi ciclici, poiché si ha sempre sforzo di compressione sul calcestruzzo.
- Altezza della traversa inferiore nella parte centrale, poiché le barre d'armatura non devono essere disposte il più lontano possibile dall'asse neutro, come nel caso del calcestruzzo armato
- Riduzione della quantità di acciaio impiegata (rispetto alle twin-blocks).
- Generalmente più leggere (rispetto alle twin-block). Ciò è anche correlato a una riduzione della resistenza trasversale.

Nelle traverse monoblocco uno dei parametri strutturali chiave è il $\lambda = \frac{M_{CR}}{M_{MAX}}$, rapporto tra il M_{CR} momento critico e il M_{MAX} momento massimo che si sviluppa nella traversa. Questo fattore assume valori compresi tra 0,7 e 1,8 [3]. I diversi valori di λ riflettono le differenze nelle richieste delle varie ferrovie, le quali a loro volta sono dipendenti dalle condizioni del tracciato, del materiale rotabile, e dalle prescrizioni normative in termini di sicurezza.

Tabella 7: Caratteristiche meccaniche di traverse monoblocco in c.a.v.p. utilizzate in vari paesi [3]

Country	Sleeper spacing (mm)	Rail type	Maximum train speed (km/h)	Minimum radius of curvature (m)	Maximum axle load (tn)	Maximum moment developing in the sleeper M_{max} (tm)	Permiss. stress in concrete (kg/cm^2)	Critical permiss. moment M_{cr} (tm)	Coefficient $\lambda = \frac{M_{cr}}{M_{max}}$
Australia	550÷600	53/60 kg/m	160	200	24.5	1.62	23	2.38	1.5
Canada	610	132RE/136RE	130	194	29.2	2.01	33	3.06	1.5
China	550	50 kg/m	120	350	24.5	1.62	26	1.34	0.8
Germany	600÷650	S54/UIC 60	250	100	22.1	1.60	30	1.84	1.2
U.K.	650, 700	BS113A	200	400	24.5	1.65	45	2.50	1.5
Italy	600	UIC 60	180	485	22.1	1.19	47	1.50	1.3
Japan	590	50.4/60.8 kg/m	210	1,200	16.4	0.96	n.a.	1.73	1.8
Sweden	600, 650	SJ50	130	300	22.2	1.47	30	1.50	1.0
USA	610	65/69 kg/m	200	610	32.1	2.33	50	4.24	1.8
South Africa	700	48/47 kg/m	160	150	22.1	1.38	28	1.12	0.8
India	650	UIC 60	130	550	22.0	1.49	20	2.43	1.6
Russia	500÷643	R50/R65/R70	200	350	26.5	1.95	20	1.35	0.7

Il calcestruzzo deve essere almeno di classe di resistenza C50/60, specialmente per le linee ad alta velocità.

Le barre di armatura devono avere carico di rottura minimo di 1600 MPa, tensione di snervamento di 1400 MPa, rilassamento massimo del 3% a 1000 h.

Solitamente il momento flettente resistente delle traverse monoblocco viene determinato considerando tutte le perdite di precompressione scontate (20-25%, per perdita elastica, ritiro, viscosità, rilassamento). La resistenza a trazione massima del calcestruzzo è di 2÷3 N/mm^2 (con valori estremi 0 N/mm^2 e 6÷9 N/mm^2) e la massima resistenza a compressione è di 20÷30 N/mm^2.

Le traverse sono soggette a carichi ciclici, pertanto si deve assicurare la adeguata resistenza a fatica di tutti i materiali costituenti, compresi i cavi da precompressione. Lo scopo, nella progettazione, è quello di ottenere traverse che non si fessurino, dal momento che le fessure per flessione inducono un consistente incremento della tensione nell'acciaio da precompressione, che potrebbe portare a rottura per fatica. Visto che trecce o trefoli di alta qualità sono adatti a sopportare una variazione di sollecitazione del 5÷10% della loro resistenza a rottura, la maggior parte delle ferrovie cautelativamente considera la tensione di trazione come la base per la capacità di momento, e poche altre ferrovie escludono anche qualsiasi tensione di trazione [3].

4.2.1. Vantaggi e svantaggi delle traverse in c.a.v.p.

I vantaggi principali delle traverse in c.a.v.p. monoblocco sono i seguenti [3]:

- Ottima capacità di mantenimento dello scartamento
- Elevata vita utile (circa 50 anni)
- Resistenza trasversale superiore alle traverse lignee
- Superficie ottimale per le ispezioni dei manutentori
- Le traverse monoblocco hanno un comportamento simile a quelle twin-blocks. Infatti, mantengono lo scartamento in modo adeguato e hanno una vita utile elevata, di 50 anni. Richiedono attacchi elastici e speciali dispositivi per il segnalamento.

Gli svantaggi principali delle traverse in legno risultano essere [3]:

- Minore capacità di distribuzione dei carichi rispetto alle traverse lignee

Nella figura sottostante si riportano le deformate di traverse monoblocco per diverse qualità di sottofondo (S_1, S_2, S_3, R).

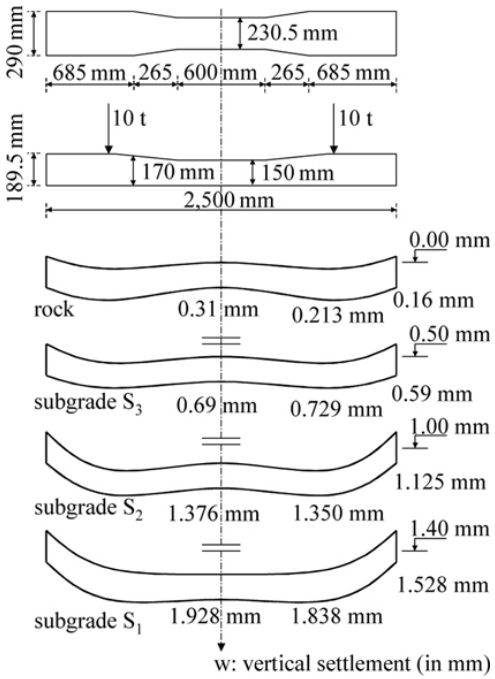


Figura 93: Deformate di traverse monoblocco per diverse tipologie di sottofondo [3]

Si osserva come la traversa monoblocco mostri una deformata simile a quella in legno, ma abbia minore flessibilità.

Le traverse cementizie monoblocco dovrebbero pertanto essere disposte su uno strato di ballast dall'adeguato spessore e resistenza meccanica.

4.3. Comparazione traverse in legno e c.a.v.p.

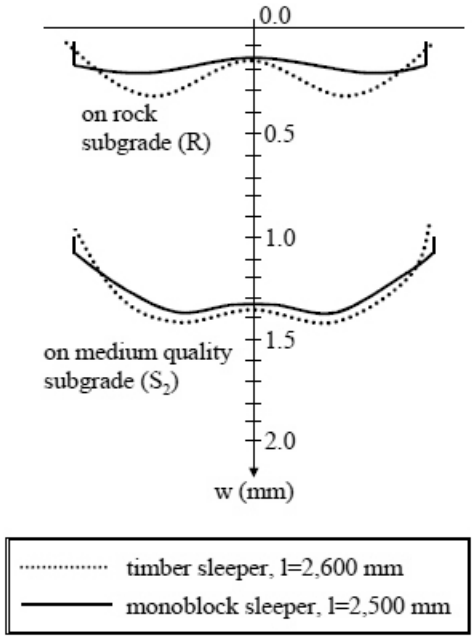


Figura 94: Comparazione frecce traverse c.a.v.p. e traverse lignee su due diversi tipi di sottofondo [3]

Si nota dal grafico sopra riportato che su sottofondi di ottima qualità (R, roccia) la soluzione ottimale è quella di disporre traverse monoblocco di c.a.v.p., poiché l'andamento della freccia risulta più contenuto rispetto al caso delle traverse in legname [3].

Nel caso invece di sottofondi di portanza più scarsa, l'andamento della freccia è pressoché sovrapponibile nei due casi.

Pertanto, la traversa in c.a.v.p. consente di contenere le deformazioni in qualunque situazione.

Vista inoltre la più estesa vita utile, le traverse in c.a.v.p. risultano più durevoli. Pertanto, nell'algoritmo di assegnazione delle priorità di intervento, è lecito assumere per le traverse in legname una importanza maggiore.

5. Manutenzione del tracciato e dell'armamento

Il degrado degli elementi che compongono il sistema ferroviario comincia nel momento in cui inizia il loro impiego; dopo un certo lasso di tempo, risulteranno necessari interventi di manutenzione. Questi interventi vanno ad influire non solo meramente sullo stato dell'armamento, sede ecc., ma anche sulla sicurezza dei convogli, relativamente alla circolazione, e sul comfort dei passeggeri. Le spese in ambito manutentivo riguardano un'ampia percentuale delle spese totali nel campo dell'infrastruttura ferroviaria. Tali esborsi, quindi, dovrebbero essere contenuti il più possibile parallelamente al mantenimento, per una specifica velocità del convoglio, di livelli di sicurezza e comfort soddisfacenti nonché accettabili.

Le politiche di manutenzione si dividono in due categorie principali, in base all'obiettivo a cui sono volte [3]:

- **Manutenzione preventiva**: al fine di migliorare la sicurezza.
- **Manutenzione correttiva**: al fine di migliorare il comfort di viaggio.

Per quanto concerne gli aspetti economici, la prospettiva è quella di ricercare un "ottimo" ossia di assicurare un margine di sicurezza soddisfacente e prevenire la perdita di funzionalità degli elementi costituenti il tracciato.

Quanto detto è intimamente connesso a due differenti tipologie di parametri fondamentali:

- **"Parametri geometrici"**: il cui degrado solitamente è reversibile.
- **"Parametri meccanici"**: il cui degrado solitamente è irreversibile, ossia non possono essere riportati alla loro completa efficienza senza ricorrere alla sostituzione di alcune parti (ad esempio rotaie, attacchi, traverse/traversoni, saldature ecc.).

I parametri geometrici, tuttavia, degradano nel tempo molto più rapidamente rispetto ai parametri meccanici, con una velocità all'incirca $5 \div 15$ volte maggiore.

Nel caso delle linee con traffico veicolare medio[7], ossia quelle rappresentative delle maggior parte delle tratte ferroviarie, le operazioni cicliche di miglioramento delle caratteristiche geometriche

[7] appartenenti al Gruppo 4 della classificazione UIC, relativo a traffico di $20000 \div 40000\ tonn/gg$

vengono attuate in seguito ad un carico di circa $40 \div 50\ milioni\ tonn$, mentre le rotaie vengono sostituite dopo circa $500 \div 600\ milioni\ tonn$. Ciò equivale all'intercorrere di circa 4 anni tra le sessioni di manutenzione programmate, e all'intercorrere di 40÷50 anni per la sostituzione di rotaie e traverse in c.a.v.p. [3].

Le differenze tra i valori delle caratteristiche geometriche del tracciato, teoriche e presenti in situ, vengono denominate "difetti del tracciato" e il loro risanamento viene compiuto tramite la manutenzione del tracciato medesimo.

I "difetti del tracciato" devono essere inoltre distinti dai "difetti della rotaia". Questi rappresentano il degrado del singolo componente metallico, oppure la presenza di inclusioni e difetti di fabbricazione, rilevabili tramite gli strumenti a bordo dei convogli di diagnostica mobile.

5.1. Parametri del tracciato

Le difettosità dei binari (e quindi del tracciato) vengono rilevate a seguito di ispezioni cicliche, tramite passaggio di treni diagnostici o visite sulla linea (a piedi o su mezzi). L'obiettivo di queste indagini diagnostiche è quello di rilevare lo stato dei parametri geometrici e stabilire se essi siano compresi all'interno di certi "campi di tolleranza"[8]. Nel caso delle Ferrovie dello Stato Italiane, i parametri del binario oggetto dei monitoraggi sono i seguenti[9], fissati per linee con $V_{max} = 300\ km/h$:

- **Usura del fungo delle rotaie**: essa può essere rilevata secondo due modalità differenti:
  - A 45°
  - Laterale
- **Scartamento**: esso può essere rilevato secondo due modalità differenti:
  - Valore puntuale
  - Media mobile
- **Allineamento**
- **Livello longitudinale**
- **Livello trasversale**: viene monitorato tramite i seguenti parametri:
  - Scarto di livello trasversale
  - Difetto di sopraelevazione
- **Sghembo**: la misurazione di questo parametro può essere condotta in due distinte modalità:
  - Base 3 metri
  - Base 9 metri
- **Deviazione standard dei parametri**:
  - Allineamento
  - Livello longitudinale
  - Livello trasversale
- **Conicità equivalente.**

[8] La tolleranza può essere definita come una coppia di valori, positivo e negativo, indicanti i massimi scostamenti accettabili (per eccesso o per difetto) attorno al valore nominale di una grandezza rilevata. L'intervallo che separa il massimo e il minimo dei valori accettabili è definito "Campo di Tolleranza" del valore.

[9] Si fa riferimento allo Standard RFI TCAR ST AR 01 001 D 31-01-13, in cui si elencano i parametri di qualità geometrica del binario e i parametri di dinamica di marcia per velocità inferiori a 300 km/h [5]. Lo Standard si applica a: binari di corsa BC, binari di circolazione AB e rami di corretto tracciato e deviati degli scambi e degli altri AdB.

Lo standard RFI di riferimento fissa altresì i valori ammessi per i parametri di dinamica di marcia riportati in seguito [5]:

- **Accelerazione misurata in cassa in direzione verticale.**
- **Accelerazione misurata in cassa in direzione trasversale all'asse del binario.**
- **Accelerazione misurata sul carrello in direzione verticale.**
- **Accelerazione misurata sul carrello in direzione trasversale all'asse del binario:**
    - Picchi isolati
    - Instabilità di marcia

Le misurazioni di cui sopra vengono inserite nel contesto del "**sistema di riferimento del binario**".

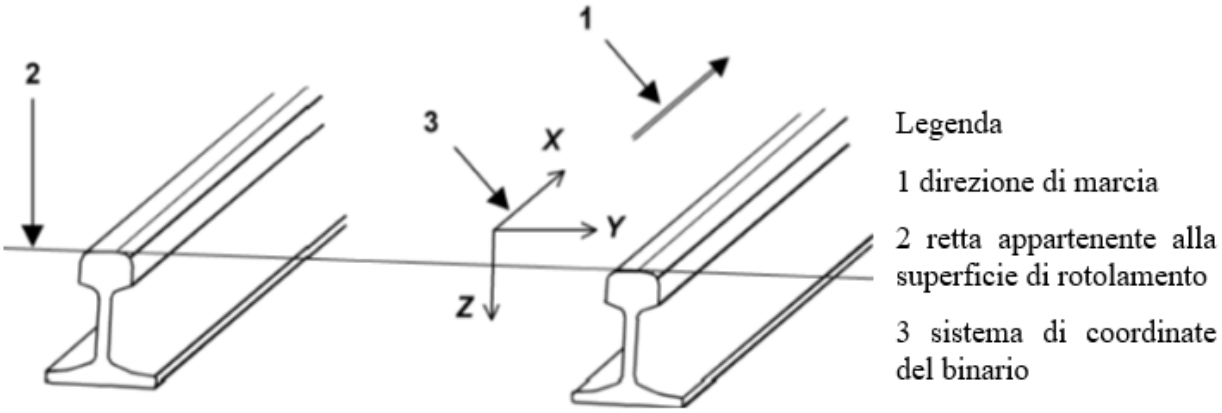


Figura 95: Sistema di riferimento del binario

Nel sistema di riferimento sopra indicato si hanno i seguenti assi:

- X: lungo la direzione dell'asse del binario (nella direzione di moto del convoglio).
- Y: asse parallelo alla superficie di rotolamento.
- Z: asse perpendicolare alla superficie di rotolamento, con orientazione verso il basso.

Si definiscono inoltre le seguenti entità:

- "Tavola di rotolamento": rappresenta la superficie apicale del fungo della rotaia.
- "Superficie di rotolamento": viene intesa come la "superficie formata da rette tangenti alle due tavole di rotolamento e ortogonali all'asse del binario".
- "Piano di rotolamento": rappresenta il "piano tangente alla superficie di rotolamento nel punto di misura".

Gli standard attuali prevedono che per i valori delle grandezze caratteristiche del binario e dei deviatoi si definiscano differenti "Livelli di Qualità geometrica", in diversi intorni dei valori nominali

indipendenti dalle velocità, in luogo ai valori nominali stessi e tolleranze (utilizzati in passato). Il superamento di ben precisi "valori limite" comporta vincoli alla circolazione dei rotabili, siano essi "rallentamenti" del flusso oppure "interruzioni".

La "qualità geometrica" del binario viene rappresentata tramite 4 differenti categorie entro le quali ricadono i relativi valori misurati [2]:

- **Valori a seguito di costruzione e rinnovo.**
- **Valori a seguito di manutenzione.**
- **Livelli di qualità geometrica corrente, in esercizio normale.**
- **Valori che comportano vincoli all'esercizio.**

I parametri geometrici precedentemente elencati devono essere controllati a "binario carico", grazie al passaggio di specifici mezzi rotabili atti alla misura. Lo standard di riferimento indica dei "valori ammissibili", riferiti a misure con binario carico. Inoltre, le misure effettuate con l'utilizzo di calibri manuali o carrellini manuali possono essere utilizzate come "misure complementari" ad altre già effettuate, considerando il fatto che generalmente risultano essere minori rispetto al caso del binario carico.

I difetti registrati possono essere di due tipologie, come riportato in figura [2]:

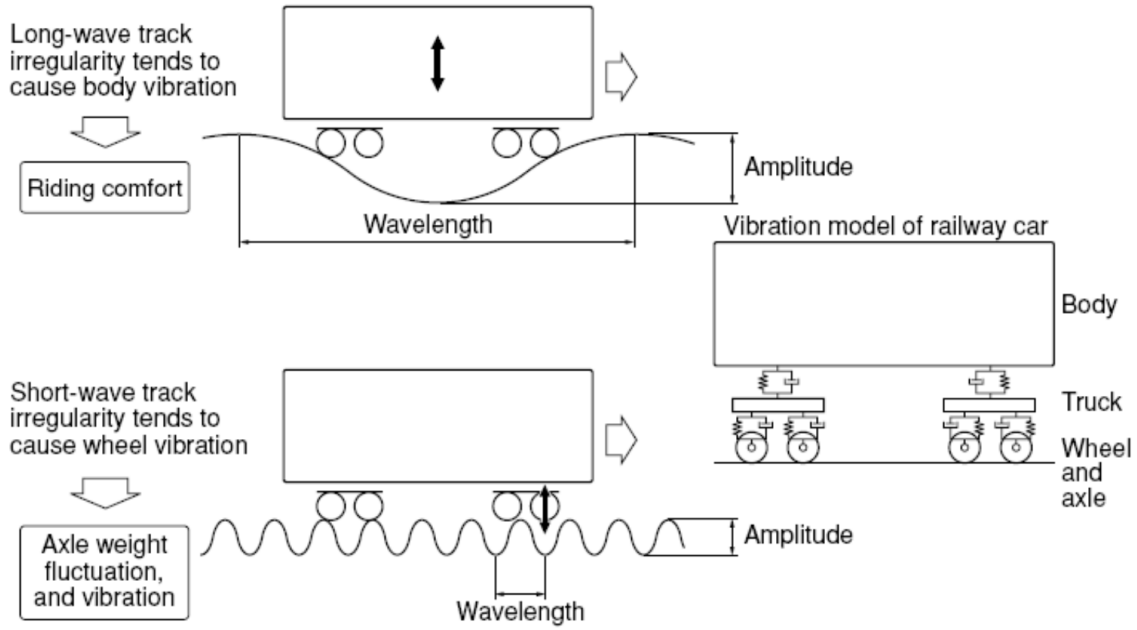


Figura 96: Difetti "a onda lunga" (in alto) e "a onda corta" (in basso)

- **Difetti a "onda lunga"**: sono irregolarità del tracciato, di livello macroscopico, che causano tipicamente vibrazioni all'interno della cassa del mezzo rotabile. Questi difetti sono correlati al comfort di viaggio percepito dall'utenza.
- **Difetti a "onda corta"**: sono irregolarità del tracciato, di livello microscopico, che causano tipicamente vibrazioni sulle sale montate. Questi difetti comportano la nascita di movimento molleggiante delle ruote rispetto alla cassa del mezzo.

Vengono quindi definiti i seguenti campi di lunghezze d'onda, entro cui rilevare i parametri geometrici:

- Campo D1: $3\ m \leq \lambda \leq 25\ m$
- Campo D2: $25\ m \leq \lambda \leq 70\ m$
- Campo D3: $70\ m \leq \lambda \leq 200\ m$

Dal momento che lo stato dell'armamento (e quindi la sua qualità geometrica) influenza la dinamica di marcia dei convogli e la loro mutua interazione, i valori consentiti dei parametri rilevati vengono determinati in funzione della velocità alla quale si percorre il tratto di linea in questione[10]. In generale, per velocità di percorrenza non superiori a 250 km/h le misure dei parametri vengono rilevate all'interno del campo di lunghezze d'onda D1 (ossia $3\ m \leq \lambda \leq 25\ m$) [2].

Relativamente alle linee AV/AC (percorse quindi ad una velocità massima non inferiore a 250 km/h), si ricorre all'impiego di convogli speciali detti "treni diagnostici" i quali effettuano la misurazione di parametri descrittivi delle condizioni dinamiche di marcia. In generale, per questa tipologia di linee, le grandezze classiche vengono rilevate anche nei campi di lunghezze d'onda D2 ($25\ m \leq \lambda \leq 70\ m$) e D3 ($70\ m \leq \lambda \leq 200\ m$) [2].

Un concetto molto importante, riportato nelle Norme RFI, è quello dei "**Difetti Rilevanti**" [2]: il valore del degrado della geometria da essi rappresentato è tale da imporre restrizioni all'esercizio ferroviario.

[10] La "Velocità di Linea" è la massima velocità di Rango presente (B, C, P) sulla tratta.

A seconda del parametro geometrico coinvolto e dell'entità del relativo difetto, tali restrizioni consisteranno in:

- **"Rallentamento e/o celere esecuzione degli interventi manutentivi per il ripristino della corretta geometria"**: le tempistiche degli interventi nonché le velocità di rallentamento devono essere valutate oculatamente in base alla condizione dell'armamento e all'entità del difetto rispetto ai valori di riferimento.
- **"Interdizione della circolazione"**: essa verrà protratta fintanto che le condizioni geometriche corrette non saranno state ripristinate.

Di seguito, si riportano i parametri di geometria del binario analizzati negli Standard in dotazione presso le Ferrovie dello Stato Italiane.

5.1.1. Usura del fungo delle rotaie

- **Usura a 45°**

  Viene definita come "mancanza di materiale, uniformemente estesa sul fianco attivo del fungo della rotaia; essa è espressa come distanza, in mm, tra il profilo teorico e quello reale, misurata sulla retta inclinata di 45° rispetto all'asse della rotaia e passante per un determinato punto. L'usura a 45° viene rilevata e misurata tramite appositi calibri." [5]

- **Usura laterale**

  Viene definita come "mancanza di materiale, uniformemente estesa sul fianco attivo del fungo della rotaia; essa è espressa come distanza, in mm, tra il profilo teorico e quello reale, misurata a 14 mm al di sotto del piano di rotolamento. L'usura laterale viene rilevata tramite rilevatori di profilo sia automatici che manuali." [5]

5.1.2. Scartamento "S"

È un parametro, abbreviato in S, che indica la "minima distanza, espressa in mm, fra i fianchi attivi dei funghi delle due rotaie, misurata dal piano di rotolamento fino a 14 mm sotto di esso" [5]. Può essere espresso come:

- **Scartamento puntuale "S"**
- **Scartamento in media mobile "S_{100}"**

  Esso indica il "valore medio di scartamento calcolato via software dai sistemi automatici di misura facendo la media degli scartamenti per un tratto di 100 m, tratto che viene idealmente spostato continuamente lungo la linea, con passo pari al passo di campionato delle misure". Viene riassunto dalla seguente relazione [2]:

$$S_{100} = \frac{\sum_n S_n}{n} \; [mm]$$

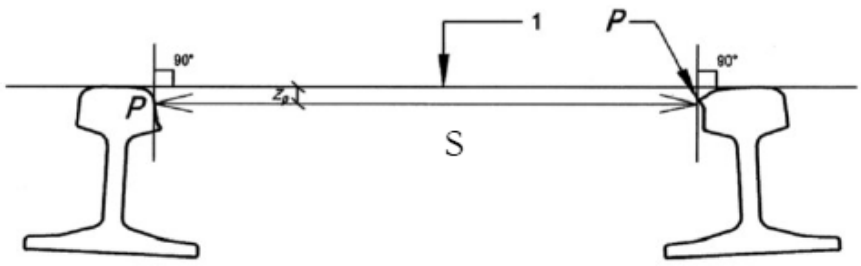


Figura 97: Scartamento (vista laterale) [17]

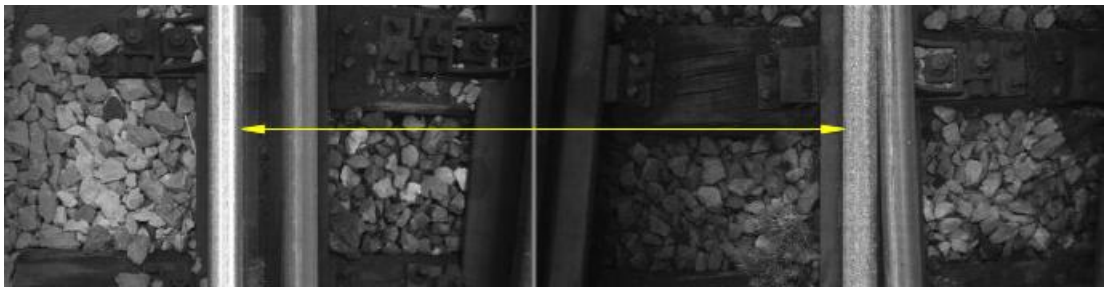


Figura 98: Scartamento (vista in pianta) [17]

5.1.3. Allineamento "A"

L'allineamento "A" indica relativamente a ciascuna fila di rotaia "la misura, espressa in mm, della deviazione y_P, nella direzione Y, delle posizioni del punto P rispetto alla linea di riferimento (posizione media)" [5].

Questo parametro geometrico viene misurato e rappresentato relativamente ai seguenti campi di lunghezze d'onda (campi D2 e D3 applicati per le linee AV/AC):

- Campo D1: $3\ m \leq \lambda \leq 25\ m$
- Campo D2: $25\ m \leq \lambda \leq 70\ m$
- Campo D3: $70\ m \leq \lambda \leq 200\ m$

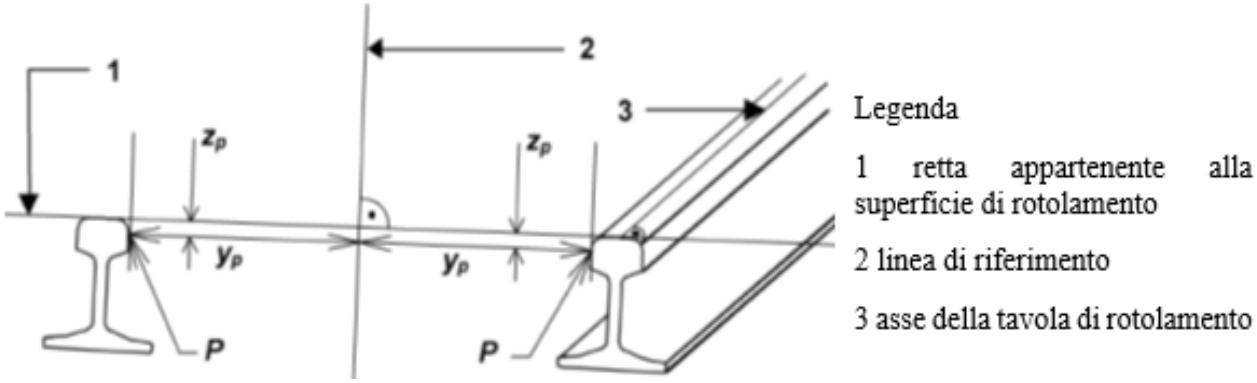


Figura 99: Sistema di riferimento e quote caratteristiche per la determinazione dell'allineamento [5]

Le misurazioni possono essere effettuate con un "sistema di misura inerziale" oppure tramite un "sistema corda-freccia asimmetrico", oppure ancora con una combinazione dei due.

I singoli difetti vengono evidenziati e rappresentati dall'ampiezza misurata tra il valor medio e quello di picco inferiore o superiore. I superi sono gli scostamenti rispetto alla linea media che eccedono il valore ammesso (valore da considerare in più o in meno rispetto alla linea media).

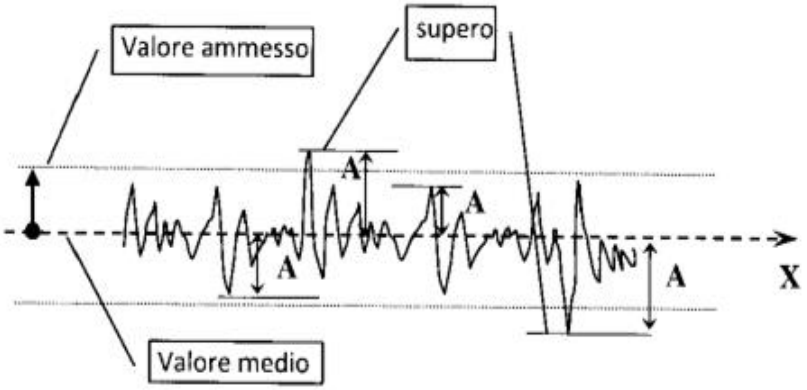


Figura 100: Singoli difetti di allineamento. Campo di lunghezze d'onda D1 (3-25 m)

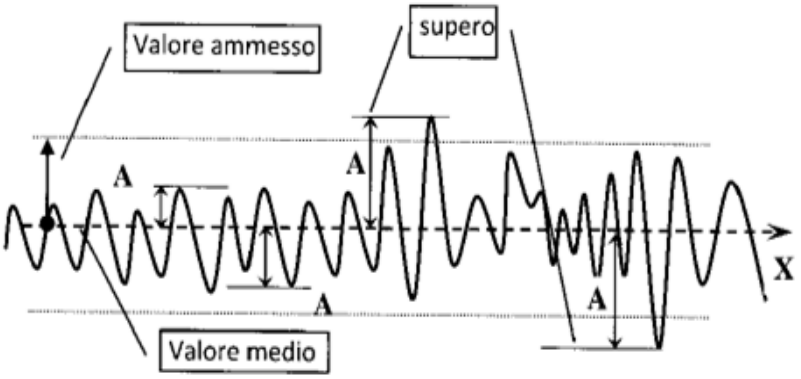


Figura 101: Singoli difetti di allineamento. Campo di lunghezze d'onda D2 (25-70 m)

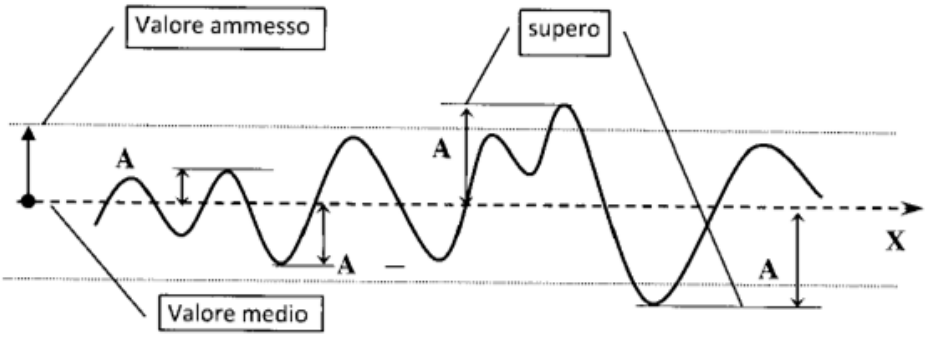


Figura 102: Singoli difetti di allineamento. Campo di lunghezze d'onda D3 (70-200 m)

5.1.4. Livello longitudinale "L"

Il livello longitudinale "L" indica, per ciascuna fila di rotaia, "la misura, espressa in mm, della deviazione Z_P, nella direzione Z, della distanza della tavola di rotolamento rispetto alla linea di riferimento (posizione media)" [5].

Questo parametro geometrico viene misurato e rappresentato relativamente ai seguenti campi di lunghezze d'onda (campi D2 e D3 applicati per le linee AV/AC):

- Campo D1: $3\ m \leq \lambda \leq 25\ m$
- Campo D2: $25\ m \leq \lambda \leq 70\ m$
- Campo D3: $70\ m \leq \lambda \leq 150\ m$.

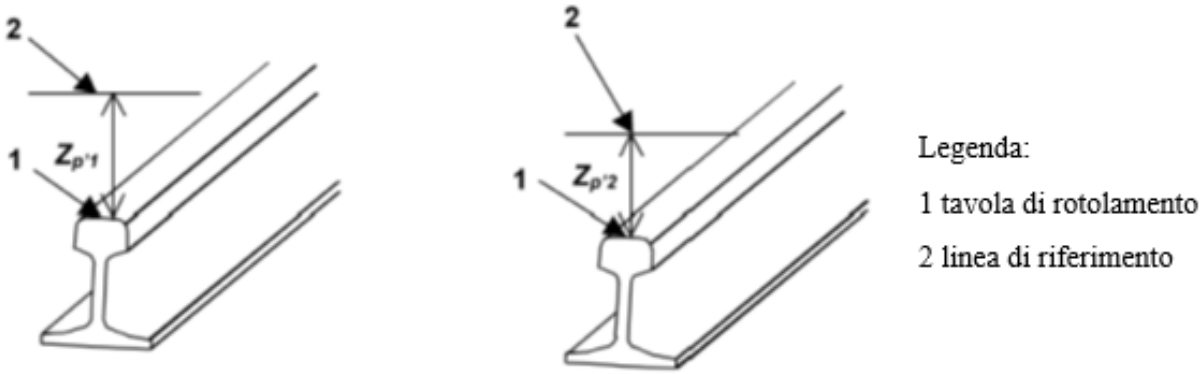


Figura 103: Sistema di riferimento e quote caratteristiche per la determinazione del livello longitudinale [5]

Le misurazioni possono essere effettuate con un "sistema di misura inerziale" oppure tramite un "sistema corda-freccia asimmetrico", oppure ancora con una combinazione dei due.

I singoli difetti vengono evidenziati e rappresentati dall'ampiezza misurata tra il valor medio e quello di picco inferiore o superiore. I superi sono gli scostamenti rispetto alla linea media eccedenti il valore ammesso (valore da considerare in più o in meno rispetto alla linea media stessa).

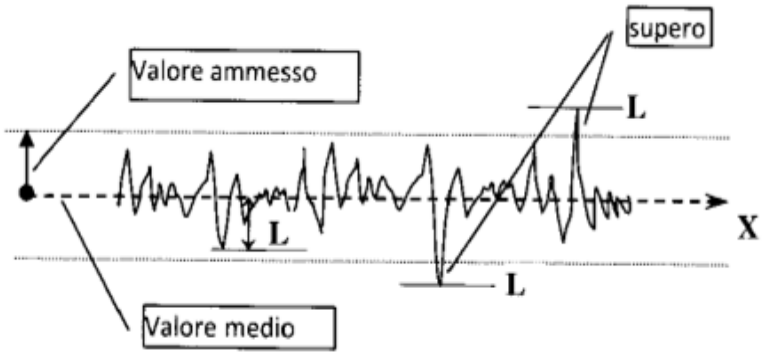


Figura 104: Singoli difetti di livello longitudinale. Campo di lunghezze d'onda D1 (3-25 m)

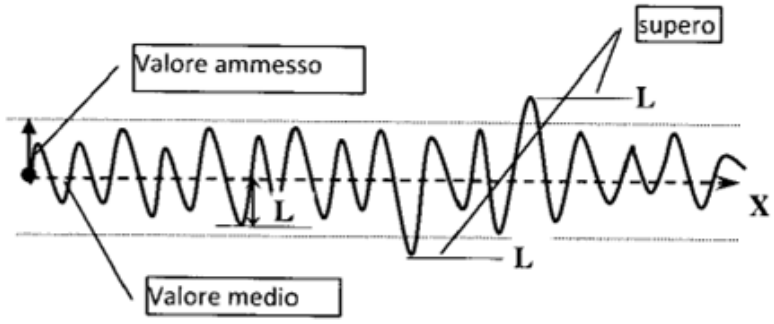


Figura 105: Singoli difetti di livello longitudinale. Campo di lunghezze d'onda D2 (25-70 m)

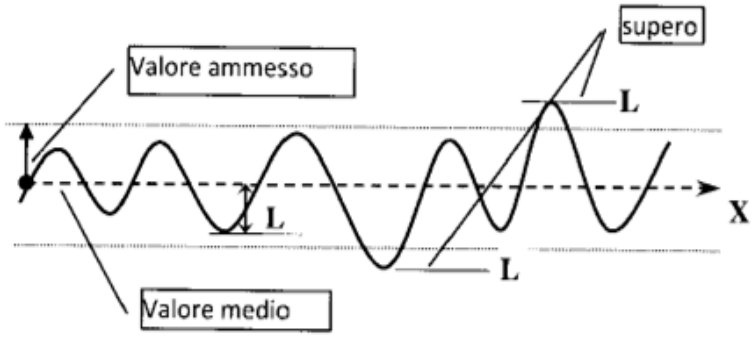


Figura 106: Singoli difetti di livello longitudinale. Campo di lunghezze d'onda D3 (70-200 m)

5.1.5. Livello trasversale "XL"

Il livello trasversale "XL" indica "la misura, espressa in mm, della differenza in altezza tra le due tavole di rotolamento adiacenti; è espressa come l'altezza del triangolo rettangolo avente ipotenusa pari a 1500 mm ed angolo al vertice pari all'angolo tra il piano di rotolamento ed un piano orizzontale di riferimento" [5].

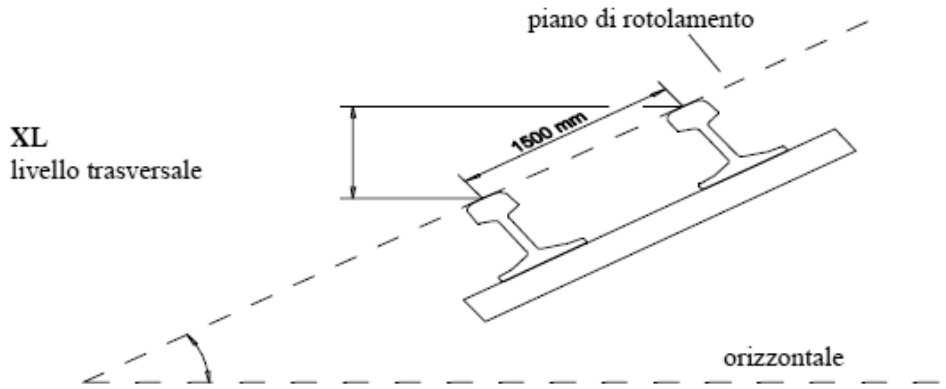


Figura 107: Schema e quote caratteristiche per la determinazione del livello trasversale [2]

La misurazione del livello trasversale porta alla definizione di due ulteriori parametri:

- **Scarto di livello trasversale "SCARTXL"**

  Viene definito, per un dato punto, come "la differenza, espressa in mm, fra il suo livello trasversale XL e la media dei livelli trasversali XL di due punti posti rispettivamente 5 mm prima e 5 mm dopo il punto considerato; la differenza è calcolata via software dai sistemi automatici di misura" [5]. Lo scarto di livello trasversale viene espresso con la relazione:

$$SCARTXL = XL_B - \frac{XL_C + XL_D}{2}$$

  in cui B è il punto di misura in questione, mentre C e D sono i punti di misura precedente e seguente.

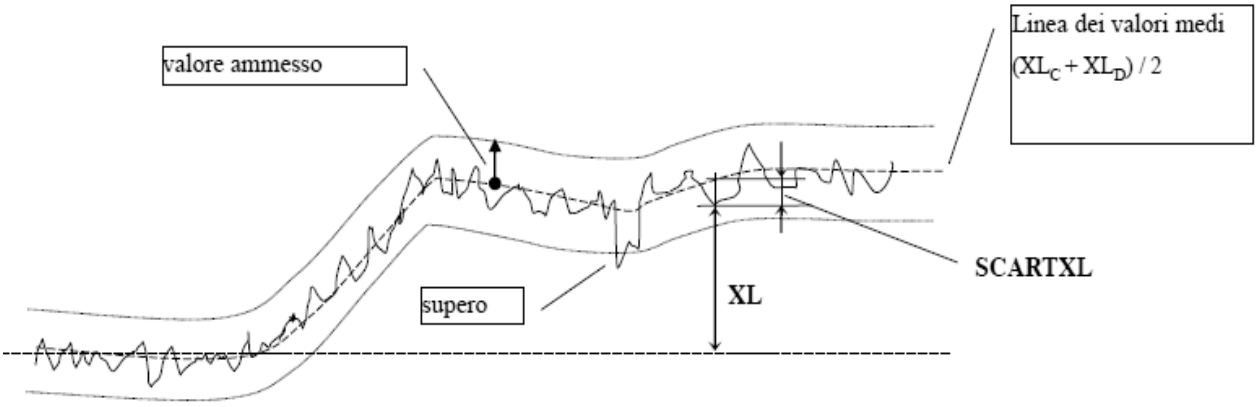


Figura 108: Singoli difetti di scarto di livello trasversale [2]

- **Difetto di sopraelevazione "ΔH"**

  Viene definito, per un dato punto, come "la misura, espressa in mm, del modulo della differenza tra il livello trasversale XL e la sopraelevazione di progetto h" [5], pertanto:

$$\Delta H = |h - XL|$$

  Relativamente alla sopraelevazione di progetto h, si avrà che:

  - $h = 0$ nel caso di binari in rettifilo o in curve prive di sopraelevazione e nei loro raccordi a livello planimetrico.
  - h_{des} (valore di progetto) nel caso di curve e nei loro raccordi a livello altimetrico (con h variabile).

  Il difetto di sopraelevazione si evidenzia, su di un grafico, tracciando in corrispondenza dei rettifili e delle curve del tracciato una linea relativa alla quota corrispondente al valore di progetto della sopraelevazione, valutando pertanto la differenza ΔH che vi è tra il valore di livello trasversale XL e quello di progetto della sopraelevazione h_{des}. Quanto detto viene raffigurato nel seguente grafico:

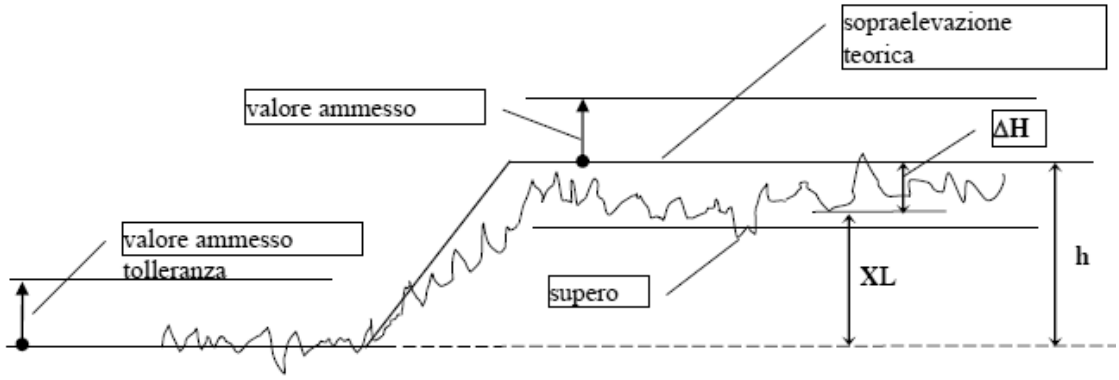


Figura 109: Singoli difetti di sopraelevazione [2]

Nel caso in cui la differenza calcolata ΔH risulti eccedente rispetto al valore ammissibile, si ha un "supero".

5.1.6. Sghembo "γ"

Lo sghembo rappresenta "l'inclinazione, espressa in ‰, relativa di una fila di rotaia rispetto all'altra, calcolata come rapporto tra la differenza di livello trasversale XL fra due sezioni di binario poste a una distanza data, che è la base di misura dello sghembo, e la base stessa" [5].

Esso costituisce inoltre la prima causa della diminuzione del carico verticale trasmesso dalla ruota alla rotaia, poiché "la cassa rigida del veicolo, oppure lo stesso carrello, non si adatta in modo elastico ai due piani di rotolamento non paralleli" [2].

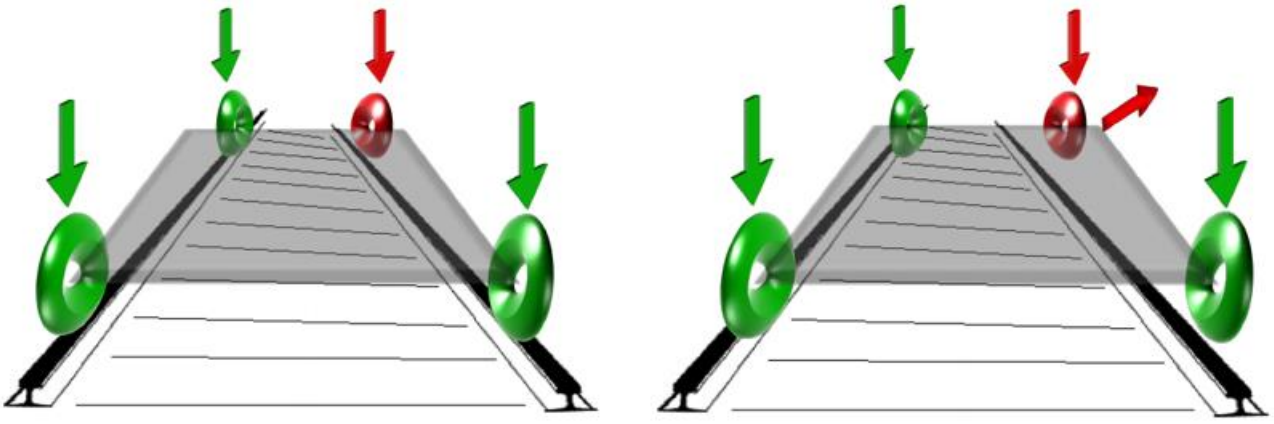


Figura 110: Sghembo e conseguenze sulla ripartizione del carico veicolare sulle file di rotaie [2]

Dal momento che il bordino della sala montata ha il compito di dirigere il movimento del convoglio, al verificarsi di determinati valori di sghembo il bordino stesso può arrivare al sormonto della rotaia, causando lo svio.

Detti XL_1 e XL_2 i livelli trasversali calcolati ad una distanza b detta "base di misura", lo sghembo viene definito come:

$$\gamma[‰] = \frac{XL_1 - XL_2}{b}$$

Nel caso si abbiano raccordi di sopraelevazione, le due rotaie del binario non saranno giacenti sul medesimo piano, pertanto si evidenzia uno "sghembo di costruzione". In tutti gli altri casi, lo sghembo si presenta come una "alterazione dei parametri geometrici del binario". [2]

La base di misura utilizzata per la determinazione dello sghembo è di 3 m e 9 m. Nel grafico seguente vengono riportati i valori del suddetto parametro, valutati tra la linea dello zero e i picchi superiori e inferiori[11].

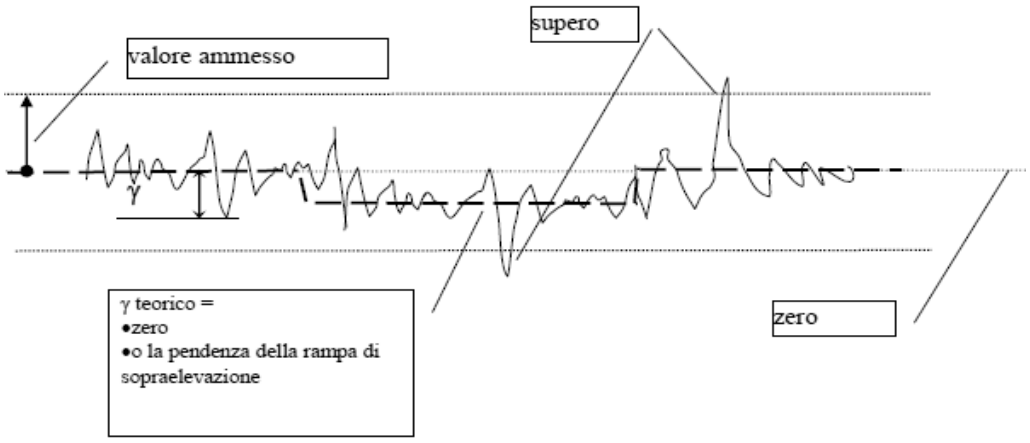


Figura 111: Singoli difetti di sghembo

Nel grafico si riportano inoltre i "superi", ossia gli scostamenti rispetto alla linea dello zero eccedenti il massimo valore.

5.1.7. Deviazione standard

- **Deviazione standard allineamento "σ_A"**
- **Deviazione standard livello longitudinale "σ_L"**
- **Deviazione standard livello trasversale "σ_{XL}"**

[11] Il "valore ammesso" si applica rispetto alla linea dello zero; lo "sghembo effettivo" considera inoltre la pendenza relativa a una eventuale "rampa di sopraelevazione".

Le deviazioni standard (o scarti quadratici medi) dei parametri sopra esposti vengono calcolati su una lunghezza di 200 m di sezioni di binario consecutive; esse sono ricavate tramite l'utilizzo di software collaboranti con i sistemi di misurazione automatici, e rappresentano a livello statistico un indice di difettosità della geometria dell'armamento relativa ad un tratto della linea in questione[12]. I valori di "σ_A" e "σ_L" sono relativi a misure effettuate nei campi di lunghezze d'onda D1.

5.1.8. Conicità equivalente

La conicità equivalente[13] è un parametro "legato al contatto ruota-rotaia che influisce sul comportamenti dinamico dei rotabili, il cui calcolo è complesso e reso dai sistemi di diagnostica" [5].

Questo parametro risulta essere funzione di:

- Scartamento
- Profilo del fungo della rotaia
- Inclinazione della rotaia
- Profilo delle ruote

5.1.9. Accelerazione in cassa in direzione verticale

Viene indicata con $\ddot{z}^*$ e rappresenta "l'accelerazione, misurata in m/s^2, rilevata in cassa dei rotabili dei treni AV della classe ETR500Y. È misurata tramite accelerometri disposti sul pavimento dei rotabili, posizionati in corrispondenza dei perni dei carrelli, con gli assi di misura posti lungo la direzione verticale" [5]. Il parametro è rappresentato dal valore dell'ampiezza tra la linea dello zero e i picchi inferiori e superiori. Si evidenziano inoltre i superi, ossia gli scostamenti che risultano maggiori rispetto al valore ammissibile.

[12] Secondo quanto riportato dallo standard, all'incirca il "99,85% dei valori di difetto isolato misurati ricade nel campo di tolleranza che si ottiene sommando e sottraendo al valore medio il valore della σ moltiplicato per 3. A titolo di esempio, se in un dato tratto di linea si ha $\sigma_A = 1{,}2\ mm$, il 99,85% dei difetti isolati di allineamento ricadrà all'interno del campo di valori compreso tra il valore medio di allineamento +3,6 mm e il valore medio di allineamento -3,6 mm.
[13] La definizione precisa di "conicità equivalente" è riportata nella Fiche UIC 519

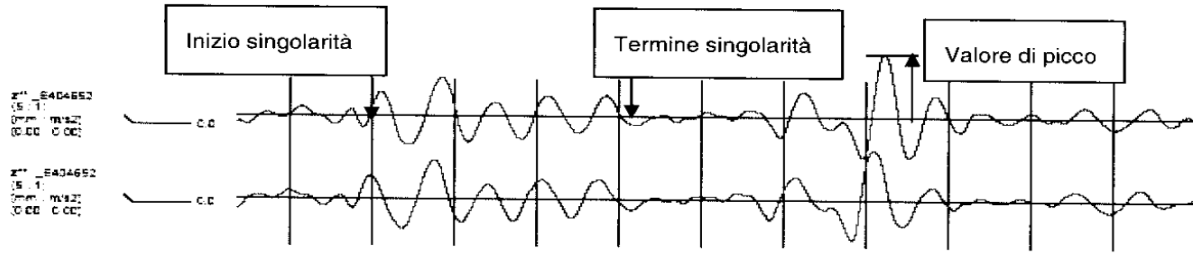


Figura 112: Accelerazioni verticali in cassa della locomotiva E 406 652

5.1.10. Accelerazione in cassa in direzione trasversale all'asse del binario

Viene indicata con $\ddot{y}^*$, e rappresenta "l'accelerazione, misurata in m/s^2, rilevata in cassa dei rotabili dei treni AV della classe ETR500Y. È misurata tramite accelerometri disposti sul pavimento dei rotabili, posizionati in asse con i carrelli, con gli assi di misura posti lungo la direzione trasversale all'asse del binario" [5]. Il parametro è rappresentato dal valore dell'ampiezza tra la linea dello zero e i picchi inferiori e superiori. Si evidenziano inoltre i superi, ossia gli scostamenti che risultano maggiori rispetto al valore ammissibile.

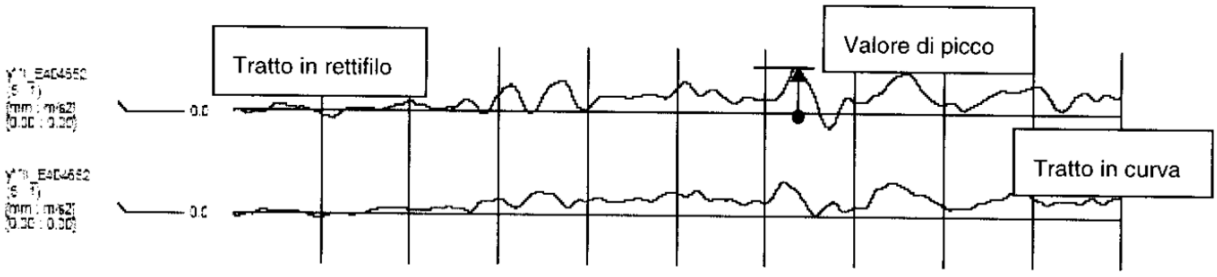


Figura 113: Accelerazioni trasversali in cassa della locomotiva E 404 652

5.1.11. Accelerazione al carrello in direzione verticale

Viene indicata con $z\ddot{+}$, e rappresenta "l'accelerazione, misurata in m/s^2, rilevata sui carrelli dei rotabili dei treni AV della classe ETR500Y. È misurata tramite accelerometri disposti sui telai dei carrelli dei rotabili con gli assi di misura posti lungo la direzione verticale" [5]. Il parametro è rappresentato dal valore dell'ampiezza tra la linea dello zero e i picchi inferiori e superiori. Si evidenziano inoltre i superi, ossia gli scostamenti che risultano maggiori rispetto al valore ammissibile.

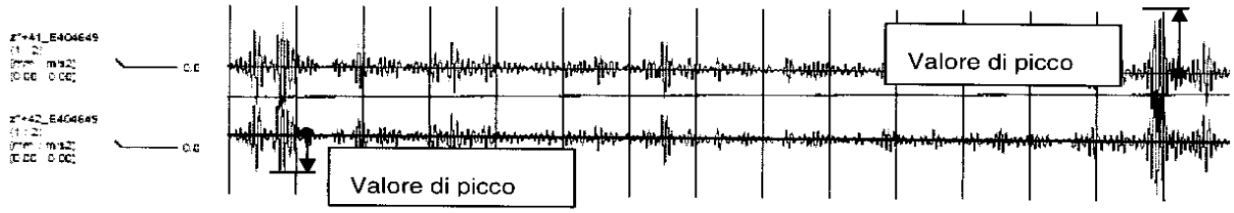


Figura 114: Accelerazioni verticali sul carrello della locomotiva E 404 649

5.1.12. Accelerazione al carrello in direzione trasversale

Viene indicata con $y\ddot{+}$, e rappresenta "l'accelerazione, misurata in m/s^2, rilevata sui carrelli dei rotabili dei treni AV della classe ETR500Y. È misurata tramite accelerometri disposti sui telai dei carrelli dei rotabili con gli assi di misura posti lungo la direzione trasversale all'asse del binario" [5]. Il parametro è rappresentato dal valore dell'ampiezza tra la linea dello zero e i picchi inferiori e superiori. Si evidenziano inoltre i superi, ossia gli scostamenti che risultano maggiori rispetto al valore ammissibile.

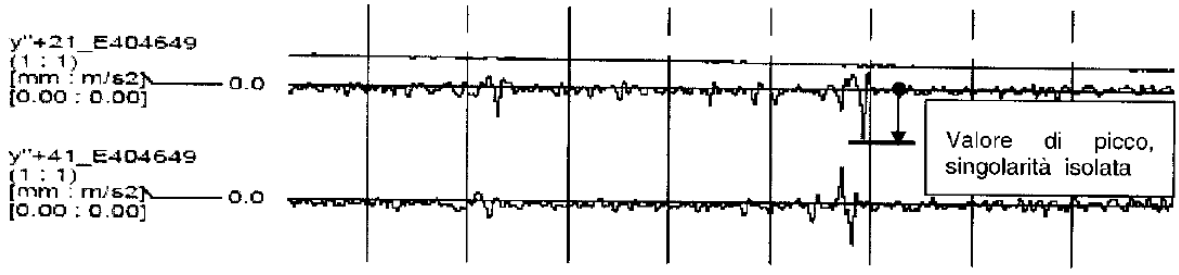


Figura 115: Accelerazioni trasversali sul carrello della locomotiva E 404 649

5.1.13. Instabilità di marcia

L'instabilità di marcia è un parametro che viene identificato e monitorato tramite la "valutazione della accelerazione al carrello in direzione trasversale $\ddot{y}+$" [5].

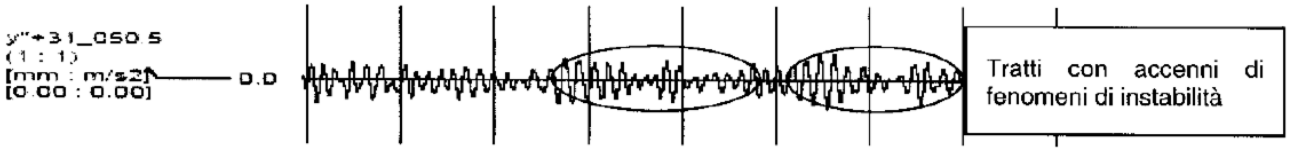


Figura 116: Accelerazioni trasversali sul carrello della carrozza 050.5, con evidenziate le regioni di instabilità

Nel grafico sopra riportato vengono evidenziate le zone in cui è palese la presenza di fenomeni di instabilità di marcia. Nei tratti indicati si nota la presenza di oscillazioni del segnale che presentano picchi di ampiezze più elevate rispetto alle oscillazioni negli altri tratti.

5.2. Valori dei parametri geometrici

I parametri geometrici esposti nel Paragrafo 5.1 sono soggetti a limiti di accettabilità a seconda del contesto in cui si analizzano. Si possono identificare i seguenti ambiti [5]:

I. **Valori ammessi dei parametri geometrici a seguito di lavori al binario**[14].

In questo caso, ci si può riferire a:

- **Rinnovo o nuova costruzione.**
- **Interventi di manutenzione.**

II. **Livelli di qualità geometrica correnti**[15].

In questo ambito, particolare rilevanza viene assegnata anche all'usura a 45°, alla conicità equivalente e ai parametri della dinamica di marcia.

III. **Valori comportanti vincoli all'esercizio**[16].

Al fine di permettere provvedimenti a salvaguardia della circolazione che siano rapidi ed efficaci, i difetti "rilevanti" sono trasmessi repentinamente alle Unità Manutentive e agli operatori coinvolti nel rilievo tramite mezzi rotabili.

[14] I valori e il loro limiti di tolleranza sono riportati nella Parte II dello Standard [5]
[15] I valori e il loro limiti di tolleranza sono riportati nella Parte III dello Standard [5]
[16] I valori e il loro limiti di tolleranza sono riportati nella Parte IV dello Standard [5]

5.2.1. Livelli di qualità geometrica

Essi rappresentano i valori all'interno dei quali "si svolge la normale vita tecnica della geometria dell'armamento" [5]. Lo Standard di RFI definisce i medesimi come suddivisi in 3 livelli:

- **1° Livello di qualità**: i parametri geometrici le cui misurazioni ricadano all'interno di questo intervallo non necessitano di alcuna programmazione di interventi di manutenzione correttiva.
- **2° Livello di qualità**: i parametri geometrici le cui misurazioni ricadano all'interno di questo intervallo consentono il regolare esercizio del servizio ferroviario senza l'imposizione di restrizione alcuna alla circolazione; il 2° livello comporta però:
  - "Analisi delle cause che hanno portato al degrado"
  - "Valutazione della velocità di evoluzione del difetto"
  - "Programmazione ed eventuale esecuzione dei lavori manutentivi della geometria, in funzione della velocità di evoluzione del difetto rilevata localmente".

  La velocità di evoluzione del difetto di geometria viene generalmente valutata tramite i rilievi geometrici antecedenti l'intervento manutentivo o con rilievi "ad hoc", oppure ancora tramite il "riconoscimento di zone ad evoluzione del difetto già nota; è necessario che venga fatto, in base all'esperienza, anche il riconoscimento delle zone ad evoluzione rapida, quali possono essere le transizione tra opere d'arte e rilevato, i tratti con sede instabile, i tratti con massicciata inquinata ecc., al cui controllo deve essere posta massima attenzione" [5].

  Per quanto riguarda le linee AV/AC la velocità con cui procede il difetto nel tempo può anche essere valutata grazie al confronto di più rilievi consecutivi dei treni diagnostici ETR500Y.

- **3° Livello di qualità**: i parametri geometrici le cui misurazioni ricadano all'interno di questo intervallo consentono ancora il regolare esercizio ferroviario senza restrizione alcuna, a patto che vengano programmati e realizzati interventi manutentivi della geometria del binario prima che venga superato il valore massimo ammissibile del 3° livello di qualità, "tenendo anche presente che le correzioni di geometria fatte tramite rincalzatura, quali ad esempio correzioni di difetti di livello longitudinale e trasversale, di allineamento, di sghembo ecc., sono di problematica esecuzione nelle stagioni calde, ai sensi della vigente Normativa sulla Lunga Rotaia Saldata" [5].

5.2.2. Valori comportanti vincoli all'esercizio

Rappresentano i valori dei parametri di qualità geometrica del binario e di dinamica di marcia, che indicano il sopraggiungimento delle condizioni di degrado della geometria del binario "tali da imporre restrizioni all'esercizio ferroviario" [5]. Questi difetti vengono detti "Difetti Rilevanti": sono pertanto paragonabili alla presenza di una avaria. Essi vengono individuati, comunicati alle Unità Manutentive e analizzati secondo due approcci: tramite analisi informatica dei dati registrati e tramite analisi visiva dei grafici estrapolati dagli elaboratori a bordo dei mezzi di diagnostica [6].

In base alla natura del parametro geometrico e alla entità del difetto associato, le restrizioni potranno consistere in:

- **Rallentamento ed esecuzione in tempi immediati degli interventi di manutenzione**.
  I lavori sono finalizzati al ripristino delle condizioni di corretta geometria del binario; le tempistiche degli interventi, nonché le velocità di rallentamento, devono essere responsabilmente valutate in relazione allo stato dell'armamento e in relazione all'entità del difetto rispetto ai valori soglia. I "Difetti Rilevanti" associati a questo tipo di restrizioni possono essere distinti tra [6]:
  - **Difetti con supero soglia di intervento immediato**:
    - a 7 giorni ($\Delta H > 20\ mm$ per curve con $h_{des} < 160\ mm$)
    - a 48 ore ("sghembi superiori al 2° livello di qualità ma non comportanti interruzione")
  - **Difetti con supero soglia di rallentamento**:
    Essi sono: sopraelevazione, scartamento puntuale e in media mobile, allineamento, livello longitudinale, scarto di livello trasversale, sghembi, usura a 45º.

- **Interdizione della circolazione**.
  L'interruzione del traffico ferroviario viene protratta fino a che non saranno ripristinate corrette condizioni di geometria. I "Difetti Rilevanti" associati a questo tipo di restrizioni possono essere definiti come [6]:
  - **Difetti con supero soglia di interruzione della circolazione**:
    Essi sono: scartamento puntuale, sopraelevazione, sghembi e usura a 45º.

5.2.3. Valori limite secondo le Specifiche Europee

Le Specifiche Tecniche Europee per la Interoperabilità considerano solamente uno o al più due difetti del tracciato: queste sono le variazioni dello scartamento e lo sghembo ("track twist") [3].
I valori limite della variazione di scartamento che comportano intervento immediato (secondo dette specifiche tecniche per interoperabilità) sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 8: Valori limite della variazione di scartamento secondo le Specifiche Tecniche Europee di Interoperabilità [3]

Speed V (km/h)	Limit values of variations of real track gauge from nominal track gauge (mm)	
	Minimum track gauge (mm)	Maximum track gauge (mm)
V≤80	− 9	+ 35
80<V≤120	− 9	+ 35
120<V≤160	− 8	+ 35
160<V≤230	− 7	+ 28
V>230	− 5	+ 28

Inoltre, le prescrizioni europee stabiliscono che le variazioni tra i valori reali e nominali dello scartamento debbano essere al massimo di $\pm 20\ mm$.
Il massimo valore dello sghembo, secondo lo Standard Europeo, è di:

- $\gamma_{max} = 7\ mm/m$ per velocità di tracciato $V \leq 200\ km/h$
- $\gamma_{max} = 5\ mm/m$ per velocità di tracciato $V > 200\ km/h$

Visto che la base di misurazione dello sghembo può variare in base alle Specifiche Tecniche dei vari paesi europei, la Specifica Europea per la Interoperabilità stabilisce il valore limite dello sghembo in base alla lunghezza della base di misurazione.

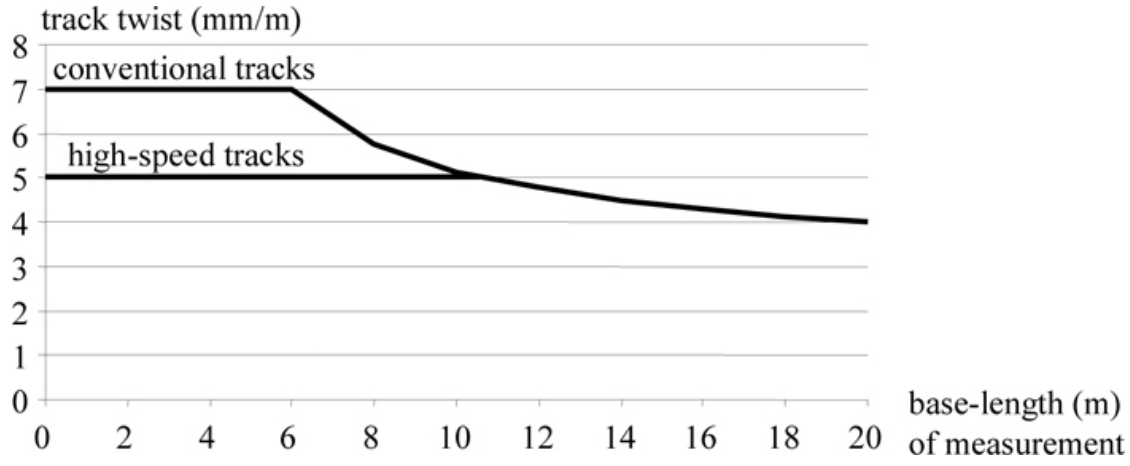


Figura 117: Valori limite di sghembo in relazione alla lunghezza della base di misura, in accordo alle Specifiche Europee

5.3. Evoluzione dei parametri geometrici

Vengono ora esaminate le modalità con cui un iniziale difetto del tracciato si evolve in relazione al carico del traffico veicolare. La conoscenza del processo di evoluzione dei difetti del tracciato può essere d'aiuto a una pianificazione tempestiva degli interventi correttivi da parte delle Unità Manutentive, prima ancora di avere un supero dei valori precedentemente riportati.

5.3.1. Livello longitudinale e posizione media

Sono stati condotti una serie di prove e studi statistici, che hanno evidenziato come la presenza di un difetto nel tracciato dopo gli interventi di manutenzione progredisca rapidamente in conseguenza di un carico veicolare crescente fino a un ordine di 2 milioni di tonnellate, oltre il quale l'evoluzione del difetto risulta più lenta. Ciò significa che fino a questo livello di carico da traffico il tracciato non si è ancora stabilizzato completamente e mostra segni di instabilità. La resistenza trasversale di un tracciato, dopo gli interventi manutentivi, è all'incirca il 50% del valore assunto nella sua condizione di stabilizzazione completa. L'evoluzione della posizione media del tracciato, legata al livello longitudinale, può essere espressa tramite la seguente formulazione empirica [3]:

$$m_e(T) = a_1 + a_0 \cdot \mathrm{Log}\left(\frac{T}{T_r}\right)$$

in cui:

- $T_r = 2 \cdot 10^6\ tonn$
- a_1: posizione media del tracciato per un valore di carico veicolare di riferimento T_r.
- $a_0[mm/10\ anni]$: tasso di aumento della posizione media del tracciato, dipendente dalla qualità del sottofondo (tipicamente assume valori di $2 \div 6\, mm/10\ anni$).

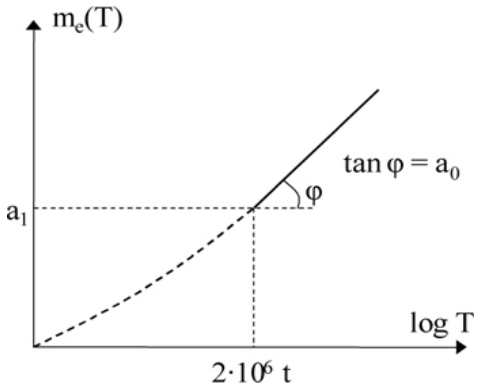


Figura 118: Evoluzione della posizione media del tracciato in base al carico veicolare [3]

In base ai dati sperimentali si evidenzia che il rapporto $\frac{a_0}{a_1}$ sia dell'ordine di 0,25÷0,70: ciò sta ad indicare la lenta evoluzione del difetto dopo il raggiungimento del valore T_r.

Deviazione standard della posizione media

La deviazione standard dei difetti longitudinali viene utilizzata, per linee ad alta e media velocità, come indicatore della qualità del tracciato. A livello sperimentale si ha che [3]:

$$\sigma(T) = c_1 + c_0 \cdot \mathrm{Log}\left(\frac{T}{T_r}\right)$$

in cui:

- $T_r = 2 \cdot 10^6\ tonn$
- c_1: deviazione standard dei difetti per un valore di carico veicolare di riferimento T_r.
- $c_0[mm/10\ anni]$: tasso di aumento della deviazione standard dei difetti longitudinali, dipendente dal carico veicolare (tipicamente assume valori di $0{,}1 \div 0{,}2\ mm/10\ anni$).

Intervallo tra le sessioni di manutenzione

Considerando un valore limite per la deviazione standard (suggerito dalle Specifiche Tecniche), si è in grado di ricavare dall'equazione precedente il carico da traffico veicolare limite che separa due successive sessioni manutentive [3]:

$$T_{lim} = 2 \cdot 10^6 \cdot 10^{\left(\frac{\sigma_{lim} - c_1}{c_0}\right)}$$

Dal momento che il parametro c_0 è costante, i fattori che influiscono sul carico limite che determina il tempo tra due sessioni manutentive sono la deviazione standard della posizione media e c_1, quest'ultimo pari alla condizione del tracciato dopo la manutenzione. Un incremento del tempo di separazione (ossia del carico T_{lim}) è quindi possibile tramite il miglioramento delle condizioni iniziali del tracciato dopo manutenzione.
Nel caso di linee a medio-bassa velocità si utilizzano valori medi dei difetti longitudinali in luogo della loro deviazione standard, lasciando inalterata la forma della precedente equazione.

5.3.2. Difetto di sopraelevazione

L'andamento della evoluzione dei difetti di sopraelevazione (difetti trasversali) segue la relazione [3]:

$$\sigma(T) = u_1 + u_0 \cdot \mathrm{Log}\left(\frac{T}{T_r}\right)$$

in cui:

- $T_r = 2 \cdot 10^6\ tonn$
- u_1: deviazione standard dei difetti per un valore di carico veicolare di riferimento T_r.
- $u_0[mm/10\ anni]$: tasso di aumento della deviazione standard dei difetti trasversali, dipendente dal carico veicolare (tipicamente assume valori di $0{,}1 \div 0{,}4\ mm/10\ anni$).

5.3.3. Allineamento

Il carico sul piano orizzontale differisce da quello sul piano verticale per due aspetti principali:

1. Gli effetti del carico veicolare sono assai più irregolari e discontinui
2. Le tensioni sviluppate, per ragioni di sicurezza, dovrebbero restare entro i limiti di elasticità.

Così come gli altri tipi di difetti, quello di allineamento evolve in modo relativamente veloce per un carico veicolare crescente fino a un ordine di 2 milioni di tonnellate, oltre il quale l'evoluzione del difetto risulta più lenta. La sua progressione può essere approssimata da una relazione semilogaritmica legata al carico, la quale tuttavia mostra devianze e grandi dispersioni di risultati. Tale relazione è la seguente [3]:

$$m(T) = d_1 + d_0 \cdot \mathrm{Log}\left(\frac{T}{T_r}\right)$$

in cui:

- $T_r = 2 \cdot 10^6\ tonn$
- d_1: allineamento medio del tracciato per un valore di carico veicolare di riferimento T_r.
- $d_0[mm/10\ anni]$: tasso di aumento dell'allineamento medio, dipendente dalla qualità del sottofondo (tipicamente assume valori di $0{,}15 \div 0{,}30\ mm/10\ anni$).

In base ai dati sperimentali si evidenzia che il rapporto $\frac{d_0}{d_1}$ è dell'ordine di 0,20÷0,30: ciò sta ad indicare la lenta evoluzione del difetto dopo il raggiungimento del valore T_r.

5.3.4. Sghembo

Lo sghembo presenta una evoluzione di tipo semilogaritmico, come visto per altri difetti. La formula sperimentale che lo rappresenta è la seguente [3]:

$$\sigma(T) = g_1 + g_0 \cdot \mathrm{Log}\left(\frac{T}{T_r}\right)$$

in cui:

- $T_r = 2 \cdot 10^6\ tonn$
- g_1: deviazione standard dello sghembo per un valore di carico veicolare di riferimento T_r.
- $g_0[mm/10\ anni]$: tasso di aumento dello sghembo, dipendente dal carico veicolare (tipicamente assume valori di $0{,}20 \div 1{,}00\ mm/10\ anni$).

5.4. Rilevazione diagnostica

I parametri geometrici esposti nei paragrafi precedenti sono rilevati per mezzo dei cosiddetti "Treni Diagnostici" (impiegati dai reparti di diagnostica nazionale e compartimentale): questi hanno il compito di percorrere di tutte le linee, con una certa cadenza e seguendo precise direttive contenute nei "Programmi di Rilievo" [2].

Tra i rotabili adibiti alla diagnostica mobile si hanno: Archimede, DIAMANTE, AIACE, PV7, EM80, EM-SAT 100 e mezzi d'opera. Si possono avere due tipologie di rilievi diagnostici:

- **Sistema "Base Relativa"**: i parametri della geometria del binario vengono rilevati sulla base di un sistema di riferimento locale del mezzo diagnostico; le grandezze misurate secondo questo sistema vengono dette misure di "geometria relativa". Misurazioni di tale tipo vengono effettuate anche a velocità superiori a 250 km/h.
- **Sistema "Base Assoluta"**: i parametri della geometria del binario vengono rilevati sulla base di un sistema di grandezze topografiche (x, y, z) le quali sono "associate ai punti fissi del binario e ai capisaldi delle poligonali di costruzione (il cui controllo andrà eseguito con strumenti topografici, dotati di teodolite di precisione e carrellino robotizzato)" [6]; le grandezze misurate secondo questo sistema vengono dette misure di "geometria assoluta". Misurazioni di tale tipo vengono effettuate anche a velocità superiori a 250 km/h.

Una volta acquisite le caratteristiche geometriche e di dinamica di marcia, esse vengono rielaborate tramite software in dotazione alle unità di analisi dei dati. Di seguito si riportano le caratteristiche peculiari dei principali treni diagnostici:

Tabella 9: Principali caratteristiche dei treni diagnostici [5]

Denominazione	Lunghezza	V.max	V.rilievo
Treno Archimede Armamento	26,400 m	200	200
PV7	7,70 m	50	35
EM80	12,640 m	80	80
AIACE	250	330	300-330
DIAMANTE	Carr.26.10/Loco 20.50	330	300-330
EM-SAT 100	16,140 m	100	2
MdO con sistema corda-freccia	variabile	100	2
MdO con piattaforma inerziale	variabile	100	Variabile

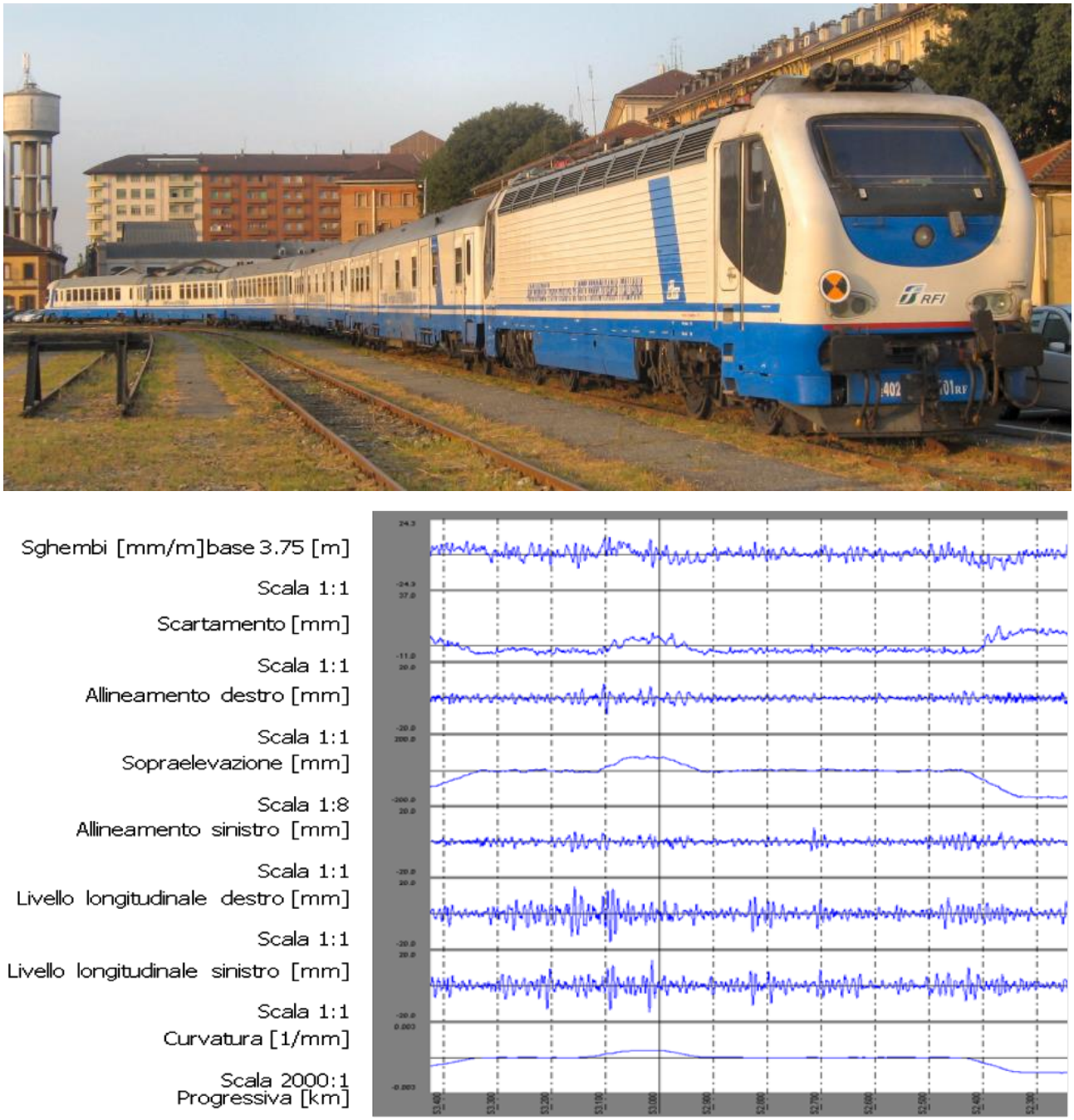


Figura 119: Treno diagnostico "Archimede" e relativi grafici delle misure [2]

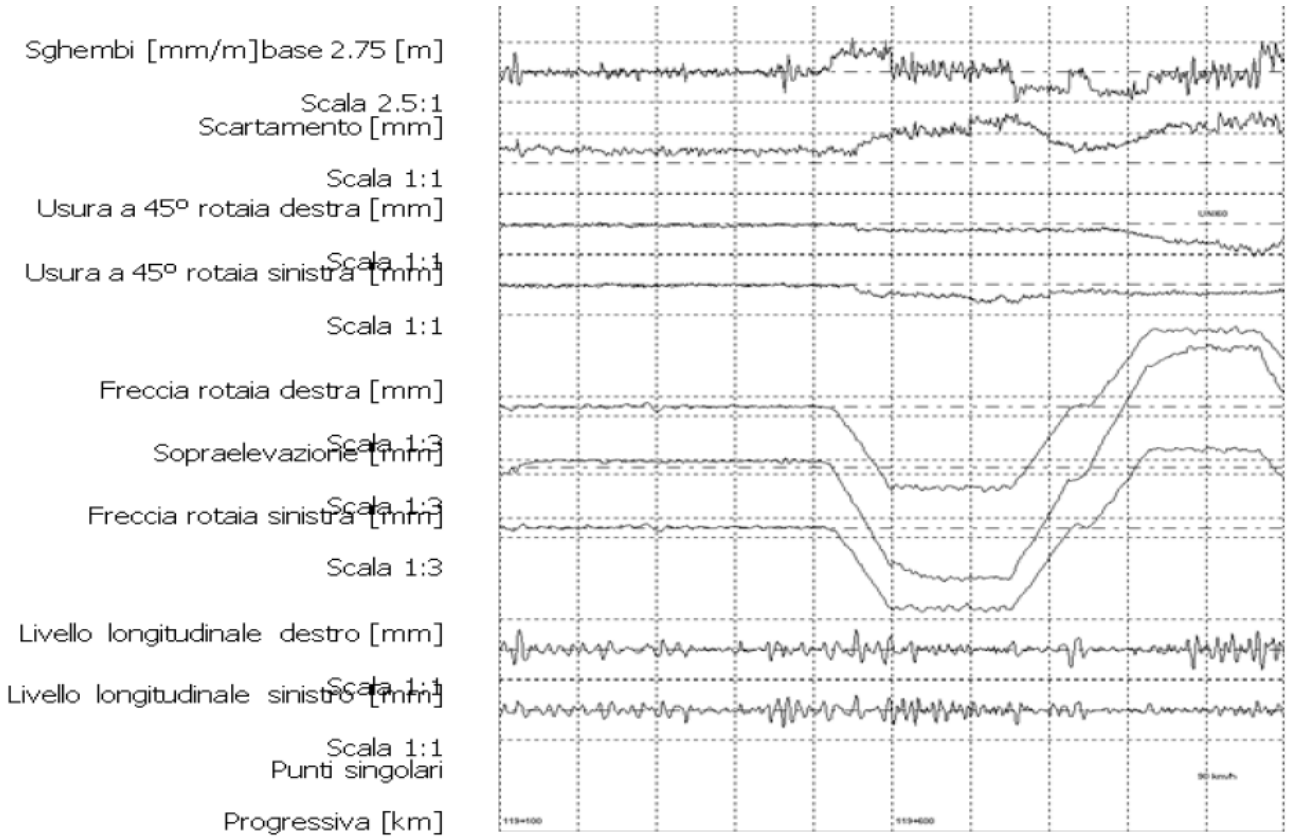


Figura 120: Treno diagnostico "Talete" e relativi grafici delle misure [2]

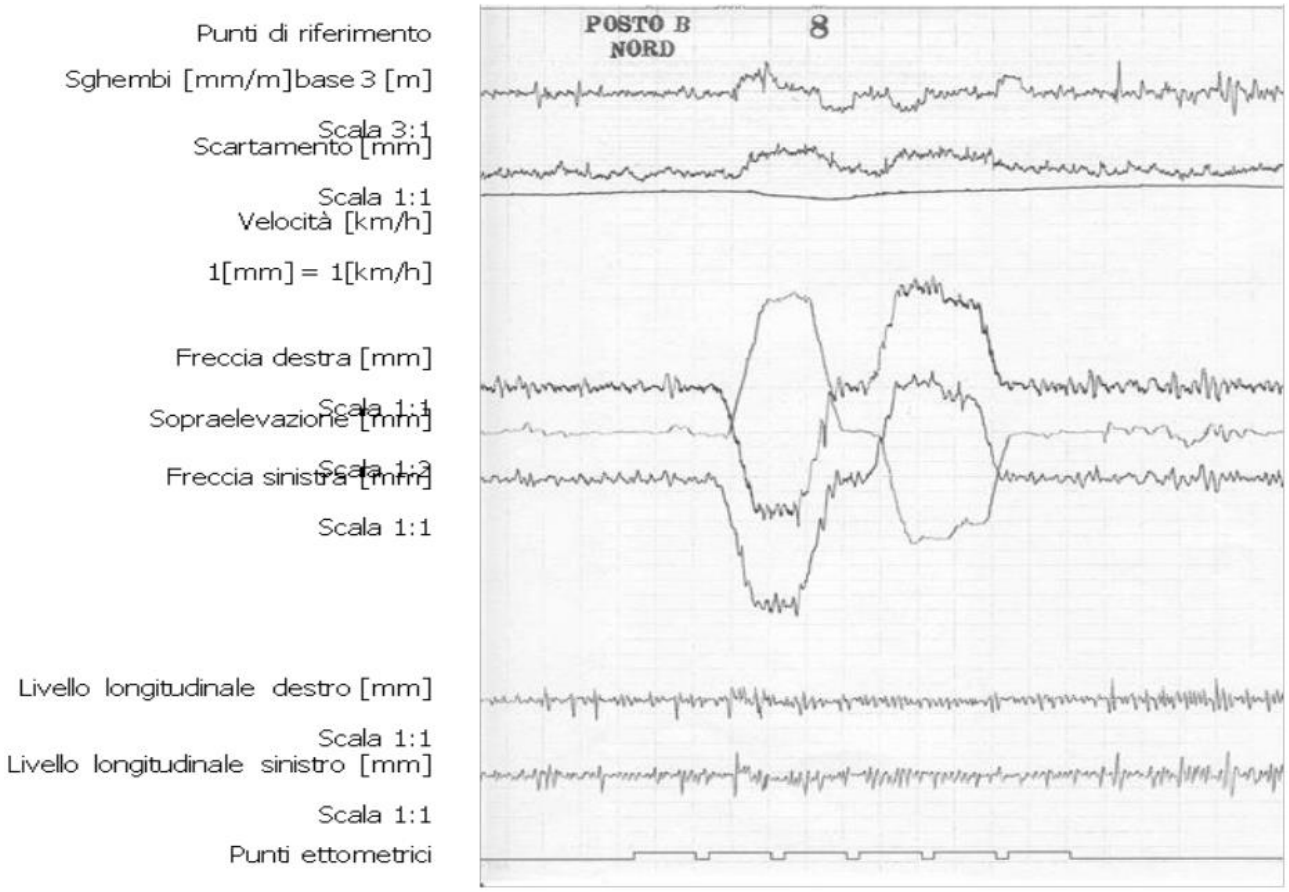


Figura 121: Carrello diagnostico "PV7" e relativi grafici delle misure [2]

5.4.1. Visite ordinarie

Le visite ordinarie sulle linee, volte a rilevare i difetti di geometria del binario, vengono effettuate con una frequenza che è legata al volume del traffico veicolare e alla velocità di fiancata dei convogli; la frequenza delle visite è pertanto correlata ai "Gruppi" in cui RFI ha classificato le linee ferroviarie.

La seguente tabella espone le varie casistiche di rilievo in base alla classe della linea, alla tipologia di binario e tipologia di rilievo [6].

Tabella 10: Casistiche dei rilievi della geometria del binario

Classe di Linea / Tipologia Binario	Tipo Rilievo	1^ Classe (AV-AC)	1^ Classe (restanti linee)	2^ Classe	3^ Classe	4^ Classe	Competenza
Binari di corsa elettrificati *(ad esclusione dei binari di cui all'allegato VI.12)*	**GEOMETRIA RELATIVA**	2 settimane	2 settimane	2 mesi	4 mesi	6 mesi	SRD.ESE
	DINAMICA DI MARCIA	2 mesi	--	--	--	--	SRD.ESE
Binari di corsa elettrificati di cui all'Allegato VI.12	**GEOMETRIA RELATIVA**	--	--	2 mesi	4 mesi	6 mesi	D.T.P.
Binari di corsa non elettrificati	**GEOMETRIA RELATIVA**	--	--	--	--	6 mesi	D.T.P.
Comunicazioni su binari di corsa e interconnessioni	**GEOMETRIA RELATIVA**	6 mesi	6 mesi	12 mesi	12 mesi	12 mesi	D.T.P.
Binari centralizzati	**GEOMETRIA RELATIVA**	12 mesi	12 mesi	12 mesi	24 mesi	24 mesi	D.T.P.
Altri binari	**GEOMETRIA RELATIVA**	24 mesi	24 mesi	24 mesi	24 mesi	24 mesi	D.T.P.
Binari attrezzati con il sistema base assoluta	**GEOMETRIA ASSOLUTA**	24 mesi	48 mesi	--	--	--	D.T.P.
Verifica coordinate topografiche dei punti fissi	**GEOMETRIA ASSOLUTA**	120 mesi	120 mesi	--	--	--	D.T.P.

5.4.2. Indice di qualità rincalzatura del binario

A partire dai rilievi dei treni diagnostici viene a essere definito l'"**Indice di qualità della rincalzatura del binario**"[17]. Esso ha le seguenti funzioni [6]:

- "Caratterizzare sinteticamente l'andamento plano-altimetrico dei binari di corsa di ciascuna Tratta/Località ovvero l'andamento dei parametri livello longitudinale, allineamento e scarto di livello trasversale".
- "Indicare l'efficacia degli interventi manutentivi di rincalzatura eseguiti sulla sede tecnica in esame".
- "Supportare l'esame dello stato del binario di corsa ai fini della programmazione/pianificazione degli interventi manutentivi".

L'indice è basato sulla rielaborazione, a livello statistico, degli output restituiti dai rilievi effettuati dai treni diagnostici. Le normative interne a RFI stabiliscono che, ai fini della valutazione della qualità della geometria del binario, sia necessario ricorrere a due indici differenti per quanto riguarda le "Tratte" (linee) e le "Località" (stazioni) poiché risulta fondamentale avere una netta distinzione tra le due analisi: ciò è utile a non attribuire ad una tratta le eventuali "specifiche difettosità" riscontrate nell'area di una stazione. Le Località presentano infatti una maggiore concentrazione di "punti singolari" che possono alterare il segnale captato dai treni diagnostici, come ad esempio deviatoi[18], giunzioni ecc. [6].

Si hanno pertanto i seguenti indici [6]:

- **"Indice di qualità della rincalzatura del binario in tratta - IQBT"**: viene definito come il valor medio degli indici di rincalzatura che vengono ricavati in corrispondenza della "Tratta" in questione, escludendo pertanto le località comprendenti deviatoi[19].
- **"Indice di qualità della rincalzatura del binario in località - IQBS"**: viene definito come il valor medio degli indici di difettosità di livello longitudinale ricavati in corrispondenza della "Località" presa in esame.

[17] "Gli indici di qualità della rincalzatura del binario non condizionano né il controllo né l'eliminazione dei difetti puntuali di geometria del binario." [6].
[18] "Le misure strumentali in orizzontale degli organi, sia meccanici a contatto con la rotaia che ottici non a contatto con la rotaia, sono affette dai disturbi prodotti dai punti singolari (in particolare lo spazio nocivo dei deviatoi)." [6]
[19] I limiti fisici delle "Località" vengono delineati dalle punte dei deviatoi estremi [6].

6. Manutenzione degli A.d.B.

6.1. Grandezze caratteristiche dei deviatoi

Le normative interne a RFI definiscono le "grandezze caratteristiche" dei deviatoi, ossia quei parametri di geometria che necessitano di monitoraggio ai fini della sicurezza della circolazione e del comfort dell'utenza. Queste risultano essere [7]:

- **Scartamenti**
- **Quote di passaggio**
  - Quote di passaggio aghi
  - Quote all'ingresso della controrotaia
  - Quote all'ingresso della zampa di lepre
  - Quote di libero passaggio
  - Quote di protezione
- **Intervalli o gole**

Le grandezze caratteristiche sopra esposte vengono rilevate grazie all'utilizzo di strumenti quali:

- **Calibri di misura**: quello utilizzato da RFI è il "Calibro manuale marca FS 07".
- **Carrellino Automatizzato Misure (C.A.M.).**

La Normativa prevede inoltre che i deviatoi, prima di essere sottoposti a procedure di rilievo di misure, siano soggetti alle seguenti azioni preliminari:

- Asportazione di eventuali bave di saldatura in eccesso
- Asportazione di eventuale grasso lubrificante in eccesso dagli aghi
- Controllo del "corretto serraggio di tutte le chiavarde di unione delle controrotaie, dei cuori di rotaia, delle eventuali giunzioni ecc." [7].

La programmazione delle attività di controllo delle grandezze è intimamente legata alla velocità con cui le medesime evolvono nel tempo, in base alle condizioni locali; tra di esse si annoverano:

- Carico da traffico veicolare [tonn] e sua tipologia
- Numero di instradamenti
- Condizioni del tracciato

- Tipologia e stato dei materiali e dei componenti

La velocità di evoluzione del degrado delle caratteristiche geometriche deve essere tenuta in considerazione come parametro fondamentale per stabilire le tempistiche e le tipologie degli interventi di revisione, in modo tale che nel lasso di tempo che separa un controllo e l'intervento di revisione successivo non si raggiunga un valore fuori soglia, che comporti quindi vincoli alla circolazione.

Inoltre, vengono definite le seguenti "grandezze geometriche" [7]:

- Altezza delle controrotaie dei cuori doppi
- Allineamento della punta reale del cuore
- Spessore delle controrotaie
- Consumo massimo delle controrotaie rialzate dei cuori doppi
- Profondità degli intervalli/gole
- Scorrimento della punta mobile rispetto alla culla di contenimento
- Corsa e apertura degli attuatori degli apparecchi del binario con manovra multipunto.

Viene altresì previsto che il controllo delle grandezze sia accompagnato obbligatoriamente dalla "valutazione dello stato generale dei componenti dell'apparecchio del binario e dal controllo delle usure. Inoltre, andrà verificato il livello minimo di consistenza del binario compatibile con la circolazione dei mezzi. In particolare, la quantità di organi di attacco o appoggi con ridotta tenuta, purché omogeneamente distribuiti nel tratto del binario esaminato e non consecutivi, è fissata al 20% al massimo" [7].

I deviatoi che insistono sui binari di corsa "BC" e sui binari di circolazione "AB" sono soggetti a controlli delle grandezze caratteristiche e delle grandezze geometriche di tipo strumentale.

Si prevede inoltre che per i deviatoi che insistono su binari secondari i controlli siano:

- Effettuati la prima volta in modo strumentale, come per gli scambi posti sui binari di corsa "BC" e sui restanti binari di circolazione "AB".
- Effettuati successivamente a livello visivo, se le suddette condizioni locali sono tali da implicare una lenta evoluzione delle grandezze caratteristiche, controllando se ci siano usure e/o contatti anomali in corrispondenza di:
    - Punta del cuore
    - Ingresso della zampa di lepre e della controrotaia
    - Spalla dell'ago in corrispondenza della fine della lavorazione degli aghi (contatto funghi).

Le grandezze caratteristiche vengono nominate in modo specifico in base al ramo del deviatoio a cui si riferiscono:

- Ramo Principale: le grandezze riferite al ramo in retta si indicano con pedice "p", se misurate lungo un tratto di A.d.B., oppure da un numero pari, se misurate in un punto.
- Ramo Secondario: le grandezze riferite al ramo deviato si indicano con pedice "s", se misurate lungo un tratto di A.d.B., oppure da un numero dispari, se misurate in un punto.

6.1.1. Scartamento "S"

Viene definito come la minima distanza, in mm, che vi è "tra i fianchi attivi dei funghi delle due rotaie, misurata dal piano di rotolamento fino a 14 mm al di sotto di esso" [7]. Questo parametro necessita di essere misurato su entrambi i rami del deviatoio, in particolare si avranno:

- **Misure scartamento sul telaio degli aghi S_p, S_s**: queste vengono prese "a partire dalla giunzione di ingresso fino alla prima piastra speciale della parte fissa del telaio degli aghi" [7]. In questa tipologia di scartamento si hanno:
  - *Scartamenti nella campata mobile del telaio degli aghi*: queste misure vanno rilevate facendo in modo che l'ago accosto aderisca perfettamente al contrago e ai blocchi di appoggio. In caso di misura continua, viene preso come riportato sopra; in caso di misura discreta, viene preso alla punta reale degli aghi (S_2) ed al contatto dei funghi (S_3/S_4).
  - *Scartamenti nella zona di ingresso del telaio degli aghi:* in caso di misura continua, vengono prese dalla giunzione di ingresso (esclusa) fino a 500 mm oltre la punta reale degli aghi verso il tallone; in caso di misura discreta, viene preso alla punta reale degli aghi (S_2)**.**
  - *Restanti scartamenti*: in caso di misura continua, vengono prese dalla giunzione di ingresso (inclusa) fino alla punta reale degli aghi (esclusa) ed alla prima piastra speciale della parte fissa del telaio degli aghi; in caso di misura discreta, viene preso alla punta giunzione di ingresso (S_1) ed alla prima piastra speciale della parte fissa del telaio degli aghi (S_5/S_6).

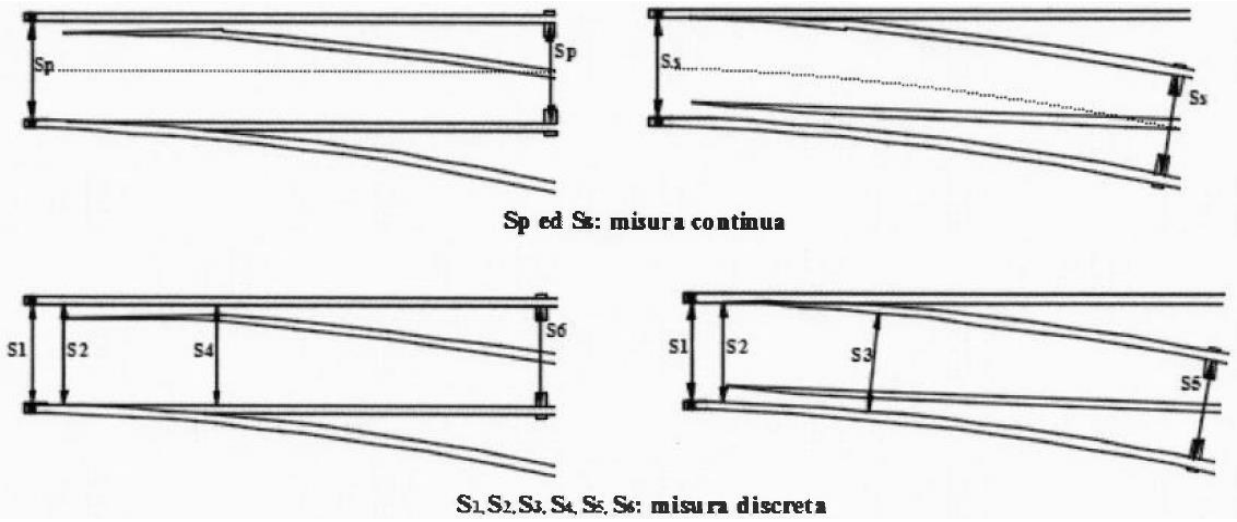


Figura 122: Scartamenti misurati sul telaio degli aghi [7]

- **Misure scartamento sul cuore semplice S_7, S_8**: queste vengono rilevate a 100 mm dalla punta reale del cuore.

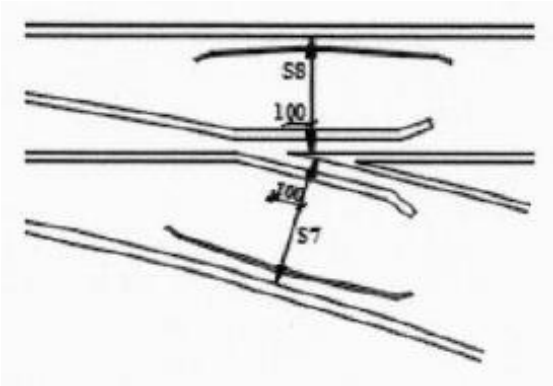


Figura 123: Scartamenti misurati sul cuore semplice [7]

- **Misure scartamento sul cuore doppio $S_9, S_{10}, S_{11}, S_{12}$**: queste vengono prese sulla punta reale del cuore.

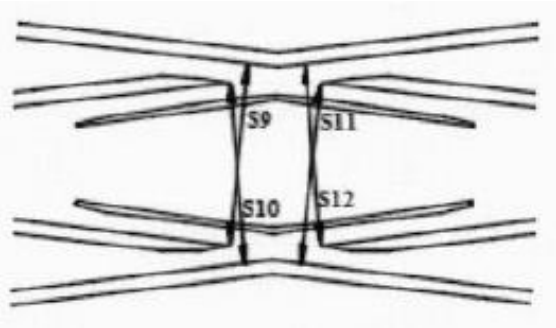


Figura 124: Scartamenti misurati sul cuore doppio [7]

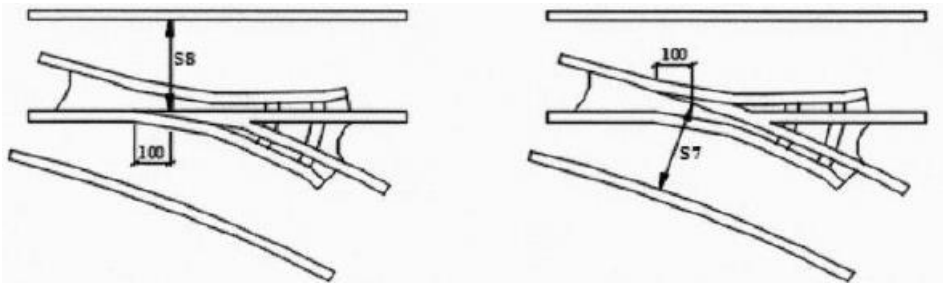


Figura 125: Scartamenti misurati sul cuore a punta mobile [7]

6.1.2. Quote di passaggio "QP"

Le quote di passaggio vengono definite come le "distanze, espresse in mm, misurate sia sul ramo principale che sul ramo secondario, dal piano di rotolamento fino a 14 mm sotto di esso" [7]. A seconda della zona del deviatoio in cui si effettua la misura, si avranno le situazioni riportate nelle seguenti figure:

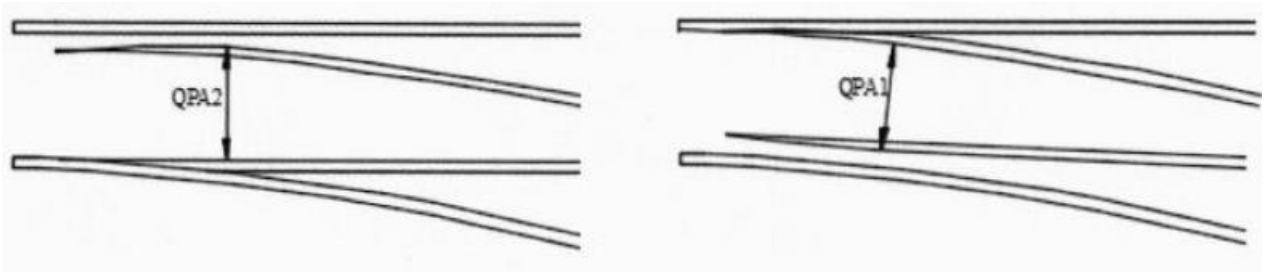


Figura 126: Quote di passaggio aghi sul telaio degli aghi

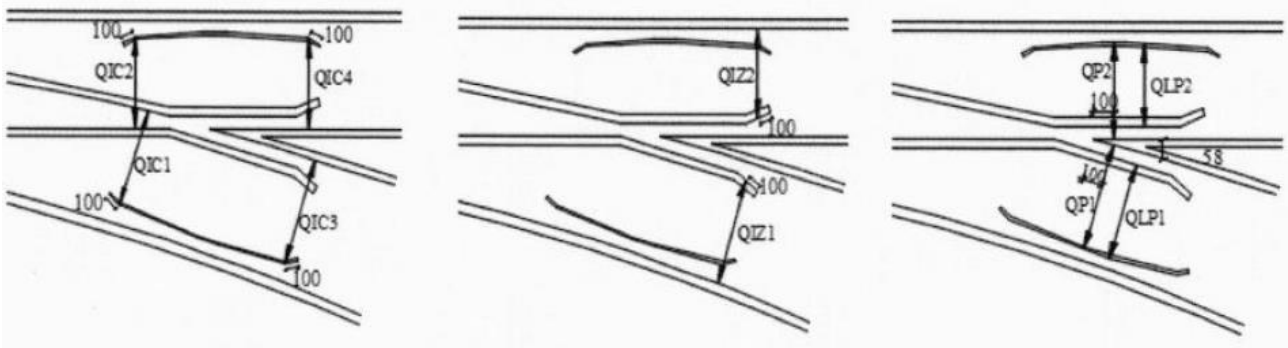


Figura 127: Quote di passaggio sul cuore semplice a punta fissa

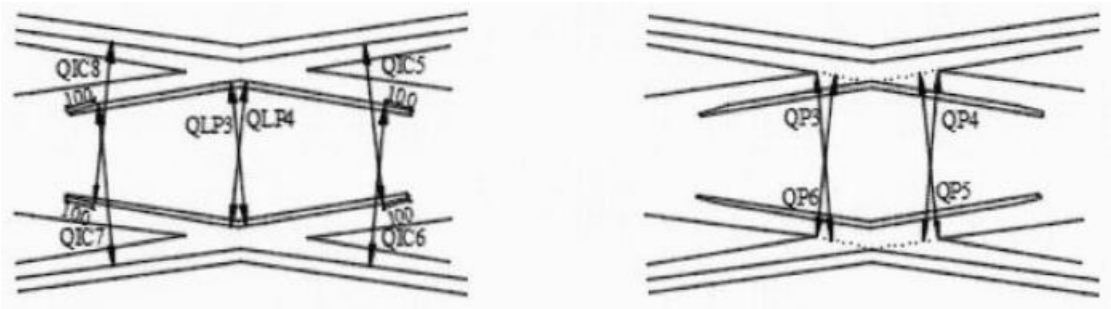


Figura 128: Quote di passaggio sul cuore doppio

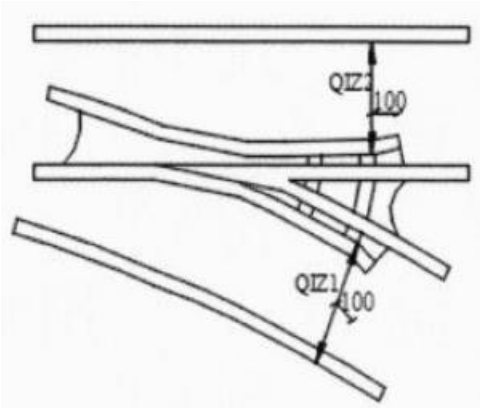


Figura 129: Quote di passaggio cuore a punta mobile

A seconda del punto di misura in cui si effettua il rilievo sul deviatoio, si avranno:

- **Quota di passaggio aghi "QPA":** essa viene misurata sul telaio degli aghi tra il "fianco attivo dell'ago in posizione accosta e fianco non attivo dell'ago (spalla dell'ago) in posizione discosta ($\boldsymbol{QPA_1}$, $\boldsymbol{QPA_2}$)" [7]. La misura deve essere effettuata:
    - Alla fine della lavorazione dell'ago (per deviatoi con unico punto di manovra)
    - In corrispondenza di tutti i punti di manovra (per deviatoi con più punti di manovra).

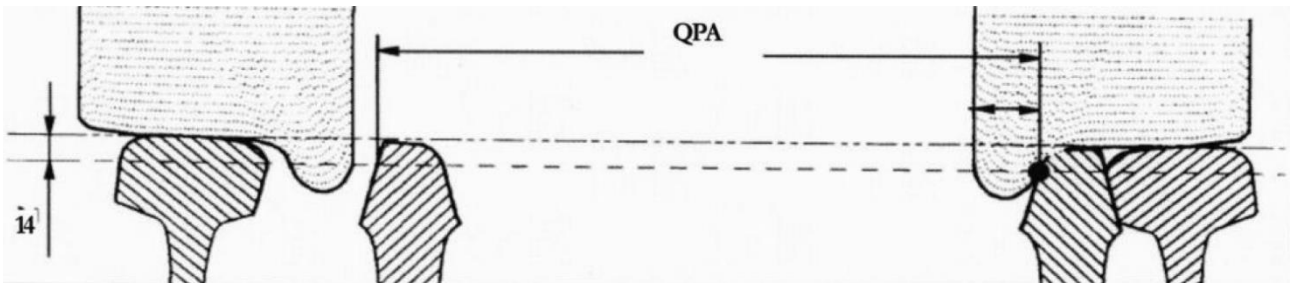


Figura 130: Quota di passaggio aghi

- **Quota all'ingresso della controrotaia "QIC":** essa viene misurata "sugli apparecchi del binario con cuore a punta fissa, a 100 mm dall'estremità in ingresso della controrotaia" [7]. La misura deve essere effettuata su:
    - Cuore semplice: tra i fianchi attivi della controrotaia e della rotaia affacciata ($\boldsymbol{QIC_1}$, $\boldsymbol{QIC_2}$), oppure tra i fianchi attivi della controrotaia e del cuore ($\boldsymbol{QIC_3}$, $\boldsymbol{QIC_4}$).

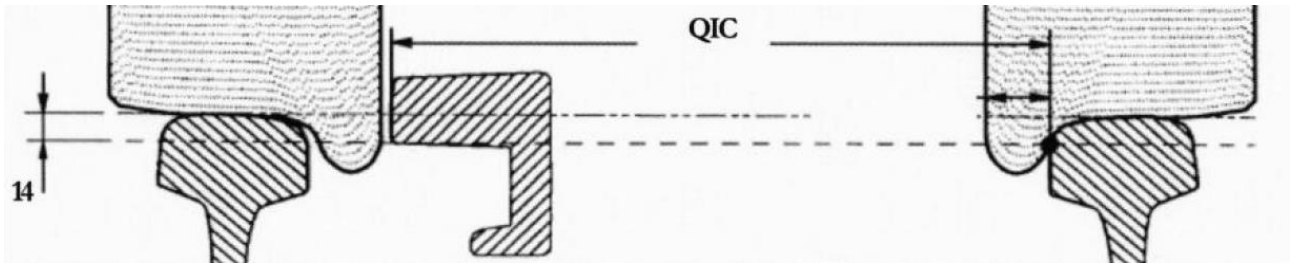


Figura 131: Quota all'ingresso della controrotaia sul cuore semplice

- Cuore doppio: tra i fianchi attivi della controrotaia e della piegata a gomito affacciata ($\boldsymbol{QIC_5}$, $\boldsymbol{QIC_6}$, $\boldsymbol{QIC_7}$, $\boldsymbol{QIC_8}$).

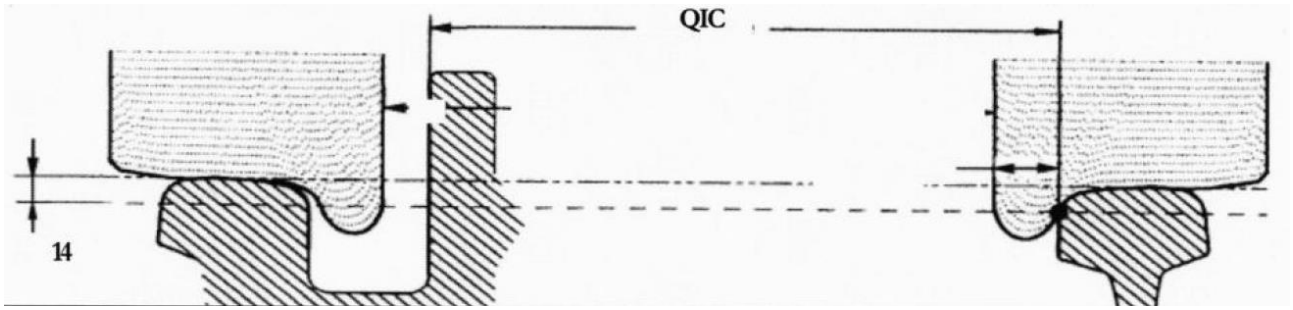


Figura 132: Quota all'ingresso della controrotaia sul cuore doppio

- **Quota all'ingresso della zampa di lepre "QIZ":** essa viene misurata su:
    - Cuore semplice: "tra i fianchi attivi della zampa di lepre e della rotaia affacciata ($\boldsymbol{QIZ_1}$, $\boldsymbol{QIZ_2}$)" [7].

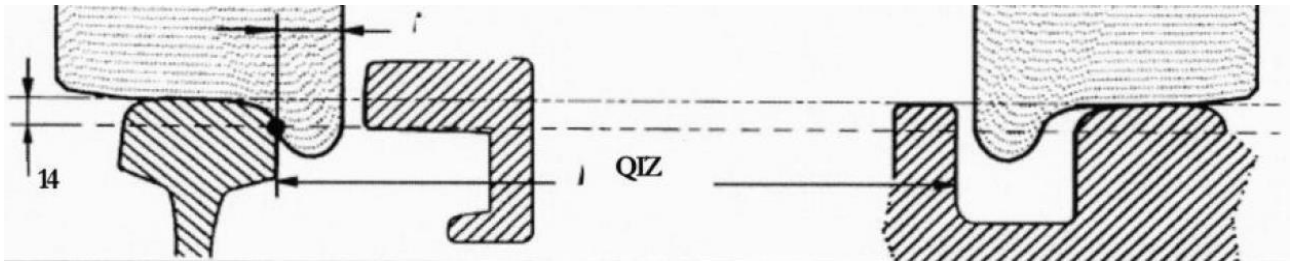


Figura 133: Quota all'ingresso della zampa di lepre

- **Quota di libero passaggio "QLP":** essa viene misurata su:
    - Cuore semplice: "Tra i fianchi attivi della controrotaia e della zampa di lepre in un punto individuato compreso fra 100 mm dalla punta reale e la sezione dove la punta ha spessore 58 mm ($\boldsymbol{QLP_1}$, $\boldsymbol{QLP_2}$)" [7].

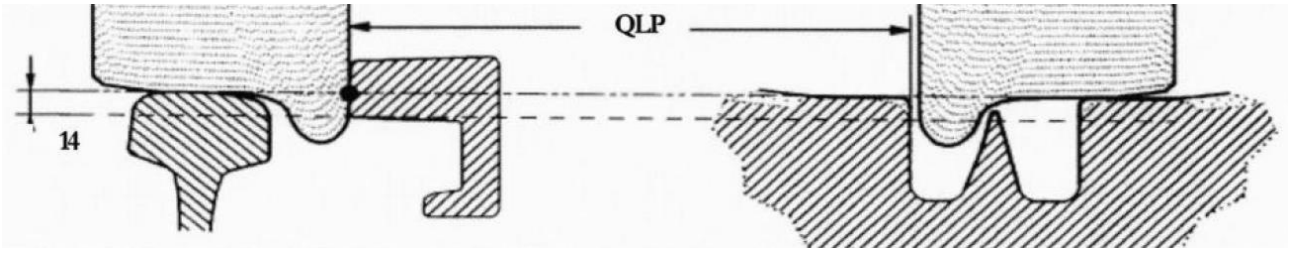


Figura 134: Quota di libero passaggio su cuore semplice

- Cuore doppio: "tra i fianchi attivi delle controrotaie opposte dei due cuori doppi, in uno specifico punto adiacente al vertice delle controrotaie ($\boldsymbol{QLP_3/QLP_4}$)" [7].

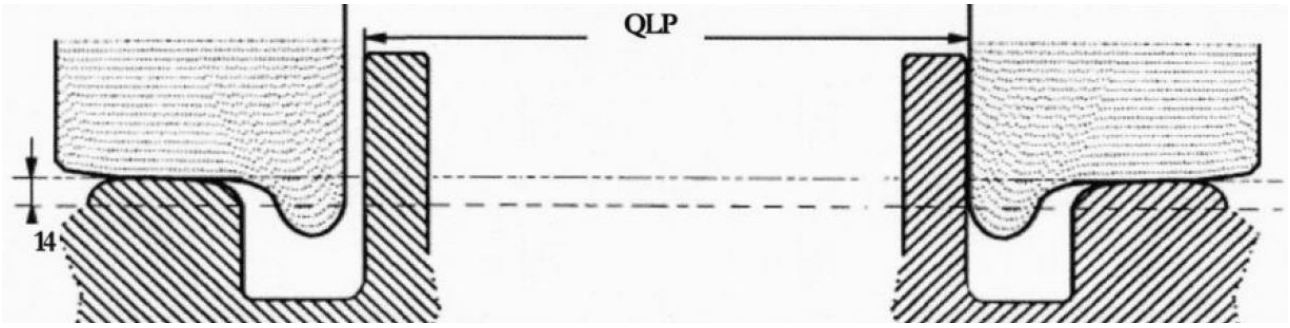


Figura 135: Quota di libero passaggio su cuore doppio

- **Quota di protezione "QP":** essa viene misurata sui deviatoi con cuore a punta fissa, tra i fianchi attivi della controrotaia e della punta del cuore:
    - Cuore semplice: "a 100 mm dalla punta reale del cuore ($\boldsymbol{QP_1}$, $\boldsymbol{QP_2}$)" [7].

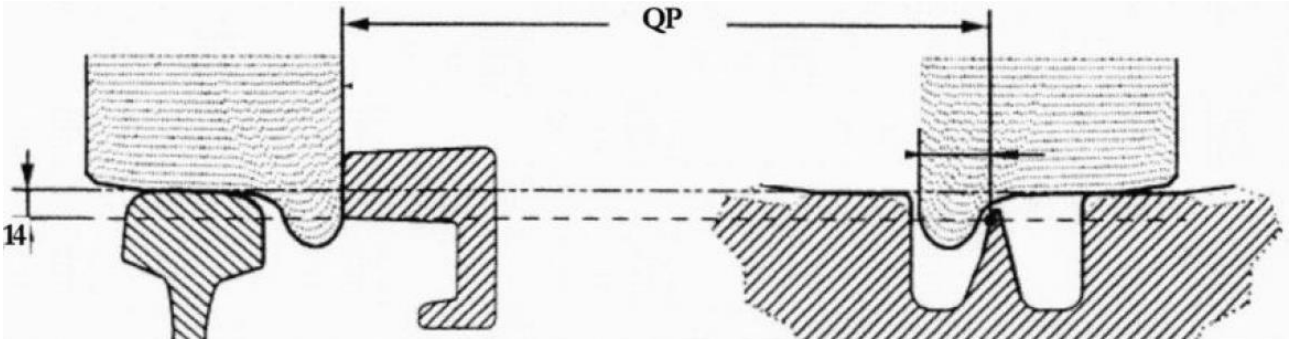


Figura 136: Quota di protezione nel cuore semplice

- Cuore doppio: “sulla punta reale del cuore ($\boldsymbol{QP_3, QP_4, QP_5, QP_6}$)” [7].

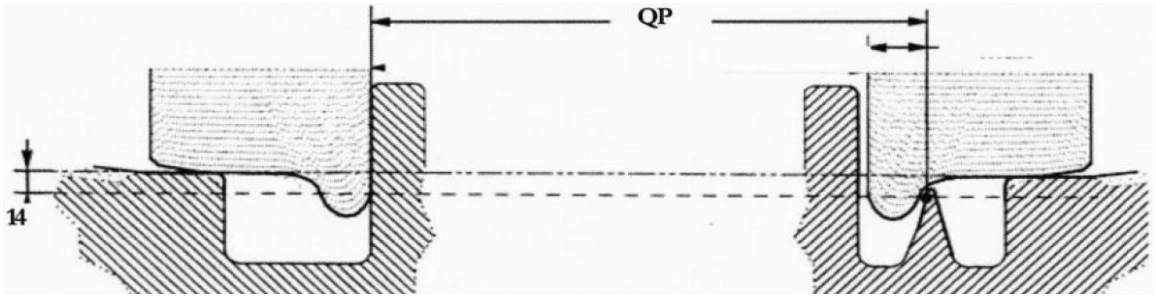


Figura 137: Quota di protezione nel cuore doppio

6.1.3. Intervallo/gola “A”

Viene definito come la “minima distanza, espressa in mm, misurata dal piano di rotolamento fino a 14 mm sotto di esso, sia sul ramo principale che sul ramo secondario” [7]. La misurazione di tale caratteristica geometrica può essere effettuata su:

- Telaio degli aghi: “sulla punta degli aghi, tra ago e contrago ($\boldsymbol{A_1, A_2}$).”

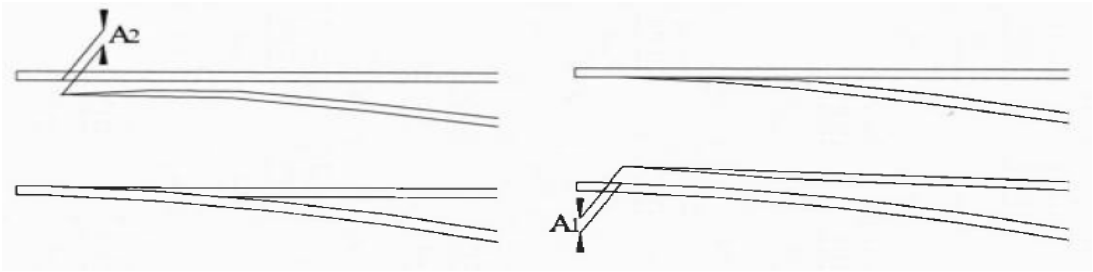


Figura 138: Intervalli sul telaio degli aghi

- Cuore semplice: “tra controrotaia e rotaia unita alla controrotaia degli apparecchi con cuore a punta fissa ($\boldsymbol{A_3, A_4}$)”, oppure “tra zampa di lepre e punta di cuore ($\boldsymbol{A_5, A_6}$)” [7].

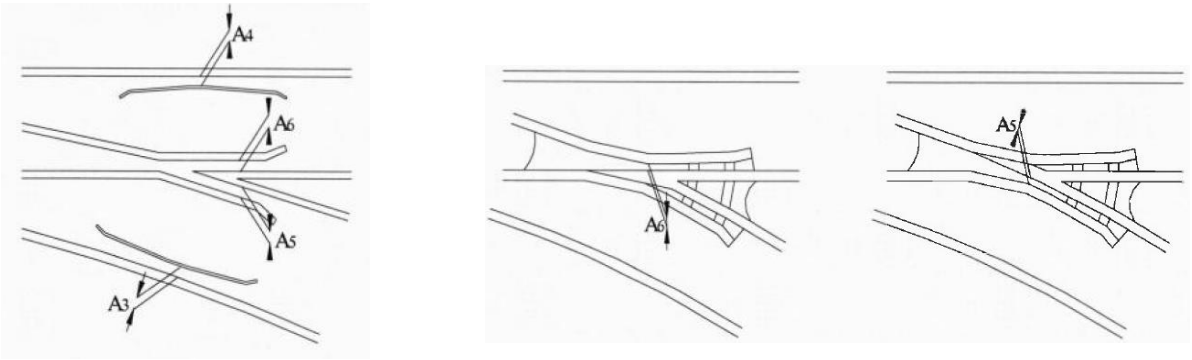


Figura 139: Intervalli sul cuore semplice (sinistra) e su cuore mobile (destra)

6.2. Valori delle caratteristiche

Le caratteristiche geometriche esposte nel Paragrafo 6.1 sono soggette a limiti di accettabilità a seconda del contesto in cui si analizzano. Si possono identificare i seguenti ambiti [7]:

I. **Valori ammessi delle caratteristiche geometriche a seguito di lavori di costruzione**[20].
Essi si applicano "a seguito dei lavori di costruzione ex novo o di rinnovo".

II. **Valori ammessi in esercizio**[21].
Essi sono i valori ammessi "entro i quali si svolge la normale vita tecnica di un deviatoio, senza comportare vincoli all'esercizio (rallentamento o interdizione di un itinerario/interruzione)". Si ha la seguente distinzione in livelli:

- **Livello di attenzione**: una grandezza che ricade al suo interno permette il regolare esercizio della circolazione ferroviaria, senza comportare alcuna restrizione. Una grandezza entro questo livello comporta:
  - Analisi delle cause di degrado
  - Valutazione della velocità con cui evolve nel tempo la grandezza caratteristica
  - Valutazione dello stato fisico delle componenti del deviatoio
  - Programmazione ed eventuale esecuzione di visite di controllo, con "cadenza inferiore a quelle previste e/o di lavori di revisione in funzione della velocità di evoluzione rilevata".

  Il metodo di valutazione della velocità di degrado delle grandezze caratteristiche consiste nel raffronto tra i risultati di controlli precedenti, oppure tramite controlli "ad hoc". Risulta fondamentale inoltre riconoscere, evidenziare, e monitorare quelle che sono le zone con una potenziale rapida evoluzione delle caratteristiche: tra di esse si possono avere i deviatoi con maggior numero di instradamenti.

- **Livello di intervento**: una grandezza che ricade al suo interno permette il regolare esercizio della circolazione ferroviaria, a patto che "venga eseguito l'intervento di revisione in tempi ristretti, in modo che il lasso di tempo che intercorrerà fino all'effettiva esecuzione della revisione non comporti il supero del massimo valore ammessi dal livello di intervento". Risulta fondamentale che la valutazione dei tempi

[20] I valori e il loro limiti di tolleranza sono riportati nella Parte II dello Standard [7]
[21] I valori e il loro limiti di tolleranza sono riportati nella Parte III dello Standard [7]

in cui effettuare la revisione sia condotta considerando la presenza di zone con una potenziale rapida evoluzione delle caratteristiche, e dei vincoli da esse derivanti.

III. <u>Valori ammessi a seguito di revisione</u>[22].

Si applicano "a seguito delle operazioni di ripristino per un deviatoio in esercizio".

IV. <u>Valori comportanti vincoli all'esercizio</u>[23].

Sono valori ammessi "tali da imporre restrizioni all'esercizio ferroviario". Possono portare a:

- **Rallentamento ed esecuzione in tempi rapidi dell'intervento di revisione**
- **Interdizione della circolazione sugli itinerari del deviatoio che mostrano valori delle caratteristiche comportanti vincoli all'esercizio, fino al ripristino dei "valori ammessi a seguito di revisione".**

Si danno inoltre le seguenti definizioni:

- "**Valore nominale della grandezza**": è il valore di progetto, ossia quello assunto dalla grandezza caratteristica nel suo stato "nuovo". Viene definito dai "piani di posa" e dai disegni costruttivi di ciascun deviatoio. Tali valori vengono designati dal simbolo rappresentante la grandezza in questione, seguito da pedice "n" [7].
- "**Revisione del deviatoio"**: è l'insieme delle operazioni di ripristino delle grandezze caratteristiche in esercizio, finalizzate a riportare i valori il più vicino possibile a quelli nominali. Queste operazioni comprendono anche quelle di sostituzione delle componenti di un deviatoio [7].

Vengono introdotti, come fatto per la geometria del binario, i seguenti livelli di qualità [8]:

1. Livello ottimale
2. Livello di attenzione
3. Livello di intervento
4. Livello che comporta l'adozione di provvedimenti di restrizione alla circolazione.

[22] I valori e il loro limiti di tolleranza sono riportati nella Parte IV dello Standard [7]
[23] I valori e il loro limiti di tolleranza sono riportati nella Parte V dello Standard [7]

6.3. Controlli delle grandezze dei deviatoi

I controlli delle grandezze caratteristiche degli apparecchi di binario si dividono essenzialmente in due categorie:

- **Controlli strumentali**
- **Controlli visivi.**

6.3.1. Controlli strumentali degli A.d.B.

Questi controlli prevedono il rilievo, tramite appositi strumenti, di tutte le grandezze caratteristiche e geometriche. Essi sono finalizzati inoltre ad ottenere una valutazione generale dello stato di degrado dei componenti dell'apparecchio e del binario su cui si trova [8].

I controlli strumentali sono correlati a quelli della "usura delle coppie ago-contrago" (come anche ai controlli sulla differenza di usura verticale ago-contrago).

Si utilizzano i seguenti strumenti [8]:

- **Calibro metrico**: viene utilizzato per il "controllo manuale della profondità delle gole, spessore controrotaie, altezza e consumo massimo delle controrotaie rialzate dei cuori doppi, corsa e apertura degli attuatori degli A.d.B. con manovra multipunto. Per queste operazioni si può richiedere anche l'utilizzo di "sagome".
- **Calibro FS 07**: questo calibro consente di effettuare le misurazioni delle grandezze caratteristiche manualmente, utilizzando una tecnologia "a contatto con lettura digitale". Consente inoltre di rilevare la quota di protezione QP delle punte dei cuori doppi. Questo strumento è in dotazione presso le unità Manutentive e la misurazione viene effettuata da personale incaricato dai C.U.M. rispondente a specifici requisiti di idoneità
- **Carrellino automatizzato misure "CAM"**: consente il rilievo in continuo delle grandezze caratteristiche e geometriche, tramite tecnologia laser associata a lettura digitale. Esso effettua la misurazione degli scartamenti continui, discreti, massimi e minimi lungo il telaio degli aghi e sul telaio del cuore. I rilievi vengono effettuati da "Team specialistici, in forza presso le Unità Territoriali" [8].

6.3.2. Controlli visivi sugli A.d.B.

Questa tipologia di controllo accompagna quello strumentale qualora si voglia valutare lo stato di efficienza di un deviatoio; inoltre, il manutentore ha l'obbligo di verificare la "presenza, l'integrità ed il corretto assemblaggio di tutte le parti degli A.d.B."; è inoltre di fondamentale importanza verificare la "quantità di organi di attacco o appoggi con ridotta tenuta e le mancanze o inefficienze per le chiavarde delle giunzioni" [8]. Un altro parametro importante nelle ispezioni sono i segni particolari rilasciati dal borino delle ruote sui componenti del deviatoio: da questi si può risalire ad eventuali anomalie nell'assetto geometrico, oppure usure anomale dei componenti dell'apparecchio medesimo.

Le aree dell'apparecchio del binario sulle quali effettuare i controlli visivi sono:

- Telaio degli aghi
- Controrotaie
- Cuore del deviatoio
- Giunzioni

Tra i controlli visivi che vengono effettuati contemporaneamente alle misurazioni delle grandezze caratteristiche si annoverano [8]:

- Controllo integrità e corretta posa dei traversoni
- Integrità e completezza (presenza sottopiastre e caviglie) delle piastre
- Integrità e corretto serraggio degli organi di attacco
- Integrità e corretta lubrificazione dei cuscinetti
- Integrità e corretto assemblaggio dei blocchi distanziatori
- Controllo di assenza di bave e schiacciamenti
- Regolarità dell'andamento degli aghi su entrambi i tracciati
- Integrità e corretto assemblaggio delle giunzioni ordinarie, incollate e isolanti incollate
- Assenza scollamenti e luce tra le testate in corrispondenza delle giunzioni incollate
- Assenza di cretti propagantisi dai fori delle chiavarde sulla rotaia, in corrispondenza delle giunzioni
- Assenza di martellamento in corrispondenza di giunzioni e saldature, e conseguente deconsolidamento della massicciata
- Integrità e corretto allineamento della punta del cuore, e assenza segni di contatto del bordino nei primi 100 mm (punta cuore semplice)
- Assenza segni di contatto del bordino nei primi 100 mm delle piegate a zampa di lepre

- Assenza di segni di contatto del bordino nei primi 100 mm delle controrotaie
- Assenza di difetti superficiali delle rotaie

Di seguito si riportano alcune immagini indicanti i principali difetti e le aree entro cui effettuare le ispezioni visive [2]:

Figura 140: Affossamento piastre su traversa in legno

Figura 141: Zone di valutazione della integrità contraghi

Figura 142: Calibro FS 97 sagoma 2, utilizzato per la misura di consumi e scheggiature del telaio degli aghi

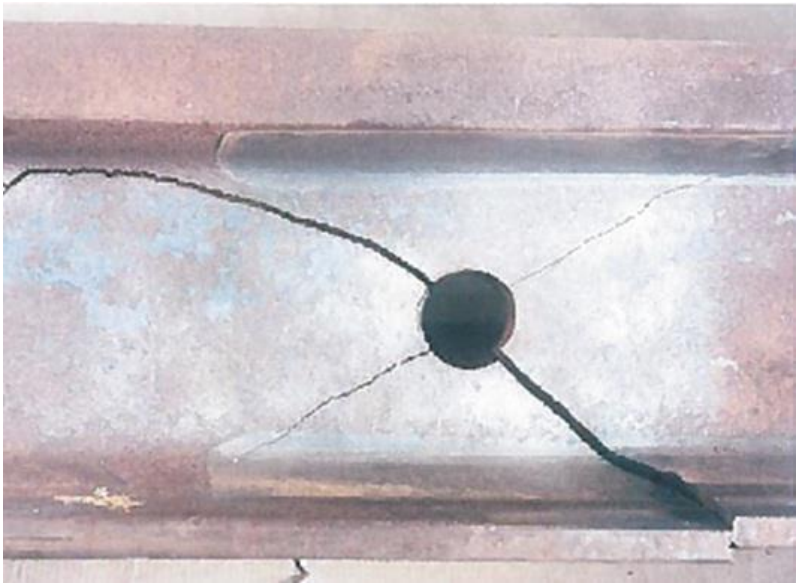


Figura 143: Presenza di "cretti" che si propagano dal foro di alloggiamento

Figura 144: Segni di bordino nei primi 100 mm della punta del cuore

Figura 145: Misurazione spessore controrotaie, tramite calibro a corsoio manuale, nella zona di massima usura

Figura 146: Verifica delle quote di libero passaggio QLP1 e QLP2 nel tratto tra 100 mm e 200 mm dalla punta reale (deve essere pari a 58 mm)

Figura 147: Misurazione di usura massima nei cuori doppi, come differenza tra gli spessori della sezione non usurata e della sezione usurata (valore massimo ammesso 8 mm)

Figura 148: Misurazione di usura massima nei cuori doppi, come differenza tra gli spessori della sezione non usurata e della sezione usurata (valore massimo ammesso 8 mm)

6.4. Periodicità delle visite di controllo e tempi di intervento

6.4.1. Frequenze di controllo delle grandezze

Le frequenze di controllo delle grandezze caratteristiche vengono definite tramite una preliminare classificazione degli apparecchi del binario, in base alle "caratteristiche commerciali di traffico" e al "numero di treni transitanti al giorno". Si perviene alla seguente suddivisione in gruppi[24]:

- "Gruppo N1": in esso ricadono, in termini generali, i deviatoi appartenenti a linee con un numero di treni transitanti pari a $N_{treni/gg} > 100$.
- "Gruppo N2": in esso ricadono, in termini generali, i deviatoi appartenenti a linee con un numero di treni transitanti pari a $40 < N_{treni/gg} \leq 100$.
- "Gruppo N3": in esso ricadono, in termini generali, i deviatoi appartenenti a linee con un numero di treni transitanti pari a $N_{treni/gg} \leq 40$.

Si ha inoltre che:

- Nel caso di grandezze rientranti nei valori di attenzione, con quote non subito ripristinate, sarà necessario che il controllo successivo venga programmato "a frequenza dimezzata rispetto alla frequenza ordinaria prevista per l'apparecchio interessato, al fine di monitorare l'evoluzione della misura ed eventualmente programmarne il ripristino" [2].
- Nel caso di grandezze rientranti nei valori di intervento, con quote non subito ripristinate, sarà necessario che il controllo successivo all'intervento di ripristino venga programmato "a frequenza dimezzata rispetto alla frequenza ordinaria prevista per l'apparecchio interessato" [2].
- Nel caso di grandezze rientranti nei valori che comportano vincoli per l'esercizio, sarà necessario "istituire il provvedimento di restrizione della circolazione previsto ed eseguire il prima possibile l'intervento correttivo" [2].

[24] Per più dettagliate indicazioni si rimanda alla Parte II.3.I del DPR SE 18 1 1 [8],

Tabella 11:Periodicità dei controlli

Tipo Linea commerciale	Controlli ordinari (mesi)	Controlli ridotti per almeno un valore in livello di attenzione (mesi)	Tempi di ripristino per valori in livello di intervento (mesi)
AV-AC Nodi Gruppo N1 (>100 treni/g) Linee 1°-2°classe	6	3	3
Gruppo N2 (40 < N<=100 treni/g) Linee 3° classe	8	4	4
Gruppo N3 (<= 40 treni/g) Linee 4°classe	12	6	6

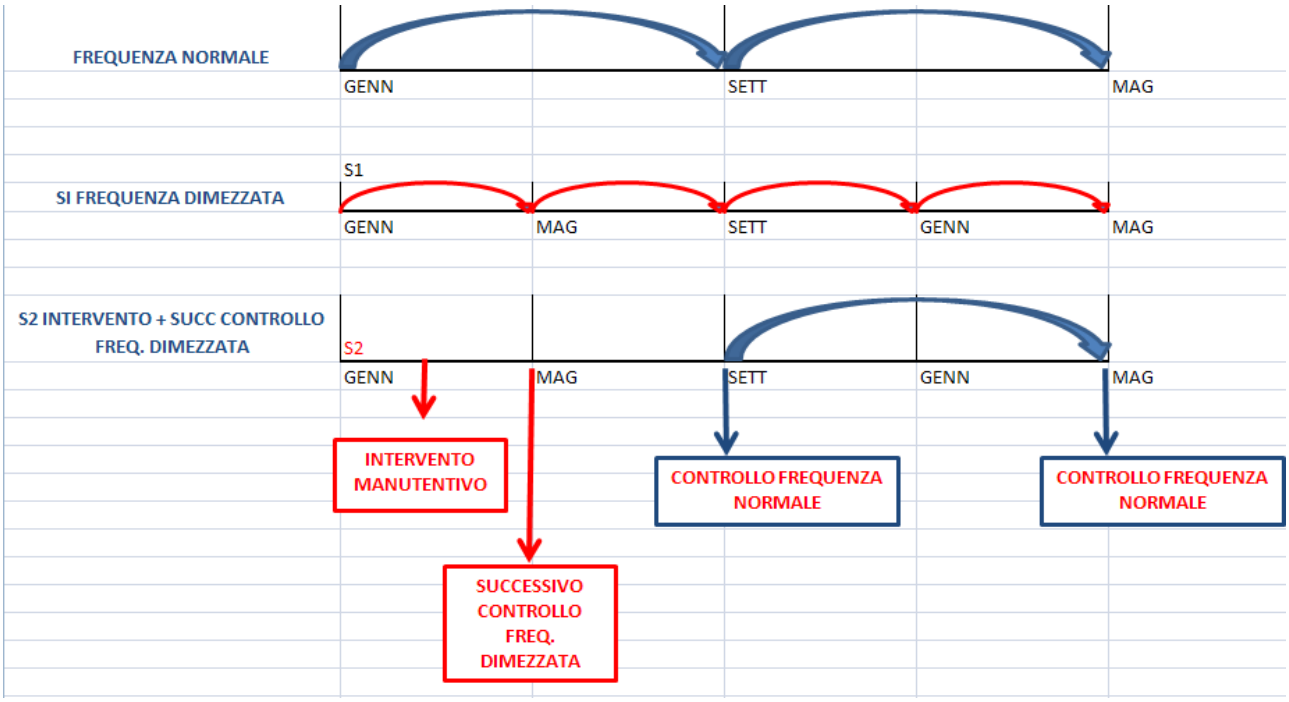


Figura 149: Esempio di frequenze di controllo calendarizzate

OGGETTO DELLA VISITA			MODALITA' DI VISITA	LINEE			
				1^ CLASSE	2^ CLASSE	3^ CLASSE	4^ CLASSE
TRATTA E LOCALITA'	BINARI DI CORSA (BC)	BINARI	A piedi	4 mesi	4 mesi	6 mesi	12 mesi
			Su mezzo d'opera	2 mesi	2 mesi	2 mesi	2 mesi
			In cabina	1 mese	1 mese	1 mese	1 mese
		SCAMBI	A piedi	1 mese	2 mesi	2 mesi	2 mesi
LOCALITA'	BINARI CENTRALIZZ. (AB) e SMISTAMENTO (SM)	BINARI	A piedi	4 mesi	4 mesi	6 mesi	12 mesi
		SCAMBI	A piedi	4 mesi	4 mesi	4 mesi	4 mesi
	ALTRI BINARI (AF)	BINARI	A piedi	12 mesi	12 mesi	12 mesi	12 mesi
		SCAMBI	A piedi	6 mesi	6 mesi	12 mesi	12 mesi

Figura 150: Periodicità e tipologia visite nell'ambito "armamento e sede" [11]

7. Studio di un modello finalizzato alla previsione dello stato manutentivo dei deviatoi

7.1. Iter decisionale per gli interventi manutentivi

Lo stato di manutenzione degli A.d.B., nonché dell'intero comparto di rotaie e deviatoi presenti in una determinata Unità Manutentiva (o sotto-area della medesima), è di competenza del Capo Unità Manutentiva (C.U.M.): questa figura tecnica ha il compito di coordinare e vigilare lo stato dei lavori in fase di esecuzione, nonché di decidere quali deviatoi necessitino di interventi.

La Unità Manutentiva ha quindi il ruolo di effettuare le visite, registrare le possibili situazioni di rischio e, nel caso disponesse di risorse insufficienti, comunicare tali riscontri alla Struttura Organizzativa Pianificazione e Controllo (P.C.)[25], di livello superiore. Questo settore della gestione infrastrutturale è incaricato di accogliere le richieste di intervento, operate dai C.U.M., effettuarne uno studio di fattibilità, richiedere le risorse necessarie alle strutture superiori (tra cui A.M.P.C. e Sede Centrale): pertanto, alla fine del processo, la struttura Ingegneria creerà un Cronoprogramma, in cui ogni Unità Manutentiva vedrà assegnate le lavorazioni approvate, con la esatta collocazione temporale e l'indicazione delle squadre lavoro adibite a tali interventi.

Pertanto, l'iter decisionale si basa sul rapporto tra "Ispettori in situ", "Capi Unità Manutentive", Direzione di "P.C." e "A.M.P.C.". Questa quadruplice suddivisione di compiti e responsabilità comporta una incompleta collimazione tra le richieste delle U.M., che sono presenti sul luogo, e la Direzione di P.C. e A.M.P.C., le quali sono chiamate alla gestione delle risorse: pertanto alcune delle lavorazioni richieste potrebbero non essere approvate, oppure messe in cantiere in un lasso di tempo differente.

[25] tale comunicazione avviene tramite l'apertura di avvisi "A1- Avvisi di Attività" sulle singole Sedi Tecniche interessate.

Al fine di agevolare l'iter decisionale tra le varie strutture è di fondamentale importanza disporre di un criterio obiettivo per la selezione degli interventi manutentivi, in base a criteri comuni per tutte le U.M. e facilmente reperibili e condivisibili.

Il presente lavoro di tesi ha pertanto lo scopo di fornire un supporto a livello organizzativo, senza per questo sostituirsi ai processi attuativi operati dalle suddette strutture: l'apporto di un punto di vista più razionale, sviluppato secondo i criteri esposti in seguito, si pone pertanto l'obiettivo di semplificare il processo di selezione e approvazione degli interventi.

Il modello di previsione degli interventi manutentivi oggetto di questo elaborato si inserisce in un contesto di studi promosso dalle strutture della D.T.P. (Direzione Territoriale Produzione) di Torino.

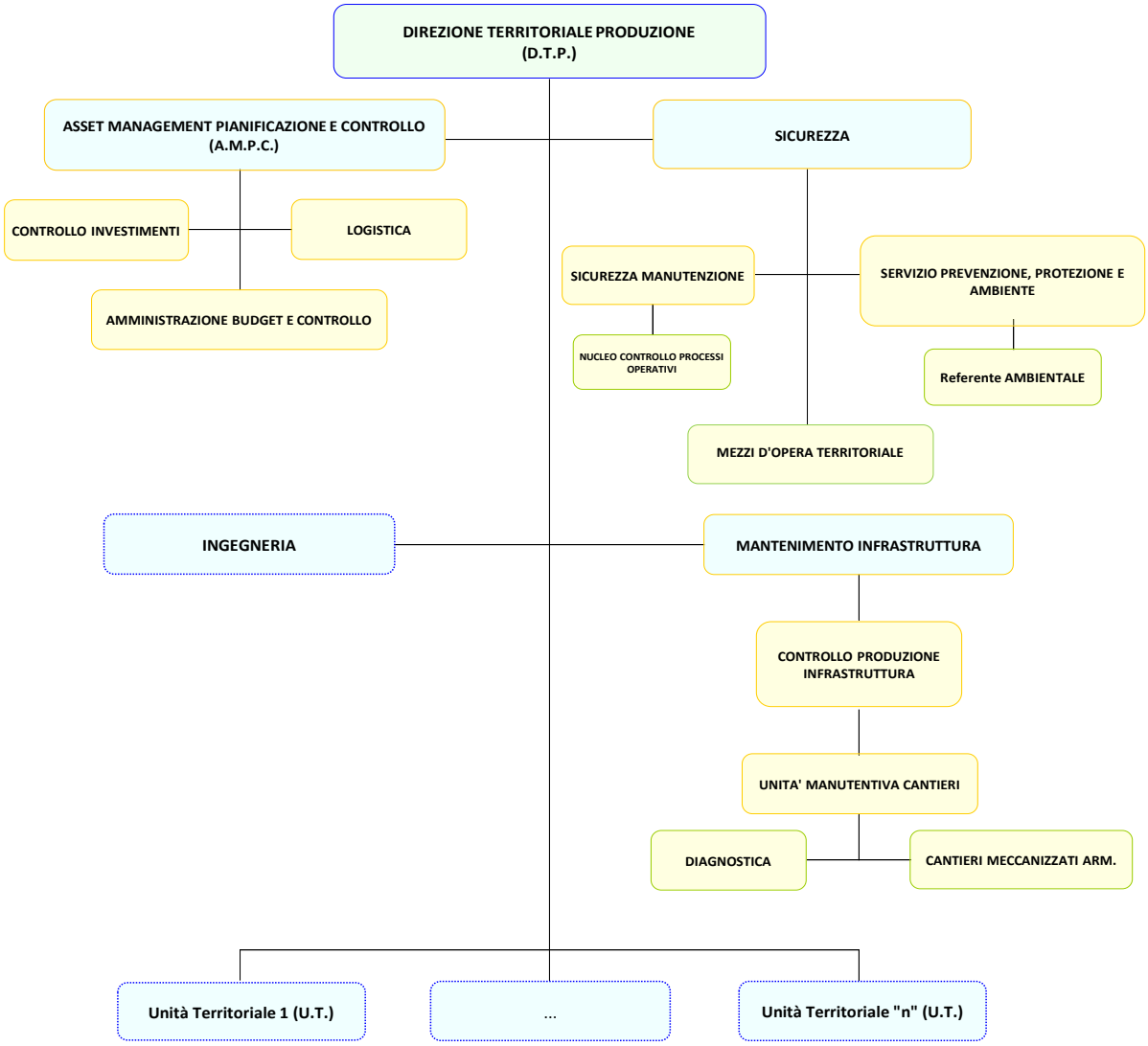


Figura 151: Parte apicale dell'organigramma delle Strutture Organizzative

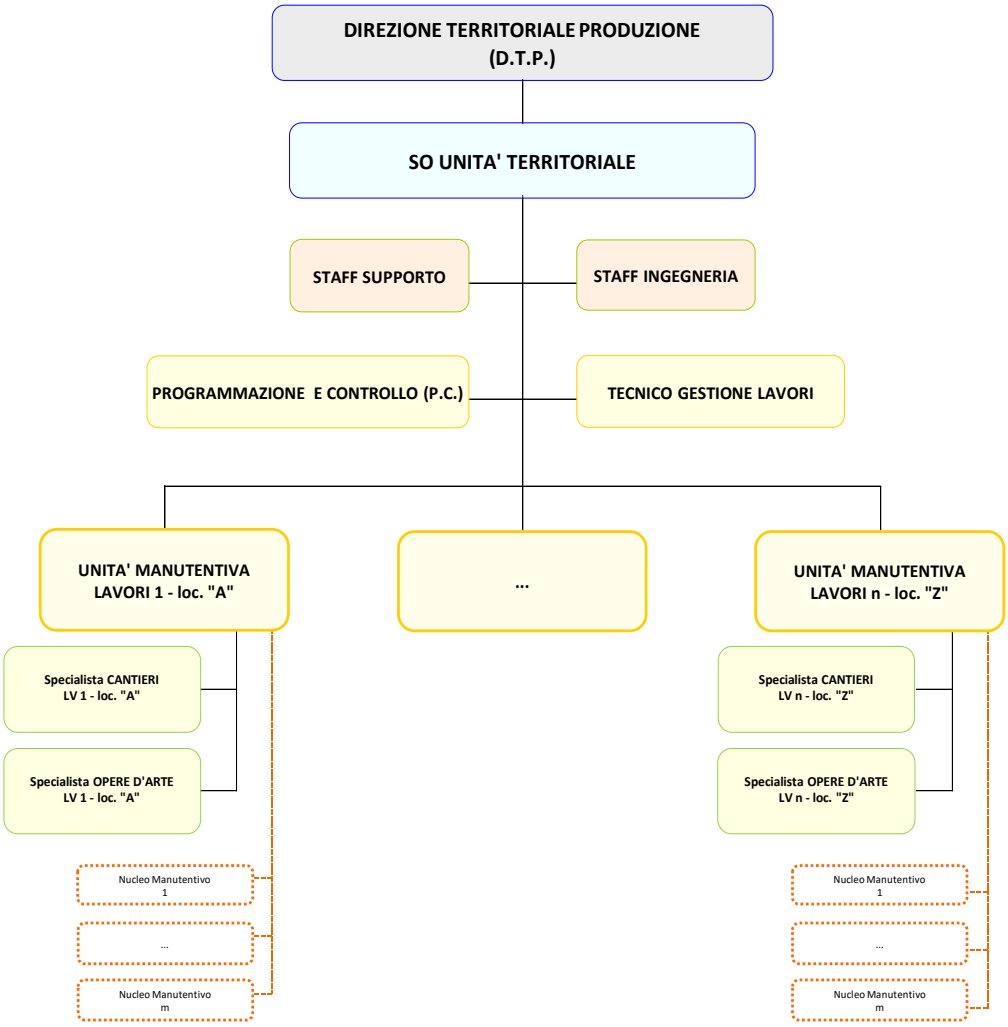


Figura 152: Parte terminale dell'organigramma delle Strutture Organizzative

7.2. Parametri fondamentali utilizzati

I parametri fondamentali utilizzati ai fini della previsione degli interventi sono quelli ritenuti di maggiore importanza secondo i criteri utilizzati nelle considerazioni dei tecnici che effettuano le ispezioni in situ, svincolando quindi l'algoritmo di valutazione da eventuali considerazioni di natura economica e di gestione della manodopera atta alla manutenzione.

Ogni parametro coinvolto nel computo finale è reperibile essenzialmente da due piattaforme di banca dati aziendali, sulle quale periodicamente vengono aggiornati dalle U.M.:

- **InRete2000**
- **I-Man**

7.2.1. Sede Tecnica

L'analisi viene focalizzata su quella che, a sistema, viene denominata "Sede Tecnica", ossia un "oggetto tecnico che conserva una posizione stabile nell'infrastruttura, per il quale si intende mantenere la storia; viene utilizzata per rappresentare un impianto o parte di esso, un'area o una posizione sulla quale sono installati altri oggetti. Gli oggetti tecnici identificano quelle infrastrutture (impianti, opere, apparati ed apparecchiature) che necessitano di manutenzione e per le quali si sviluppa tutto il relativo processo (monitoraggio, pianificazione, segnalazioni, ordini di lavoro)" [9]. Le "Se-Te" pertanto sono le entità presenti sulla banca dati InRete2000, a cui sono associati i parametri oggetto del presente elaborato; la loro struttura, in termini di logica di archiviazione, varia a seconda della tipologia.

Nel caso dei deviatoi, le sedi tecniche rientrano nel tipo "Infrastruttura FS" e presentano una struttura con codice a 7 livelli (dei quali vengono considerati i primi 5), ordinati in successione gerarchica. I livelli "permettono di censire tutti gli oggetti di interesse manutentivo presenti sul territorio" [9], pertanto all'aumentare di essi si ottiene man mano un livello di dettaglio dei dati sempre maggiore. Si ha la seguente strutturazione delle Sedi Tecniche deviatoio:

- **Sede Tecnica di 1° Livello:**

  $$LO/TRXXXX$$

  Essa rappresenta la "dimensione" di maggiore ampiezza della sede tecnica completa, vale a dire la "Località LO" oppure la "Tratta TR". La "Località" indica sostanzialmente le Stazioni,

siano esse passeggeri e/o smistamento merci, che sono delimitate dalle punte degli aghi dei deviatoi di estremità appartenenti alla medesima; la "Tratta" rappresenta invece la linea ferroviaria compresa tra due "Località". L'analisi effettuata in questo elaborato di tesi mira a considerare lo stato di manutenzione dei deviatoi presenti nelle "Località", in quanto più numerosi e soggetti ai maggiori sforzi in termini di carico da traffico veicolare.

La sigla "LO" oppure "TR" è seguita da 4 cifre XXXX, che identificano univocamente la "Località" o la "Tratta" in esame.

- **Sede Tecnica di 2° Livello:**

$$\boldsymbol{LO/TR}XXXX - \boldsymbol{BB}$$

Essa rappresenta il secondo livello di dettaglio, vale a dire la tipologia di binario considerato all'interno della sede tecnica di primo livello. La stringa di teso "BB" può assumere le seguenti forme:

  - "BC": stringa di testo indicante i "Binari di Corsa"
  - "AB": stringa di testo indicante i "Binari di Precedenza/Centralizzati"
  - "AF": stringa di testo indicante i "Binari di Fascio".

- **Sede Tecnica di 3° Livello:**

$$\boldsymbol{LO/TR}XXXX - \boldsymbol{BB} - \boldsymbol{BB}NN$$

Essa rappresenta il terzo livello di dettaglio, vale a dire l'identificativo NN della tipologia di binario considerato.

- **Sede Tecnica di 4° Livello:**

$$\boldsymbol{LO/TR}XXXX - \boldsymbol{BB} - \boldsymbol{BB}NN - \boldsymbol{YYY}$$

Essa rappresenta il quarto livello di dettaglio, vale a dire la tipologia di oggetto fisico di cui si vuole effettuare lo scarico dei dati. La stringa di 3 lettere YYY può essere rappresentativa, ad esempio, dei deviatoi (DEV), rotaie (ROT), traverse (TRA), massicciata (MAS), segnali (SEG) ecc.: nel nostro caso si considera l'oggetto deviatoi "DEV".

- **Sede Tecnica di 5° Livello:**

$$\boldsymbol{LO/TR}XXXX - \boldsymbol{BB} - \boldsymbol{BB}NN - \boldsymbol{YYY} - \boldsymbol{Y}NN$$

Essa rappresenta il quinto livello di dettaglio, vale a dire l'identificativo della tipologia di oggetto fisico di cui si vuole effettuare lo scarico dei dati. La lettera Y rappresenta l'abbreviazione della stringa YYY relativa al quarto livello (lettera iniziale), mentre la stringa numerica NN indica l'oggetto fisico in questione. Nel caso dei deviatoi la lettera Y sarà "D".

Pertanto, nel caso del seguente elaborato, si considerano sedi tecniche di tipo deviatoio, che avranno la seguente formulazione:

$$\boldsymbol{LO/TR}XXXX - \boldsymbol{BB} - \boldsymbol{BB}NN - \boldsymbol{DEV} - \boldsymbol{D}NN$$

Di seguito si mostra lo scorporo di una sede tecnica fino al 5° livello, da InRete2000. Da questo input è possibile effettuare lo scarico di vari parametri interessanti la sede medesima.

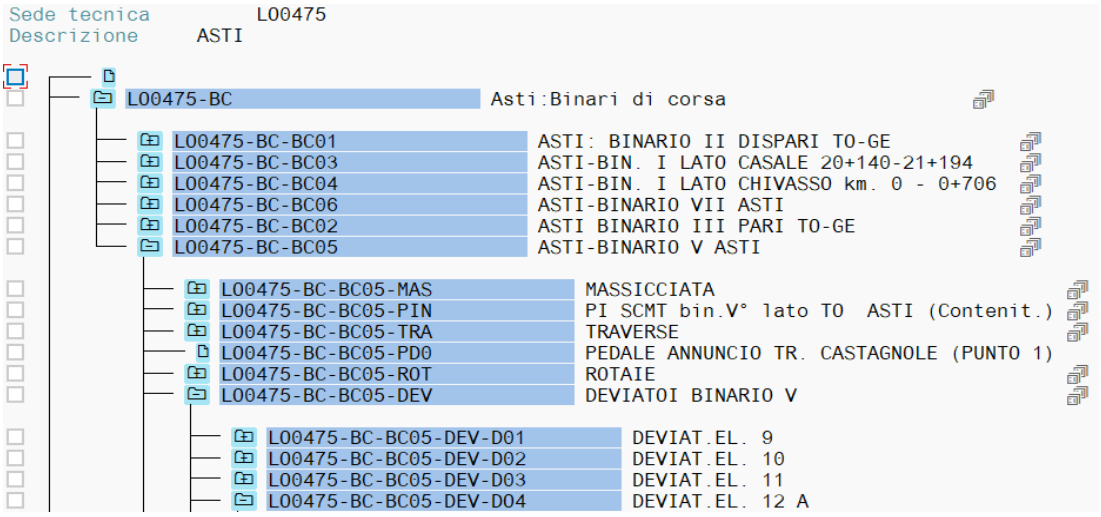


Figura 153: Sede tecnica di 5° livello, tipo deviatoio

Nel diagramma seguente si riassume quanto precedentemente riportato [10]:

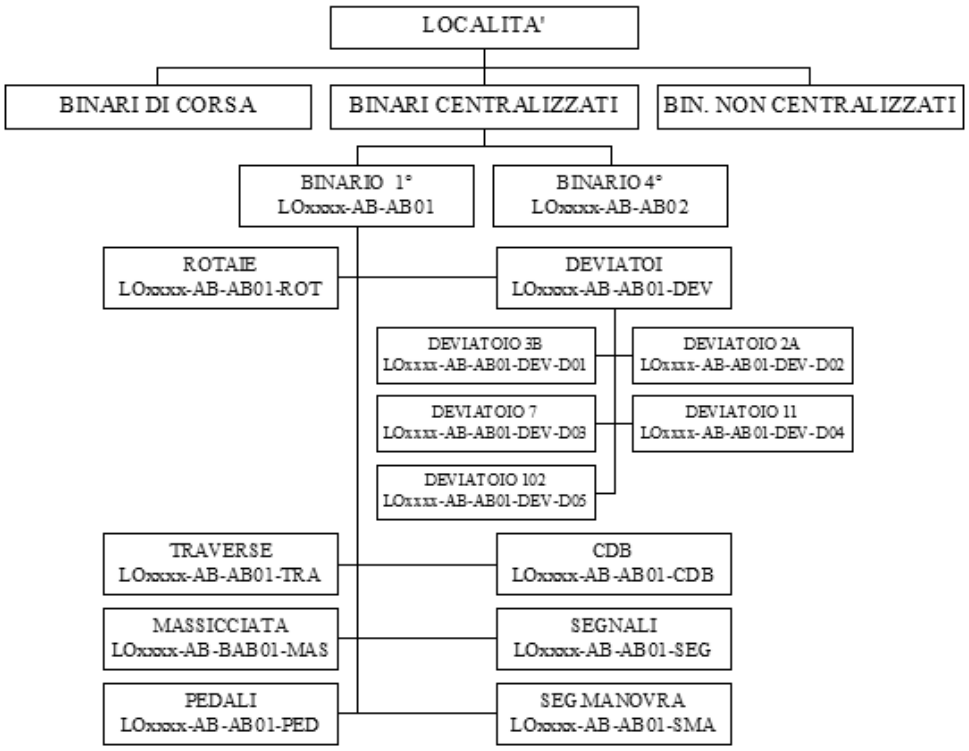


Figura 154: Schema riassuntivo dei livelli "oggetto" di una sede tecnica

7.2.2. Traffico interessante la linea

Il degrado dell'armamento è legato ai parametri relativi alla circolazione, pertanto la quantità di convogli interessanti la linea è un dato importante in termini di usura.

Le linee RFI vengono suddivise in 4 classi, sulla base di omogeneità dei seguenti parametri: caratteristiche commerciali, traffico, numero di pantografi sollecitanti la linea di contatto [11]. Pertanto, come già enunciato nel Paragrafo 6.4.1 gli A.d.B. vengono suddivisi in 3 Gruppi, che risultano essere:

- Gruppo N1: in esso ricadono i deviatoi delle tratte AV/AC, appartenenti a Linee di 1ª e 2ª Classe, sui Nodi e sui binari appartenenti anche a classi inferiori ma aventi numero treni giorno $> 100\ N_{treni}/gg$.
- Gruppo N2: in esso ricadono i deviatoi appartenenti a Linee di 3ª Classe e sui binari appartenenti anche alla classe inferiore ma con numero treni giorno $40 < N_{treni}/gg \leq 100$.
- Gruppo N3: in esso ricadono i deviatoi appartenenti a Linee di 4ª Classe.

Inoltre, La normativa RFI specifica i criteri per assegnare il Gruppo di appartenenza ai deviatoi delle Località in cui confluiscono più linee con caratteristiche di traffico diverse [8]:

- Nel caso di deviatoi inseriti sui binari di corsa BC, "il gruppo di appartenenza è funzione della classe linea del binario su cui insiste, ovvero del numero di treni/gg sopra indicati".
- Nel caso di deviatoi inseriti sui binari di precedenza/circolazione AB, "il gruppo di appartenenza coincide con il gruppo di livello immediatamente inferiore a quello dell'adiacente binario di corsa[26]".
- Nel caso di una Località in cui si abbiano diversi binari BC (di Classi diverse) e AB, i deviatoi "posti sui binari di circolazione AB saranno classificati con il Gruppo di livello immediatamente inferiore al Gruppo più alto dei binari di corsa".

[26] Ad esempio: nel caso in cui il deviatoio insista su un AB e l'adiacente BC appartenga a una Linea di 3ª Classe (oppure $40 < N_{treni}/gg \leq 100$), il deviatoio sarà appartenente al Gruppo N3. Nel caso in cui il BC sia di 4ª classe, il deviatoio che insiste sull'adiacente AB sarà anche esso appartenente al Gruppo N3.

7.2.3. Velocità di corretto tracciato

Rappresenta la velocità propria della tratta, ossia quella a cui viene percorso il ramo principale del deviatoio. L'attribuzione della velocità del corretto tracciato viene effettuata considerando il valore massimo delle velocità relative ai vari ranghi della tratta. I convogli circolanti su una tratta possiedono caratteristiche tra loro differenti, in termini di dimensioni, tonnellaggio, dinamica di marcia, tipologia di rodiggio: la natura di queste caratteristiche, che influenzano l'aggressività dei convogli sul tracciato, porta alla suddivisione in "Ranghi" dei materiali rotabili [12]. RFI stabilisce la presenza dei seguenti 4 ranghi [2]:

- **"Rango A"**: in esso ricadono i "mezzi rigidi e/o senza molleggio", vale a dire i convogli merci e viaggiatori con "materiale ordinario". Per questo rango si stabilisce un limite superiore della accelerazione centripeta non compensata pari a: $a_{c,nc} = 0{,}6\, m/s^2$.
- **"Rango B"**: in esso ricadono i "mezzi leggeri a molleggio limitato", vale a dire convogli con "materiale leggero o carrozze con $V_{max} > 140\ km/h$, trainate da locomotori E646, E636/632, E444 ecc.". Per questo rango si stabilisce un limite superiore della accelerazione centripeta non compensata pari a: $a_{c,nc} = 0{,}8\, m/s^2$.
- **"Rango C"**: in esso ricadono i "mezzi poco aggressivi ad alta stabilità", vale a dire convogli con "materiale studiato per alta stabilità e bassa aggressività", ossia "carrozze studiate per rango C, elettrotreni ETR250/300, locomotore E444, automotrici leggere elettriche Ale601 ecc.". Per questo rango si stabilisce un limite superiore della accelerazione centripeta non compensata pari a: $a_{c,nc} = 1{,}0\, m/s^2$.
- **"Rango P"**: in esso ricadono i "mezzi molto veloci, leggeri e per mezzi ad assetto variabile", vale a dire "elettrotreni rapidi e ad assetto variabile". Per questo rango si stabilisce un limite superiore della accelerazione centripeta non compensata pari a: $a_{c,nc} = 1{,}8\, m/s^2$.

Sulla base del rango e della accelerazione centripeta non compensata ad esso associata, si definisce la "Velocità di rango", vale a dire la velocità "con la quale viene percorsa la curva di raggio minimo della tratta omogenea", determinando la $a_{c,nc}$ relativa al rango in questione [2]. Si ottengono pertanto:

$$V_{Rango\ A} = 4{,}62 \cdot \sqrt{R_{min}}$$

$$V_{Rango\ B} = 4{,}89 \cdot \sqrt{R_{min}}$$

$$V_{Rango\ C} = 5{,}15 \cdot \sqrt{R_{min}}$$

$$V_{Rango\ P} = 6{,}07 \cdot \sqrt{R_{min}}$$

Le velocità di rango vengono esposte sui cartelli indicatori, visibili dai macchinisti [12]: dall'alto verso il basso vengono riportate le velocità dei ranghi A, B, C, P. Nell'esempio riportato in figura accanto, si hanno le velocità relative ai ranghi A, B, C; il convoglio di rango P viaggia alla stessa velocità del rango C. Di norma, la velocità di rango A, che è più "restrittiva" in quanto minore delle altre, viene riportata con caratteri di dimensione maggiore.

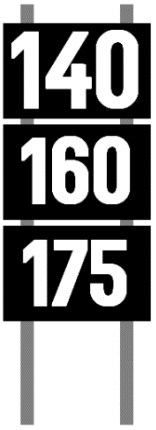


Figura 155: Esempio di cartello indicatore delle velocità [12]

Nel modello di previsione dello stato manutentivo, oggetto dell'elaborato di tesi, la velocità di percorrenza del ramo principale del deviatoio viene ricavata come quella massima derivante dai ranghi: infatti è lecito assumere, specialmente sui binari di corsa, una maggiore frequenza dei convogli dei ranghi B, C, P, che con le loro velocità di rango maggiori produrranno maggiore sollecitazione dinamica sull'armamento.

Nella banca dati di InRete2000, associate alle Sedi Tecniche di 3° livello, sono disponibili le velocità dei 4 ranghi elencati. Pertanto, si considererà:

$$V_{corretto\ tracciato} = MAX\left(V_{Rango\ A}; V_{Rango\ B}; V_{Rango\ C}; V_{Rango\ D}\right)$$

7.2.4. Velocità di percorrenza del ramo secondario

Il ramo deviato degli scambi è percorribile a velocità inferiori rispetto a quelle del ramo principale, in quanto si ha una "deviazione" su un tracciato curvo. Per motivi di stabilità, la velocità su detto ramo è dipendente dalla tangente del deviatoio (ossia dall'angolo di uscita) e dal raggio di curvatura. In generale, la relazione che lega velocità e raggio è la seguente (come riportato nel Paragrafo 2.4):

$$V[km/h] = 3 \cdot \sqrt{R[m]}$$

Si riporta nuovamente la tabella con le caratteristiche dei principali deviatoi di adozione RFI:

Tabella 12: Caratteristiche deviatoi FS

Raggio curvatura [m]	Angolo di uscita	Tangente	Velocità di impegno sul ramo deviato [km/h]
170	6° 50' 34"	0,12	**30**
250	5° 15' 30"	0,092	**30**
250	6° 50' 34"	0,12	**30**
400	4° 13' 46"	0,094	**60**
400	5° 21' 55"	0,074	**60**
1200	2° 17' 26"	0,040	**100**
3000 e oltre	1° 15' 23"	0,022	**160**
6000 e oltre	0° 51' 26"	0,015	**220**

Nella banca dati di InRete2000, associate alle Sedi Tecniche di 5° livello, sono disponibili le velocità di percorrenza sul ramo secondario. In generale si considerano le seguenti velocità:

$$V_{dev} = (30\,km/h\,;60\,km/h)$$

7.2.5. Data di posa del deviatoio

InRete2000 fornisce, per le sedi tecniche di 5° livello, alcuni parametri relativi allo stato struttale dei componenti. Tra di essi è presente la "Data di posa" del deviatoio, ossia la registrazione della data in cui è stato "varato" l'apparecchio. Le operazioni di varo consistono nell'installazione di un nuovo A.d.B., in un contesto di realizzazione di una nuova tratta oppure, più comunemente, nell'ambito di lavori di sostituzione di interi deviatoi ammalorati.

La data di posa, trasformata in seguito negli anni intercorsi tra il giorno in cui si effettua l'analisi oggetto della tesi e giorno della posa medesima, è indicativa della "**Vetustà**" del deviatoio: questo parametro, espresso in seguito, viene inteso come il principale indicatore del degrado strutturale.

$$Vetustà[anni] = Data_{attuale} - Data_{posa}$$

7.2.6. Tipologia di binario

I binari vengono classificati in 3 diverse tipologie, a seconda del loro tipo di impiego e quindi della importanza che rivestono in termini di circolazione dei rotabili. La catalogazione a sistema, coincidente con quella delle norme RFI, comprende le seguenti sigle:

- "**BC**": rappresenta i "**Binari di Corsa**", vale a dire quelli che, all'interno di una località (stazione) rappresentano la prosecuzione fisica dei binari presenti in tratta.
- "**AB**": rappresenta i "**Binari di Precedenza/Centralizzati**", vale a dire i binari sui quali, all'interno di una località (stazione), si effettua la "presa in deviata" di alcuni convogli, che vengono pertanto instradati a partire dal loro binario di corsa di origine. Su questi binari, i convogli possono essere deviati per ragioni di "precedenza" (quando è necessario lasciare spazio alla corsa di un altro treno), o di "circolazione" (quando altri binari sono già occupati, oppure per consentire la sosta e l'incarrozzamento).
- "**AF**": rappresenta i "**Binari di Fascio**", vale a dire quei binari sui quali vengono effettuate le operazioni di manovra dei carri merci nei piazzali adibiti, oppure dove locomotori, carrozze, carrelli e mezzi d'opera procedono al ricovero. Solitamente risultano privi di circuiti di binario, pertanto sono percorsi a velocità contenute.

Le suddette tipologie di binario sono intrinsecamente indicative del traffico giornaliero e delle velocità di percorrenza: infatti i "BC" saranno tendenzialmente percorsi ad una velocità superiore a quella degli "AB" e "AF", poiché prosecuzione fisica dei binari della tratta (e quindi interessati anche

da convogli lanciati a velocità massima, che non effettuano fermata); inoltre, i medesimi binari "BC" e gli "AB" saranno interessati da un traffico giornaliero sicuramente superiore a quello degli "AF". Pertanto, l'usura da traffico e carico veicolare sarà maggiore sui binari di corsa e di precedenza/circolazione.

7.2.7. Tipologia di armamento

È sinonimo di tipologia delle rotaie di cui è composto il deviatoio. La designazione delle rotaie è già stata affrontata nel Capitolo 3. L'armamento ferroviario è caratterizzato da diverse forme, dimensioni e pesi per unità di lunghezza; le tipologie più utilizzate sono le seguenti, elencate per peso unitario crescente:

- 46E4 (ex 46 UNI), peso unitario di 46,786 kg/m.
- 50E5 (ex 50 UNI), peso unitario di 49,850 kg/m.
- 60E1 (ex 60 UIC), peso unitario di 60,340 kg/m.

Ai fini dell'algoritmo, i profili di maggiore peso vengono intesi come capaci di resistere maggiormente alle azioni dinamiche dei convogli e meno affette a usura.

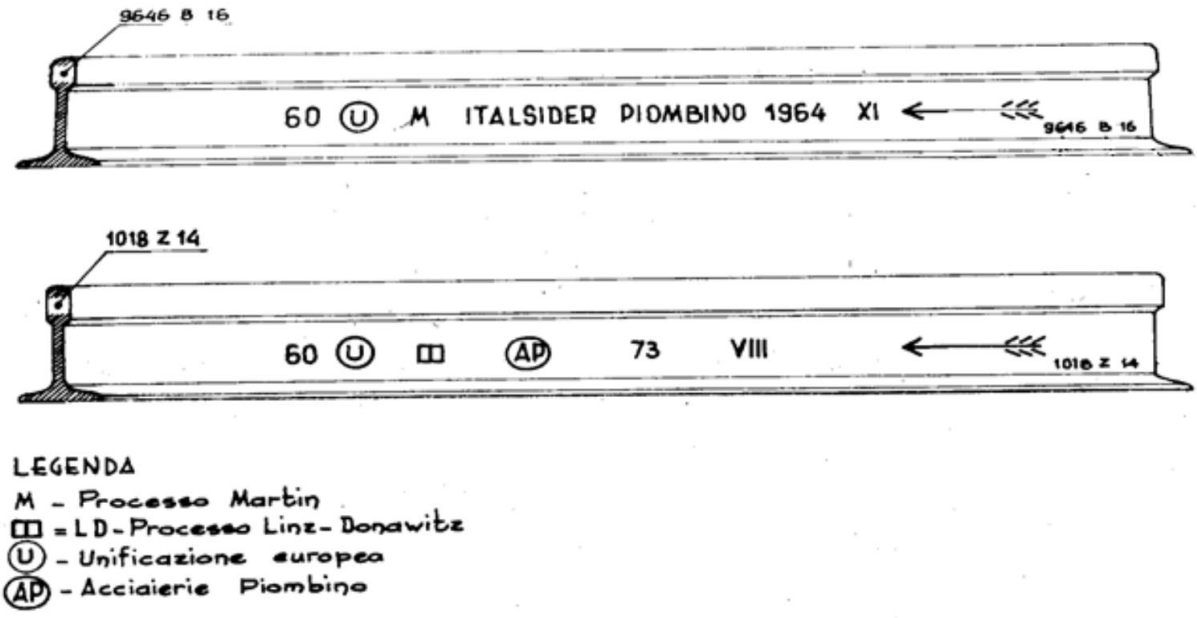


Figura 156: Designazione armamento [2]

7.2.8. Tipologia di traversoni

I "traversoni" sono le traverse utilizzate in corrispondenza dei deviatoi. Si differenziano dalle normali traverse per la loro dimensione: sono infatti più lunghe e atte ad accogliere le coppie di rotaie dei rami secondari uscenti, per cui sono provviste degli alloggiamenti per gli attacchi e le piastre. Si hanno essenzialmente due tipologie di traversoni, in uso sulla rete italiana:

- **Traversoni in legname**
- **Traversoni in c.a.v.p.**

I traversoni in c.a.v.p., come già esposto nel Capitolo 4, sono più duraturi e meno soggetti al degrado da attacco chimico, pertanto nell'algoritmo vedranno l'assegnazione di una minore importanza in termini di degrado rispetto a quelli in legno.

7.2.9. Avvisi

Gli "Avvisi" sono degli alert che vengo "aperti" (ossia associati) sulle sedi tecniche, al fine di evidenziare le criticità strutturali rilevate dagli ispettori alla manutenzione: sono pertanto dei parametri che non descrivono concretamente le caratteristiche delle componenti dei deviatoi (come per quelli precedentemente esposti), bensì forniscono uno "stato" che esse assumono in quanto danneggiate o prossime alla perdita di funzionalità. L'apertura di questi avvisi porta alla generazione degli "**Ordini di Lavoro O.d.L.**", che rappresentano nel sistema InRete2000 "l'elemento fondamentale per la raccolta di informazioni tecnico-economiche sugli interventi di manutenzione ordinaria (preventiva, correttiva, migliorativa) svolte da tutto il personale di RFI" [13]; il loro compito è quello di:

- Avere una "corretta rilevazione e rappresentazione delle risorse impiegate (umane, attrezzature, materiali, prestazioni di terzi, interruzioni e rallentamenti)"
- "Ricondurre tutti i costi rilevati per attività di manutenzione direttamente a oggetti di manutenzione e/o Centri di Costo".

Di seguito si riportano le tipologie di avvisi prese in conto dall'algoritmo:

- **"Avvisi I1 - Rapporto di Avaria"**. Si riferiscono allo scenario relativo al "guasto dell'infrastruttura", ovvero un danneggiamento tale da costringere il C.U.M., e quindi il Coordinatore Esercizio Infrastruttura C.E.I., a inibire la circolazione al di sopra del deviatoio o lungo una tratta di binario, o a imporre una riduzione di velocità. Sono pertanto gli avvisi

più restrittivi, e gli interventi di manutenzione devono essere eseguiti tempestivamente al fine di ripristinare il flusso veicolare.

- **"Avvisi S1 - Scambio in attenzione"**. Si riferiscono a deviatoi il cui stato, valutato tramite rilievi durante visita linea, sia tale da richiedere una "periodicità dimezzata per la successiva misurazione" [13].
- **"Avvisi S2 - Scambio in intervento"**. Si riferiscono a deviatoi il cui stato, valutato tramite rilievi dei parametri geometrici durante visita linea, sia tale da richiedere "interventi di manutenzione on condition (entro un tempo massimo pari al valore delle periodicità dimezzata della ciclica)" [13].
- **"Avvisi V5 - Manutenzione"**. Si riferiscono a deviatoi nei quali viene riscontrata la presenza di difetti interni o visivi delle rotaie.

Gli avvisi I1, S1, S2 vengono generati in seguito ai rilievi delle quote geometriche caratteristiche dell'A.d.B.; a tal proposito, si specifica che:

- Nel caso di quote tutte rientranti nel "Livello Ottimale", non verrà generato alcun avviso.
- Nel caso di "almeno una quota caratteristica nel Livello di Attenzione", verrà generato (per alcuni deviatoi) un avviso di scambio in attenzione S1.
- Nel caso di "almeno una quota caratteristica nel Livello di Intervento", verrà generato (per alcuni deviatoi) un avviso di manutenzione S2.
- Nel caso di "almeno una quota caratteristica in Livello comportante Vincolo all'esercizio", verrà generato un avviso di avaria I1.

La chiusura degli avvisi S1 ed S2 avverrà nel momento in cui gli interventi di manutenzione conseguenti avranno portato al ripristino delle soglie ammesse.

Avvisi di tipo I1, S1, S2 dovranno contenere al loro interno anche "la linea di appartenenza del deviatoio e tutte le informazioni circa il tipo di quote fuori soglia, il livello di qualità riscontrato (attenzione, intervento e vincoli) e la data di chiusura dell'avviso" [8].

In generale, a partire dallo scarico dati si considerano solo gli avvisi che sono stati "aperti" (ossia creati) successivamente alla data di posa del deviatoio.

7.3. Considerazioni tecniche sui dati utilizzati

I dati estrapolati, relativi alle sedi tecniche, presentano le seguenti caratteristiche:

- **Deviatoi appartenenti alla D.T.P. Piemontese**
- **Sedi tecniche**: nell'algoritmo per le priorità di intervento si considerano unicamente i deviatoi che rispondano alle seguenti caratteristiche su InRete2000:
    - "LO": vengono considerati unicamente gli A.d.B. compresi all'interno delle Località.
    - "Stato Utente": vengono considerati solo gli A.d.B. in stato "ESER", ossia in esercizio, e "FUES", vale a dire "fuori servizio" (solitamente su uno dei due rami, con circolazione consentita sull'altro).
    - "Stato Sistema": vengono considerati gli A.d.B. "CREA", vale a dire "creati" a sistema.
    - Appartenenza deviatoi a linee ordinarie.
- **Data di estrapolazione dei parametri**: l'analisi si riferisce a valori delle caratteristiche estrapolati in data 18/11/2020.
- **Avvisi**: vengono considerati unicamente gli avvisi "aperti" successivi alla data di posa del deviatoio e a partire dal 2010.
    - Avvisi S1 e S2: viene utilizzato per essi il dato relativo al "N° KO", estrapolabile dalle misurazioni L94 eseguite dalle Unità Manutentive.

7.4. Determinazione del modello previsionale

Ai fini della creazione del modello di previsione degli interventi manutentivi, si è fatto riferimento ad uno schema già sviluppato dalla sezione "Ricerca e Sviluppo" di RFI per la manutenzione dei binari, nonché ad un progetto avviato dalla D.T.P. Torino.

L'approccio condiviso e utilizzato fonda la propria logica sulla definizione di:

- "Parametri": sono quelli elencati nei precedenti paragrafi.
- "Ambiti": sono raggruppamenti di parametri tra di loro affini.

Tali "Ambiti" e "Parametri" vengono opportunamente combinati, previa indicizzazione dei valori da essi assunti, tramite pesi percentuali (rispettivamente P_A e P_P) assegnati in base alla loro importanza: questi, vista la loro incertezza, saranno affinati tramite l'"Analisi degli Scenari" presentata nel successivo capitolo.

La indicizzazione I per alcuni parametri è di tipo continuo lineare a tratti oppure di tipo discreto, entrambe con range di variabilità $[1; 5]$.

Viene qui di seguito riportata la suddivisione in "Ambiti", con i relativi "Parametri" concorrenti.

7.4.1. "Ambiti" e "Parametri"

7.4.1.1. Stato infrastruttura

Lo "Stato dell'infrastruttura" viene assunto come l'ambito di principale importanza ai fini della previsione degli interventi manutentivi. L'"Importanza", o peso percentuale, di questo ambito viene ipotizzata, in prima istanza, pari a $\boldsymbol{P_A = 35\%}$.

I "Parametri" concorrenti alla definizione di tale ambito sono i seguenti, dei quali viene inoltre riportata l'importanza relativa e la discretizzazione.

I. "Vetustà"

Viene stabilita una indicizzazione lineare dei valori assunti (ossia degli anni di esercizio), secondo la relazione:

$$\begin{cases} I_{Vet} = 1 + 0{,}1 \cdot Vet & se \quad Vet < 40 anni \\ I_{Vet} = 5 & se \quad Vet \geq 40 anni \end{cases}$$

Il "peso relativo" di questo parametro all'interno dell'ambito "Stato Infrastruttura" viene assunto, in prima istanza, pari a $\boldsymbol{P_P = 50\%}$.

II. "Tipologia di Armamento"

Viene stabilita una indicizzazione discreta della tipologia di rotaie, secondo la relazione:

$$\begin{cases} I_{Arm} = 1 & se \quad armamento \quad 60E1 \quad (60UIC) \\ I_{Arm} = 3 & se \quad armamento \quad 50E5 \quad (50UNI) \\ I_{Arm} = 5 & se \quad armamento \quad 46E4 \quad (46UNI) \end{cases}$$

Il "peso relativo" di questo parametro all'interno dell'ambito "Stato Infrastruttura" viene assunto, in prima istanza, pari a $\boldsymbol{P_P = 20\%}$.

III. "Tipologia di Traversoni"

Viene stabilita una indicizzazione discreta della tipologia di traversoni, secondo la relazione:

$$\begin{cases} I_{Trav} = 1 & se \quad traversone \quad in \quad c.a.v.p. \\ I_{Trav} = 5 & se \quad traversone \quad in \quad legno \end{cases}$$

Il "peso relativo" di questo parametro all'interno dell'ambito "Stato Infrastruttura" viene assunto, in prima istanza, pari a $\boldsymbol{P_P = 30\%}$.

7.4.1.2. Rilevanza del Percorso

La "Rilevanza del Percorso" viene intesa come l'ambito in cui far ricadere l'importanza intrinseca dell'itinerario dei convogli, o degli instradamenti di locomotori e mezzi d'opera, nelle località. L'"Importanza", o peso percentuale, di questo ambito viene ipotizzata, in prima istanza, $\boldsymbol{P_A = 15\%}$.

In questo ambito si è fatto ricadere il seguente parametro, del quale viene inoltre riportata l'importanza relativa e la discretizzazione.

I. "Tipologia del Binario"

Viene stabilita una indicizzazione della tipologia del binario, secondo la relazione:

$$\begin{cases} I_{Bin} = 1 & se \quad binario \quad "AF" \\ I_{Bin} = 3 & se \quad binario \quad "AB" \\ I_{Bin} = 5 & se \quad binario \quad "BC" \end{cases}$$

Il "peso relativo" di questo parametro all'interno dell'ambito "Rilevanza del Percorso" è pari a $\boldsymbol{P_P = 100\%}$, in quanto unico presente.

7.4.1.3. Stress dell'infrastruttura

Lo "Stress sull'Infrastruttura" viene assunto come l'ambito relativo ai parametri della dinamica di marcia che producono la nascita di stati tenso-deformativi all'interno dell'armamento e della sede, con dirette conseguenze sullo stato di degrado. L'"Importanza", o peso percentuale, di questo ambito viene ipotizzata, in prima istanza, pari a $\boldsymbol{P_A = 25\%}$.

I "Parametri" concorrenti alla definizione di tale ambito sono i seguenti, dei quali viene inoltre riportata l'importanza relativa e la discretizzazione.

I. "Velocità di corretto tracciato"

Viene stabilita una indicizzazione lineare dei valori assunti (ossia delle velocità), secondo la relazione:

$$\begin{cases} I_V = 1 + 0,016 \cdot V & se \quad V < 250 km/h \\ I_V = 5 & se \quad V \geq 250 km/h \end{cases}$$

Il "peso relativo" di questo parametro all'interno dell'ambito "Stato Infrastruttura" viene assunto, in prima istanza, pari al $\boldsymbol{P_P = 30\%}$.

II. "Velocità sul ramo deviato"

Viene stabilita una indicizzazione discreta della velocità, secondo la relazione:

$$\begin{cases} I_{V_{dev}} = 1 & se \quad V_{dev} = 30 km/h \\ I_{V_{dev}} = 5 & se \quad V_{dev} = 60 km/h \end{cases}$$

Il "peso relativo" di questo parametro all'interno dell'ambito "Stato Infrastruttura" viene assunto, in prima istanza, pari al $\boldsymbol{P_P = 15\%}$.

III. "Traffico sulla linea"

Viene stabilita una indicizzazione discreta del traffico linea, sulla base dei gruppi riportati precedentemente, secondo la relazione:

$$\begin{cases} I_{Traff} = 1 & se \quad N_{treni/gg} \leq 40 \\ I_{Traff} = 3 & se \quad 40 < N_{treni/gg} \leq 100 \\ I_{Traff} = 5 & se \quad N_{treni/gg} > 100 \end{cases}$$

Il "peso relativo" di questo parametro all'interno dell'ambito "Stato Infrastruttura" viene assunto, in prima istanza, pari al $\boldsymbol{P_P = 55\%}$.

7.4.1.4. Avvisi

Quello degli "Avvisi" viene assunto come l'ambito in cui far ricadere le informazioni sullo stato di operabilità e di usura dei deviatoi derivante dalle visite sulla linea e dalle segnalazioni eventuali degli operatori della circolazione. La presenza di uno o più avvisi aperti su un A.d.B. indica uno stato di degrado, o di progressione del medesimo, da valutarsi in base alla quantità e alla tipologia dei medesimi. L'"Importanza", o peso percentuale, di questo ambito viene ipotizzata, in prima istanza, pari a $\boldsymbol{P_A = 25\%}$.

A seguire, vengono riportati i "Parametri" (ossia la tipologia di avvisi) concorrenti alla definizione di tale ambito.

La discretizzazione del loro numero viene fatta sulla base di considerazioni di natura statistica: gli intervalli di variazione degli indici (siano essi discreti o continui) sono delimitati da un numero quantitativo dell'avviso. Questo rappresenta la quantità in cui una certa tipologia di avviso compare su singola sede tecnica: si è pertanto ricavato il numero di deviatoi ai quali sono associate queste quantità di avvisi, ricavando pertanto quale quantità sia più presente sulla totalità delle Sedi Tecniche deviatoio analizzate nella D.T.P. Piemonte. Questo modo di procedere consente di stabilire quale intervallo di quantità dell'avviso sia più riscontrabile, e pertanto a essa sarà associata una indicizzazione minore.

Tabella 13: Estratto di computo dei deviatoi a cui sono associate le quantità di avvisi riportate

N° Avvisi/KO su singola sede tecnica	I1	V5	ko avvisi S2	ko avvisi S1
0	2311	2347	2293	879
1	238	133	137	504
2	25	51	67	392
3	7	12	34	312
4	0	7	22	161
5	0	2	15	110

In Tabella 13 si può notare, a titolo di esempio, che sono presenti 2311 deviatoi a quali non è associato alcun avviso I1, 238 deviatoi ai quali è associato un singolo avviso I1, 25 deviatoi con due avvisi I1 e così via.

Il range considerato per la indicizzazione del numero di avvisi è pertanto compreso tra 0 e il massimo numero di avvisi, di una certa tipologia, presenti su una sede tecnica.

Per gli avvisi S1 e S2 il suddetto computo non viene effettuato come precedentemente esposto, bensì considerando il "N° di KO" associati ai medesimi avvisi. In seguito, verrà riportata una più dettagliata descrizione.

I. "Avvisi di Avaria – I1"

Viene stabilita una indicizzazione discreta del numero di avvisi presenti su singola sede tecnica. Nel caso degli avvisi I1, come si può anche notare in Tabella 1, vi possono essere al massimo 3 avvisi presenti: vista la esiguità di sedi tecniche su cui è presente più di un avviso, viene proposta la seguente discretizzazione

$$\begin{cases} I_{N_{I1}} = 1 & se \quad N_{I1} = 0 \\ I_{N_{I1}} = 5 & se \quad N_{I1} \geq 1 \end{cases}$$

Il "peso relativo" di questo parametro all'interno dell'ambito "Avvisi" viene assunto in prima istanza, data la potenza in termini di restrizioni imposte alla circolazione, pari a $\boldsymbol{P_P = 50\%}$.

II. "N° KO associati agli avvisi S2 – Scambio in intervento"

Per gli avvisi S2 viene conteggiato non il numero assoluto relativo alla sede tecnica, che risulterebbe essere privo di significato sostanziale (infatti, nella quasi totalità dei casi, un avviso di questa tipologia è presente in una singola unità oppure assente), bensì il numero di misure fuori tolleranza riscontrate durante la visita che ha portato all'apertura del medesimo avviso: questo viene denominato "KO", ossia difformità riscontrate, e la sua quantità ("N° KO") viene assunta come indicatrice del contenuto medesimo dell'avviso. In questo modo, l'avviso S2 risulterà avere una quantificazione, ed una discretizzazione, più ragionevole.

Viene stabilita una indicizzazione continua a tratti del N° KO, secondo la relazione:

$$\begin{cases} I_{N°KO_{S2}} = 1 + N°KO_{S2} & se \quad N°KO_{S2} < 3 \\ I_{N°KO_{S2}} = 4 + 0,5 \cdot (N°KO_{S2} - 3) & se \quad 3 \leq N°KO_{S2} < 5 \\ I_{N°KO_{S2}} = 5 & se \quad N°KO_{S2} \geq 5 \end{cases}$$

Il "peso relativo" di questo parametro all'interno dell'ambito "Avvisi" viene assunto, in prima istanza, pari a $\boldsymbol{P_P = 30\%}$.

III. "N° KO associati agli avvisi S1 – Scambio in attenzione"

Si fanno le medesime considerazioni enunciate per gli avvisi S2, riguardo al "N° KO".

Viene stabilita una indicizzazione continua a tratti del N° KO, secondo la relazione:

$$\begin{cases} I_{N°KO_{S1}} = 1 + N°KO_{S1} & se \quad N°KO_{S1} \le 1 \\ I_{N°KO_{S2}} = 2 + 0{,}333 \cdot (N°KO_{S1} - 1) & se \quad 1 < N°KO_{S1} \le 7 \\ I_{N°KO_{S2}} = 4 + 0{,}167 \cdot (N°KO_{S1} - 7) & se \quad 7 < N°KO_{S1} \le 13 \\ I_{N°KO_{S2}} = 5 & se \quad N°KO_{S1} > 13 \end{cases}$$

Il "peso relativo" di questo parametro all'interno dell'ambito "Avvisi" viene assunto, in prima istanza, pari a $\boldsymbol{P_P = 5\%}$.

IV. "Avvisi di Manutenzione – V5"

Viene stabilita una indicizzazione continua a tratti del numero di avvisi presenti su singola sede tecnica, secondo la relazione:

$$\begin{cases} I_{N_{V5}} = 1 + N_{V5} & se \quad N_{V5} \le 2 \\ I_{N_{V5}} = 3 + 0{,}333 \cdot (N_{V5} - 2) & se \quad 2 < N_{V5} \le 5 \\ I_{N_{V5}} = 4 + 0{,}2 \cdot (N_{V5} - 5) & se \quad 5 < N_{V5} \le 10 \\ I_{N_{V5}} = 5 & se \quad N_{V5} > 10 \end{cases}$$

Il "peso relativo" di questo parametro all'interno dell'ambito "Avvisi" viene assunto, in prima istanza, pari a $\boldsymbol{P_P = 15\%}$**.**

7.4.2. Algoritmo

L'algoritmo utilizzato ai fini della creazione del punteggio consiste nella sommatoria dei prodotti tra gli "Indici" dei parametri precedentemente esposti e il loro "Peso assoluto". Con peso assoluto si intende l'importanza percentuale che il singolo parametro assume rispetto alla totalità dei parametri, secondo la relazione:

$$P_{ass} = P_A \cdot P_P$$

Pertanto, in questa definizione rientrano siano il peso degli ambiti che il peso relativo dei parametri.

Si perviene così alla definizione dell'algoritmo utilizzato per la determinazione del punteggio di ogni singola sede tecnica deviatoio:

$$Punt_i = \sum_{n=1}^{11} I_n \cdot P_{ass,n}$$

in cui:

- "i": pedice indicante il singolo deviatoio.
- "n": pedice indicante il singolo parametro (sul totale di 11 parametri considerati).
- I_n: indicizzazione dell'n-esimo parametro.
- $P_{ass,i}$: peso assoluto dell'n-esimo parametro.

7.4.3. Redazione classifica priorità deviatoi

Ogni sede tecnica deviatoio viene ad essere classificata sulla base del punteggio ricavato come descritto nel paragrafo precedente.

Tabella 14: Estratto di classificazione priorità dei deviatoi DTP Piemonte

UT	Sede tecnica (5° livello)	Località/tratta	Descrizione Deviatoio/Intersezione	Punteggio	Priorità
TOM1	LO2932-BC-BC02-DEV-D09	TROFARELLO	DEVIAT.EL. 09B	4,155	1
TOM1	LO2862-BC-BC02-DEV-D03	TORINO SM. NORD	DEVIAT.EL 20 a	4,127	2
TOM1	LO2855-BC-BC01-DEV-D07	TORINO LINGOTTO	DEVIAT.EL. 22B	4,015	3
TOM1	LO2855-BC-BC02-DEV-D01	TORINO LINGOTTO	DEVIAT.EL. 28A	3,851	4
TOM1	LO2855-BC-BC03-DEV-D07	TORINO LINGOTTO	DEVIAT.EL. 20B	3,800	5
TOM1	LO2855-BC-BC01-DEV-D03	TORINO LINGOTTO	DEVIAT.EL. 28B	3,794	6
TOM3	LO0475-BC-BC06-DEV-D06	ASTI	DEVIAT.EL. 27	3,788	7
TOM1	LO2855-BC-BC03-DEV-D03	TORINO LINGOTTO	DEVIAT.EL. 30B	3,778	8
TOM2	LO1858-BC-BC01-DEV-D05	MORTARA	DEVIATOIO ELETTRICO 13 A	3,663	9
TOM1	LO2932-BC-BC04-DEV-D05	TROFARELLO	DEVIAT.EL. 05	3,649	10
TOM1	LO2932-BC-BC02-DEV-D04	TROFARELLO	DEVIAT.EL. 22B	3,647	11
TOM1	LO2932-BC-BC04-DEV-D06	TROFARELLO	DEVIAT.EL. 09A	3,647	11
TOM2	LO2928-BC-BC01-DEV-D02	TRINO VERCELLESE	DEVIATOIO ELETTRICO 2	3,634	13
TOM2	LO2647-BC-BC03-DEV-D04	SANTHIA'	DEVIATOIO A MANO 105 A	3,611	14
TOM1	LO2855-BC-BC01-DEV-D05	TORINO LINGOTTO	DEVIAT.EL. 01A	3,603	15
TOM1	LO2855-BC-BC01-DEV-D09	TORINO LINGOTTO	DEVIAT.EL. 04A	3,599	16
TOM3	LO0902-BC-BC01-DEV-D01	CARMAGNOLA	DEVIAT.EL. 14	3,598	17
TOM1	LO2855-BC-BC04-DEV-D03	TORINO LINGOTTO	DEVIAT.EL. 30A	3,587	18
TOM1	LO2862-BC-BC02-DEV-D02	TORINO SM. NORD	DEVIAT.EL. 2B + 1A	3,587	18
TOM2	LO0927-BC-BC01-DEV-D04	CASALE MONFERRATO	DEVIATOIO ELETTRICO 15 A	3,583	20
TOM3	LO0902-BC-BC01-DEV-D05	CARMAGNOLA	DEVIAT.EL. 12	3,581	21

In Tabella 14 si riporta un estratto di classificazione ottenuta. La “Priorità”, ossia la posizione in classifica, viene assegnata in base al punteggio assunto. In base alle discretizzazioni adottate, i deviatoi con punteggio maggiore risultano essere quelli con uno stato di degrado più avanzato, pertanto occuperanno le prime posizioni nella classifica delle priorità: essi necessitano dunque di interventi più repentini.

8. Analisi degli Scenari

La classifica delle priorità di intervento ottenuta alla fine del precedente capitolo si basa su una distribuzione di pesi, relativi agli "Ambiti" e ai "Parametri", mutuata sia dall'approccio utilizzato dalla Sezione "Ricerca e Sviluppo" sia da considerazioni puramente "tecniche", facenti parte della logica del manutentore esperto, condivise con i Tutor Aziendali.

Si pone ora il problema di verificare, ed eventualmente correggere, tale distribuzione di pesi.

L'approccio utilizzato è quello della "Analisi degli Scenari": tramite opportune variazioni dei pesi, si perviene alla definizione di nuove classifiche. Pertanto, un medesimo deviatoio, a seconda dello scenario analizzato, occuperà ogni volta una posizione non per forza identica. In questo modo è possibile intuire, tramite comparazione delle classifiche ottenute, quali "Ambiti" e "Parametri" siano più o meno impattanti sul punteggio finale delle sedi tecniche.

L'obiettivo principale è quello di affinare i pesi di ambiti e parametri ipotizzati nello scenario "Base", presentato nel capito precedente, in modo da ottenere un modello il più possibile prossimo alla realtà. Ogni scenario può essere riconducibile ad alcune categorie, che verranno qui di seguito esposte.

8.1. Creazione degli Scenari

Gli scenari sono stati generati tramite l'utilizzo del software Microsoft Excel 365, grazie all'opzione denominata "Gestione Scenari" inclusa nello strumento di previsione "Analisi di Simulazione".

8.1.1. Scenari di variazione degli “Ambiti”

In questa categoria rientrano quegli scenari in cui si è operata unicamente la variazione del peso degli ambiti. Essa viene considerata per un ambito alla volta, aumentando il valore di una quantità forfetaria del +5%: le altre quantità vengono variate in modo da mantenere la somma delle percentuali degli “Ambiti” pari a 100%. Si avranno pertanto i seguenti scenari:

- **Scenario “+STATO INFR.”**: per la sua definizione, si incrementa il peso dell’ambito “Stato Infrastruttura” (dal 35% al 40%), diminuendo quello della “Rilevanza del Percorso” (dal 15% al 10%).
- **Scenario “+RIL. PER.”**: per la sua definizione, si incrementa il peso dell’ambito “Rilevanza del Percorso” (dal 15% al 20%), diminuendo quello dello “Stato Infrastruttura” (dal 35% al 30%).
- **Scenario “+STRESS INFR.”**: per la sua definizione, si incrementa il peso dell’ambito “Stress Infrastruttura” (dal 25% al 30%), diminuendo quello della “Rilevanza del Percorso” (dal 15% al 10%).
- **Scenario “+AVVISI”**: per la sua definizione, si incrementa il peso dell’ambito “Avvisi” (dal 25% al 30%), diminuendo quello della “Rilevanza del Percorso” (dal 15% al 10%).

In Tabella 15 vengono riassunti gli scenari analizzati: in rosso sono indicate le singole quantità variate rispetto allo scenario “BASE”.

Tabella 15: Riepilogo scenari di variazione degli "Ambiti"

	Scenari analizzati				
	"BASE"	"+STATO INFR."	"+RIL.PER."	"+STRESS INFR."	"+AVVISI"
STA.INFR.	35%	40%	30%	35%	35%
RIL.PER.	15%	10%	20%	10%	10%
STR.INFR.	25%	25%	25%	30%	25%
AVV.	25%	25%	25%	25%	30%
vetust.	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%
arm.	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%
trav.	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
tip.bin.	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
vel.corr.tr.	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
vel.dev.	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%
traff.lin.	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%
I.1	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%
ko.S2	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
ko.S1	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
V.5	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%

8.1.2. Scenari di variazione dei "Parametri"

In questa categoria rientrano quegli scenari in cui si è operata unicamente la variazione del peso dei parametri. Essa viene considerata per un parametro alla volta, aumentando il valore di una quantità forfetaria del +5%: le altre quantità vengono variate in modo da mantenere la somma delle percentuali dei "Parametri", all'interno del relativo "Ambito", pari a 100%. Si avranno pertanto i seguenti scenari:

- **Scenario "+vet."**: per la sua definizione, si incrementa il peso del parametro "Vetustà" (dal 50% al 55%), diminuendo quello della "Tipologia Traverse" (dal 30% al 25%).
- **Scenario "+arm."**: per la sua definizione, si incrementa il peso del parametro "Tipologia Armamento" (dal 20% al 25%), diminuendo quello della "Vetustà" (dal 50% al 45%).
- **Scenario "+trav."**: per la sua definizione, si incrementa il peso del parametro "Tipologia di traversoni" (dal 30% al 35%), diminuendo quello della "Vetustà" (dal 50% al 45%).
- **Scenario "+vel.corr.tr."**: per la sua definizione, si incrementa il peso del parametro "Velocità di corretto tracciato" (dal 30% al 35%), diminuendo quello della "Velocità sul ramo deviato" (dal 15% al 10%).
- **Scenario "+vel.dev."**: per la sua definizione, si incrementa il peso del parametro "Velocità sul ramo deviato" (dal 15% al 20%), diminuendo quello del "Traffico linea" (dal 55% al 50%).
- **Scenario "+traff."**: per la sua definizione, si incrementa il peso del parametro "Traffico linea" (dal 55% al 60%), diminuendo quello della "Velocità sul ramo deviato" (dal 15% al 10%).
- **Scenario "+I1"**: per la sua definizione, si incrementa il peso del parametro "Avvisi I1" (dal 50% al 55%), diminuendo quello degli "Avvisi V5" (dal 15% al 10%).
- **Scenario "+ko.S2"**: per la sua definizione, si incrementa il peso del parametro "N° KO Avvisi S2" (dal 30% al 35%), diminuendo quello degli "Avvisi V5" (dal 15% al 10%).
- **Scenario "+ko.S1"**: per la sua definizione, si incrementa il peso del parametro "N° KO Avvisi S1" (dal 5% al 10%), diminuendo sia quello degli "Avvisi I1" (dal 50% al 47,5%) che quello del "N° KO Avvisi S2" (dal 30% al 27,5%).
- **Scenario "+V5"**: per la sua definizione, si incrementa il peso del parametro "Avvisi V5" (dal 15% al 20%), diminuendo sia quello degli "Avvisi I1" (dal 50% al 47,5%) che quello del "N° KO Avvisi S2" (dal 30% al 27,5%).

In Tabella 16 vengono riassunti gli scenari analizzati: in rosso sono indicate le singole quantità variate rispetto allo scenario "BASE".

Tabella 16: Riepilogo scenari di variazione dei "Parametri"

	Scenari analizzati										
	"BASE"	"+vet."	"+arm."	"+trav."	"+vel.corr.tr."	"+vel.dev."	"+traff."	"+I1"	"+ko.S2"	"+ko.S1"	"+V5"
STA.INFR	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
RIL.PER.	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
STR.INFR.	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
AVV.	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
vetust.	50,0%	55,0%	45,0%	45,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%
arm.	20,0%	20,0%	25,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%
trav.	30,0%	25,0%	30,0%	35,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
tip.bin.	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
vel.corr.tr.	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	35,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
vel.dev.	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	10,0%	20,0%	10,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%
traff.lin.	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%	50,0%	60,0%	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%
I.1	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	55,0%	50,0%	47,5%	47,5%
ko.S2	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	35,0%	27,5%	27,5%
ko.S1	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	10,0%	5,0%
V.5	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	10,0%	10,0%	15,0%	20,0%

8.1.3. Scenari di variazione simultanea di “Ambiti” e “Parametri”

In questa categoria rientrano quegli scenari in cui si è operata variazione contemporanea del peso di un ambito e di un parametro, aumentando i valori di una quantità forfetaria del +5%: le altre quantità vengono variate in modo da mantenere la somma delle percentuali degli “Ambiti”, e dei “Parametri” che concorrono alla definizione di essi, pari a 100%. Si avranno pertanto le seguenti tipologie di scenari:

8.1.3.1. Variazione del singolo ambito “Stato Infrastruttura” e di tutti i “Parametri”

In questa sottocategoria, viene operato l’incremento dell’ambito “Stato Infrastruttura” (dal 35% al 40%), diminuendo quello della “Rilevanza del Percorso” (dal 15% al 10%). Mantenendo fissa questa variazione, si procede quindi a creare degli scenari in cui, di volta in volta, si va ad incrementare uno dei “Parametri”, secondo la stessa metodologia già enunciata:

- **Scenario "+STATO INFR.+vet"**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Vetustà" (dal 50% al 55%), diminuendo quello della "Tipologia Traversoni" (dal 30% al 25%).
- **Scenario "+STATO INFR.+arm."**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Tipologia Armamento" (dal 20% al 25%), diminuendo quello della "Vetustà" (dal 50% al 45%).
- **Scenario "+STATO INFR.+trav."**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Tipologia di traversoni" (dal 30% al 35%), diminuendo quello della "Vetustà" (dal 50% al 45%).
- **Scenario "+STATO INFR.+vel.corr.tr."**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Velocità di corretto tracciato" (dal 30% al 35%), diminuendo quello della "Velocità sul ramo deviato" (dal 15% al 10%).
- **Scenario "+STATO INFR.+vel.dev."**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Velocità sul ramo deviato" (dal 15% al 20%), diminuendo quello del "Traffico linea" (dal 55% al 50%).
- **Scenario "+STATO INFR.+traff."**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Traffico linea" (dal 55% al 60%), diminuendo quello della "Velocità sul ramo deviato" (dal 15% al 10%).
- **Scenario "+STATO INFR.+I1"**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Avvisi I1" (dal 50% al 55%), diminuendo quello degli "Avvisi V5" (dal 15% al 10%).
- **Scenario "+STATO INFR.+ko.S2"**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "N° KO Avvisi S2" (dal 30% al 35%), diminuendo quello degli "Avvisi V5" (dal 15% al 10%).
- **Scenario "+STATO INFR.+ko.S1"**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "N° KO Avvisi S1" (dal 5% al 10%), diminuendo sia quello degli "Avvisi I1" (dal 50% al 47,5%) che quello del "N° KO Avvisi S2" (dal 30% al 27,5%).
- **Scenario "+STATO INFR.+V5"**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Avvisi V5" (dal 15% al 20%), diminuendo sia quello degli "Avvisi I1" (dal 50% al 47,5%) che quello del "N° KO Avvisi S2" (dal 30% al 27,5%).

In Tabella 17 vengono riassunti gli scenari analizzati: in rosso sono indicate le singole quantità variate rispetto allo scenario "BASE".

Tabella 17: Riepilogo scenari di variazione dell'ambito "Stato Infrastruttura" e dei "Parametri"

	Scenari analizzati										
	"BASE"	"+STA. +vet."	"+STA. +arm."	"+STA. +trav."	"+STA. +vel.corr.tr."	"+STA. +vel.dev."	"+STA. +traff."	"+STA. +I1"	"+STA. +ko.S2"	"+STA. +ko.S1"	"+STA. +V5"
STA.INFR	35%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
RIL.PER.	15%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
STR.INFR.	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
AVV.	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
vetust.	50,0%	55,0%	45,0%	45,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%
arm.	20,0%	20,0%	25,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%
trav.	30,0%	25,0%	30,0%	35,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
tip.bin.	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
vel.corr.tr.	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	35,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
vel.dev.	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	10,0%	20,0%	10,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%
traff.lin.	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%	50,0%	60,0%	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%
I.1	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	55,0%	50,0%	47,5%	47,5%
ko.S2	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	35,0%	27,5%	27,5%
ko.S1	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	10,0%	5,0%
V.5	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	10,0%	10,0%	15,0%	20,0%

8.1.3.2. Variazione del singolo ambito “Rilevanza del Percorso” e di tutti i “Parametri”

In questa sottocategoria, viene operato l’incremento dell’ambito “Rilevanza Percorso” (dal 15% al 20%), diminuendo quello dello “Stato Infrastruttura” (dal 35% al 30%). Mantenendo fissa questa variazione, si procede quindi a creare degli scenari in cui, di volta in volta, si va ad incrementare uno dei “Parametri”, secondo la stessa metodologia già enunciata:

- **Scenario “+RIL.PER.+vet”**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro “Vetustà” (dal 50% al 55%), diminuendo quello della “Tipologia Traversoni” (dal 30% al 25%).
- **Scenario “+RIL.PER.+arm.”**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro “Tipologia Armamento” (dal 20% al 25%), diminuendo quello della “Vetustà” (dal 50% al 45%).
- **Scenario “+RIL.PER.+trav.”**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro “Tipologia di traversoni” (dal 30% al 35%), diminuendo quello della “Vetustà” (dal 50% al 45%).

- **Scenario "+RIL.PER.+vel.corr.tr."**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Velocità di corretto tracciato" (dal 30% al 35%), diminuendo quello della "Velocità sul ramo deviato" (dal 15% al 10%).
- **Scenario "+RIL.PER.+vel.dev."**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Velocità sul ramo deviato" (dal 15% al 20%), diminuendo quello del "Traffico linea" (dal 55% al 50%).
- **Scenario "+RIL.PER.+traff."**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Traffico linea" (dal 55% al 60%), diminuendo quello della "Velocità sul ramo deviato" (dal 15% al 10%).
- **Scenario "+RIL.PER.+I1"**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Avvisi I1" (dal 50% al 55%), diminuendo quello degli "Avvisi V5" (dal 15% al 10%).
- **Scenario "+RIL.PER.+ko.S2"**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "N° KO Avvisi S2" (dal 30% al 35%), diminuendo quello degli "Avvisi V5" (dal 15% al 10%).
- **Scenario "+RIL.PER.+ko.S1"**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "N° KO Avvisi S1" (dal 5% al 10%), diminuendo sia quello degli "Avvisi I1" (dal 50% al 47,5%) che quello del "N° KO Avvisi S2" (dal 30% al 27,5%).
- **Scenario "+RIL.PER.+V5"**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Avvisi V5" (dal 15% al 20%), diminuendo sia quello degli "Avvisi I1" (dal 50% al 47,5%) che quello del "N° KO Avvisi S2" (dal 30% al 27,5%).

Tabella 18: Riepilogo scenari di variazione dell'ambito "Rilevanza del Percorso" e dei "Parametri"

	Scenari analizzati										
	BASE	"+R.PER. +vet."	"+R.PER. +arm."	"+R.PER. +trav."	"+R.PER. +vel.corr.tr."	"+R.PER. +vel.dev."	"+R.PER. +traff."	"+R.PER. +I1"	"+R.PER. +ko.S2"	"+R.PER. +ko.S1"	"+R.PER. +V5"
STA.INFR	35%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
RIL.PER.	15%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
STR.INFR.	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
AVV.	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
vetust.	50,0%	55,0%	45,0%	45,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%
arm.	20,0%	20,0%	25,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%
trav.	30,0%	25,0%	30,0%	35,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
tip.bin.	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
vel.corr.tr.	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	35,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
vel.dev.	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	10,0%	20,0%	10,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%
traff.lin.	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%	50,0%	60,0%	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%
I.1	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	55,0%	50,0%	47,5%	47,5%
ko.S2	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	35,0%	27,5%	27,5%
ko.S1	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	10,0%	5,0%
V.5	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	10,0%	10,0%	15,0%	20,0%

8.1.3.3. Variazione del singolo ambito “Stress Infrastruttura” e di tutti i “Parametri”

In questa sottocategoria, viene operato l’incremento dell’ambito “Stress Infrastruttura” (dal 25% al 30%), diminuendo quello della “Rilevanza del percorso” (dal 15% al 10%). Mantenendo fissa questa variazione, si procede quindi a creare degli scenari in cui, di volta in volta, si va ad incrementare uno dei “Parametri”, secondo la stessa metodologia già enunciata:

- **Scenario “+STRESS+vet”**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro “Vetustà” (dal 50% al 55%), diminuendo quello della “Tipologia Traversoni” (dal 30% al 25%).
- **Scenario “+STRESS+arm.”**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro “Tipologia Armamento” (dal 20% al 25%), diminuendo quello della “Vetustà” (dal 50% al 45%).
- **Scenario “+STRESS+trav.”**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro “Tipologia di traversoni” (dal 30% al 35%), diminuendo quello della “Vetustà” (dal 50% al 45%).
- **Scenario “+STRESS+vel.corr.tr.”**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro “Velocità di corretto tracciato” (dal 30% al 35%), diminuendo quello della “Velocità sul ramo deviato” (dal 15% al 10%).
- **Scenario “+STRESS+vel.dev.”**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro “Velocità sul ramo deviato” (dal 15% al 20%), diminuendo quello del “Traffico linea” (dal 55% al 50%).
- **Scenario “+STRESS+traff.”**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro “Traffico linea” (dal 55% al 60%), diminuendo quello della “Velocità sul ramo deviato” (dal 15% al 10%).
- **Scenario “+STRESS+I1”**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro “Avvisi I1” (dal 50% al 55%), diminuendo quello degli “Avvisi V5” (dal 15% al 10%).
- **Scenario “+STRESS+ko.S2”**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro “N° KO Avvisi S2” (dal 30% al 35%), diminuendo quello degli “Avvisi V5” (dal 15% al 10%).
- **Scenario “+STRESS+ko.S1”**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro “N° KO Avvisi S1” (dal 5% al 10%), diminuendo sia quello degli “Avvisi I1” (dal 50% al 47,5%) che quello del “N° KO Avvisi S2” (dal 30% al 27,5%).

- **Scenario "+STRESS+V5"**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Avvisi V5" (dal 15% al 20%), diminuendo sia quello degli "Avvisi I1" (dal 50% al 47,5%) che quello del "N° KO Avvisi S2" (dal 30% al 27,5%).

In Tabella 19 vengono riassunti gli scenari analizzati: in rosso sono indicate le singole quantità variate rispetto allo scenario "BASE".

Tabella 19: Riepilogo scenari di variazione dell'ambito "Stress Infrastruttura" e dei "Parametri"

	Scenari analizzati										
	"BASE"	"+STR. +vet."	"+STR. +arm."	"+STR. +trav."	"+STR. +vel.corr.tr."	"+STR. +vel.dev."	"+STR. +traff."	"+STR. +I1"	"+STR. +ko.S2"	"+STR. +ko.S1"	"+STR. +V5"
STA.INFR	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
RIL.PER.	15%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
STR.INFR.	25%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
AVV.	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
vetust.	50,0%	55,0%	45,0%	45,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%
arm.	20,0%	20,0%	25,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%
trav.	30,0%	25,0%	30,0%	35,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
tip.bin.	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
vel.corr.tr.	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	35,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
vel.dev.	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	10,0%	20,0%	10,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%
traff.lin.	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%	50,0%	60,0%	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%
I.1	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	55,0%	50,0%	47,5%	47,5%
ko.S2	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	35,0%	27,5%	27,5%
ko.S1	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	10,0%	5,0%
V.5	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	10,0%	10,0%	15,0%	20,0%

8.1.3.4. Variazione del singolo ambito "Avvisi" e di tutti i "Parametri"

In questa sottocategoria, viene operato l'incremento dell'ambito "Avvisi" (dal 25% al 30%), diminuendo quello della "Rilevanza del percorso" (dal 15% al 10%). Mantenendo fissa questa variazione, si procede quindi a creare degli scenari in cui, di volta in volta, si va ad incrementare uno dei "Parametri", secondo la stessa metodologia già enunciata:

- **Scenario "+AVVISI+vet"**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Vetustà" (dal 50% al 55%), diminuendo quello della "Tipologia Traversoni" (dal 30% al 25%).
- **Scenario "+AVVISI+arm."**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Tipologia Armamento" (dal 20% al 25%), diminuendo quello della "Vetustà" (dal 50% al 45%).

- **Scenario "+AVVISI+trav."**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Tipologia di traversoni" (dal 30% al 35%), diminuendo quello della "Vetustà" (dal 50% al 45%).
- **Scenario "+AVVISI+vel.corr.tr."**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Velocità di corretto tracciato" (dal 30% al 35%), diminuendo quello della "Velocità sul ramo deviato" (dal 15% al 10%).
- **Scenario "+AVVISI+vel.dev."**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Velocità sul ramo deviato" (dal 15% al 20%), diminuendo quello del "Traffico linea" (dal 55% al 50%).
- **Scenario "+AVVISI+traff."**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Traffico linea" (dal 55% al 60%), diminuendo quello della "Velocità sul ramo deviato" (dal 15% al 10%).
- **Scenario "+AVVISI+I1"**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Avvisi I1" (dal 50% al 55%), diminuendo quello degli "Avvisi V5" (dal 15% al 10%).
- **Scenario "+AVVISI+ko.S2"**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "N° KO Avvisi S2" (dal 30% al 35%), diminuendo quello degli "Avvisi V5" (dal 15% al 10%).
- **Scenario "+AVVISI+ko.S1"**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "N° KO Avvisi S1" (dal 5% al 10%), diminuendo sia quello degli "Avvisi I1" (dal 50% al 47,5%) che quello del "N° KO Avvisi S2" (dal 30% al 27,5%).
- **Scenario "+AVVISI+V5"**: per la sua definizione, si incrementa inoltre il peso del parametro "Avvisi V5" (dal 15% al 20%), diminuendo sia quello degli "Avvisi I1" (dal 50% al 47,5%) che quello del "N° KO Avvisi S2" (dal 30% al 27,5%).

In Tabella 20 vengono riassunti gli scenari analizzati: in rosso sono indicate le singole quantità variate rispetto allo scenario "BASE".

Tabella 20: Riepilogo scenari di variazione dell'ambito "Avvisi" e dei "Parametri"

	Scenari analizzati										
	"BASE"	"+AVV. +vet."	"+AVV. +arm."	"+AVV. +trav."	"+AVV. +vel.corr.tr."	"+AVV. +vel.dev."	"+AVV. +traff."	"+AVV. +I1"	"+AVV. +ko.S2"	"+AVV. +ko.S1"	"+AVV. +V5"
STA.INFR	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
RIL.PER.	15%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
STR.INFR.	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
AVV.	25%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
vetust.	50,0%	55,0%	45,0%	45,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%
arm.	20,0%	20,0%	25,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%
trav.	30,0%	25,0%	30,0%	35,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
tip.bin.	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
vel.corr.tr.	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	35,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
vel.dev.	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	10,0%	20,0%	10,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%
traff.lin.	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%	50,0%	60,0%	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%
I.1	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	55,0%	50,0%	47,5%	47,5%
ko.S2	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	35,0%	27,5%	27,5%
ko.S1	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	10,0%	5,0%
V.5	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	10,0%	10,0%	15,0%	20,0%

8.1.3.5. Variazione di singoli “Ambiti” e di più “Parametri”

In questa sottocategoria rientrano quegli scenari in cui si è operata variazione contemporanea del peso di un singolo ambito e di più parametri simultaneamente, aumentando i valori di una quantità forfetaria del +5%: le altre quantità vengono variate in modo da mantenere la somma delle percentuali degli “Ambiti”, e dei “Parametri” che concorrono alla definizione di essi, pari a 100%.

Vengono analizzati i seguenti due scenari

- **Scenario "+STATO +vet. +traff. +avvisi.I1"**: gli “Ambiti” e i “Parametri” in esso contenuti sono quelli che presentano, nello scenario “Base”, le percentuali maggiori: pertanto il seguente scenario è volto ad aumentare i valori più elevati. Per la sua definizione, si incrementa il peso dell’ambito “Stato Infrastruttura” (dal 35% al 40%), diminuendo quello della “Rilevanza del Percorso” (dal 15% al 10%). Inoltre, si incrementano le percentuali dei parametri che nello scenario base presentavano maggiore importanza:
  - “Vetustà”: incremento dal 50% al 55%, con riduzione simultanea del parametro “Tipologia Traversoni” dal 30% al 25%.
  - “Traffico linea”: incremento dal 55% al 60%, con riduzione simultanea del parametro “Velocità ramo deviato” dal 15% al 10%.
  - “Avvisi I1”: incremento dal 50% al 55%, con riduzione simultanea del parametro “Avvisi V5” dal 15% al 10%.

- **Scenario "+RIL.PER. +tip.arm. +vel.dev. +ko.S1"**:gli “Ambiti” e i “Parametri” in esso contenuti sono quelli che presentano, nello scenario “Base”, le percentuali minori: pertanto il seguente scenario è volto ad aumentare i valori più bassi. Per la sua definizione, si incrementa del +5% il peso dell’ambito “Rilevanza del percorso” (dal 15% al 20%), diminuendo quello della “Stato Infrastruttura” (dal 35% al 30%). Inoltre, si incrementano del +5% le percentuali dei parametri che nello scenario base presentavano minore importanza:
    - “Tipologia armamento”: incremento dal 20% al 25%, con riduzione simultanea del parametro “Vetustà” dal 50% al 45%.
    - “Velocità ramo deviato”: incremento dal 15% al 20%, con riduzione simultanea del parametro “Traffico linea” dal 55% al 50%.
    - “N° KO Avvisi S1”: incremento dal 5% al 10%, con riduzione simultanea dei parametri “Avvisi I1” dal 50% al 47,5% e “N° KO Avvisi S2” dal 30% al 27,5%.

In Tabella 21Tabella 21 vengono riassunti gli scenari analizzati: in rosso sono indicate le singole quantità variate rispetto allo scenario “BASE”.

Tabella 21: Riepilogo scenari di variazione dell'ambito "Avvisi" e dei "Parametri" di peso massimo e minimo nello scenario “Base”

	Scenari analizzati		
	"BASE"	"+STATO +vet. +traff. +avvisi.I1"	"+RIL.PER. +tip.arm. +vel.dev. +ko.S1"
STA.INFR	35%	40%	30%
RIL.PER.	15%	10%	20%
STR.INFR.	25%	25%	25%
AVV.	25%	25%	25%
vetust.	50,0%	55,0%	45,0%
arm.	20,0%	20,0%	25,0%
trav.	30,0%	25,0%	30,0%
tip.bin.	100,0%	100,0%	100,0%
vel.corr.tr.	30,0%	30,0%	30,0%
vel.dev.	15,0%	10,0%	20,0%
traff.lin.	55,0%	60,0%	50,0%
I.1	50,0%	55,0%	47,5%
ko.S2	30,0%	30,0%	27,5%
ko.S1	5,0%	5,0%	10,0%
V.5	15,0%	10,0%	15,0%

8.2. Impatto degli scenari sulle classifiche

Ogni nuovo scenario costruito tramite le distribuzioni precedentemente elencate produce effetti sul punteggio finale associato alle sedi tecniche, e pertanto una differente posizione in classifica delle medesime.

A tal proposito, essendo molto vasto l'insieme dei deviatoi analizzati nella DTP Piemonte, è stata condotta una analisi comparativa delle classifiche considerando i 61 scambi della stazione di Asti, in modo tale da avere un campione (significativo per numerosità, tipologia di deviatoi, binari e traversoni) sul quale osservare le variazioni di posizionamento in classifica delle singole sedi tecniche di 5° livello. La scelta di questa località è stata dettata da motivi logistici e di comodità del tesista e dei relatori, nell'ottica di sopralluoghi propedeutici allo svolgimento dell'elaborato e validazione dei risultati.

L' analisi comparativa è stata condotta secondo due approcci:

- Comparazione delle classifiche derivanti dai nuovi scenari con quella relativa allo scenario "Base", allo scopo di evidenziare l'importanza della variazione di "Ambiti" e "Parametri".
- Individuazione, nella totalità dei deviatoi analizzati, di eventuali "fasce di variabilità omogenea" in classifica, allo scopo di evidenziare quali deviatoi siano caratterizzati da posizioni in classifica maggiormente influenzabili dalle variazioni di "Ambiti" e "Parametri".

8.2.1. Comparazione delle classifiche derivanti dai nuovi scenari con quella relativa allo scenario "Base"

Questa analisi ha la finalità di osservare gli effetti che uno scenario comporta sulla relativa classificazione, rispetto a quella ottenuta dallo scenario "Base" (presa come riferimento comparativo per tutte le classifiche).

Viene conteggiato il numero di corrispondenze, in termini di posizione occupata dal medesimo deviatoio, tra la classifica "Base" e quelle successivamente create: in questo modo, si rende evidente l'importanza relativa che un "Ambito" o "Parametro" variato ha nei confronti della situazione ipotizzata in prima istanza. Di seguito vengono riportate tabelle riassuntive, in cui si evidenzia il numero di corrispondenze in classifica dei deviatoi tra lo scenario analizzato e lo scenario "Base".

Tabella 22: Numero corrispondenze con classifica base dei deviatoi rispetto scenari variazione "Ambiti"

	"+STATO"	"+RIL. PER."	"+STRESS INFR."	"+AVVISI"
N° corr. "Base"	50	57	37	54
%	82,0	93,4	60,7	88,5

Tabella 23: Numero corrispondenze con classifica base dei deviatoi rispetto scenari variazione "Parametri"

	"+vet."	"+arm."	"+trav."	"+vel.corr.tr."	"+vel.dev."	"+traff."	"+I1"	"+ko.S2"	"+ko.S1"	"+V5"
N° corr. "Base"	15	21	33	17	21	22	17	10	23	9
%	24,6	34,4	54,1	27,9	34,4	36,1	27,9	16,4	37,7	14,8

Tabella 24: Numero corrispondenze con classifica base dei deviatoi rispetto scenari variazione "Stato" e "Parametri"

	"+STA. +vet."	"+STA. +arm."	"+STA. +trav."	"+STA. +vel.corr.tr."	"+STA. +vel.dev."	"+STA. +traff."	"+STA. +I1"	"+STA. +ko.S2"	"+STA. +ko.S1"	"+STA. +V5"
N° corr. "Base"	52	54	50	53	50	50	50	51	52	53
%	85,2	88,5	82,0	86,9	82,0	82,0	82,0	83,6	85,2	86,9

Tabella 25: Numero corrispondenze con classifica base dei deviatoi rispetto scenari variazione "Ril. Percorso" e "Parametri"

	"+R.PER. +vet."	"+R.PER. +arm."	"+R.PER. +trav."	"+R.PER. +vel.corr.tr."	"+R.PER. +vel.dev."	"+R.PER. +traff.lin."	"+R.PER. +I1"	"+R.PER. +ko.S2"	"+R.PER. +ko.S1"	"+R.PER. +V5"
N° corr. "Base"	52	52	58	56	53	57	56	54	51	53
%	85,2	85,2	95,1	91,8	86,9	93,4	91,8	88,5	83,6	86,9

Tabella 26: Numero corrispondenze con classifica base dei deviatoi rispetto scenari variazione "Stress" e "Parametri"

	"+STR. +vet."	"+STR. +arm."	"+STR. +trav."	"+STR. +vel.corr.tr."	"+STR. +vel.dev."	"+STR. +traff.lin."	"+STR. +I1"	"+STR. +ko.S2"	"+STR. +ko.S1"	"+STR. +V5"
N° corr. "Base"	38	44	45	37	36	26	35	37	41	40
%	62,3	72,1	73,8	60,7	59,0	42,6	57,4	60,7	67,2	65,6

Tabella 27: Numero corrispondenze con classifica base dei deviatoi rispetto scenari variazione "Avvisi" e "Parametri"

	"+AVV. +vet."	"+AVV. +arm."	"+AVV. +trav."	"+AVV. +vel.corr.tr."	"+AVV. +vel.dev."	"+AVV. +traff."	"+AVV. +I1"	"+AVV. +ko.S2"	"+AVV. +ko.S1"	"+AVV. +V5"
N° corr. "Base"	46	53	54	51	56	49	54	53	50	50
%	75,4	86,9	88,5	83,6	91,8	80,3	88,5	86,9	82,0	82,0

Tabella 28: Numero corrispondenze con classifica base dei deviatoi rispetto scenari variazione singoli "Ambiti" e più "Parametri"

	"+STATO +vet.+traff. +avvisi.I1"	"+RIL.PER. +tip.arm.+vel.dev. +ko.S1"
N° corr. "Base"	50	50
%	82,0	82,0

Le difformità nelle classifiche mostrate nelle precedenti tabelle assumono diverse entità. Per una più chiara comprensione degli effetti dovuti all'incremento di "Ambiti" e "Parametri" coinvolti, si è proceduto a distinguere le nuove classifiche in base alla percentuale di corrispondenze, secondo quanto segue:

- **Scenari comportanti "Bassa difformità"**: per essi si ha 75% - 100% di deviatoi con medesima posizione in classifica.
- **Scenari comportanti "Medio-bassa difformità"**: per essi si ha 50% - 75% di deviatoi con medesima posizione in classifica.
- **Scenari comportanti "Medio-alta difformità"**: per essi si ha 25% - 50% di deviatoi con medesima posizione in classifica.
- **Scenari comportanti "Alta difformità"**: per essi si ha 0% - 25% di deviatoi con medesima posizione in classifica.

Si nota come su 56 scenari analizzati (in aggiunta a quello "Base"), 35 comportino "Bassa difformità", 11 comportino "Medio-bassa difformità", 7 comportino "Medio-alta difformità" e 3 "Alta difformità".

In Tabella 29 e Tabella 30 si riportano gli scenari che mostrano maggiore e minore percentuale di difformità: questa analisi consente di discernere tra “Ambiti” e “Parametri” “Caratterizzanti” e “Non caratterizzanti”, vale a dire quelli che comportano rispettivamente “alta” e “bassa” variabilità in classifica. Si hanno pertanto:

Tabella 29: "Ambiti" e "Parametri "Caratterizzanti"

Ambiti/Parametri “Caratterizzanti”	**% Conformità**
"+avvisi.V5"	14,8
"+ko.S2"	16,4
"+vet."	24,6
"+vel.corr.tr."	27,9
"+avvisi.I1"	27,9
"+arm."	34,4
"+vel.dev."	34,4
“+traff.lin.”	36,1
“+ko.S1”	37,7

Tabella 30: "Ambiti" e "Parametri" "Non caratterizzanti"

Ambiti/Parametri “Non caratterizzanti”	**% Conformità**
"+RIL.PER.+trav."	95,1
"+RIL.PER."	93,4
"+RIL.PER.+traff.lin."	93,4
"+RIL.PER.+vel.corr.tr."	91,8
"+RIL.PER.+avvisi.I1"	91,8
"+AVVISI+vel.dev."	91,8
"+AVVISI"	88,5
"+STATO+arm."	88,5
"+RIL.PER.+ko.S2"	88,5
"+AVVISI+trav."	88,5
"+AVVISI+avvisi.I1"	88,5
"+STATO+vel.corr.tr"	86,9
"+STATO+avvisi.V5"	86,9
"+RIL.PER.+vel.dev."	86,9
"+RIL.PER.+avvisi.V5"	86,9
"+AVVISI+arm."	86,9
"+AVVISI+ko.S2"	86,9

Una variazione, seppur contenuta, degli “Ambiti” e “Parametri” riportati in Tabella 29 porta alla definizione di “classifiche” assai diverse rispetto a quella “Base”, pertanto sono quelli che intrinsecamente manifestano maggiore importanza e incisività nell’algoritmo. Discorso opposto invece per gli “Ambiti” e “Parametri” riportati in Tabella 30.

8.2.2. Individuazione, nella totalità dei deviatoi analizzati, di eventuali “fasce di variabilità omogenea” nella classificazione

Questa analisi comparativa ha la finalità di osservare se, ordinando i deviatoi in base alla classifica “Base”, le posizioni in classifica date dagli altri scenari portino ad avere delle “fasce” di variabilità più o meno omogenee sulle 61 sedi tecniche considerate. Effettuando suddetta analisi, si sono individuate le seguenti variabilità, definite in base alle posizioni variate orizzontalmente (in corrispondenza delle altre classificazioni):

- **Variabilità in classifica “Bassa”**: variazioni tra 0%-25%.
- **Variabilità in classifica “Media”**: variazioni tra 25%-50%.
- **Variabilità in classifica “Medio-alta”**: variazioni tra 50%-75%.
- **Variabilità in classifica “Alta”**: variazioni tra 75%-100%.

Ogni deviatoio, ordinato rispetto alla classificazione dello scenario “Base”, sarà caratterizzato da un valore di “Variabilità in classifica”: leggendo questi ultimi verticalmente (ossia scorrendo le 61 sedi tecniche), è stato possibile suddividere le sedi tecniche in gruppi più o meno omogenei secondo tale parametro ricavando inoltre un valore di “Variabilità in classifica media”. Di seguito, si riportano i gruppi individuati:

1. **Gruppo Sedi Tecniche posizioni 1-8 in classifica scenario “Base”**

Tabella 31: Sedi Tecniche in posizione1-8 della classifica scenario “Base”

Sedi Tecniche	“Base”	"+STA."	"+RIL. PER."	"+STR."	"+AVV."	"+vet."	…	"+AVV. +V5"	"+STA. +vet. +traff. +I1"	"+RIL. PER. +arm. +vel.dev. +ko.S1"	Pos. Var.	[%]	Var. Media [%]
LO0475-BC-BC06-DEV-D06	1	1	1	1	1	1	…	1	1	1	0	0,0	
LO0475-BC-BC05-DEV-D03	2	2	2	2	2	2	…	2	2	2	8	14,3	
LO0475-BC-BC06-DEV-D05	3	3	4	3	4	3	…	4	3	4	35	62,5	
LO0475-BC-BC06-DEV-D02	4	4	3	4	3	4	…	3	4	3	27	48,2	
LO0475-BC-BC04-DEV-D02	5	5	6	5	6	5	…	5	5	5	14	25,0	33,7
LO0475-BC-BC04-DEV-D01	6	6	7	6	8	6	…	7	6	7	28	50,0	
LO0475-BC-BC04-DEV-D03	7	7	5	7	5	7	…	6	7	6	28	50,0	
LO0475-BC-BC05-DEV-D01	8	8	8	8	7	8	…	8	8	8	11	19,6	

Questi A.d.B. presentano una Variabilità Media del 33,7%, rientrante quindi in categoria di “Variabilità media” (25%-50%): pertanto, al variare dello scenario, queste prime 8 sedi

tecniche non mostrano significativi scostamenti nella loro posizione rispetto allo scenario "Base". In particolare, il deviatoio in posizione "Base" 1 non è caratterizzato da alcun mutamento di classifica al variare degli scenari.

2. Gruppo Sedi Tecniche posizioni 9-19 in classifica scenario "Base"

Tabella 32: Sedi Tecniche in posizione 9-19 della classifica scenario "Base"

Sedi Tecniche	"Base"	"+STA."	"+RIL. PER."	"+STR."	"+AVV."	"+vet."	…	"+AVV. +V5"	"+STA. +vet. +traff. +I1"	"+RIL. PER. +arm. +vel.dev. +ko.S1"	Pos. Var.	[%]	Var. Media [%]
LO0475-BC-BC05-DEV-DO4	9	9	12	14	10	9	…	10	10	9	32	57,1	
LO0475-BC-BC01-DEV-D09	10	12	9	9	11	10	…	11	12	10	40	71,4	
LO0475-BC-BC01-DEV-D08	11	13	10	10	12	11	…	12	13	11	40	71,4	
LO0475-BC-BC01-DEV-D06	12	14	11	11	13	12	…	13	14	12	40	71,4	
LO0475-BC-BC03-DEV-D07	13	11	16	17	14	13	…	14	11	14	50	89,3	
LO0475-BC-BC02-DEV-D04	14	15	13	13	15	14	…	15	15	13	46	82,1	**74,7**
LO0475-BC-BC02-DEV-D06	15	16	14	15	16	15	…	17	17	15	43	76,8	
LO0475-BC-BC02-DEV-D05	16	17	15	16	17	16	…	18	18	16	43	76,8	
LO0475-AB-AB08-DEV-D05	17	10	18	12	9	17	…	9	9	19	48	85,7	
LO0475-BC-BC05-DEV-I01	18	21	17	19	20	18	…	20	20	17	42	75,0	
LO0475-BC-BC06-DEV-D01	19	22	19	22	22	19	…	22	22	18	36	64,3	

Questi A.d.B. presentano una Variabilità Media del 74,7%, rientrante quindi in categoria di "Variabilità medio-alta" (50%-75%): pertanto, al variare dello scenario, queste 11 sedi tecniche mostrano marcati scostamenti nella loro posizione rispetto allo scenario "Base".

3. Gruppo Sedi Tecniche posizioni 20-51 in classifica scenario “Base”

Tabella 33: Sedi Tecniche in posizione 20-51 della classifica scenario “Base”

Sedi Tecniche	“Base”	"+STA."	"+RIL. PER."	"+STR."	"+AVV."	"+vet."	…	"+AVV. +V5"	"+STA. +vet. +traff. +I1"	"+RIL. PER. +arm. +vel.dev. +ko.S1"	Pos. Var.	[%]	Var. Media [%]
LO0475-AB-AB08-DEV-D02	20	18	27	18	19	20	…	19	16	27	48	85,7	
LO0475-AB-AB08-DEV-D01	21	20	25	20	18	21	…	16	21	24	45	80,4	
LO0475-AB-AB08-DEV-D03	22	19	29	21	21	22	…	21	19	26	49	87,5	
LO0475-BC-BC06-DEV-D04	23	24	22	24	26	23	…	25	24	21	51	91,1	
LO0475-BC-BC05-DEV-D02	24	26	20	25	24	25	…	24	26	25	47	83,9	
LO0475-BC-BC03-DEV-D08	25	25	23	23	28	24	…	26	25	20	45	80,4	
LO0475-BC-BC06-DEV-D03	26	27	24	27	27	26	…	28	27	23	44	78,6	
LO0475-BC-BC03-DEV-D06	27	37	21	29	25	27	…	27	28	22	44	78,6	
LO0475-AB-AB07-DEV-D01	28	23	33	26	23	30	…	23	23	32	49	87,5	
LO0475-BC-BC01-DEV-D04	29	39	26	28	30	28	…	31	38	28	45	80,4	
LO0475-BC-BC01-DEV-D07	30	40	28	30	31	29	…	30	39	29	40	71,4	
LO0475-BC-BC01-DEV-D03	31	41	30	31	40	31	…	40	41	30	39	69,6	
LO0475-AB-AB02-DEV-D02	32	36	38	32	29	34	…	29	37	38	42	75,0	
LO0475-BC-BC02-DEV-D02	33	43	31	33	41	32	…	41	42	31	38	67,9	
LO0475-BC-BC02-DEV-D03	34	48	32	34	43	33	…	43	43	33	37	66,1	
LO0475-BC-BC01-DEV-D02	35	50	34	43	49	35	…	49	49	35	44	78,6	
LO0475-BC-BC02-DEV-D01	36	51	35	44	48	36	…	46	50	34	48	85,7	**83,3**
LO0475-BC-BC01-DEV-D01	37	53	36	45	51	37	…	51	52	36	47	83,9	
LO0475-AF-AF01-DEV-D01	38	28	46	35	32	38		32	29	46	50	89,3	
LO0475-AF-AF01-DEV-D02	38	28	46	35	32	38		32	29	46	50	89,3	
LO0475-AF-AF02-DEV-D01	38	28	46	35	32	38		32	29	46	50	89,3	
LO0475-AF-AF03-DEV-D02	38	28	46	35	32	38		32	29	46	50	89,3	
LO0475-AF-AF03-DEV-D03	38	28	46	35	32	38		32	29	46	50	89,3	
LO0475-AF-AF06-DEV-D01	38	28	46	35	32	38		32	29	46	50	89,3	
LO0475-AF-AF11-DEV-D13	38	28	46	35	32	38		32	29	46	50	89,3	
LO0475-AF-AF07-DEV-D01	45	35	54	42	39	45		39	36	53	51	91,1	
LO0475-BC-BC01-DEV-D10	46	56	37	48	53	46		52	54	37	51	91,1	
LO0475-AB-AB02-DEV-D01	47	42	40	47	44	47		44	44	40	46	82,1	
LO0475-AB-AB04-DEV-D01	48	44	41	49	45	49		45	45	41	48	85,7	
LO0475-AB-AB07-DEV-D03	49	46	42	50	46	50		47	46	42	47	83,9	
LO0475-AB-AB07-DEV-D02	50	47	43	51	47	51		48	48	43	47	83,9	
LO0475-AF-AF02-DEV-D02	51	38	55	46	42	48		42	40	55	51	91,1	

Questi A.d.B. presentano una Variabilità Media del 83,3%, rientrante quindi in categoria di "Variabilità alta" (75%-100%): pertanto, al variare dello scenario, queste 32 sedi tecniche mostrano scostamenti assai significativi nella loro posizione rispetto allo scenario "Base".

4. Gruppo Sedi Tecniche posizioni 52-57 in classifica scenario "Base"

Tabella 34: Sedi Tecniche in posizione 53-57 della classifica scenario "Base"

Sedi Tecniche	"Base"	"+STA."	"+RIL. PER."	"+STR."	"+AVV."	"+vet."	…	"+AVV. +V5"	"+STA. +vet. +traff. +I1"	"+RIL. PER. +arm. +vel.dev. +ko.S1"	Pos. Var.	[%]	Var. Media [%]
LO0475-AB-AB04-DEV-D02	52	49	44	52	50	52	…	50	51	44	36	64,3	72
LO0475-BC-BC03-DEV-D05	53	57	39	54	57	53	…	57	57	39	48	85,7	
LO0475-AF-AF07-DEV-D05	54	45	56	53	52	54	…	53	47	56	48	85,7	
LO0475-AF-AF07-DEV-D02	55	52	57	55	54	55	…	54	53	59	38	67,9	
LO0475-AF-AF07-DEV-D03	56	54	58	56	55	57	…	55	55	57	36	64,3	
LO0475-AF-AF07-DEV-D04	56	54	58	56	55	57	…	55	55	57	36	64,3	

Questi A.d.B. presentano una Variabilità Media del 72%, rientrante quindi in categoria di "Variabilità medio-alta" (50%-75%): pertanto, al variare dello scenario, queste 6 sedi tecniche mostrano marcati scostamenti nella loro posizione rispetto allo scenario "Base". In particolare, i deviatoi in posizione 53 e 54 mostrano scostamenti propri della fascia di variabilità massima.

5. Gruppo Sedi Tecniche posizioni 58-61 in classifica scenario "Base"

Tabella 35: Sedi Tecniche in posizione 58-61 della classifica scenario "Base"

Sedi Tecniche	"Base"	"+STA."	"+RIL. PER."	"+STR."	"+AVV."	"+vet."	…	"+AVV. +V5"	"+STA. +vet. +traff. +I1"	"+RIL. PER. +arm. +vel.dev. +ko.S1"	Pos. Var.	[%]	Var. Media [%]
LO0475-BC-BC03-DEV-D09	58	59	45	58	58	58	…	58	59	45	28	50,0	41,1
LO0475-BC-BC03-DEV-D10	59	60	53	59	59	59	…	59	60	54	26	46,4	
LO0475-AF-AF03-DEV-D01	60	58	61	60	60	60	…	60	58	61	26	46,4	
LO0475-AB-AB08-DEV-D06	61	61	60	61	61	61		61	61	60	12	21,4	

Questi A.d.B. presentano una Variabilità Media del 41,1%, rientrante quindi in categoria di "Variabilità media" (25%-50%): pertanto, al variare dello scenario, queste ultime 4 sedi

tecniche non mostrano significativi scostamenti nella loro posizione rispetto allo scenario “Base”. In particolare, il deviatoio in posizione 61 è caratterizzato da mutamenti propri della fascia di “Variabilità bassa”.

8.2.3. Considerazioni

Si può notare come i deviatoi di estremità della classifica “Base” siano quelli meno soggetti a variazioni di classifica: infatti la fascia superiore e quella inferiore sono a variabilità media, con le sedi tecniche LO0475-BC-BC06-DEV-D06 (deviatoio elettrico 7B) e LO0475-AF-AF07-DEV-D04 (deviatoio elettrico 36B), rispettivamente in prima e ultima posizione, presentanti variabilità propria della fascia bassa. Pertanto, la variazione dei parametri di input dell’analisi di sensitività produce variazioni trascurabili o non marcate della posizione.

Via via che si raggiuge il centro della classifica «BASE», le variazioni divengono considerevoli: specialmente la fascia delle posizioni 20-51 è quella presentante la maggiore variabilità.

9. Validazione dei risultati ottenuti

Si pone ora il problema di affinare il sistema di assegnazione delle priorità, ossia di trovare una combinazione di pesi, tra le 56 esplorate nella analisi degli scenari, che meglio rappresenti la realtà fattuale dello stato manutentivo dei deviatoi.

9.1. Sopralluogo sugli A.d.B. in "Località" Asti

Si è deciso di procedere tramite comparazione dei risultati derivanti dalle analisi di scenario con quelli ottenuti tramite sopralluogo: il 18/02/2021 è stata infatti effettuata una vista a piedi nella stazione di Asti, con lo scopo di valutare lo stato di efficienza di alcuni deviatoi selezionati dai 61 presenti all'interno della medesima Località.

Sono stati scelti 10 A.d.B. in modo casuale, previa scrematura secondo i seguenti due criteri:

1. Appartenenza a tutte le fasce di variabilità evidenziate al Paragrafo 8.2.2, in numero proporzionale all'ampiezza delle medesime.
2. Insistenza su binari di tipologia "AB" e "BC", in quanto più significativi.

Applicando queste condizioni sono stati selezionati i seguenti A.d.B., qui di seguito elencati secondo la loro classificazione data dallo scenario "Base":

Tabella 36: A.d.B. selezionati per la visita ispettiva a piedi in "Località" Asti (elencati secondo la classifica dello scenario "Base")

Class. "Base"	Tip. Binario	Sede Tecnica	Nome Deviatoio	Sigla deviatoio	Traverse	Data posa	Piano schematico
1	BC	LO0475-BC-BC06-DEV-D06	DEVIAT.EL. 27	S 46/245/0,10	legno	07/12/1984	ingresso lato acqui
3	BC	LO0475-BC-BC06-DEV-D05	DEVIAT.MANO SEMPLICE 103 A	S 46/245/0,10	legno	01/03/1962	ingresso lato acqui
15	BC	LO0475-BC-BC01-DEV-D06	DEVIAT.EL.31/B in opera 28.01.01 ditta	S 60 UNI/250/0,092	legno	28/10/2001	dispari GE
18	BC	LO0475-BC-BC06-DEV-D04	DEVIAT.EL. 28a posato il 23.08.2001 c.m.	S 60 UNI/170/0,12	legno	23/08/2001	ingresso lato acqui
37	BC	LO0475-BC-BC01-DEV-D04	DEVIAT.EL. 4 B	S 60 UNI/250/0,092	cemento	09/05/2004	com. dispari I lato TO
51	AB	LO0475-AB-AB04-DEV-D01	DEVIAT.EL. 28 B + 29 A	S.I. 60 UNI/170/0,12 dp	legno	30/07/2003	ingresso lato acqui
54	AB	LO0475-AB-AB07-DEV-D02	0DEVIAT.EL. 21	S 60 UNI/170/0,12	legno	23/09/2002	uscita VIII lato Acqui
57	AB	LO0475-AB-AB04-DEV-D02	DEVIAT.EL. 23	S 60 UNI/250/0,092	legno	27/11/2005	ingresso V lato AL
61	AB	LO0475-AB-AB08-DEV-D06	DEVIAT.EL. 36 B	S 60 UNI/250/0,092	cemento	01/03/2020	enologico lato AL
59	BC	LO0475-BC-BC03-DEV-D10	DEVIAT.EL. 36 A	S 60 UNI/250/0,092	cemento	01/03/2020	1° bin lato casale

Al fine di ottenere una valutazione oggettiva, seppur non approfondita al livello dell'ispettore incaricato delle specifiche visite linea e diagnostiche, si è stabilito di basare la medesima su giudizi assegnati in base seguenti parametri (le percentuali, qualitative, sono state attribuite consultando i tecnici di scorta durante il sopralluogo):

- **"Numero traversoni con principio di usura [%]"**: consiste nel conteggio dei traversoni presentanti fessurazioni, riportato come percentuale sul numero totale di appoggi costituenti la medesima tipologia di deviatoio (ricavati da schemi di posa tipo, riportati in Tabella 24).

Tabella 37: Tipologie Deviatoi più comuni e relativo numero di traversoni

Tipologia Deviatoio/Intersezione	N° Traversoni
S 60 UNI/400/0,074	65
S.I. 60 UNI/170/0,12 dp	50
S 60 UNI/250/0,092	51
S 60 UNI/250/0,12	50
S 60 UNI/400/0,094	63
S 60 UNI/1200/0,040	123
I.60UNI/0,12	50
S.60UNI/170/0,12	42
S 46/245/0,10	51
S 50 UNI/170/0,12	44
S 60 UNI/170/0,12	44

  Inoltre, viene fissato, come riferimento discriminante un deviatoio in condizione "accettabile" da uno richiedente intervento, la soglia del 20% massimo di "appoggi con ridotta tenuta, purché omogeneamente distribuiti nel tratto del binario esaminato e non consecutivi" [7].
- **"Livello qualitativo di consumo del cuore e della punta [%]"**: parametro indicante la qualità di marcia sullo spazio nocivo. I segni di usura devono tendenzialmente presentarsi a non meno di 10 cm a partire dalla punta del cuore; in caso contrario, vi è contatto ruota-rotaia verso il centro dello spazio non guidato.
- **"Livello qualitativo di tenuta degli attacchi [%]"**: in questo parametro si valuta a grandi linee la tenuta degli attacchi tra rotaia e traversa.
- **"Livello qualitativo di consumo degli aghi [%]"**: parametro indicante la possibile irregolarità del profilo degli aghi del deviatoio.
- **"Tipologia di binario"**: viene utilizzato per l'assegnazione di una importanza intrinseca del deviatoio, in base alla sua insistenza su binari più o meno trafficati in "Località".

La visita ai deviatoi riportati in Tabella 36 è stata condotta partendo dall'estremità della "Località" Asti lato Torino, procedendo verso l'estremità lato Alessandria-Acqui Terme; qui di seguito si riportano in Tabella 38 le valutazioni e il giudizio maturato su ognuno di essi:

Tabella 38: Report qualitativo della visita agli A.d.B. selezionati

Sede Tecnica	Nome Deviatoio	Traversoni con principio usura [%]	Livello qualitativo consumo cuore [%]	Livello qualitativo attacchi [%]	Livello qualitativo consumo aghi [%]	Tipologia Binario	Giudizio
LO0475-BC-BC01-DEV-D04	DEVIAT.EL. 4 B	30	0	0	10	BC	Alta classifica
LO0475-AB-AB07-DEV-D02	DEVIAT.EL. 21	18	0	0	0	AB	Bassa classifica
LO0475-AB-AB04-DEV-D02	DEVIAT.EL. 23	18	0	0	0	AB	Bassa classifica
LO0475-BC-BC06-DEV-D04	DEVIAT.EL. 28a posato il 23.08.2001 c.m.	20	20	0	0	BC	Medio-alta classifica
LO0475-AB-AB04-DEV-D01	DEVIAT.EL. 28 B + 29 A	26	0	0	0	AB	Medio-alta classifica
LO0475-BC-BC06-DEV-D05	DEVIAT.MANO SEMPLICE 103 A	27	0	0	0	BC	Medio-alta classifica
LO0475-BC-BC06-DEV-D06	DEVIAT.EL. 27	39	10	0	50	BC	Alta classifica
LO0475-BC-BC01-DEV-D06	DEVIAT.EL.31/B in opera 28.01.01 ditta	29	0	0	30	BC	Alta classifica
LO0475-AB-AB08-DEV-D06	DEVIAT.EL. 36 B	0	0	0	0	AB	Bassa classifica
LO0475-BC-BC03-DEV-D10	DEVIAT.EL. 36 A	0	0	0	0	BC	Bassa classifica

Si nota come molti dei parametri rilevati rappresentino una situazione ottimale, sintomo della costante sorveglianza e delle continue lavorazioni operate da RFI, atte a correggere le eventuali difettosità. A partire dai giudizi qualitativi maturati, si è costruita la seguente "classificazione in situ":

Tabella 39: Classificazione "in situ" degli A.d.B. selezionati

Sede Tecnica	Nome Deviatoio	Posizione classifica Situ
LO0475-BC-BC06-DEV-D06	DEVIAT.EL. 27	1
LO0475-BC-BC01-DEV-D06	DEVIAT.EL.31/B in opera 28.01.01 ditta	2
LO0475-BC-BC06-DEV-D05	DEVIAT.MANO SEMPLICE 103 A	3
LO0475-BC-BC01-DEV-D04	DEVIAT.EL. 4 B	4
LO0475-AB-AB04-DEV-D01	DEVIAT.EL. 28 B + 29 A	5
LO0475-BC-BC06-DEV-D04	DEVIAT.EL. 28a posato il 23.08.2001 c.m.	6
LO0475-AB-AB07-DEV-D02	DEVIAT.EL. 21	7
LO0475-AB-AB04-DEV-D02	DEVIAT.EL. 23	8
LO0475-BC-BC03-DEV-D10	DEVIAT.EL. 36 A	9
LO0475-AB-AB08-DEV-D06	DEVIAT.EL. 36 B	10

9.2. Comparazione della classifica “in situ” con quelle derivanti dalla analisi degli scenari

Con questa operazione si intende ricercare quale degli scenari elaborati produca una classificazione, relativamente ai 10 A.d.B. oggetto dell’analisi di approfondimento, comparabile a quella qualitativa redatta “in situ”.

Analizzando la classifica “in situ” e comparandola con tutte le “classificazioni relative” derivanti dagli scenari è possibile osservare che i deviatoi 27 (pos. rel. situ “1”), 21 (pos. rel. situ “7”), 23 (pos. rel. situ “8”), 36A (pos. rel. situ “9”), 36B (pos. rel. situ “10”) mantengono sempre la medesima posizione relativa. Rimane pertanto un gruppo di 5 deviatoi più “centrali” in classifica: per questi, si è quindi cercato lo scenario cui corrispondesse una situazione di maggiore corrispondenza nei confronti della classificazione qualitativa.

Come risultato si è pervenuti alla considerazione dello scenario **“+STRESS+vet.”**, nel quale si hanno le seguenti modifiche rispetto allo scenario “Base”:

- Peso percentuale dell’ambito “Stress sull’infrastruttura” incrementato dal 25% al 30%, diminuendo quello della “Rilevanza del percorso” (dal 15% al 10%).
- Peso percentuale del parametro “vetustà” incrementato dal 50% al 55%, diminuendo quello della “Tipologia Traversoni” (dal 30% al 25%).

In tabella, viene riportata la comparazione tra le due classifiche:

Tabella 40: Comparazione tra classifica “in situ” e classifica derivante da scenario “+STRESS+vet.”

Tipologia Binario	Se. Te.	Nome	Trav.	Posa	Classifica “situ”	Classifica "+STRESS +vet."	Scostamenti classifica (val. ass.)
BC	LO0475-BC-BC06-DEV-D06	DEVIAT.EL. 27	LEGNO	07/12/1984	1	1	0
BC	LO0475-BC-BC01-DEV-D06	DEVIAT.EL.31/B in opera 28.01.01 ditta	LEGNO	28/10/2001	2	3	1
BC	LO0475-BC-BC06-DEV-D05	DEVIAT.MANO SEMPLICE 103 A	LEGNO	01/03/1962	3	2	1
BC	LO0475-BC-BC01-DEV-D04	DEVIAT.EL. 4 B	CEMENTO	09/05/2004	4	4	0
AB	LO0475-AB-AB04-DEV-D01	DEVIAT.EL. 28 B + 29 A	LEGNO	30/07/2003	5	6	1
BC	LO0475-BC-BC06-DEV-D04	DEVIAT.EL. 28a posato il 23.08.2001 c.m.	LEGNO	23/08/2001	6	5	1
AB	LO0475-AB-AB07-DEV-D02	0DEVIAT.EL. 21	LEGNO	23/09/2002	7	7	0
AB	LO0475-AB-AB04-DEV-D02	DEVIAT.EL. 23	LEGNO	27/11/2005	8	8	0
BC	LO0475-BC-BC03-DEV-D10	DEVIAT.EL. 36 A	CEMENTO	01/03/2020	9	9	0
AB	LO0475-AB-AB08-DEV-D06	DEVIAT.EL. 36 B	CEMENTO	01/03/2020	10	10	0

Si nota come gli scostamenti in classifica siano nulli per i deviatoi precedentemente elencati (vale a dire in corrispondenza delle estremità), mentre siano assai contenuti per gli altri 5 deviatoi nella fascia centrale. Inoltre, il deviatoio 4B ricade nella esatta posizione riportata "in situ", pertanto essendo uno scambio rilevante (poiché posto su un binario di tipologia BC con traffico circolante elevato) lo scenario selezionato mostra di essere quello più adeguato: infatti conferisce ad esso una importanza maggiore rispetto agli altri scenari analizzati.

L'utilizzo di questo specifico scenario, ai fini della realizzazione della classifica delle priorità manutentive, risulta in conclusione appropriato: infatti, considerando che il deviatoio elettrico 4B aumenta verso l'alto la sua posizione nella classifica relativa dei 10 selezionati così come in quella complessiva, vede l'assegnazione indiretta di maggiore importanza ai seguenti parametri legati all'ambito "Stress Infrastruttura" (oltre alla vetustà già citata):

- "Velocità sul corretto tracciato"
- "Velocità sul ramo deviato"
- "Traffico sulla linea"

In sostanza, un deviatoio in c.a.v.p. (di "importanza" minore rispetto a uno in legname) sarà maggiormente valorizzato considerando gli effetti dell'usura data dalla dinamica e dalla entità del carico da traffico veicolare, cosa che non accadrebbe nello scenario "Base". Discorso simile può essere fatto relativamente all'ambito "Rilevanza del Percorso", che diminuisce del 5%: infatti una minore importanza assegnata alla tipologia del binario consente di focalizzarsi meno sulla distinzione degli itinerari previsti nelle "Località", privilegiando ad esempio il traffico circolante.

In Tabella 41 (pagina successiva) viene riportata uno schema riassuntivo di "Ambiti", "Parametri", pesi, valori e discretizzazioni utilizzate nell'algoritmo sviluppato, considerando lo scenario "+STRESS+vet."

Tabella 41: Schema riassuntivo di "Ambiti", "Parametri", "Pesi", "Valori" e "Discretizzazioni" utilizzati nel modello

AMBITI		PARAMETRI													
Descrizione	Peso	Descrizione	Peso		Valori										Peso Finale
Stato Infrastruttura	35%	Vetustà	55,0%	Intervallo reale [anni]	0	10	20	30	40						19,25%
				Discretizzazione	1	2	3	4	5						
		Tipologia Armamento	20,0%	Intervallo reale [-]	60			50					46 et al.		7,00%
				Discretizzazione	1			3					5		
		Tipologia Traverse	25,0%	Intervallo reale [-]	CEMENTO								LEGNO		8,75%
				Discretizzazione	1								5		
Rilevanza Percorso	10%	Tipologia Binario	100,0%	Intervallo reale	AF			AB					BC		10,00%
				Discretizzazione	1			3					5		
Stress Infrastruttura	30%	Velocità Corretto Tracciato	30,0%	Intervallo reale [km/h]	0	80	80	120	120	200	200	250	250		9,00%
				Discretizzazione	1		2		3		4		5		
		Velocità in Deviata	15,0%	Intervallo reale [km/h]	30								60		4,50%
				Discretizzazione	1								5		
		Traffico Linea	55,0%	Intervallo reale [treni/gg]	<=40 treni/g			40<Ntreni<=100 treni/g					>100 treni/g		16,50%
				Discretizzazione	1			3					5		
Avvisi	25%	Avvisi Avaria "I1"	50,0%	Intervallo reale [-]	0								1		12,50%
				Discretizzazione	1								5		
		KO Avvisi "S2"	30,0%	Intervallo reale [-]	0	1	1	2	2	3	3	5	5		7,50%
				Discretizzazione	1		2		3		4		5		
		KO Avvisi "S1"	5,0%	Intervallo reale [-]	0	1	1	4	4	7	7	13	13		1,25%
				Discretizzazione	1		2		3		4		5		
		Avvisi "V5"	15,0%	Intervallo reale [-]	0	1	1	2	2	5	5	10	10		3,75%
				Discretizzazione	1		2		3		4		5		

10. Conclusioni

10.1. Considerazioni finali

L'intero lavoro di tesi è stato svolto grazie alla piena collaborazione con la DTP Torino di RFI, con la quale è stato possibile avere un preziosissimo supporto in termini di materiali, valutazioni, consigli teorici e pratici legati alla realtà aziendale e del "manutentore": questo approccio ha reso possibile lo sviluppo dell'algoritmo oggetto dell'elaborato, il quale compendia in maniera equa il punto di vista ingegneristico-progettuale con quello più pratico del gestore dell'infrastruttura.

Gli interventi di manutenzione si basano su precise indicazioni da parte delle DTP, chiamate a svolgere il ruolo di coordinamento tra le U.M. e le squadre che effettuano gli interventi, nonché la gestione delle risorse umane ed economiche. L'algoritmo sviluppato si inserisce nel contesto di cercare di compendiare i due aspetti principali relativi alla gestione delle risorse: la conoscenza dello stato dell'infrastruttura a livello locale e il coordinamento di uomini, mezzi, capitali a livello direttivo. Pertanto, nella calibrazione dell'algoritmo, è stato fondamentale ricercare un "riscontro" sul campo delle considerazioni fatte e sviluppate: in questo modo, partendo da un modello informatico-matematico basato sulla estrapolazione e trattazione di dati aziendali, si è ottenuto uno schema di priorità degli interventi manutentivi calato nella realtà pratica di chi effettua i suddetti interventi.

La componente ingegneristica, volta alla ricerca di indicazioni riguardo i dettagli meccanico-strutturali degli A.d.B., ha reso possibile l'orientazione delle scelte relative agli "Ambiti" e ai "Parametri" da utilizzare (specialmente quelli relativi allo "Stato Infrastruttura" e "Stress Infrastruttura"), nonché dei "pesi" ad essi associati.

L'intento è pertanto quello di fornire alla DTP una visione alternativa e complementare dello stato manutentivo partendo dai dati presenti a sistema e rilevati con una certa frequenza: in questo modo, tramite le considerazioni "pratiche" implementate nell'algoritmo, si intercettano le possibili richieste delle U.M. presenti sul territorio.

10.2. Osservazioni pratiche

L'algoritmo sviluppato si propone di suggerire alle U.M. e alla D.T.P. quali deviatoi necessitino di una prioritaria azione manutentiva, utilizzando dati disponibili in rete. Vista la diversa natura degli A.d.B., ognuno di essi avrà una sua propria importanza intrinseca. Pertanto, la classificazione ottenuta dovrà essere letta ed interpretata in base alla sensibilità della direzione manutentiva. Tra le priorità che possono essere assegnate a valle della classificazione, al fine di ottimizzare la manutenzione su tipologie di deviatoi più soggette a degrado, si elencano le seguenti:

- **Presenza di "Avvisi A1 – Attività"**: l'avviso "A1", o "Avviso di Attività", viene aperto sulla sede tecnica deviatoio qualora si voglia indicare "un'esigenza tecnica di intervento a medio/lungo termine e quindi di pianificazione/programmazione, su un oggetto di manutenzione" [14].

  L'elenco delle priorità fornito dall'algoritmo necessita di essere vagliato in base alla eventuale presenza di suddetti avvisi. Infatti, gli "A1" rappresentano la modalità di comunicazione più diretta di una esigenza manutentiva dal C.U.M. alle Strutture P.C. e A.M.P.C.; più in generale, le presenti Strutture ricevono prevalentemente le richieste effettuate tramite apertura di questi avvisi.

  Gli avvisi utilizzati nella definizione dell'algoritmo derivano da misurazioni fuori tolleranza o eventi improvvisi, pertanto la loro natura è oggettiva in quanto aperti eventualmente da processi automatici di rilevazione. Gli avvisi "A1", al contrario, rappresentano uno stato di fatto derivante da valutazioni tecniche dell'Ispettore: la loro è quindi una natura maggiormente soggettiva.

  Le strutture P.C. e A.M.P.C. inoltreranno le richieste economiche alla Sede Centrale basandosi sul numero di interventi richiesti da ogni singola Unità Territoriale, tramite il recepimento delle richieste derivanti dall'apertura degli avvisi "A1". Da ciò, si deduce che i deviatoi presentanti questi avvisi debbano avere una priorità maggiore rispetto ad altri, in quanto l'esigenza della loro manutenzione è espressione diretta delle valutazioni oggettive della U.M.

  In conclusione, al termine della classificazione data dall'algoritmo, sarà necessario allineare il risultato alla presenza o meno dell'avviso A1 sulla sede tecnica.

- **Scambi Intersezione (Scambi "Inglesi")**: sono intersezioni che consentono anche la manovra di deviazione. La presenza di due cuori semplici e due cuori doppi, nonché di ristretti raggi di uscita, è sinonimo di maggiore usura sulle loro componenti; inoltre, la sostituzione dei traversoni nella zona dei cuori doppi risulta molto più difficoltosa a causa dei due binari incrociantisi. Pertanto, a parità di condizioni relativamente ai parametri e agli ambiti utilizzati nel modello, è suggeribile che l'intervento sul deviatoio inglese preceda quelli su altri deviatoi della medesima "Località".

- **Deviatoi di figura**: è la denominazione dei deviatoi posti in curva, vale a dire presentanti cuori curvi e ramo principale non in rettifilo. Questi A.d.B., per la loro stessa natura, sono più soggetti a usura sulla parte interna alla curva in cui sono inseriti. Pertanto, a parità di condizioni relativamente ai parametri e agli ambiti utilizzati nel modello, nonché di sigla del deviatoio stesso, è suggeribile che l'intervento questi A.d.B. preceda quelli su altri della medesima "Località".

10.3. Calendarizzazione degli interventi

Gli interventi manutentivi vengono organizzati secondo il seguente schema:

Tabella 42: Programmazione degli interventi manutentivi

Anni			
< n-2	n-2	n-1	n (esecuzione attività)
Progetti di investimento	Panificazione	Approvazione risorse	Programmazione trimestrale
Esigenze manutentive	Approvazione	Piano della sicurezza Scenario tecnico Conferma budget	Programmazione mensile interruzioni e rallentamenti

Pertanto, l'effettiva esecuzione, all'anno "n", sarà preceduta dalla raccolta delle esigenze e dei progetti, dalla pianificazione e approvazione all'anno "n-2" e precedenti.

Nell'ottica della richiesta degli interventi, le U.M. e le SO superiori hanno inoltre il compito di decurtare dalla classifica dell'algoritmo le lavorazioni previste dai Gantt e non ancora effettuate:

infatti, basandosi su dati relativi al giorno stesso dell'analisi, la lista delle priorità conterrà inevitabilmente dei deviatoi valorizzati con dati non corrispondenti al loro stato di fatto.

Elaborata quindi la lista delle priorità, ogni U.M. comunicherà un certo numero di deviatoi in base alla priorità alle SO apicali, e queste ultime decideranno l'approvazione dei medesimi. Infine, si procederà alle richieste di stanziamenti economici presso Sede Centrale.

10.4. Sviluppi futuri

La metodologia di valutazione degli interventi manutentivi sviluppata in questo elaborato si basa, in gran parte, sulle informazioni contenute nelle banche dati aziendali: per un funzionamento ottimale è pertanto necessario che esse vengano aggiornate costantemente.

Il progetto sviluppato si inserisce nel contesto di una maggiore standardizzazione dei processi decisionali a livello aziendale, a fini dell'ottimizzazione dell'impiego delle risorse di varia natura. Vista la natura sperimentale e la calibrazione effettuata su un numero limitato di deviatoi, di loro tipologie e di "Località", il presente modello presenta ancora margini di affinamento. Di seguito se ne riportano i principali:

I. **<u>Creazione e valorizzazione del dato "Numero traversoni danneggiati/da sostituire"</u>**

Lo stato fisico-meccanico dei traversoni è uno degli aspetti fondamentali di valutazione da parte del manutentore durante le visite ai deviatoi.

A seconda del materiale si possono avere i seguenti casi:

- Traversoni in legno: presenza di fessurazioni più o meno profonde ed estese, degrado bio-meccanico del materiale, affossamento delle piastre di attacco del binario.
- Traversoni in c.a.v.p.: presenza di fessurazioni del corpo cementizio, degrado della superficie di appoggio delle rotaie, degrado chimico del calcestruzzo.

A fronte di queste considerazioni, il "Numero dei traversoni danneggiati/da sostituire" costituisce un parametro fondamentale: venendo a mancare la solidità dell'appoggio al binario la funzionalità dell'A.d.B. risulta notevolmente compromessa.

Questo parametro ulteriore è di immediata rilevazione da parte dei tecnici poiché necessita di un mero conteggio visivo, e potrebbe ulteriormente assegnare un "peso" ai deviatoi che

presentino una certa quantità di traversoni danneggiati: infatti, a parità di "Tipologia del binario", "Vetustà", "Traffico", "Tipologia Traversone" ecc, l'U.M. tendenzialmente mette in cantiere gli interventi sui deviatoi presentanti più del 20% di "appoggi con ridotta tenuta" [7].

Pertanto, la creazione e valorizzazione di questo parametro, a livello dei report delle visite linea e di salvataggio sui database, costituirebbe un importante sviluppo per il modello di assegnazione delle priorità.

II. Implementazione dei rilievi da diagnostica mobile

La diagnostica mobile consente, tramite l'analisi dei parametri di marcia diversamente declinati, di ottenere una visione puntuale e d'insieme dei difetti del binario e del tracciato. Più nel dettaglio, le indagini effettuate tramite i treni della diagnostica nazionale (al contrario di quella territoriale), circolanti solo sui "BC", non consentono ad ora di ottenere automaticamente l'identificazione dei difetti in corrispondenza dei deviatoi: infatti, la registrazione delle anomalie ad una certa progressiva chilometrica avviene sulle sedi tecniche di 3° livello (ossia sull'apparato binario), rendendo non immediata la loro associazione ad una eventuale presenza di deviatoio. L'implementazione dei software di misura a bordo dei treni diagnostici potrebbe consentire di ottenere il dato relativo al deviatoio stesso, ossia sulla sede tecnica di 5° livello. In questo modo, attraverso i passaggi programmati di tali convogli, si potrebbe ottenere lo stato prestazionale degli A.d.B. e il suo avanzamento nel tempo, in modo da gestire al meglio gli interventi manutentivi.

III. Adattamento alle politiche aziendali di manutenzione e innovamento

Le politiche manutentive rivestono grande importanza nei processi decisionali delle aziende che si occupano di gestione delle infrastrutture e trasporti: infatti l'adeguamento del comparto infrastrutturale non è solamente soggetto a interventi relativi al degrado dei componenti, ma anche alla modernizzazione di essi secondo nuovi standard produttivi e gestionali. Pertanto, uno sviluppo futuro potrebbe incentrarsi sull'assegnazione di maggiore importanza generale a quei deviatoi che necessitano di ammodernamento indipendentemente dal loro stato strutturale: ad esempio, la sostituzione dei traversoni in legname è attualmente uno dei punti cardine delle politiche manutentive, a favore della posa di traversoni in c.a.v.p. più durevoli, così come l'utilizzo di cuscinetti autolubrificanti e la sostituzione dei cuori di rotaia e degli armamenti 50E5 e 46E4.

IV. Geolocalizzazione dei deviatoi finalizzata all'ottimizzazione delle risorse

Nel complesso dei deviatoi di competenza di una Unità Territoriale (TOM nel caso di Torino) in cui è suddivisa la D.T.P. vi sono un numero limitato di Squadre Lavoro e di Addetti alla Manutenzione. L'algoritmo così elaborato potrebbe comportare, all'interno di una unità, la presenza di interventi di comparabile importanza presso "Località" distanti tra di loro: questa situazione, seguita senza la giusta interpretazione, comporterebbe sprechi di tempo e denaro. Pertanto, una eventuale geolocalizzazione delle sedi tecniche consentirebbe di raggruppare, tramite differenze di coordinate, i deviatoi appartenenti a "Località" tra loro non troppo distanti, al fine di permettere una ottimizzata movimentazione di uomini e mezzi d'opera.

Ringraziamenti

La conclusione del percorso universitario porta con sé una moltitudine di emozioni e ricordi, legati indissolubilmente allo studio, agli affetti, al vivere quotidiano. Ogni persona, ogni momento, ogni situazione difficile meriterebbe un pensiero in quanto parte di una crescita che ha nella Laurea un punto di fine, e di inizio per nuovi capitoli.

Desidero ringraziare anzitutto il mio Relatore Professor Orazio Baglieri per l'interesse, la dedizione, la passione, la cura dei particolari e la cordialità che ha mostrato nei miei confronti durante il periodo di Tirocinio e la stesura della Tesi di Laurea, supportandomi in questo percorso lungo e complicato.

Un ringraziamento importantissimo ai miei Correlatori, nonché colleghi di Tirocinio, l'Ingegner Claudio Biglia e il Geometra Cristoforo Paolo Vignale: due grandi persone, oltre che professionisti, capaci di assistermi nelle esperienze sia professionali che didattiche, senza i quali non sarei mai stato in grado di apprendere il linguaggio, le dinamiche, gli aspetti pratici e teorici del mondo di Rete Ferroviaria Italiana – S.p.a.

Ringrazio inoltre la Direzione Territoriale Produzione di Torino, che mi ha accolto durante il Tirocinio dandomi la possibilità di apprendere con calma i vari aspetti del settore ferroviario: in particolare, i ringraziamenti vanno all'Ingegner Andrea Demicheli, Marco Avellino, Roberto Baldan, Ingegner Emilio Santagata, Enrico Iazzetta, Veronica Currao, Giovanni Venturino, che hanno inoltre ispirato il presente lavoro di tesi.

In questi anni di faticoso studio non è mai mancato l'apporto e il sostegno dei miei genitori, che ringrazio per avermi sempre sostenuto. In particolare, questo lavoro è dedicato ai miei nonni, che mi hanno sempre incoraggiato ricordandomi da dove sono partiti loro e dove sono arrivato io. Forse questo è l'insegnamento più importante: crescere con la consapevolezza del proprio passato, rimanendo sempre con i piedi ben saldi a terra.

Ma quando dopo una settimana di duro studio arriva il week-end ci sono loro, gli amici: le risate, gli sfoghi, il divertimento, le battute, le vacanze, le feste. Momenti che rimarranno per sempre scolpiti nella mia mente, e che continueranno. Ringrazio tutti, da quelli più antichi, con i quali ero insieme nella culla, a quelli più recenti. Siete fantastici.

In particolare, voglio ringraziare gli amici dell'"Aula Studio": amici di Poli, di "Regionale Veloce delle ore 6.54", di pause caffè, di sfottò calcistici, di rientri con il "Regionale Veloce delle ore 19.30", di partite a Cirulla in qualsiasi angolo improvvisato lo permettesse (specialmente sui treni): grazie di cuore Alberto B., Alberto M., Daniele, Davide, Federico, Giacomo, Jacopo, Marco, Matteo, Mattia M., Mattia R., Salvatore, Stefano per un'amicizia che durerà ancora lontano dai banchi.

Un ringraziamento speciale a Francesca, che ha creduto in me e mi ha spronato nei momenti più difficili di quest'ultimo periodo, infondendomi coraggio e fiducia.

Bibliografia

[1] Rete Ferroviaria Italiana - Gruppo Ferrovie dello Stato, *Definizioni ed Abbreviazioni - RFI DA 1 5.*

[2] Rete Ferroviaria Italiana - Gruppo Ferrovie dello Stato, «Abilitazione MI base - Modulo M2 - Armamento e Sede-Impianti».

[3] V. Profillidis, Railway Management and Engineering, Ashgate Publishing Ltd., 2016.

[4] «I deviatoi,» [Online]. Available: https://www.segnalifs.it/sfi/it/ac/N_deviatoi.htm.

[5] Rete Ferroviaria Italiana - Gruppo Ferrovie dello Stato, *Geometria del binario e dinamica di marcia - RFI TCAR ST AR 01 001 D 31-01-13.*

[6] Rete Ferroviaria Italiana - Gruppo Ferrovie dello Stato, *Rilievi della Geometria del Binario e relative disposizioni manutentive - DPR P SE 50 1 1.*

[7] Rete Ferroviaria Italiana - Gruppo Ferrovie dello Stato, *Controllo delle grandezze caratteristiche degli apparecchi del binario - DTC IT SE 02 1 0.*

[8] Rete Ferroviaria Italiana - Gruppo Ferrovie dello Stato, *DPR P SE 18 1 1 - Controllo delle grandezze caratteristiche degli apparecchi del binario e norme di manutenzione.*

[9] Rete Ferroviaria Italiana - Gruppo Ferrovie dello Stato, «Manuale Utente InRete2000-Versione 3.0 - Gestione Manutenzione-Sedi Tecniche».

[10] Rete Ferroviaria Italiana - Gruppo Ferrovie dello Stato, «Slide InRete2000».

[11] Rete Ferroviaria Italiana - Gruppo Ferrovie dello Stato, *Disposizioni operative di dettaglio per la visita linea ordinaria nei settori "armamento e sede" e "TE" - DPR P SE 45 1 0.*

[12] «Rango (ferrovia),» [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Rango_(ferrovia).

[13] Rete Ferroviaria Italiana - Gruppo Ferrovie dello Stato, «Linee guida gestione O.d.L. sul sistema InRete2000 - Aggiornamento Novembre 2017».

[14] Rete Ferroviaria Italiana - Gruppo Ferrovie dello Stato, *Gestione delle esigenze manutentive tramite gli avvisi di attività - DPR P SE 12 1 1.*

[15] CIFI - Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani, in *Corso di formazione di "Tecnica e Cultura Ferroviaria" - L'Infrastruttura ferroviaria*.

[16] Rete Ferroviaria Italiana - Gruppo Ferrovie dello Stato, *Specifica tecnica di fornitura-Rotaie e barre per aghi - RFI TCAR SF AR 02 001 C.*

[17] Rete Ferroviaria Italiana - Gruppo Ferrovie dello Stato, *Specifica dei Requisiti Funzionali-Sistemi di acquisizione della geometria del binario.*

[18] «Traversa limite di stazionamento,» [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Traversa_limite_di_stazionamento.

[19] «Deviatoio,» [Online]. Available: https://www.wikiwand.com/it/Deviatoio.

[20] «Deviatoio oleodinamico,» [Online]. Available: https://dblue.it/wp-content/uploads/2020/02/Deviatoio-Oleodinamico.png.

[21] «Equipment at Railway Stations,» [Online]. Available: https://www.brainkart.com/article/Equipment-at-Railway-Stations_4353/.