

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DICAM

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

TESI DI LAUREA

in

Costruzioni Ferroviarie e Aeroportuali M

**La qualità del binario nelle linee AV/AC:
studio dei dati rilevati dai treni diagnostici di RFI e analisi degli
interventi manutentivi in previsione dell'aumento di velocità a 360
km/h**

CANDIDATA:
Erica Zucchi

RELATORE:
Dott.ssa Valeria Vignali

CORRELATORI:
Dott. Ing. Giulio Ciaravella
Dott. Ing. Luca Cavacchioli
Dott. Ing. Claudio Lantieri

Anno accademico 2012/13

Sessione III

Parole chiave:

alta velocità;

qualità geometrica del binario;

diagnostica ferroviaria;

manutenzione correttiva;

manutenzione preventiva on condition.

INDICE

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1:	
LE LINEE AV/AC IN ITALIA.....	5
1.1 Inquadramento generale: il progetto alta velocità	5
1.2 Caratteristiche generali delle linee AV/AC.....	7
1.3 Le linee AV/AC in esercizio e in costruzione	16
1.4 La linea AV/AC Milano – Bologna	20
CAPITOLO 2:	
LA DIAGNOSTICA E LA QUALITÀ GEOMETRICA DEL BINARIO.....	31
2.1 La diagnostica ferroviaria	31
2.2 I parametri che indicano la qualità geometrica del binario e i parametri di dinamica di marcia.....	32
2.3 I valori ammessi dei parametri che indicano la qualità geometrica del binario .	38
2.3.1 Valori ammessi a seguito di lavori al binario.....	40
2.3.2 Livelli di qualità geometrica correnti	44
2.3.3 Valori comportanti vincoli all’esercizio.....	50
2.4 I rotabili attrezzati per il rilievo dello stato geometrico del binario.....	55
2.5 Il rilievo su base assoluta	63
2.6 Frequenza dei rilievi e documentazione rilasciata durante le corse di verifica...	69
2.7 Analisi ed elaborazione delle grandezze rilevate	71
CAPITOLO 3:	
LA MANUTENZIONE FERROVIARIA	77
3.1 Il processo della manutenzione	77
3.2 Le tipologie di manutenzione	79

3.3	La manutenzione del binario.....	80
3.4	Programmazione della manutenzione sulla base dei dati rilevati dai treni diagnostici e dei livelli di qualità geometrica	84
3.5	Interventi manutentivi per l'eliminazione delle difettosità geometriche e di dinamica di marcia delle linee AV/AC	90
 CAPITOLO 4:		
ANALISI DEI DATI RILEVATI CON CORSE DIAGNOSTICHE		97
4.1	Collocazione spazio-temporale dell'analisi	97
4.2	Documenti rilasciati dal treno diagnostico Diamante	99
4.3	Elaborazione e analisi dei dati rilevati	104
4.4	Conclusioni a seguito dell'analisi	137
 CONCLUSIONI		139
5.1	Considerazioni sull'attuale politica manutentiva adottata da Rete Ferroviaria Italiana.....	139
5.2	Azioni da intraprendere in caso di aumento della velocità commerciale.....	142
 BIBLIOGRAFIA		145

INTRODUZIONE

Le linee ferroviarie Alta Velocità/Alta Capacità italiane sono realizzate secondo i più avanzati standard infrastrutturali e tecnologici, al fine di consentire le migliori prestazioni in termini di sicurezza, velocità e interoperabilità con le direttrici ferroviarie esistenti e con le altre linee europee. Grazie all'adozione del sistema europeo di supervisione e controllo del distanziamento dei treni ERTMS/ETCS, la circolazione a velocità elevate avviene in sicurezza.

Dal punto di vista geometrico, il tracciato delle linee AV/AC è determinato in funzione delle velocità di progetto, attualmente variabili tra 250 e 300 km/h, e in modo da limitare i parametri cinematici. In questa maniera è assicurata la corretta qualità di marcia dei treni ad alta velocità.

La sovrastruttura ferroviaria è realizzata in modo da sopportare i carichi dinamici trasmessi dai convogli transitanti a elevate velocità, e da garantire la sicurezza della circolazione e il comfort di marcia. In particolare, la qualità del binario ferroviario è determinata attraverso una serie di parametri geometrici fondamentali, definiti da Rete Ferroviaria Italiana. A seconda dei valori assunti da tali parametri, il binario rientra in un livello di qualità geometrica: sono definiti tre livelli per i quali la circolazione ferroviaria avviene senza limitazioni e un livello che richiede l'imposizione di vincoli all'esercizio (rallentamenti o interruzioni).

L'introduzione dei parametri geometrici e dei rispettivi valori di riferimento ha lo scopo di mantenere elevati livelli qualitativi e di sicurezza per l'infrastruttura ferroviaria, in materia di geometria dell'armamento. Infatti, il superamento di certe soglie da parte dei parametri, implica l'intervento manutentivo sul binario, al fine di ripristinare la corretta geometria e di garantire così la qualità della marcia dei treni. La politica è quella d'intervento prima del raggiungimento del quarto livello di qualità, per il quale sono necessarie restrizioni alla circolazione e interventi correttivi immediati.

Il controllo dei valori assunti dai parametri geometrici avviene mediante la diagnostica, ossia l'insieme delle attività volte a determinare lo stato delle diverse componenti dell'infrastruttura ferroviaria. In particolare, il controllo della geometria del binario e dell'usura delle rotaie avviene mediante il transito, sulle linee ferroviarie, di treni diagnostici dotati di sistemi di misura e software di elaborazione dei dati. Attualmente, sulle linee AV/AC, le corse di verifica sono eseguite con cadenza 15 giorni mediante il treno ETR500Y2 (Diamante), in grado di rilevare i parametri dell'infrastruttura ferroviaria transitando a una velocità di 300-330 km/h. Grazie a tale velocità di rilievo, il tempo di occupazione della linea ferroviaria per l'esecuzione delle corse di verifica è limitato e in poco tempo si dispone di un'elevata quantità di misure. Oltre a indagare lo stato del binario, il treno diagnostico Diamante rileva i parametri della linea di contatto, degli impianti di telecomunicazione e di segnalamento, e analizza la dinamica di marcia, misurando le accelerazioni. Il rilievo contemporaneo di tutte le componenti della linea ferroviaria consente di correlare le varie misure. In particolare, per le linee AV/AC i parametri descrittivi delle condizioni di marcia dei treni sono correlati allo stato geometrico del binario e anche per essi sono fissati valori di riferimento, indicativi del livello di qualità del binario.

L'attività diagnostica è collegata alla manutenzione della linea ferroviaria, in quanto gli interventi correttivi sono pianificati sulla base dei difetti rilevati durante le corse di verifica. Il frequente monitoraggio dei parametri della linea consente d'intervenire soltanto quando l'infrastruttura ha effettiva esigenza di manutenzione e non più in maniera sistematica o ciclica. La manutenzione "on condition", cioè eseguita in relazione allo stato corrente dell'infrastruttura, consente una migliore gestione delle priorità e delle risorse. Inoltre, confrontando le misure eseguite durante corse di

verifica successive è possibile monitorare l'evoluzione dei difetti nel tempo, intervenendo su di essi prima della generazione di guasti o degradi (manutenzione preventiva).

Nell'elaborato seguente si descrivono i parametri geometrici e di dinamica di marcia indicativi della qualità geometrica del binario, riportando per ciascuno di essi i valori di riferimento stabiliti da Rete Ferroviaria Italiana. Alcuni sono rilevati direttamente dai treni diagnostici, descritti nel dettaglio nel documento seguente, mentre altri sono elaborati in seguito alle misurazioni. Ad esempio, i difetti di allineamento e livello longitudinale di onda lunga, i quali influenzano le accelerazioni della cassa dei treni che si muovono a velocità elevate, influenzando il comfort dei passeggeri, sono derivati a bordo dei treni mediante software di elaborazione. Per la correzione di tali difetti è necessario confrontare la posizione plano-altimetrica corrente del binario con quella di progetto. Tale operazione si esegue rilevando la posizione del binario delle linee AV/AC rispetto a un sistema di punti fissi materializzati intorno ad esso. Pertanto, nel seguente elaborato, oltre a descrivere i rotabili diagnostici, che eseguono misure relative della geometria del binario, sono analizzati i rilievi su base assoluta (rispetto ai punti fissi).

In seguito ai valori assunti dai parametri indicativi della qualità del binario, si pianificano gli interventi manutentivi, analizzando i documenti rilasciati dai treni diagnostici in seguito alle corse di verifica. All'interno del Sistema Informativo della Manutenzione sono creati avvisi e report descrittivi dei parametri rilevati e contenenti i tempi limite d'intervento, fissati per ciascun parametro. La programmazione della manutenzione tiene conto di tali tempi, variabili da uno a sei mesi. Il documento seguente analizza gli interventi manutentivi che coinvolgono il binario, con particolare attenzione alle schede manutentive che si applicano sulle linee AV/AC.

Nel dettaglio, l'elaborato seguente si divide in quattro parti.

- Il primo capitolo descrive il progetto alta velocità/alta capacità italiano, riassumendo quali linee ferroviarie sono oggi in esercizio, quali in costruzione e quali in progettazione. Sono analizzate le principali caratteristiche delle linee AV/AC, come il sistema di controllo della circolazione, l'alimentazione, la geometria del tracciato, la sovrastruttura ferroviaria e, in particolare, l'armamento. Inoltre, è descritta nel dettaglio la linea AV/AC Milano – Bologna, analizzata all'interno del capitolo 4 per quanto riguarda i difetti geometrici e gli interventi manutentivi.
- Il secondo capitolo descrive l'attività diagnostica nel suo complesso e i rotabili attrezzati per il rilievo dello stato geometrico del binario. Inoltre, analizza il sistema di punti fissi materializzati attorno al binario ferroviario, rispetto al quale si progetta il tracciato della linea e si rileva periodicamente la posizione di quest'ultima (rilievi su base assoluta). Il capitolo indica anche le frequenze di rilievo, la documentazione prodotta a seguito delle corse di verifica e le grandezze rilevate e derivate dalle misurazioni eseguite sul binario. In aggiunta a ciò, sono descritti i parametri geometrici e di dinamica di marcia indicativi della qualità del binario e i rispettivi valori ammessi, stabiliti da Rete Ferroviaria Italiana. Tali parametri sono direttamente rilevati dai treni diagnostici, in aggiunta ad altre grandezze indicative dello stato di salute del binario e utili a programmare la manutenzione, o derivati mediante elaborazione delle misure eseguite.

Introduzione

- Il terzo capitolo descrive il processo della manutenzione e gli interventi ordinari e straordinari che si eseguono sulla sovrastruttura ferroviaria. In particolare, analizza le politiche di manutenzione correttiva e preventiva su condizione, attuate in seguito ai difetti individuati con l'attività diagnostica. I difetti che comportano vincoli all'esercizio ferroviario sono immediatamente corretti, mentre per i restanti difetti si programmano gli interventi manutentivi sulla base dei tempi limite d'intervento stabiliti per ciascuno.
- Il quarto capitolo analizza i difetti rilevati su una tratta della linea AV/AC Milano – Bologna, all'interno di un certo intervallo temporale. Il capitolo descrive, in particolare, i provvedimenti restrittivi da adottare e gli interventi manutentivi da eseguire, in seguito all'individuazione dei difetti. Di questi ultimi sono analizzate le tipologie, i valori, le quantità, le posizioni lungo la linea, le distanze e le estese.

Nella parte conclusiva dell'elaborato, partendo da osservazioni sull'attuale politica manutentiva adottata da Rete Ferroviaria Italiana per velocità fino a 300 km/h, si ipotizzano e propongono le azioni da intraprendere in caso di aumento della velocità commerciale a 360 km/h.

CAPITOLO 1: LE LINEE AV/AC IN ITALIA

1.1. Inquadramento generale: il progetto alta velocità

La rete ferroviaria italiana si sviluppa capillarmente in tutto il Paese e costituisce un fitto tessuto di collegamento tra piccoli e grandi centri abitati. Da nord a sud, lungo le grandi direttrici internazionali così come verso le località più periferiche e nelle isole, la ferrovia fa circolare ogni anno milioni di viaggiatori e di tonnellate di merci, in modo sicuro per i treni e sostenibile per l'ambiente. Infatti, le tecnologie per il controllo della circolazione, di cui la rete nazionale è dotata, la pongono ai primi posti nel mondo per sicurezza e affidabilità, mentre il tracciato delle linee è progettato in modo da adeguarsi alle caratteristiche del contesto ambientale e socio-territoriale dei luoghi attraversati.

Le linee che compongono la rete nazionale sono classificate in base alle loro caratteristiche in:

- linee fondamentali (6444 km), caratterizzate da un'alta densità di traffico e da una elevata qualità dell'infrastruttura, comprendono le direttrici internazionali e gli assi di collegamento fra le principali città italiane;
- linee complementari (9359 km), con minori livelli di densità di traffico, costituiscono la maglia di collegamento nell'ambito dei bacini regionali e connettono fittamente tra loro le direttrici principali;
- linee di nodo (939 km), si sviluppano all'interno di grandi zone di scambio e collegamento tra linee fondamentali e complementari situate nell'ambito di aree metropolitane.

La figura 1.1 mostra le linee ferroviarie in esercizio nella pianura padana, suddivise nelle tre categorie appena descritte [24].



Figura 1.1: linee in esercizio nella pianura padana

Considerando che alcune linee sono a doppio binario e altre a semplice binario, complessivamente la rete nazionale si estende per 24278 km. Di questi, 1342 sono di linee ad alta velocità (con riferimento alle tratte attrezzate con ERTMS e ai relativi collegamenti alle località di servizio).

Il progetto alta velocità/alta capacità si inserisce in un contesto di riqualificazione dell'intero sistema di trasporti italiano, che prevede un potenziamento della capacità delle linee principali e, contemporaneamente, una riorganizzazione dei nodi ferroviari urbani. In particolare, gli obiettivi principali del progetto sono:

- aumentare la quantità e la qualità dell'offerta ferroviaria italiana;
- integrare la rete nazionale con la rete ferroviaria europea;
- contribuire al riequilibrio del sistema dei trasporti italiano, oggi fortemente squilibrato a favore della strada.

Concretamente il piano alta velocità/alta capacità, in realizzazione per fasi successive in base alle esigenze prioritarie di riorganizzazione e fluidificazione dei traffici, prevede la costruzione di nuove linee ferroviarie e il potenziamento delle linee esistenti lungo gli itinerari di maggior traffico da nord a sud. A tali azioni si affiancano interventi di riorganizzazione del sistema di trasporto e di riqualificazione delle aree attraversate: nuove stazioni, servizi regionali e metropolitani, itinerari dedicati alle merci. Nelle grandi città la nuova infrastruttura per il transito delle linee veloci rappresenta un tassello fondamentale nella riorganizzazione dei sistemi di trasporto urbano. Infatti, all'interno dei grandi nodi ferroviari, le nuove linee, accogliendo i traffici a lunga percorrenza, rendono disponibili le linee esistenti per un servizio di tipo metropolitano e urbano. Inoltre, la realizzazione di interventi infrastrutturali e tecnologici per il trasferimento del traffico merci al di fuori dei nodi ferroviari delle principali metropoli, contribuisce alla separazione e fluidificazione del traffico ferroviario e al rilancio della mobilità su ferro. Parallelamente, le stazioni destinate ad accogliere i treni che viaggeranno sulle nuove linee, sono ristrutturare in funzione del nuovo servizio e in alcuni casi sono integrate con stazioni completamente nuove [24].

A livello sovranazionale, il sistema AV/AC italiano costituisce un tassello fondamentale delle *Trans-European Networks – Transport* (TEN-T), ossia le reti di trasporto trans-europee definite dalla Commissione europea a partire dall'inizio degli anni '90 e per le quali, dalla fine del 2011, si stanno definendo ulteriori obiettivi di sviluppo. In particolare la rete ferroviaria trans-europea è un progetto di rete ferroviaria costituito dall'insieme delle grandi direttrici che attraversano le singole nazioni dell'Unione europea. Per tale rete deve essere garantita la compatibilità e l'interoperabilità delle infrastrutture, al fine di garantire la rapida circolazione delle merci e dei passeggeri tra i vari Stati europei. In questo modo s'incrementa la capacità attrattiva del sistema di trasporto ferroviario rispetto alle altre modalità di trasporto.

I corridoi trans-europei interessanti la rete ferroviaria italiana sono (figura 1.2):

- *Baltico - Adriatico* (corridoio 1), che collega il mar Baltico e il mar Adriatico attraversando varie aree industrializzate della Polonia, della Slovacchia, dell'Austria e dell'Italia nord-orientale;
- *Mediterraneo* (corridoio 3), che collega la penisola iberica con l'Ucraina, attraversando Spagna, Francia, Italia, Slovenia, Croazia e Ungheria;
- *Helsinki - Valletta* (corridoio 5), anche detto Scandinavia - Mediterraneo, tale corridoio collega la penisola scandinava e i porti della Germania settentrionale ai porti

mediterranei dell'Italia e a Malta, attraversando le aree industrializzate della Germania meridionale, l'Austria e l'Italia;

- *Genova - Rotterdam* (corridoio 6), che collega i porti settentrionali di Rotterdam e Anversa con il bacino mediterraneo (Genova), attraversando la Regione della Ruhr, la Regione metropolitana del Reno-Neckar, la Svizzera e l'area industriale di Milano [25].

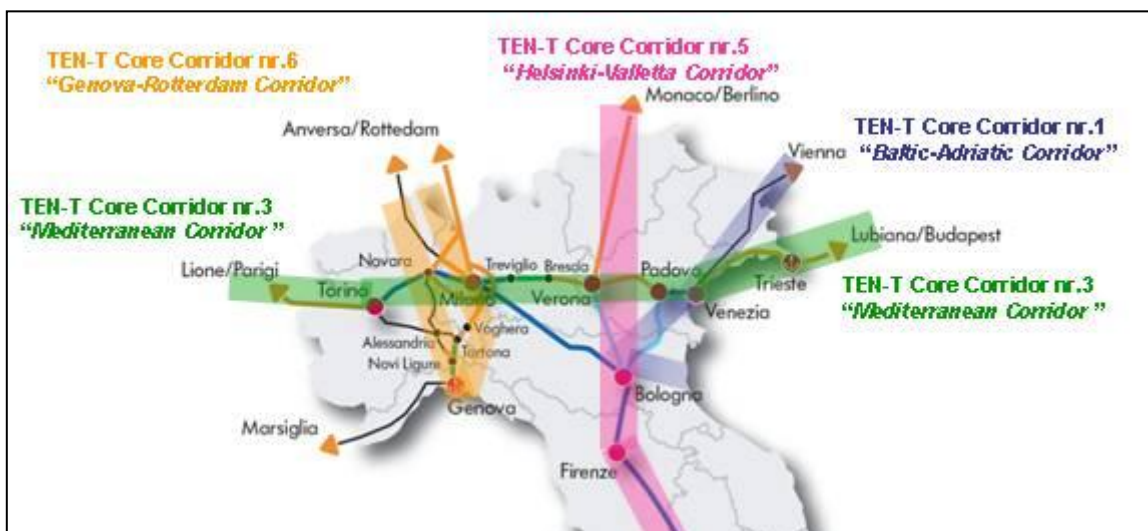


Figura 1.2: corridoi trans-europei

1.2. Caratteristiche generali delle linee AV/AC

Le nuove linee AV/AC sono costruite secondo i più avanzati standard infrastrutturali e tecnologici per consentire le migliori prestazioni in termini di sicurezza, velocità e interoperabilità con le principali direttrici ferroviarie esistenti e con le linee europee ad Alta Velocità.

In particolare, le nuove linee italiane si caratterizzano oggi nel panorama europeo per:

- essere orientate al trasporto sia dei passeggeri che delle merci e all'aumento della capacità dell'intero sistema ferroviario;
- adottare, prime in Europa, tecnologie d'avanguardia per l'interoperabilità ferroviaria tra i diversi Paesi europei;
- accompagnarsi a importanti potenziamenti e riorganizzazioni della mobilità locale e merci su ferro nei grandi nodi urbani attraversati e sugli itinerari merci afferenti;
- interventi di inserimento e minimizzazione dell'impatto socio-ambientale in un territorio nazionale che alterna aree di grande densità infrastrutturale, abitativa e produttiva a aree dai delicati equilibri ambientali e dalle molte presenze archeologiche e monumentali.

Tra le dotazioni tecnologiche innovative sviluppate e/o adottate per l'AV/AC italiana, particolarmente significative sono l'*European Railway Traffic Management System* (ERTMS), il sistema di radiotelefonía mobile GSM-R, il Sistema di Comando Centralizzato adattato all'Alta Velocità (SCC-AV) e il sistema di trazione elettrica a 25 KV con corrente alternata [24].

Al fine di garantire la sicurezza di circolazione sulle linee AV/AC, le Ferrovie italiane hanno adottato l'ERTMS/ETCS di livello 2 (*European Railway Traffic Management System/European Train Control System*), un sistema all'avanguardia per la supervisione e il controllo del

distanziamento dei treni, che assicura l'interoperabilità del traffico sulla rete ferroviaria europea. Lo standard ERTMS/ETCS, il primo in Europa a funzionare a 300 km/h, si basa infatti sullo scambio continuo delle informazioni di segnalamento tra gli impianti a terra e i treni, in un linguaggio uniforme che consente la circolazione in sicurezza di treni di diversa nazionalità e l'ottimizzazione della gestione del traffico. Il sistema ERTMS/ETCS fornisce al macchinista tutte le informazioni necessarie per la guida in sicurezza, in relazione sia agli effetti del suo operato sia alle variazioni delle condizioni della linea, attivando la frenatura d'emergenza qualora la velocità del treno superi quella massima ammessa (figura 1.3). Poiché a velocità elevate i tradizionali segnali luminosi posti a terra sono difficilmente leggibili dal personale di bordo, essi sono stati sostituiti dalla trasmissione automatica e continua in cabina di guida di tutte le informazioni sullo stato della linea ferroviaria a valle del treno, espresso in termini di distanza da rispettare. Pertanto a ogni treno è trasmessa, con continuità e in via automatica, l'informazione della libertà della via connessa al distanziamento dal treno che lo precede, indicando, inoltre, i punti singolari della linea che impongono livelli di velocità ridotti rispetto alla velocità standard di esercizio (limiti imposti dalla geometria del tracciato, rallentamenti temporanei, ecc.). L'automatismo di bordo è in grado di indicare al macchinista la velocità di sicurezza da rispettare in ogni istante e di programmare il profilo caratteristico di frenatura del treno, con intervento automatico in caso di superamento dei valori di velocità ammessi.



Figura 1.3: automatismo di bordo ERTMS

Per realizzare la completa interoperabilità delle reti europee, il Gruppo Ferrovie dello Stato italiane ha adottato anche lo standard europeo previsto per le comunicazioni terra-treno dei sistemi ERTMS/ETCS ovvero la rete radiomobile GSM-R (*Global System Mobile - Railway*). Si tratta di un sistema di radiotelefonía mobile utilizzato esclusivamente in ambito ferroviario, attraverso il quale è possibile soddisfare in modo efficiente e integrato tutte le esigenze di comunicazione voce e di trasmissione dati connesse con l'esercizio ferroviario, compreso il controllo, in sicurezza, della marcia dei treni. Il GSM-R trasmette su una banda di frequenze nella gamma 900 MHz riservata in Europa per le attività ferroviarie e garantisce servizi di comunicazione terra-treno sia durante la circolazione normale, sia nei casi di emergenza. Attraverso tale sistema il contatto fra il personale di bordo e quello a terra (comunicazioni di servizio e gestione delle emergenze) è costante ed è consentito lo scambio di dati e informazioni tra i sistemi tecnologici e di segnalamento delle diverse ferrovie europee attraverso un unico standard di comunicazione interoperabile.

Per riassumere, le componenti fondamentali del sistema europeo di gestione del traffico ferroviario (ERTMS) sono il sistema radio utilizzato per scambiare informazioni terra-treno, fondato sullo

standard GSM, e il sistema di controllo dei treni (ETCS), che permette di trasmettere al conducente le notizie relative alla via libera ed alla velocità autorizzata e di controllare continuamente il rispetto delle indicazioni ricevute. Quest'ultimo sistema può essere scomposto in due sottosistemi:

- *ETCS Onboard* (sottosistema di bordo), comprendente il complesso delle apparecchiature installate a bordo del locomotore;
- *ETCS Trackside* (sottosistema di terra), controparte del sottosistema di bordo, con funzione di gestire e controllare di tutto il sistema.

Il componente centrale del sottosistema di terra è rappresentato dal *Radio Block Centre (RBC)*, un sistema centralizzato che comunica direttamente con il treno via radio, sul canale GSM-R. Il sottosistema di bordo di ciascun veicolo ricava la posizione del treno stesso, dalle balise incontrate sulla tratta percorsa, e quindi informa, via radio, RBC. Quest'ultimo raccoglie i dati da tutti i treni che percorrono la linea e, dopo averli elaborati, invia i risultati a ciascun treno così che questi possa calcolare con continuità la velocità da mantenere nella tratta, in considerazione della distanza del treno che lo precede. Il collegamento radio continuo treno-terra e terra-treno consente di gestire il traffico ferroviario in sicurezza e in assenza di segnalamento laterale.

Le balise o boe sono dispositivi collocati sui binari della linea ferroviaria, in grado di trasmettere dati al treno quando questo transita su di essi. In particolare, un'antenna montata sotto il locomotore riceve i messaggi, che sono decodificati, elaborati dal computer di bordo ed infine visualizzati sul display dal conduttore. Tale canale di comunicazione unidirezionale e discontinuo fornisce solo riferimenti geografici puntuali, mentre la posizione e l'integrità del treno sono verificate dai circuiti di binario esistenti. Ciascun treno, conoscendo la dislocazione delle boe disposte lungo la tratta che sta percorrendo e l'identità della balise con cui sta comunicando, può risalire alla sua precisa posizione lungo la linea ferroviaria (figura 1.4) [1].

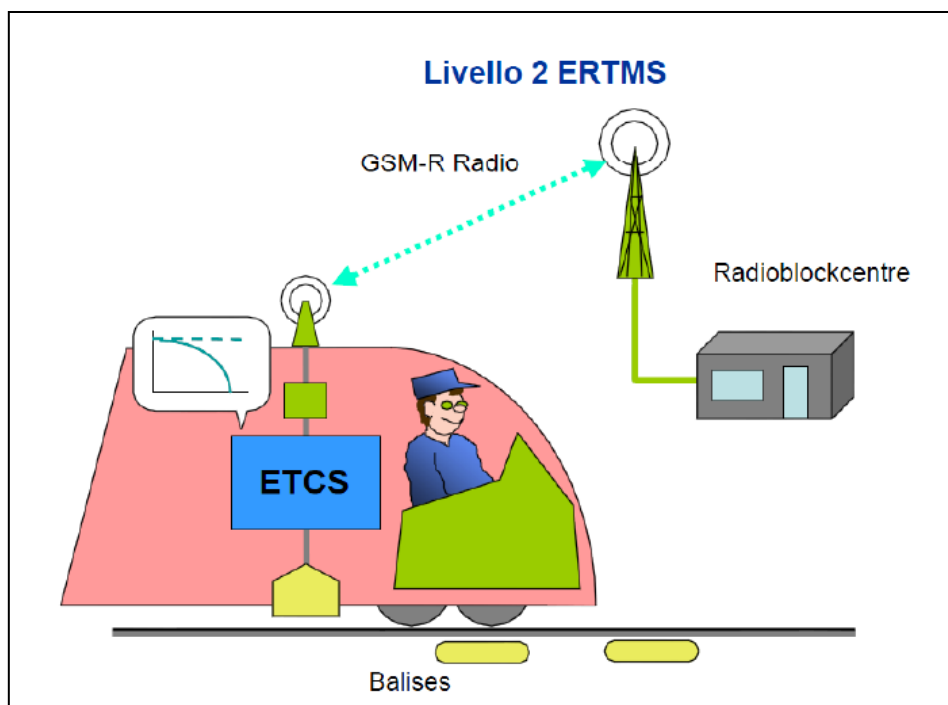


Figura 1.4: funzionamento e componenti di ERTMS livello 2

Il Sistema di Comando e Controllo (SCC), con la sua evoluzione per le linee Alta Velocità (SCC-AV), è il più avanzato sistema in uso in campo ferroviario per la gestione integrata a distanza della circolazione. È stato sviluppato per migliorare e garantire la regolarità dei treni nell'ambito del processo di upgrade della qualità dei servizi e consente di gestire in modo integrato la circolazione, la diagnostica e la manutenzione, le informazione al pubblico, la videosorveglianza, semplificando le procedure di gestione e massimizzando tempestività ed efficacia nella risoluzione dei problemi di circolazione, anche su linee ad intenso traffico.

Per quanto riguarda l'alimentazione delle nuove linee AV/AC, è stato adottato il sistema di elettrificazione a corrente alternata monofase a 25kV/50Hz, innovativo rispetto al sistema a corrente continua a 3kV con il quale è elettrificata l'intera rete ferroviaria italiana. Quest'ultimo è mantenuto sulle interconnessioni tra le nuove linee e le linee esistenti e sui nodi urbani. Il sistema di alimentazione a 25kV è il più utilizzato in Europa per linee veloci a elevata capacità di traffico, poiché consente di disporre della potenza necessaria a far viaggiare convogli frequenti e veloci in modo economicamente più vantaggioso rispetto ai 3kV e, contemporaneamente:

- evita l'impiego all'interno delle sottostazioni elettriche ferroviarie di apparecchiature di conversione da corrente alternata a continua;
- riduce il numero di sottostazioni elettriche lungo la linea;
- riduce le cadute di tensione lungo la linea;
- permette potenziamenti futuri della capacità della linea senza ulteriori interventi sugli impianti;
- facilita gli interventi di manutenzione e riparazione.

Per quanto concerne l'andamento plano-altimetrico delle linee AV/AC, bisogna considerare che il tracciato ferroviario viene progettato tenendo conto di vincoli di varia natura: sicurezza, comfort, tecnica (sia dell'infrastruttura che del materiale rotabile), morfologia del territorio ed economia. Sulle linee convenzionali i parametri geometrici di tracciato (raggio delle curve, sopraelevazione, lunghezza dei raccordi planimetrici, ecc.) sono dati noti e le velocità sono determinate in funzione di detti dati. Al contrario, sulle linee AV/AC è la velocità a essere un dato noto e i parametri di tracciato sono determinati in funzione di essa. I valori di progetto della velocità variano tra 250 e 300 km/h: attualmente con il termine alta velocità si fa riferimento a tale intervallo. Nota, quindi, la velocità, per ciascuna linea è possibile determinare:

- il raggio e la sopraelevazione delle curve;
- la lunghezza e la pendenza dei raccordi plano-altimetrici;
- la lunghezza e la pendenza delle livellette (tratti a pendenza costante che formano il profilo longitudinale della strada ferrata);
- la lunghezza minima delle curve circolari e dei rettifili;
- il raggio delle curve altimetriche;
- l'interasse fra i binari.

Per assicurare la corretta qualità di marcia dei treni ad alta velocità è necessario progettare i tracciati con caratteristiche geometriche che consentano di limitare i parametri cinematici: dai valori massimi ammessi per tali parametri derivano i valori della geometria. In particolare i parametri cinematici da considerare sono:

- accelerazione centrifuga non compensata massima in curva;

- variazione dell'accelerazione non compensata sui raccordi planimetrici di transizione fra tracciato in retta e in curva;
- velocità di rollio (velocità angolare con cui il veicolo ferroviario ruota intorno al punto di fermo della rotaia bassa nel piano perpendicolare alla direzione del moto) sui raccordi altimetrici tra binario in piano (rettifili) e binario sopraelevato (curve);
- eccesso di sopraelevazione per i treni che percorrono le curve a velocità inferiore a quella di tracciato (velocità limite alla quale può essere percorsa la curva di raggio minimo presente sulla linea);
- accelerazione verticale nei raccordi verticali fra tratti con differente pendenza (livellette) [4].

Le principali grandezze geometriche delle linee AV/AC italiane, unitamente ad altre caratteristiche tecniche, sono riportate nella tabella seguente (tabella 1.1), al fine di riassumere quanto enunciato nei paragrafi precedenti e completare la descrizione della nuova infrastruttura ferroviaria. La massima pendenza e il carico massimo per asse sono collegati al fatto che il sistema alta velocità italiano è progettato per un traffico misto: la stessa infrastruttura è destinata al servizio sia viaggiatori, sia merci [24].

Tipo di traffico	Misto (passeggeri e merci)
Velocità massima	300 km/h
Raggio di curvatura minimo	5450 m
Pendenza massima	18‰
Sopraelevazione massima	10.5 cm
Raggio minimo dei raccordi altimetrici	20 km
Carico massimo per asse	25 t
Larghezza della sede	13.6 m
Interasse dei binari	4.5-5 m
Sezione delle gallerie naturali	82 m ²
Alimentazione nuove linee	25 kV c.a. 50 Hz
Alimentazione dei tratti penetrazione urbana	3 kV c.c.
Distanza media tra sottostazioni elettriche	50 km
Distanza media tra due posti di comunicazione	24 km
Distanza media tra due posti di movimento	48 km

Tabella 1.1: caratteristiche tecniche delle linee AV/AC

Finora si è parlato di linee ferroviarie ad alta velocità, intendendo con linea, in senso fisico, l'insieme delle infrastrutture e delle costruzioni tecnologiche necessarie a far viaggiare un treno tra due località di servizio in un determinato momento o periodo di tempo.

È da sottolineare il fatto che la linea ferroviaria si svolge propriamente sulla *sede ferroviaria*, composta da corpo stradale e sovrastruttura ferroviaria (figura 1.5).

Con *corpo stradale* si intende l'insieme delle opere civili che predispongono la sede stradale vera e propria, e realizzano le opere d'arte (ponti, viadotti, gallerie, rilevati) nonché le opere di difesa, di protezione, quelle di confine e di integrazione tra l'ambiente esterno e la stessa circolazione ferroviaria. Con il termine *sede stradale* può identificarsi, più in particolare, la parte del corpo stradale coincidente con lo strato superiore del rilevato o di un'altra opera d'arte, avente la funzione di sostenere direttamente i carichi della circolazione trasmessi dalla *sovrastruttura ferroviaria*. Quest'ultima, per le linee AV/AC, è formata da una massicciata in pietrisco, posata su uno strato di sub-ballast in conglomerato bituminoso, adagiato su uno strato di terreno fortemente compattato, dello spessore di almeno 30 centimetri e grado di costipamento maggiore del 95% (supercompattato). La massicciata assicura la stabilità e la corretta posizione geometrica dell'armamento ferroviario, ossia del telaio del binario, facente anch'esso parte della sovrastruttura ferroviaria. L'armamento comprende, infatti, le traverse annegate nella massicciata, le rotaie, che realizzano il piano di rotolamento e gli organi di attacco, mediante i quali le rotaie sono ancorate alle traverse [1].

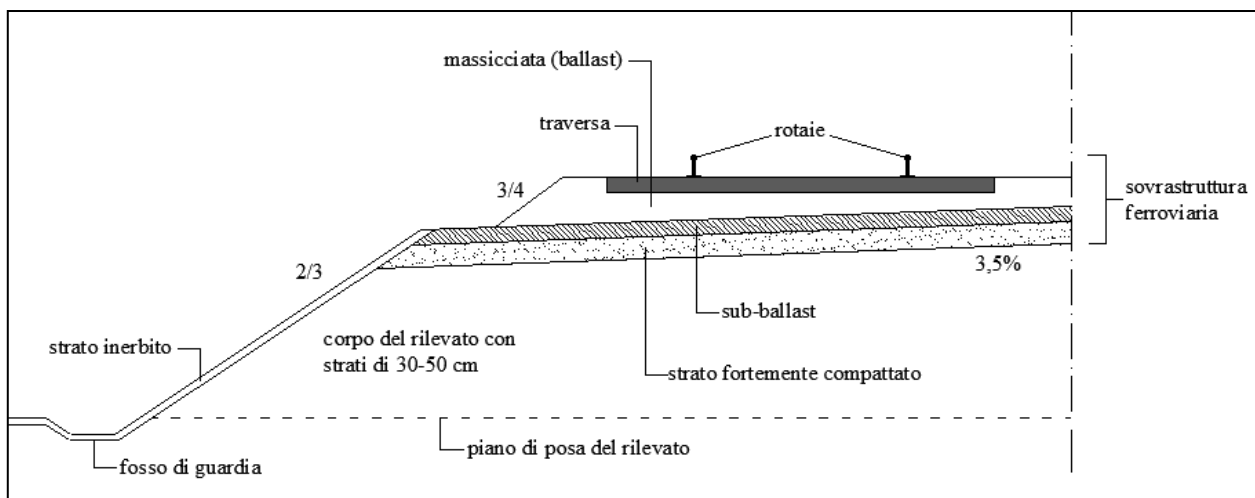


Figura 1.5: sede ferroviaria (caso in rilevato)

La massicciata contribuisce, assieme all'armamento, all'assorbimento dei molteplici sforzi connessi con la circolazione dei treni e con le alterazioni termiche, oltre ad assolvere alcuni fondamentali compiti, quali:

- distribuire i carichi verticali sul piano di formazione del corpo stradale;
- consentire di realizzare le condizioni geometriche di posa del binario in fase di costruzione e garantirle durante l'esercizio;
- consentire la correzione dei difetti di geometria indotti dai carichi dinamici e da eventuali piccole alterazioni del corpo stradale;
- garantire una sufficiente elasticità, in modo da consentire all'armamento di reagire elasticamente agli sforzi cui è sottoposto;

- allontanare dall'armamento le acque meteoriche, le quali percolano fra il pietrisco e vengono indirizzate ai collettori di raccolta e di scarico mediante le pendenze conferite in fase di costruzione.

Per realizzare le funzioni sopra descritte è necessario che il pietrisco che compone la massicciata sia costituito da rocce tenaci (dure, senza essere fragili), di pezzatura il più possibile uniforme e a spigoli vivi, onde garantire il massimo attrito tra gli elementi e tra essi e le traverse. A tal fine è anche importante che il pietrisco sia esente da terriccio, polvere e materie estranee.

Il sub-ballast, ossia lo strato sottostante la massicciata (o ballast), è inserito al fine di:

- garantire una migliore distribuzione nel sottofondo delle sollecitazioni statiche e dinamiche trasmesse dal traffico;
- resistere alle sollecitazioni a fatica ed ai cicli di gelo-disgelo;
- impedire la contaminazione fra massicciata e terreno.

Per quanto riguarda l'armamento, sulle linee AV/AC italiane si utilizzano rotaie 60 UIC (classificazione secondo Union Internationale des Chemins de Fer), oggi denominate 60 E1 (secondo norma europea EN 13674-1, entrata in vigore nell'aprile 2011), traverse in calcestruzzo armato precompresso e organi di attacco di tipo elastico.

Le rotaie sono gli elementi di acciaio che costituiscono il supporto e la guida del veicolo. La loro lunghezza dipende dalle caratteristiche dell'impianto di produzione: valori tipo sono 12, 18, 24, 36, 48, 108 e 144 metri. Le parti terminali delle rotaie, dette testate, sono collegate attraverso organi di giunzione, oppure saldate. La sezione trasversale ha una forma a doppio T (profilato Vignoles) e le parti fondamentali sono mostrate in figura 1.6. La classifica di tali profilati metallici è fatta in base al peso per unità di lunghezza: quelli utilizzati maggiormente in Europa e in Italia, sia per le linee ordinarie, che per le linee AV/AC, sono da 60 Kg/m (rotaie 60 E1).

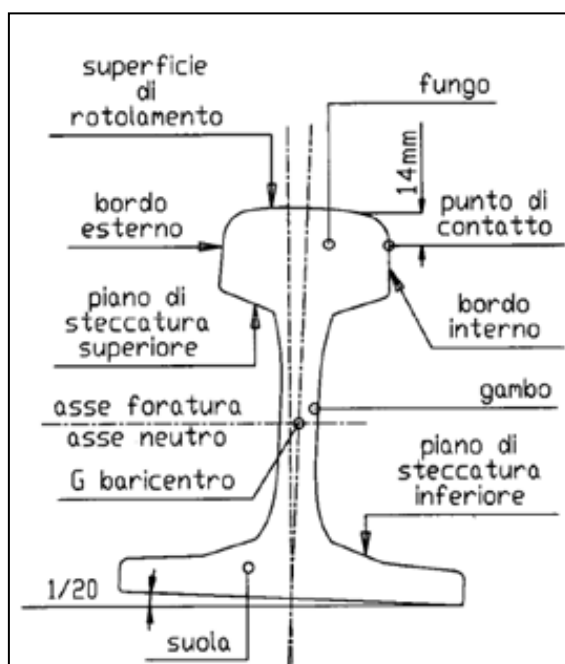


Figura 1.6: sezione della rotaia

Le rotaie sono fissate alle traverse con un'inclinazione di 1/20 sul piano orizzontale, verso l'interno del binario, al fine di consentire il corretto accoppiamento con il cerchione delle ruote. Tale posizione, unitamente all'ancoraggio alle traverse, è garantita dagli organi di attacco, cioè dai dispositivi che garantiscono il corretto posizionamento trasversale e longitudinale delle rotaie e che trasferiscono gli sforzi verticali da queste ultime alle traverse, senza provocarne danneggiamenti. Se necessario, gli organi di attacco provvedono anche all'isolamento elettrico delle rotaie.

Al fine di dissipare i carichi elevati che vengono trasmessi dai convogli, sulle linee italiane AV/AC si utilizzano organi di attacco elastici: gli elementi di fissaggio si deformano elasticamente. Inoltre la rotaia non è posata direttamente sulla traversa, ma si interpone fra le due una piastra d'acciaio, al fine di diffondere maggiormente i carichi. In questo modo le traverse sono in grado di sopportare gli elevati carichi di esercizio ed è possibile ottenere un maggiore comfort di moto.

Le traverse sono gli elementi prismatici trasversali che collegano le due rotaie all'interno di un binario, mantenendole alla corretta reciproca distanza (figura 1.7). Mediante le traverse il binario è ammorsato nella massicciata: in questo modo s'incrementa la resistenza alle sollecitazioni dinamiche e termiche. Sulle linee AV/AC si utilizzano traverse monoblocco in calcestruzzo armato precompresso, ad armatura post tesa, posizionate ad un interasse di 60 cm. Ciascun elemento pesa 369 kg, ha una lunghezza di 260 cm e una larghezza di 300 mm [3].



Figura 1.7: traverse in calcestruzzo armato precompresso con organi di attacco

Il binario si distingue in binario corrente ed in dispositivi speciali, chiamati apparecchi del binario, che consentono la diramazione da uno in due o tre binari (scambi o deviatori), l'intersezione fra due binari (intersezioni) ed il collegamento fra binari che si intersecano (scambi/intersezione). In particolare, gli apparecchi di binario assumono diversa denominazione a seconda dei movimenti che gli stessi consentono, ed esattamente si dividono in:

- scambi o deviatori semplici, quando consentono la deviazione da un binario all'altro;
- scambi o deviatori doppi o tripli, quando consentono la deviazione di un binario ad altri;
- intersezioni, quando consentono il reciproco attraversamento di due binari;
- scambi/intersezione (semplici o doppi), quando consentono sia la deviazione che l'attraversamento reciproco tra due binari.

Uno scambio semplice si compone di un ramo principale o di corretto tracciato, che rappresenta la continuazione del binario corrente, e di un ramo deviato, che consente ai convogli di immettersi dal binario principale all'altro binario (figura 1.8). A seconda della direzione di quest'ultimo, un deviatore si dice destro o sinistro.

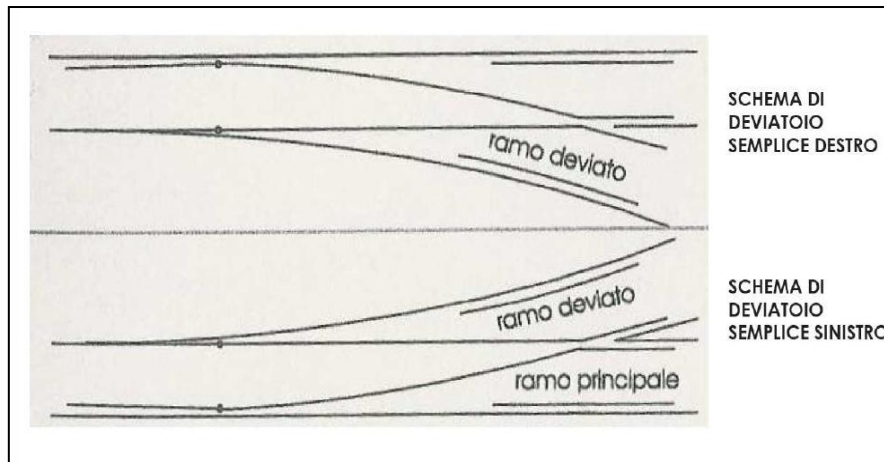


Figura 1.8: scambio semplice

Un deviatoio è classificato in base al tipo di armamento (peso al metro lineare della rotaia di cui è composto), al raggio di curvatura del ramo deviato e alla tangente dell'angolo di uscita. Ad esempio con la sigla S60/400/0.074 (dx o sx) s'indica uno scambio semplice (S), con rotaie da 60 kg/m, raggio di curvatura del ramo deviato, verso destra o verso sinistra, pari a 400 m e valore della tangente dell'angolo, che il ramo deviato forma con il ramo di corretto tracciato, pari a 0.074.

La curva del ramo deviato può essere un arco di cerchio o un arco di curva a raggio variabile; in tal caso nella denominazione dello scambio viene indicato sia il valore del raggio in entrata che quello del raggio in uscita.

Le parti principali di uno scambio sono: il telaio degli aghi, il cuore e le rotaie intermedie, che collegano le due parti precedenti (figura 1.9). Uno scambio si dice percorso di punta se il convoglio in transito viaggia dal telaio degli aghi al cuore; in caso contrario lo scambio si dice percorso di calcio.

Parlando di telaio degli aghi s'intende il complesso dei due contraghi (destro e sinistro), dei due aghi (destro e sinistro) ad essi accoppiati e dei tiranti che collegano i due aghi. L'ago è una rotaia dal profilo speciale, lavorata per essere accoppiata al contrago. I due aghi dello scambio, collegati da tiranti, costituiscono un telaio mobile che, secondo la posizione assunta, consente di proseguire sul corretto tracciato o sul ramo deviato. Il contrago è una rotaia lavorata collegata alle due rotaie del binario da deviare.

Il cuore è la parte fissa dello scambio, sulla quale avviene l'incrocio del corretto tracciato e del ramo deviato. Può essere costituito da rotaie lavorate e assemblate oppure può essere ricavato da una fusione di acciaio resistente all'usura. All'interno del cuore, per via degli incroci dei tracciati, è presente lo spazio nocivo: una zona entro la quale la ruota non risulta guidata. Il mantenimento della traiettoria da parte del convoglio in transito è garantito dalle controrotaie, profili speciali laminati, accoppiati alla rotaia e posati per garantire la guida delle ruote del convoglio in corrispondenza della zona centrale del cuore.

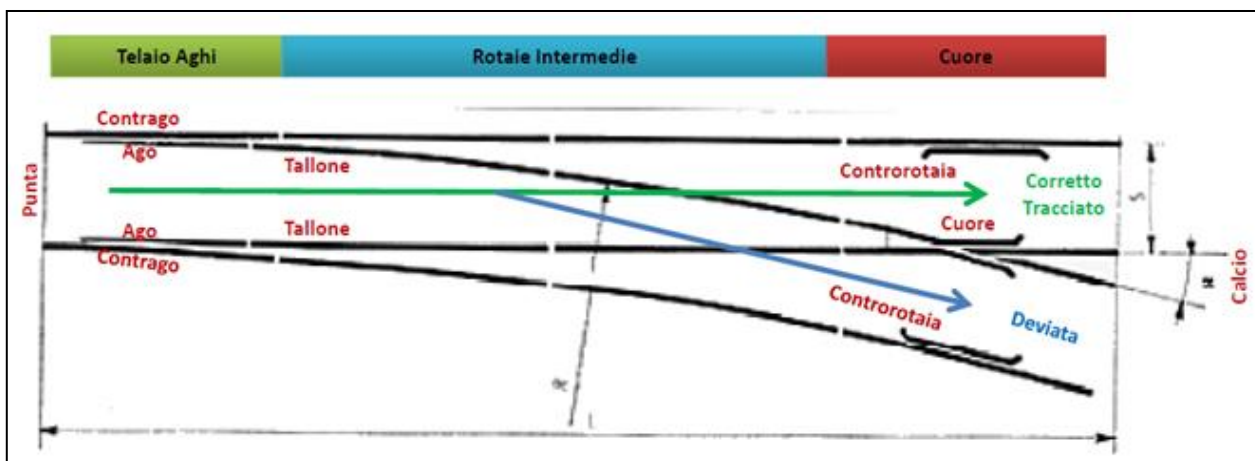


Figura 1.9: elementi di uno scambio

Sulle linee ad alta velocità, la controrotaia non è sufficiente a mantenere in sede il convoglio ferroviario e l'accelerazione che si trasmette alla cassa del veicolo, quando questo entra nello spazio nocivo e subisce spostamenti laterali, è elevata. Per questi motivi sulle linee AV/AC si utilizza un cuore a punta mobile, manovrato in sincronia con gli aghi del deviatoio (figura 1.10). Così facendo si garantisce la continuità del piano di rotolamento e si elimina lo spazio nocivo, rendendo non necessarie le controrotaie. Per compensare l'accelerazione laterale che si sviluppa alle alte velocità e ridurre il rischio d'instabilità laterale, le rotaie nei deviatoi sono posizionate inclinate di $1/20$ rispetto all'orizzontale [3].

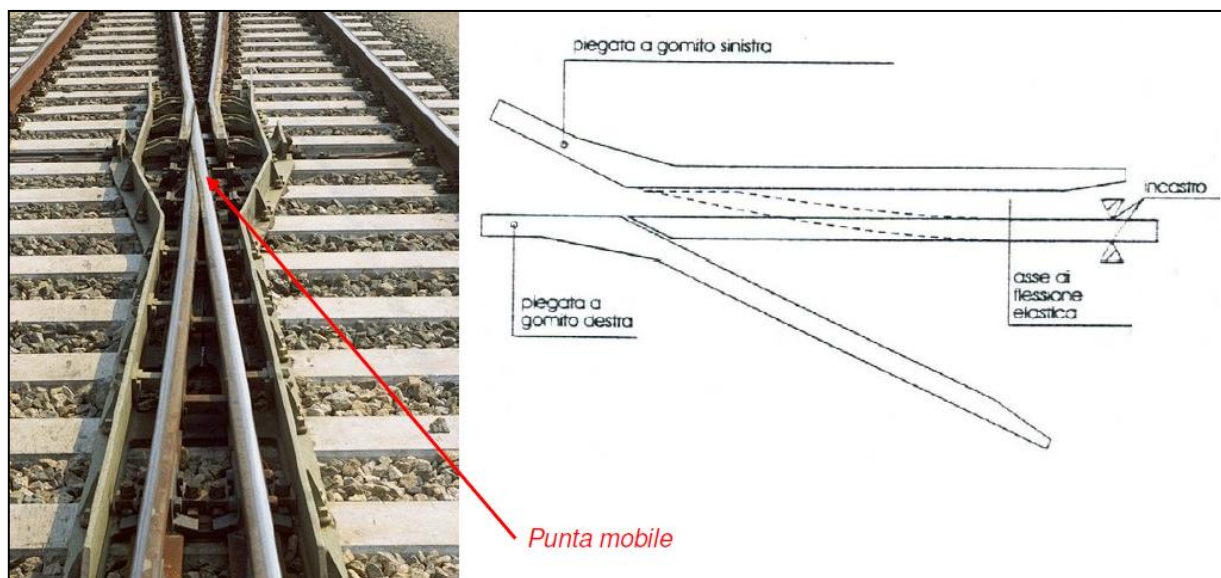


Figura 1.10: cuore a punta mobile per linee AV/AC

1.3. Linee AV/AC in esercizio e in costruzione

Attualmente la rete italiana AV/AC è a diversi livelli di avanzamento:

- le nuove linee alta velocità Torino – Milano – Napoli – Salerno sono in piena attività dal dicembre 2009;

- lungo la direttrice Milano – Venezia sono già in esercizio le linee AV/AC tra Milano e Treviglio e tra Padova e Mestre, e da maggio 2011 sono in corso i lavori di realizzazione della Treviglio – Brescia;
- lungo la direttrice del Terzo Valico di collegamento tra Milano e Genova, da novembre 2011 sono iniziati i lavori tra Genova e Tortona;
- potenziamenti, adeguamenti e quadruplicamenti di linee esistenti e realizzazioni di nuove linee sono già attuati, altri in corso o da avviare, lungo le direttrici internazionali dei valichi alpini e nel Mezzogiorno;
- interventi di riorganizzazione dei grandi nodi urbani attraversati dall'AV/AC sono in corso, anche con la realizzazione di nuove stazioni alta velocità.

Nella figura seguente sono rappresentate le linee in esercizio, in costruzione e in progettazione sul territorio italiano (figura 1.11). Si procede poi con una descrizione più dettagliata delle linee in esercizio, degli interventi in progetto e in corso di realizzazione.



Figura 1.11: linee AV/AC italiane

- La linea Torino – Milano è lunga complessivamente 125 km ed è collegata alla linea esistente mediante cinque interconnessioni. Una prima tratta di 84 km, da Torino Stura a Novara, è stata aperta al pubblico da febbraio 2006, mentre da dicembre 2009, con

L'apertura del rimanente tratto tra Novara e Milano, la linea è completamente in esercizio. A oggi sono in ultimazione alcune limitate opere complementari e di mitigazione ambientale. Come le altre linee AV/AC, è attrezzata con l'innovativo sistema a standard europeo ERTMS/ETCS di livello 2 per la supervisione e il controllo del distanziamento dei treni, il quale consente velocità fino a 300 km/h.

- La linea Milano – Bologna, lunga 182 km e connessa alla linea esistente con otto interconnessioni, è aperta al pubblico dal 14 dicembre 2008. Attualmente sono in corso rimanenti opere complementari e di mitigazione ambientale. Anche in questo caso il sistema a standard europeo ERTMS/ETCS livello 2 per la supervisione e il controllo del distanziamento dei treni, consente velocità fino a 300 km/h.
- La linea Bologna – Verona, fondamentale per i collegamenti tra nord e sud del Paese e per l'inserimento nei corridoi prioritari trans-europei, fa parte della rete AV/AC italiana: è stata potenziata ed è oggi una linea a doppio binario dotata di avanzate tecnologie per la sicurezza e il controllo della circolazione. La velocità massima di progetto per tale linea è 200 km/h.
- La linea Bologna – Firenze si sviluppa per 79 km ed è in galleria per il 93% del suo tracciato. È aperta al pubblico dal 13 dicembre 2009 e al momento sono in fase di ultimazione alcune limitate opere complementari e di mitigazione ambientale. È attrezzata con l'innovativo sistema a standard europeo ERTMS/ETCS livello 2 per la supervisione e il controllo del distanziamento dei treni.
- La linea Firenze – Roma (Direttissima) è la prima linea alta velocità in Europa: era già attiva all'inizio degli anni '80. Si sviluppa per 254 km ed è caratterizzata da sei interconnessioni con la rete storica Roma – Firenze: Orte, Orvieto, Chiusi, Arezzo, Valdarno e Rovezzano. Attualmente l'adeguamento della Direttissima agli standard delle nuove linee veloci richiede interventi sulle opere civili esistenti (gallerie, viadotti, ecc.), sull'armamento, sugli impianti di trazione elettrica, di segnalazione e di telecomunicazione.
- La linea Roma – Napoli, di oltre 205 km di lunghezza complessiva, presenta cinque interconnessioni con la linea storica Roma – Cassino – Napoli. Aperta al pubblico dal dicembre 2005 per oltre 180 km da Roma a Gricignano, da dicembre 2009 è completamente in esercizio. A oggi sono in fase di ultimazione alcune limitate opere complementari e di mitigazione ambientale. È attrezzata con l'innovativo sistema a standard europeo ERTMS/ETCS livello 2 per la supervisione e il controllo del distanziamento dei treni.
- La linea Napoli – Salerno, attivata a metà del 2008, si sviluppa per circa 29 km e realizza, quale prolungamento della linea AV Roma – Napoli, il collegamento veloce nord/sud liberando l'attuale linea costiera Napoli – Torre Annunziata – Salerno per l'esclusivo servizio metropolitano. La linea si sviluppa da Bivio Casoria sino al Bivio Salerno, predisposto per l'eventuale prosecuzione verso sud, da cui si dirama l'interconnessione con la linea costiera Napoli – Salerno.

Entrambe le direttrici settentrionali della rete AV/AC costituiscono i tratti ferroviari italiani di due corridoi prioritari nelle strategie comunitarie d'integrazione delle reti europee di trasporto (TEN-T) e di rafforzamento del ruolo della ferrovia nello sviluppo dei traffici merci tra i grandi porti del nord Europa e del Mediterraneo e tra Europa occidentale e Europa dell'est. La direttrice trasversale AV/AC Milano – Verona – Venezia è, insieme alla linea AV Torino – Milano, parte del corridoio prioritario trans europeo che dalla Spagna arriva alla frontiera ucraina (corridoio Mediterraneo). Il Terzo Valico dei Giovi, di collegamento AV/AC tra il porto di Genova e la rete padana, costituisce uno degli sbocchi sul Mediterraneo del corridoio prioritario trans europeo numero 6, il corridoio Genova - Rotterdam. La realizzazione delle opere AV/AC programmate lungo le direttrici è in sviluppo per fasi successive con priorità al quadruplicamento dei tratti più saturi e al potenziamento della capacità per il traffico merci e passeggeri anche nei grandi nodi ferroviari attraversati.

- La linea Milano – Treviglio – Brescia – Verona è già in esercizio nei 27 km tra Milano e Treviglio e in realizzazione lungo i 39 km del tratto Treviglio – Brescia e nei 12 km dell'interconnessione di Brescia Ovest; complessivamente la nuova linea AV/AC Milano – Verona si svilupperà per circa 140 km.
- La linea Verona – Padova – Venezia, già in attività sui 25 km tra Padova e Mestre/Venezia, si svilupperà complessivamente per circa 100 km. Lungo i circa 75 km da Verona a Padova il tracciato attraverserà le province di Verona, Vicenza e Padova correndo in affiancamento alla rete ferroviaria esistente e all'Autostrada A4 per evitare ulteriori tagli sul territorio e per minimizzare l'estensione delle nuove infrastrutture. L'integrazione tra nuova linea e linea esistente sarà realizzata attraverso due interconnessioni, complessivamente lunghe circa 5 Km, localizzate a Vicenza e nel punto di ingresso a Padova per il collegamento tra linea AV/AC e la linea "di gronda" merci di Venezia sulla direttrice Castelfranco – Treviso – Udine/Portogruaro.

Nel Mezzogiorno la rete ferroviaria è oggetto di numerosi interventi di sviluppo e modernizzazione (figura 1.12). Oltre alle linee AV/AC Roma – Napoli – Salerno, già completamente in attività, lungo le direttrici Napoli – Bari/Napoli – Reggio Calabria e Palermo – Catania – Messina sono in corso e in progetto interventi di potenziamento e realizzazioni di nuove linee. I vari interventi sono integrati nei piani di sviluppo del corridoio trans-europeo numero 5, l' Helsinki - Valletta.

Lungo gli oltre 420 km dell'itinerario Salerno – Reggio Calabria è previsto il prolungamento da Salerno a Battipaglia dell'AV/AC Torino – Milano – Napoli – Salerno, e quindi la prosecuzione fino a Reggio Calabria, attraverso nuovi tratti di linea e/o upgrading della linea esistente, con aumento della velocità. Sulla direttrice Napoli – Foggia – Bari sono in progetto interventi di velocizzazione e potenziamento.

Ramo terminale del corridoio Helsinki - Valletta, la rete siciliana è interessata da raddoppi, incrementi di velocità e realizzazioni di nuove linee, al fine di essere inserita nel sistema AV/AC [24].



Figura 1.12: linee AV/AC nell'Italia meridionale

1.4. La linea AV/AC Milano – Bologna

Lunga complessivamente 182 km, la linea AV Milano – Bologna si estende per circa l'80% nel territorio emiliano e per la restante parte nel territorio lombardo, attraversando 42 comuni. Per minimizzare gli impatti sull'ambiente naturale e i tagli al terreno agricolo, il tracciato corre quanto più possibile in parallelo all'autostrada A1, circa 130 km, o alla linea ferroviaria esistente, circa 10 km. La nuova linea si sviluppa per 178.5 km allo scoperto (rilevati, ponti e viadotti) e per 3.5 km in gallerie artificiali. Tra le opere di inserimento nel territorio si contano oltre 100 km di barriere antirumore, 750 ettari di interventi a verde, 90 km di nuova viabilità al servizio dei cantieri e 96 interventi archeologici.

Nella tabella 1.2 si riportano le caratteristiche generali della linea [16].

Lunghezza della linea	182 (km)
Rilevati	146.5 (km)
Viadotti	32 (km)
Gallerie artificiali	3.5 km
Cavalcaferrovia e sottovia	168
Interconnessioni con linee storiche (PJ)	8
Posti di comunicazione (PC)	5
Posti di manutenzione (PM)	2
Nuove stazioni (Reggio Emilia)	1
Velocità di esercizio	300 (km/h)
Velocità minima	240 (km/h)
Rifacimento linee storiche (rilocazioni, raddoppi, piazzali)	35 (km)
Lunghezza delle rotaie	964000 (m)
Fabbricati tecnologici	68
Elettrodotti	216 (km)

Tabella 1.2: caratteristiche generali della linea Milano-Bologna

L'integrazione tra nuova linea e linea esistente è realizzata attraverso otto interconnessioni (figura 1.13), a Melegnano, Piacenza (est e ovest), Fidenza, Parma, Modena (est e ovest) e Lavino, per complessivi 28 km, che assicurano l'interscambio funzionale fra le due linee, garantiscono la fermata e l'instradamento dei treni veloci passeggeri nelle principali stazioni della linea storica e svolgono un ruolo strategico nel potenziamento del trasporto merci.

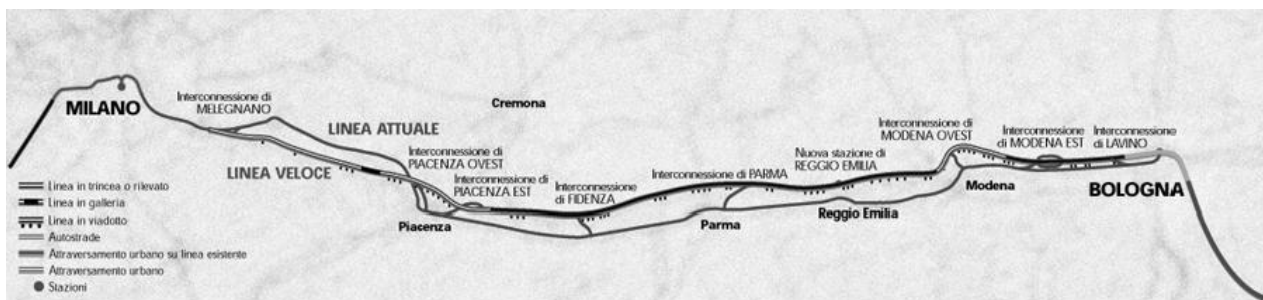


Figura 1.13: tracciato della linea AV/AC e interconnessioni con la linea esistente

Le interconnessioni (figura 1.14) sono dotate di scambi che consentono di impegnare i rami deviati con velocità:

- sino a 100 km/h con deviatori del tipo S60/1200/0.040 c. p. m. (cuore a punta mobile),

- pari a 160 km/h con deviatori S60/3000-∞/0.022 c. p. m. (tracciato clotoidale con raggio in uscita retto).

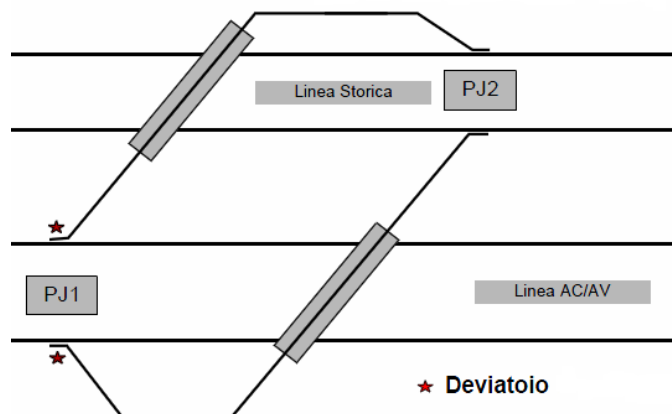


Figura 1.14: posto di interconnessione

Oltre alle interconnessioni, sul tracciato sono presenti altre località di servizio; in particolare per conferire elasticità alla circolazione e per consentire un'agevole manutenzione, la linea è servita da:

- posti di movimento;
- posti di comunicazione (distanziati di circa 30 km);
- posti di manutenzione, coincidenti con i posti di movimento.

I posti di movimento sono posti di servizio assimilabili a stazioni dove, normalmente, non è effettuato servizio viaggiatori (figura 1.15). Sono utilizzati per realizzare le precedenze sui treni a corsa rallentata per guasti o altri motivi, e, in genere, sono gestiti in telecomando; in caso di necessità possono essere presenziati da personale operativo sul posto. Ogni posto di movimento è dotato di:

- due comunicazioni pari/dispari percorribili a velocità di 160 km/h costituite da due scambi con il cuore a punta mobile S60/3000-∞/0.022;
- due binari di precedenza della lunghezza di 650 metri, ubicati a lato dei binari di corsa e a questi allacciati con scambi percorribili a 60 km/h (S60/400/0.074 c. p. m.), muniti di tronchini di sicurezza allacciati con scambi percorribili a 30 km/h;
- un fabbricato di servizio contenente sia le apparecchiature del posto, che gli uffici ad uso del personale che vi può far capo.

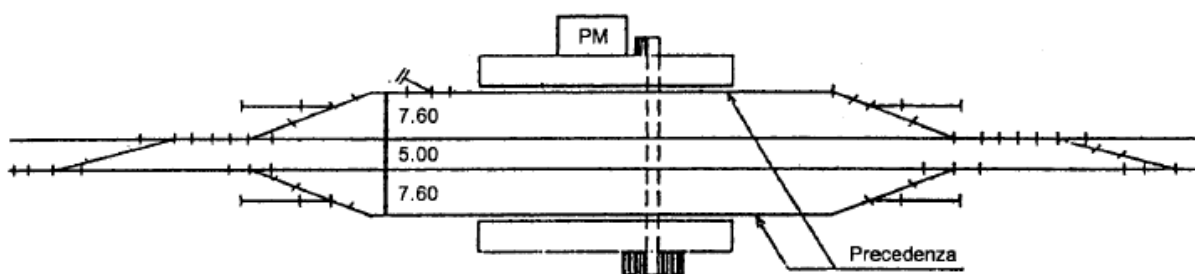


Figura 1.15: posto di movimento

I posti di comunicazione sono località di servizio nelle quali due binari paralleli si interconnettono fra loro: è quindi permesso il passaggio fra i due binari (figura 1.16). Tali posti sono in genere telecomandati e solo eccezionalmente gestiti direttamente sul posto. Ogni posto di comunicazione è dotato di:

- due comunicazioni pari/dispari percorribili alla velocità di 160 km/h costituite da due scambi con il cuore a punta mobile S60/3.000-∞/0.022;
- un fabbricato con annesso ufficio di movimento (nel caso di posto presenziato).

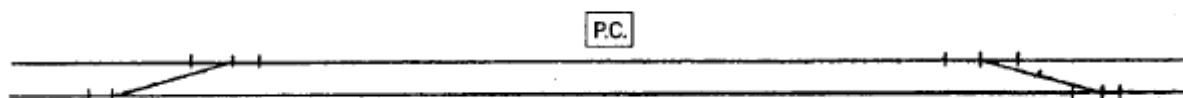


Figura 1.16: posto di comunicazione

I posti di manutenzione sono allacciati a uno dei binari di precedenza del posto di movimento, con scambi percorribili a 30 km/h (S60/250/0.12 con cuore a punta fissa) (figura 1.17). Sono costituiti da un fascio, dotato di asta di manovra, di 5 binari (normalmente) tronchi, della lunghezza minima di 300-350 metri. Tali posti sono inoltre dotati di:

- un Fabbricato Servizi Accessori con funzione di magazzino del materiale e degli attrezzi occorrenti per la manutenzione;
- un Fabbricato Servizi di Vigilanza e di pronto intervento di ricovero dei macchinari relativi e dei macchinari di soccorso.

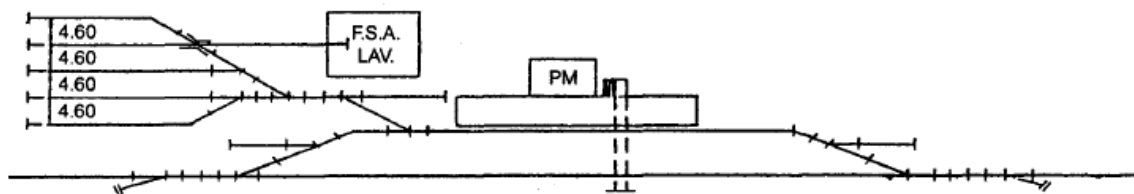


Figura 1.17: posto di manutenzione

La linea AV/AC Milano – Bologna è a doppio binario e l'interasse di progetto, cioè la distanza fra gli assi dei due binari adiacenti, è di 5 metri. Esso è variabile tra 5.0 e 4.5 metri nella tratta iniziale (lato Milano) e variabile nella zona Viadotto Modena, dove avviene lo sdoppiamento del binario.

Le caratteristiche geometriche del binario sono stabilite in modo da garantire la massima sicurezza alla massima velocità di progetto della linea, assicurando nello stesso tempo un elevato comfort di marcia sia per il traffico passeggeri, che per quello merci.

Le rotaie sono posate in modo da ottenere un valore di scartamento nominale pari a quello europeo: 1435 mm. Con il termine scartamento si indica la minima distanza fra i fianchi attivi dei funghi delle due rotaie, misurata dal piano di rotolamento a 14 mm sotto di esso.

Il raggio delle curve presenti sul tracciato della linea e la loro sopraelevazione, necessaria a contrastare l'azione della forza centrifuga, sono determinati dal valore massimo dell'accelerazione centrifuga non compensata e dell'accelerazione centripeta per ipercompensazione, cui è sottoposto il veicolo che percorre la curva di raggio minimo nelle due condizioni di:

- velocità massima,
- velocità della circolazione lenta.

In termini matematici si possono impostare e porre a sistema le seguenti equazioni:

$$\frac{P}{g} \frac{v_{\max}^2}{R_{\min}} - \frac{P}{g} a_{nc} = P \frac{h_{\max}}{s}$$

$$\frac{P}{g} \frac{v_l^2}{R_{\min}} + \frac{P}{g} a'_c = P \frac{h_{\max}}{s}$$

dove

$v_{\max} = 300$ km/h, è la velocità massima della linea

$v_l = 80$ km/h, è la velocità della circolazione lenta

$a_{nc} = 0.6$ m/s², è l'accelerazione centrifuga non compensata

$a'_c = 0.6$ m/s², è l'accelerazione centripeta per ipercompensazione

$s = 1500$ mm, è la distanza fra gli assi delle due rotaie

$g = 9.81$ m/s², è l'accelerazione di gravità

P = peso del veicolo

Introducendo le grandezze:

- difetto di sopraelevazione: $j = \frac{s}{g} a_{nc}$ (mm)

- eccesso di sopraelevazione: $e = \frac{s}{g} a'_c$ (mm)

e risolvendo il sistema, si ottengono i valori del raggio minimo delle curve e della sopraelevazione massima delle rotaie in curva:

$$R_{\min} = 11,8 \frac{v_{\max}^2 - v_l^2}{j + e} = 5361 \text{ (m)}$$

$$h_{\max} = (j + e) \frac{v_{\max}^2}{v_{\max}^2 - v_l^2} - j = 105 \text{ (mm)}$$

Analogamente e come si opera sulla rete storica, la sopraelevazione nelle curve con raggio superiore al minimo è tale da ridurre l'accelerazione centrifuga in maniera proporzionale al valore della sopraelevazione stessa.

Nel passaggio da tratti in rettilineo a tratti in curva cambia il valore della sopraelevazione: in particolare esso risulta nullo nei rettilinei e diverso da zero nei tratti curvilinei. Per garantire il comfort di moto è necessario raccordare i tratti privi di sopraelevazione con i tratti sopraelevati. La lunghezza del raccordo (l) è determinata a partire dalla definizione di contraccollo (c), cioè della variazione dell'accelerazione centrifuga non compensata che agisce sul convoglio in curva:

$$c = \frac{a_{nc} \cdot v}{3.6 \cdot l} \text{ (m/s}^3\text{)}$$

dove

l = lunghezza del raccordo di sopraelevazione

$v = 300$ km/h, è la velocità massima della linea

$a_{nc} = 0.6$ m/s², è l'accelerazione centrifuga non compensata

Fissando il valore massimo del contraccollo a 0.15 m/s³ (corrispondente a un buon comfort di moto), dalla relazione precedente si ricava la lunghezza del raccordo di sopraelevazione: $l = 330$ m.

Dal punto di vista planimetrico fra rettilinei e curve circolari vanno inserite delle curve di transizione con raggio variabile, in modo tale da garantire una graduale variazione dell'accelerazione centrifuga. In particolare si realizzano dei raccordi parabolici della stessa lunghezza dei raccordi di sopraelevazione e coincidenti con essi.

Uscendo da una curva, un veicolo ferroviario impiega per riacquistare il proprio originale assetto verticale un tempo valutato in 2 secondi; grazie a tale valore si determina la lunghezza del rettilineo intercorrente fra due successive curve:

$$l_r = \frac{2 \cdot v}{3.6} = 170 \text{ (m)}$$

Per quanto riguarda le livellette che compongono il tracciato, la pendenza massima è pari al 15‰, in quanto la linea deve essere percorribile anche da convogli con una potenza specifica di 5-6 kW/ton. I raccordi altimetrici fra i vari tratti a pendenza costante hanno un raggio ampio, al fine di contenere l'accelerazione centrifuga verticale. In particolare dall'equazione di equilibrio nel piano verticale si ottiene:

$$a_c = \frac{v_{\max}^2}{12.96 \cdot R_{\min}} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

Invertendo la precedente espressione e ponendo come limite dell'accelerazione il valore 0.35 m/s², si ottiene il raggio minimo dei raccordi altimetrici, pari a 20000 m.

Nella tabella 1.3 si riassumono le caratteristiche geometriche della linea e i rispettivi valori, che tengono conto delle considerazioni e dei calcoli precedentemente descritti [16].

Scartamento	1435 (mm)
Interasse di progetto	5.00 (m)
Pendenza massima	15‰
Raggio minimo	5650 (m)
Sopraelevazione massima	10.50 (cm)
Lunghezza raccordo parabolico	330 (m)
Raggio raccordo altimetrico	20000 (m)
Lunghezza rettilo fra due curve successive	200 (m)

Tabella 1.3: caratteristiche geometriche della linea Milano-Bologna

Il binario corrente della linea è costituito da un telaio formato da rotaie e traverse, queste ultime, annegate in una massicciata composta da pietrisco, che garantisce il corretto assetto geometrico. Come già descritto nel paragrafo 1.2, nelle linee AV/AC e quindi anche nella linea in esame, la massicciata poggia su una piattaforma in supercompattato a due falde con pendenza del 3%, con interposto il sub-ballast in conglomerato bituminoso, di spessore non inferiore a 12.50 cm.

Nella figura seguente è rappresentata la sezione trasversale tipo della linea, le distanze fra i vari elementi e le pendenze (figura 1.18) [16].

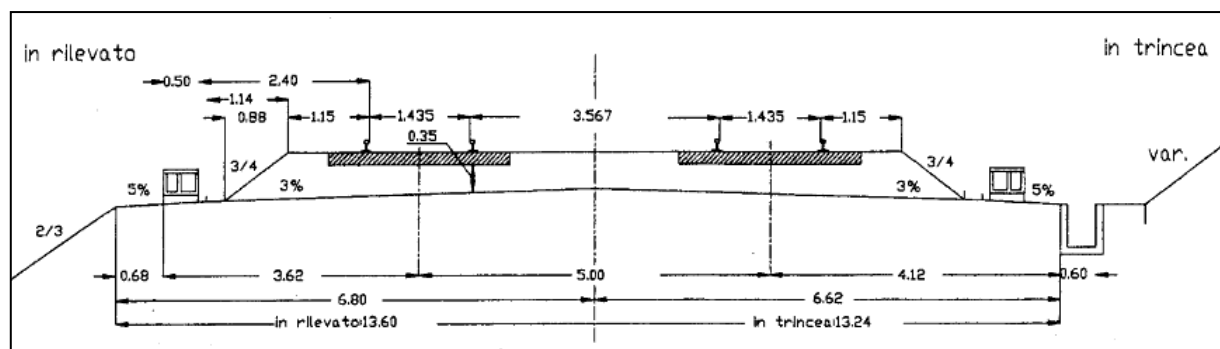


Figura 1.18: sezione trasversale tipo

Le rotaie impiegate sono di tipo standard: a profilo UIC 60, oggi denominato 60 E1 (figura 1.19). Esse sono collegate tra loro, a formare un nastro continuo, mediante saldature elettriche o alluminotermiche, e regolate in modo da costituire una lunga rotaia saldata. Le barre da collegare hanno una lunghezza di 108 m, mentre per la costruzione dei binari nei posti di manutenzione e sulle linee esistenti si impiegano rotaie in barre da 36 m. La qualità dell'acciaio delle rotaie è quella dura 900A, oggi denominata R260 secondo normativa EN 13674-1 (R: acciaio per rotaie; 260: tensione minima di rottura espressa in N/mm²). Tale acciaio è impiegato anche per le rotaie, le barre d'ago e le punte mobili degli scambi con cuore a punta mobile tipo S60/400/0.074. Gli scambi S60/3000-∞/0.022 sono invece equipaggiati con rotaie, barre d'ago e punte mobili in acciaio extraduro trattato termicamente, denominato R350 HT.

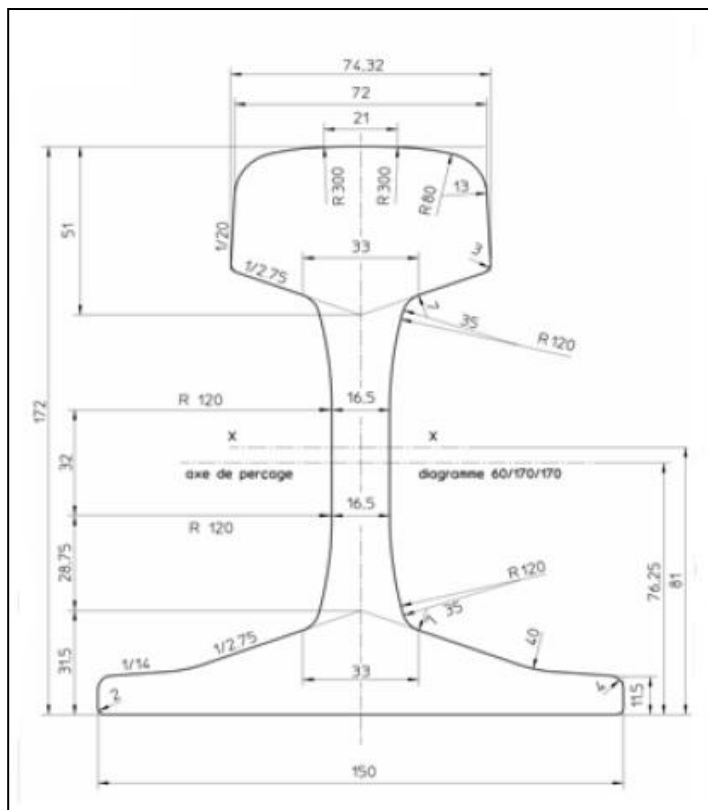


Figura 1.19: rotaia 60 E1

Le traverse impiegate sulla linea sono in calcestruzzo armato precompresso, lunghe 2.6 m e di massa pari a 400 kg. Esse sono posate, a formare il binario, a interasse di 60 cm. Nelle interconnessioni e nei posti di movimento l'interasse rimane invariato, mentre le traverse utilizzate sono lunghe 2.4 m e hanno una massa pari a 370 kg. Entrambe le tipologie di manufatti in calcestruzzo impiegati hanno una larghezza massima di 0.30 m e un'altezza sotto rotaia di 0.22 m [4].

Gli organi di attacco, cioè i dispositivi che fissano le rotaie alle traverse garantendone la corretta posizione, sono di tipo elastico indiretto (figura 1.20): l'ancoraggio è assicurato da una spalletta in ghisa inglobata nel monoblocco della traversa in calcestruzzo armato (reazione alle spinte orizzontali), mentre la funzione di fissaggio verticale è affidata alla molla "Pandrol". Quest'ultima viene forzata, durante l'installazione, tra l'elemento metallico inglobato nel manufatto in calcestruzzo e la suola della rotaia. Il posizionamento della molla non richiede il controllo da parte dell'operatore, ma dipende esclusivamente dalle tolleranze di costruzione degli elementi metallici inglobati nella traversa e dalla correttezza della loro posizione nel manufatto, che, realizzata nello stabilimento di produzione, può essere controllata in maniera completa con tolleranze entro limiti predeterminati e mantenuti costanti. Tra la molla e la suola della rotaia sono inserite delle piastrine isolanti che isolano la rotaia, rendendola atta a far parte del circuito elettrico di binario. Le piastrine realizzano, inoltre, un'interfaccia sagomata fra la rotaia e la faccia interna degli ancoraggi, impedendo così l'usura dei due componenti metallici. Tra la suola della rotaia e il piano di appoggio della stessa viene interposta una piastra sottorotaia in gomma con idonee caratteristiche elastiche, in modo da attenuare la trasmissione dei carichi impulsivi, le vibrazioni e le altre sollecitazioni che si generano nel contatto ruota-rotaia. Tale piastra realizza anche

l'isolamento elettrico del binario, agendo in combinazione con gli elementi isolatori, e costituisce un'interfaccia tra l'acciaio della rotaia e il calcestruzzo della traversa, proteggendo quest'ultima dalle abrasioni.

Le varie componenti dell'organo di attacco sono mostrate nelle figura 1.21 [16].



Figura 1.20: organo di attacco

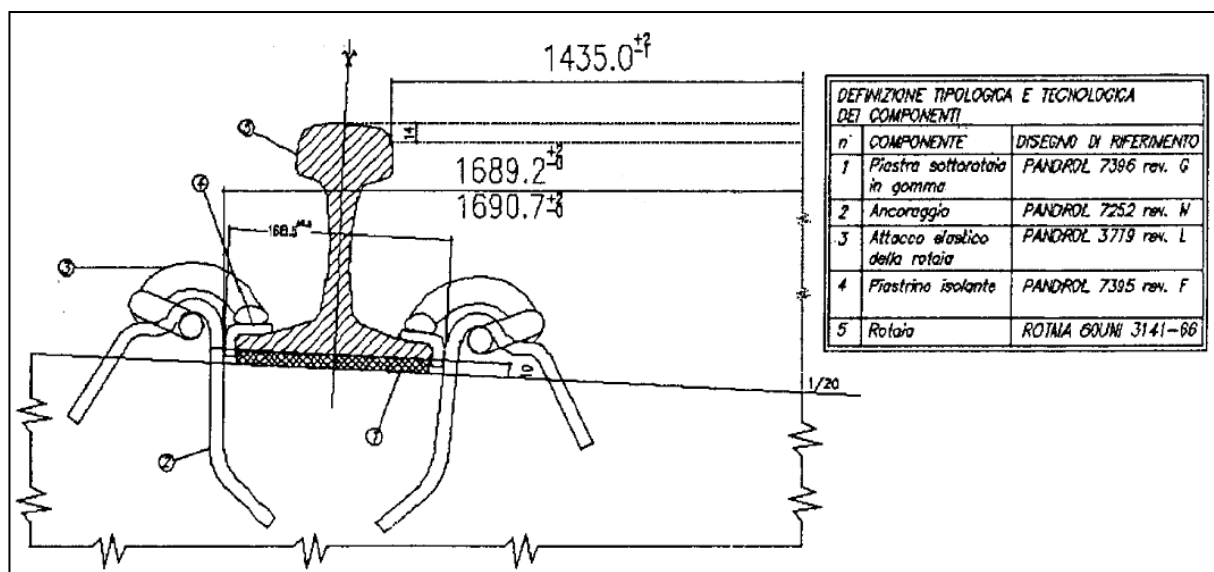


Figura 1.21: componenti dell'organo di attacco

Descrivendo precedentemente i posti di servizio, sono già state citate le tipologie di deviatori, ossia di dispositivi che consentono la deviazione da un binario all'altro, presenti lungo la linea; di seguito se ne riportano nel dettaglio le caratteristiche geometriche [4].

- Scambio S60/3000-∞/0.022 (figure 1.22 e 1.23)
- Lunghezza reale dello scambio: 132.00 (m)
- Raggio in entrata: 3004647.70 (mm)
- Tracciato clotoidale (raccordo progressivo a raggio variabile)
- Raggio in uscita: infinito (retto)
- Cuore a punta mobile

- Velocità in deviata: 160 (km/h)
- Accelerazione nominale a 160 (km/h): 0.66 (m/s²)

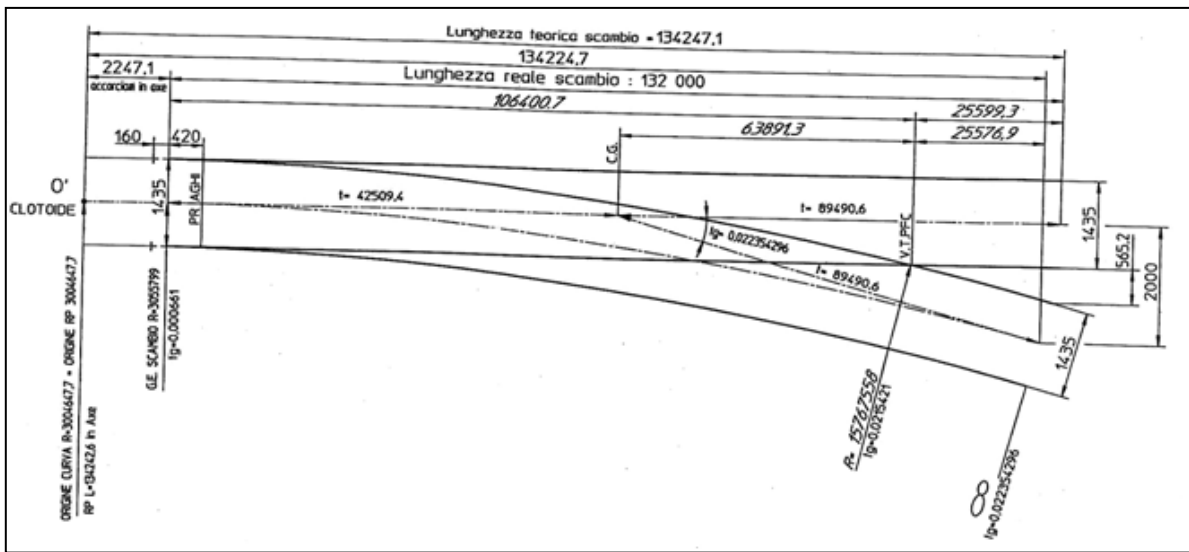


Figura 1.22: schema deviatoio S60/3000-∞/0.022



Figura 1.23: deviatoio S60/3000-∞/0.022

- Scambio S60/400/0.074 (figure 1.24 e 1.25)
- Lunghezza reale scambio: 42.100 (m)
- Raggio: 405715 (mm)
- Tracciato: curva con raggio costante
- Cuore a punta mobile retto
- Velocità in deviata: 60 (km/h)
- Accelerazione nominale a 60 (km/h): 0.60 (m/s²)

All'interno di un deviatoio il cuore viene definito retto quando il tratto in curva si conclude prima di esso; in caso contrario anche il cuore sarà curvo.

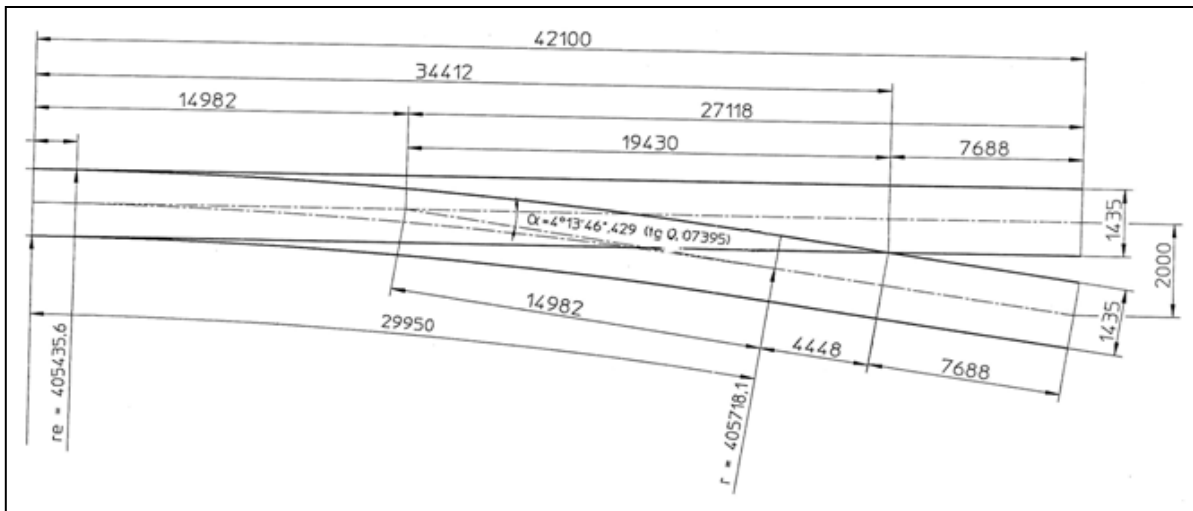


Figura 1.24: schema deviatoio S60/400/0.074



Figura 1.25: deviatoio S60/400/0.074

CAPITOLO 2:

LA DIAGNOSTICA E LA QUALITÀ GEOMETRICA DEL BINARIO

2.1. La diagnostica ferroviaria

Con il termine “diagnostica” s’intende l’insieme delle attività volte a determinare lo stato delle diverse componenti dell’infrastruttura ferroviaria, al fine di:

- garantire la sicurezza dell’esercizio;
- prevenire i guasti;
- concentrare le risorse manutentive dove si registra un degrado delle caratteristiche geometriche e/o dei parametri di funzionamento dell’infrastruttura, incompatibile con il livello di servizio desiderato (manutenzione “on condition”).

L’attività diagnostica è strettamente collegata alla manutenzione della linea ferroviaria: gli interventi correttivi o preventivi sono pianificati sulla base dei difetti rilevati durante l’analisi dello stato delle componenti dell’infrastruttura.

La diagnostica può essere di due tipologie:

- ordinaria o visiva, la quale comprende tutti i controlli visivi, le ispezioni, le visite, ecc.;
- tecnica o strumentale, la quale è attuata mediante apposite apparecchiature di misura, e si suddivide a sua volta in diagnostica fissa e mobile.

La diagnostica fissa è attuata mediante l’applicazione stabile di dispositivi di misura su particolari enti dell’infrastruttura, in maniera da rilevare in continuo i parametri di funzionamento. È particolarmente utile per monitorare le opere civili, mantenendo controllata l’evoluzione nel tempo del loro comportamento. I dati, provenienti da sensori ad alta risoluzione o elevata frequenza di campionamento, sono acquisiti in maniera centralizzata, trasmessi a un Posto di Controllo Centrale ed elaborati. In questo modo è possibile sorvegliare il comportamento di opere o strutture, verificando la rispondenza agli obiettivi stabiliti in fase progettuale, e pianificare eventuali interventi di manutenzione correttiva.

Fanno parte della diagnostica fissa anche i sistemi MTR (Monitoraggio Temperatura Rotaia) e RTB (Rilevamento Temperatura Boccole). Il primo consente di acquisire i dati riguardanti le temperature del binario e di adottare i necessari provvedimenti di circolazione; il secondo rileva la temperatura delle boccole (scatole di ghisa o acciaio contenenti i cuscinetti degli assi dei veicoli, che trasmettono il carico al perno di estremità) degli assi dei veicoli in movimento, importante da monitorare poiché gli assi surriscaldati e i freni bloccati sono le cause principali di situazioni immediatamente pericolose per la sicurezza di marcia. Più nel dettaglio, il sistema RTB impiega captatori con un elemento sensibile ai raggi infrarossi, che ogni boccola o asse anche parzialmente frenato, come ogni corpo caldo, inizia a emettere sin da quando la temperatura è ancora lontana da quella di un vero e proprio riscaldamento pericoloso. I dati rilevati da entrambi i sistemi sono visualizzati in un Posto di Controllo Centrale.

Altri strumenti per l'attività diagnostica fissa sono i rilevatori di carico dinamico (RICAD): dispositivi posizionati lungo le linee, attraverso i quali è possibile misurare l'andamento dei carichi assiali trasmessi dalle ruote dei veicoli ferroviari alle traverse.

La diagnostica mobile è attuata mediante rotabili attrezzati con sistemi di misura che, transitando sulle linee, rilevano i parametri indicativi dello stato e del funzionamento dell'infrastruttura. In particolare, Rete Ferroviaria Italiana dispone di una flotta di treni diagnostici e di alcuni carrelli automotori, attraverso i quali è possibile controllare lo stato geometrico del binario, l'usura e il profilo delle rotaie, le condizioni delle saldature, degli organi di attacco e delle traverse, le accelerazioni che si propagano al corpo della carrozza, la linea aerea di contatto, le telecomunicazioni e gli impianti di sicurezza. La velocità di acquisizione dei dati d'interesse, e di conseguenza la velocità di transito del rotabile lungo la linea, dipende dal particolare mezzo diagnostico, poiché le tecnologie utilizzate per le misurazioni sono differenti [3].

I rotabili attraverso cui si effettua la diagnostica mobile verranno descritti più nel dettaglio nel paragrafo 2.4.

2.2. I parametri che indicano la qualità geometrica del binario e i parametri di dinamica di marcia

Lo stato geometrico del binario è valutato mediante il rilievo di alcuni parametri geometrici, per i quali le normative di Rete Ferroviaria Italiana stabiliscono i valori ammessi. Analizzando le misure effettuate per tali parametri e confrontandole con i valori soglia, è possibile valutare la qualità geometrica del binario. In particolare, si individuano tre livelli di qualità (che verranno descritti nel paragrafo successivo), sulla base dei quali si programmano gli interventi correttivi e si impongono limitazioni alla circolazione ferroviaria.

Per le linee di Rete Ferroviaria Italiana con velocità massima fino a 300 km/h, i parametri fondamentali che indicano la qualità geometrica del binario, e per i quali l'Istruzione della Direzione Tecnica di Rete Ferroviaria Italiana "*Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per linee con velocità fino a 300 km/h*" fissa i valori ammessi, sono:

- usura del fungo delle rotaie (a 45° e laterale);
- scartamento (livello puntuale e a media mobile);
- allineamento;
- livello longitudinale;
- livello trasversale (scarto di livello trasversale e difetto di sopraelevazione);
- sghembo (su base 3 metri e su base 9 metri);
- conicità equivalente.

Per le linee AV/AC vanno rilevati e analizzati anche parametri descrittivi delle condizioni di marcia dei treni, i quali sono correlati allo stato geometrico del binario. Tali parametri di dinamica di marcia sono:

- 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.

Di seguito si descrivono nel dettaglio i vari parametri precedentemente menzionati, introducendo prima alcuni concetti necessari alla comprensione delle descrizioni [21].

- Tavola di rotolamento: superficie superiore del fungo della rotaia.
- Superficie di rotolamento: superficie formata da rette tangenti alle due tavole di rotolamento e ortogonali all'asse del binario.
- Piano di rotolamento: piano tangente alla superficie di rotolamento.
- Sistema di riferimento del binario: sistema di riferimento relativo ortogonale centrato sul binario, introdotto per la misura di quest'ultimo; in particolare, l'asse x è rappresentato come un'estensione del binario nella direzione di marcia, l'asse y è parallelo alla superficie di rotolamento e l'asse z è perpendicolare alla superficie di rotolamento, orientato verso il basso (figura 2.1).

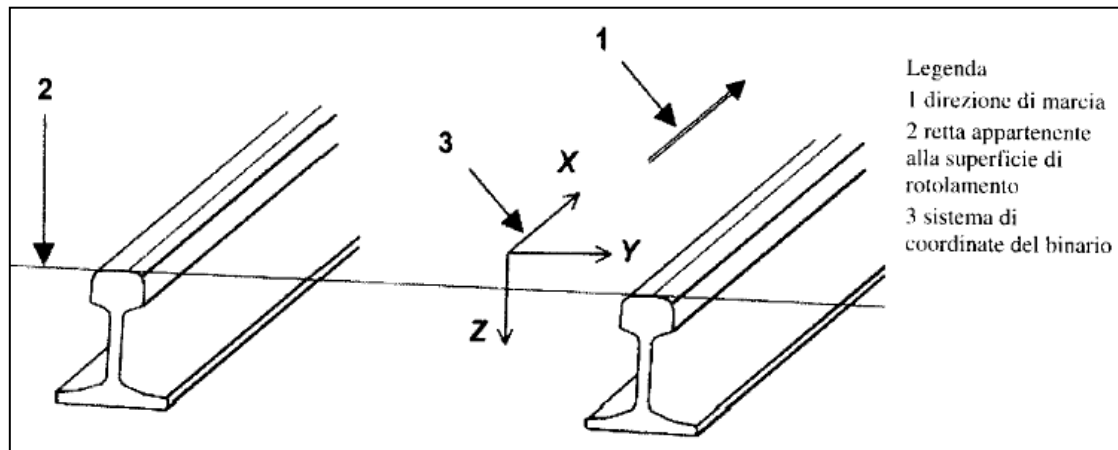


Figura 2.1: sistema di riferimento del binario

Usura a 45° (U45°)

È la mancanza di materiale, uniformemente estesa sul fianco attivo del fungo della rotaia, 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 (figura 2.2).

L'usura a 45° è misurata attraverso rilevatori di profilo, sia automatici che manuali, o con opportuni calibri. È importante rilevare tale parametro poiché oltre i limiti ammessi compromette il corretto accoppiamento con le ruote dei rotabili.

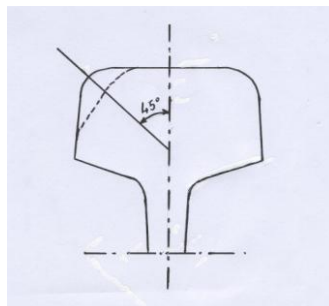


Figura 2.2: usura a 45°

Usura laterale

È la mancanza di materiale, uniformemente estesa sul fianco attivo del fungo della rotaia, espressa come distanza, in mm, tra il profilo teorico e quello reale, misurata 14 mm al di sotto del piano di rotolamento; è rilevata con rilevatori di profilo sia automatici che manuali.

L'usura laterale è strettamente connessa allo scartamento e ne condiziona il valore.

Scartamento (S)

È la minima distanza, espressa in mm, fra i fianchi delle due rotaie, misurata dal piano di rotolamento fino a 14 mm sotto di esso.

Lo scartamento deve essere contenuto entro limiti precisi per consentire la marcia dei rotabili, in quanto è in relazione alle dimensioni degli assili, ed è un indice del consumo delle rotaie e del degrado degli organi di attacco tra traverse e rotaie.

Scartamento in media mobile (S_{100})

È il valore medio di scartamento calcolato via software dai sistemi automatici di misura facendo la media degli scartamenti per un tratto di 100 metri, tratto che viene idealmente spostato continuamente lungo la linea, con passo pari al passo di campionamento delle misure.

Allineamento (A)

Per ciascuna fila di rotaia, è la misura, espressa in mm, della deviazione y_p , nella direzione Y, delle posizioni del punto P rispetto alla linea di riferimento (posizione media) (figura 2.3). L'allineamento è rappresentato nei campi di lunghezze d'onda D1, D2 e D3, riportati di seguito.

D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$

D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$

D3: $70 \text{ m} < \lambda \leq 200 \text{ m}$

I valori di riferimento indicati per i campi D2 e D3 si applicano sulle linee AV/AC.

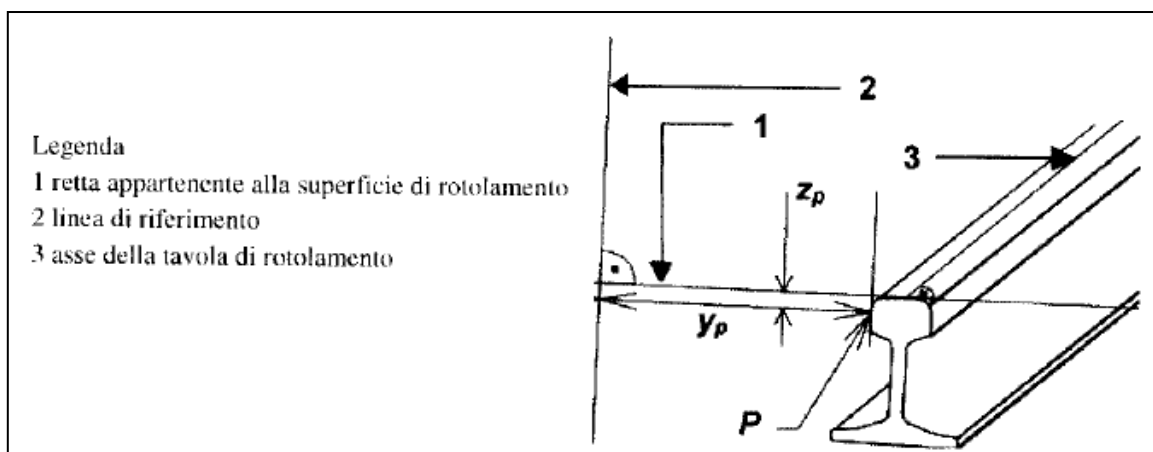


Figura 2.3: allineamento

È da sottolineare che in corrispondenza della zona lavorata del telaio degli aghi e del cuore degli scambi, uno dei due allineamenti presenta dei valori che sono influenzati dalle lavorazioni costruttive dello scambio e pertanto i sistemi di rilievo risentono di tale influenza.

Livello longitudinale (L)

Per ciascuna fila di rotaia, è 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) (figura 2.4). Il livello longitudinale è rappresentato nei campi di lunghezze d'onda D1, D2 e D3, riportati di seguito.

D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$

D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$

D3: $70 \text{ m} < \lambda \leq 150 \text{ m}$

I valori di riferimento indicati per i campi D2 e D3 si applicano sulle linee AV/AC.

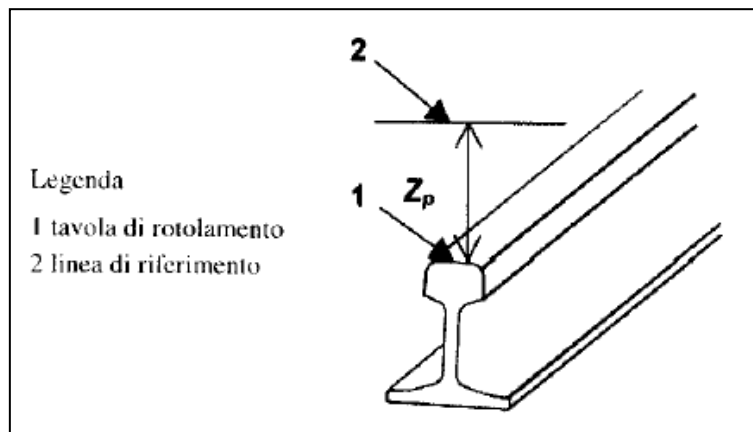


Figura 2.4: livello longitudinale

L'allineamento e il livello longitudinale consentono il controllo del tracciato plano-altimetrico delle linee e sono connessi prevalentemente al comfort di marcia.

Livello trasversale (XL)

È 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 e angolo al vertice pari all'angolo tra il piano di rotolamento e un piano orizzontale di riferimento (figura 2.5).

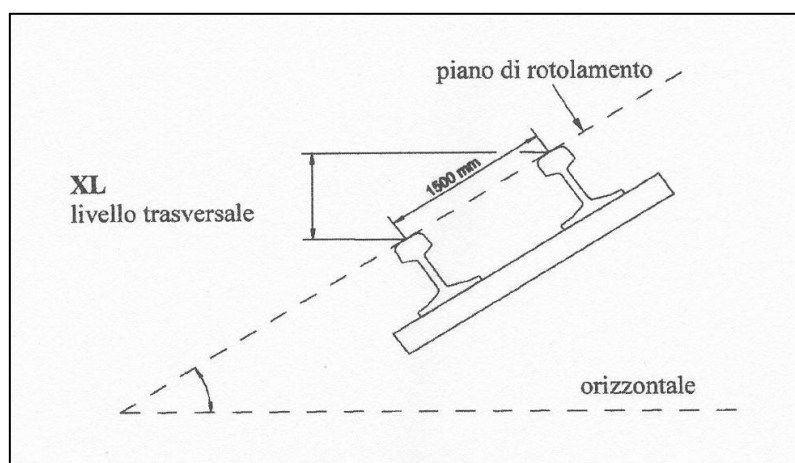


Figura 2.5: livello trasversale

Scarto di livello trasversale (SCARTXL)

Per un dato punto, è la differenza, espressa in mm, fra il suo livello trasversale XL e la media dei livelli trasversali XL di due punti posti rispettivamente 5 metri prima e 5 metri dopo il punto considerato; la differenza è calcolata via software dai sistemi automatici di misura.

Se il punto considerato è B e i punti precedente e seguente C e D, lo scarto di livello trasversale di B è: $SCARTXL = XL_B - (XL_C + XL_D)/2$.

Difetto di sopraelevazione (ΔH)

Per un dato punto, è la misura, espressa in mm, del modulo della differenza tra il livello trasversale XL e la sopraelevazione di progetto h: $\Delta H = |h - XL|$.

La sopraelevazione di progetto h è:

- 0 per binario in retta o su curve senza sopraelevazione e loro raccordi planimetrici;
- h di progetto della sopraelevazione per le curve e i loro raccordi altimetrici (h variabile).

Sghembo (γ)

È 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 ad una data distanza, che è la base di misura dello sghembo, e la base stessa.

I valori ammessi dello sghembo, indicati dalla normativa, sono per basi di lunghezza 3 metri e 9 metri.

Misurare lo sghembo serve a controllare la sicurezza di marcia nei confronti dello svio (fuoriuscita del rotabile dal binario).

Conicità equivalente

È un parametro legato al contatto ruota-rotaia che influisce sul comportamento dinamico dei rotabili, il cui calcolo è complesso ed è reso dai sistemi di diagnostica. Dipende dallo scartamento, dal profilo del fungo della rotaia, dall'inclinazione della rotaia e dal profilo delle ruote. Per la sua definizione e per i metodi di calcolo si deve far riferimento a quanto indicato nella Fiche UIC 519.

In particolare, dalla Fiche UIC 519: “La conicità equivalente di un assile reale accoppiato a un binario è pari al valore di conicità che un assile con profilo perfettamente conico dovrebbe avere, per un certo spostamento laterale, affinché descriva un movimento regolare sinusoidale con pari lunghezza d'onda (cioè identico a quello dell'assile reale)”.

La normativa fissa i valori di riferimento anche per alcune grandezze statistiche derivate dai valori rilevati dei parametri geometrici. Nel dettaglio, si considerano:

- deviazione standard allineamento (σ_A),
- deviazione standard livello longitudinale (σ_L),
- deviazione standard livello trasversale (σ_{XL}).

Tali grandezze sono gli scarti quadratici medi dei valori di allineamento, di livello longitudinale e di livello trasversale, calcolati su sezioni di binario consecutive di lunghezza 200 metri. Questi parametri statistici, calcolati via software dai sistemi automatici di misura, sono presi in considerazione poiché sintetizzano la difettosità della geometria dell'armamento di un dato tratto di linea [21].

Accelerazione in cassa in direzione verticale (\ddot{z}^*)

È l'accelerazione, misurata in m/s^2 , rilevata in cassa dei rotabili dei treni AV della classe ETR500Y. È misurata mediante accelerometri disposti sul pavimento dei rotabili, posizionati in corrispondenza dei perni dei carrelli, con gli assi di misura posti lungo la direzione verticale.

Accelerazione in cassa in direzione trasversale all'asse del binario (\ddot{y}^*)

È l'accelerazione, misurata in m/s^2 , rilevata in cassa dei rotabili dei treni AV della classe ETR500Y. È misurata mediante 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.

Accelerazione al carrello in direzione verticale (\ddot{z}^+)

È l'accelerazione, misurata in m/s^2 , rilevata sui carrelli dei rotabili dei treni AV della classe ETR500Y. È misurata mediante accelerometri disposti sui telai dei carrelli dei rotabili, con gli assi di misura posti lungo la direzione verticale.

Accelerazione al carrello in direzione trasversale (\ddot{y}^+)

È l'accelerazione, misurata in m/s^2 , rilevata sui carrelli dei rotabili dei treni AV della classe ETR500Y. È misurata mediante accelerometri disposti sui telai dei carrelli dei rotabili, con gli assi di misura posti lungo la direzione trasversale all'asse del binario.

Per le accelerazioni sopra descritte si analizza l'ampiezza misurata dalla linea dello zero fino ai valori di picco superiori o inferiori; i superi sono gli scostamenti, misurati a partire dalla linea dello zero, che eccedono il valore ammesso (valori da considerare in più o in meno rispetto alla linea dello zero).

Oltre a osservare i picchi isolati delle accelerazioni, si monitora l'instabilità di marcia mediante la valutazione dell'accelerazione al carrello in direzione trasversale \ddot{y}^+ . La figura 2.6 riporta un grafico in cui sono evidenziate due zone nelle quali si manifesta il fenomeno dell'instabilità: per ciascun tratto si nota una sequenza regolare di oscillazioni del segnale con ampiezze elevate rispetto a quelle presenti sui tratti precedenti.

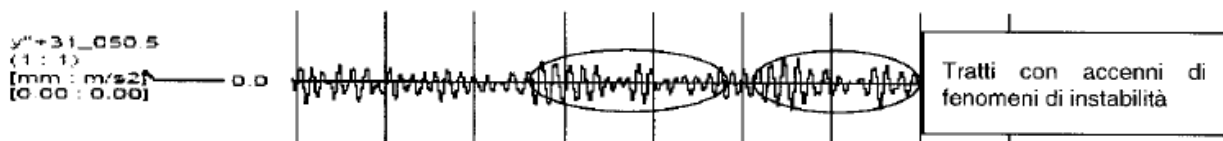


Figura 2.6: instabilità di marcia

In linea di principio tutti i parametri di geometria del binario influenzano la marcia del veicolo e sono quindi correlati con i parametri di dinamica di marcia dei treni. Tuttavia, particolari combinazioni di parametri esaltano tale influenza.

Le correlazioni predominanti tra i parametri di dinamica di marcia e quelli di geometria del binario sono riportate nella tabella 2.1.

Parametri di dinamica di marcia del treno	Grandezze geometriche di assetto del binario
\ddot{z}^*	Livello longitudinale nei campi D2 e D3
\ddot{y}^*	Allineamento nei campi D2 e D3, Sghembo, Scarto di livello trasversale
\ddot{z}^+	Livello longitudinale nel campo D1
\ddot{y}^+ (picchi isolati)	Allineamento nel campo D1, Sghembo, Scarto di livello trasversale
\ddot{y}^+ (instabilità di marcia)	Scartamento in media mobile

Tabella 2.1: correlazioni tra parametri di dinamica di marcia e geometrici

2.3. I valori ammessi dei parametri che indicano la qualità geometrica del binario

Definiti i parametri indicativi dello stato geometrico del binario e i parametri di dinamica di marcia, si analizzano ora i valori ammessi, stabiliti dall’Istruzione della Direzione Tecnica di Rete Ferroviaria Italiana “*Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per linee con velocità fino a 300 km/h*”.

Tale Standard ha per scopo il mantenimento di elevati livelli qualitativi e di sicurezza per l’infrastruttura ferroviaria in materia di geometria dell’armamento. Esso mira anche a omogeneizzare i comportamenti manutentivi per una gestione tecnicamente corretta ed economicamente valida, necessaria per assicurare le elevate prestazioni tecnico-economiche, richieste ad un’infrastruttura moderna ed efficiente.

I valori ammessi dei parametri fondamentali che indicano la qualità geometrica del binario di Rete Ferroviaria Italiana sono classificati, secondo lo Standard, come segue:

- valori a seguito dei lavori di costruzione o rinnovo;
- valori a seguito dei lavori di manutenzione;
- livelli di qualità geometrica correnti;
- valori che comportano vincoli all’esercizio.

Per le linee AV/AC lo Standard stabilisce, inoltre, i valori di riferimento ammessi per i parametri descrittivi delle condizioni dinamiche di marcia dei treni, relativamente ai soli livelli di qualità geometrica correnti e ai valori che comportano vincoli all’esercizio.

Lo Standard si applica:

- ai binari di corsa;
- ai binari di circolazione;
- ai rami di corretto tracciato e deviati degli scambi e degli altri apparecchi del binario installati su binari di corsa e di circolazione, nonché alle relative serraglie (brevi tratti di binario fra due scambi successivi).

Inoltre, è applicabile ai binari secondari, agli scambi e agli apparecchi del binario inseriti su essi, con la particolarità che per i lavori di costruzione possono essere applicati anche i valori ammessi per gli interventi di manutenzione.

Per le caratteristiche costruttive degli scambi o di altri apparecchi del binario, all'interno dello Standard è fatta esplicita menzione dei casi in cui le tolleranze geometriche definite dallo stesso non devono essere applicate o sono già definite da altre norme e istruzioni specifiche.

La qualità geometrica del binario ha influenza sulla dinamica di marcia dei rotabili e sull'interazione fra l'armamento e il rotabile, pertanto i valori ammessi per i parametri geometrici sono stabiliti in funzione della velocità del tratto di linea, con la quale si intende:

- la massima velocità di rango presente, per le linee tradizionali;
- la velocità della linea, per le linee AV/AC.

Per quanto riguarda la misura dei parametri di geometria, l'usura del fungo delle rotaie è rilevata sia a binario carico sia scarico, mentre tutti i restanti parametri, sia quelli misurati direttamente, che quelli calcolati in base alle misure, devono essere controllati a binario carico con i rotabili di misura. Di conseguenza, anche i valori ammissibili riportati nello Standard sono relativi a misure a binario carico. Le misure effettuate mediante calibri o carrellini manuali possono essere utilizzate come misure complementari, tenendo presente che sono in generale minori rispetto a quelle eseguite a binario carico.

I valori ammessi fissati devono essere confrontati con le misure dei parametri geometrici descritti nel paragrafo precedente.

Relativamente all'allineamento e al livello longitudinale, i singoli difetti sono rappresentati dall'ampiezza misurata tra il valore medio e il valore di picco superiore o inferiore (vedi figura 2.7); 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).

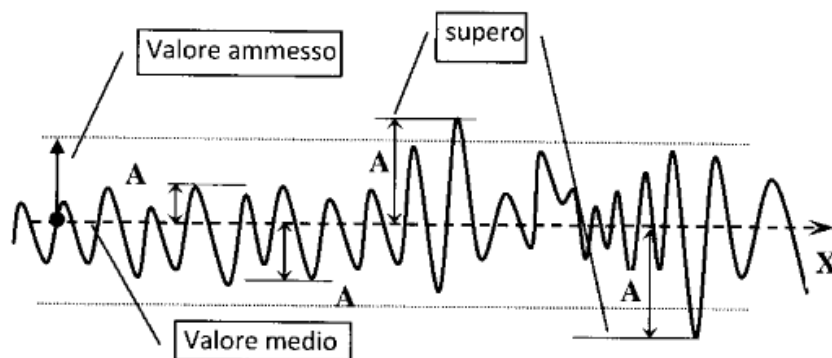


Figura 2.7: singoli difetti di allineamento e superi

Per lo scarto di livello trasversale ($SCARTXL = XL_B - (XL_C + XL_D)/2$), i superi sono gli scostamenti, da media a picco, rispetto alla linea dei valori medi, che eccedono il valore ammesso (figura 2.8).

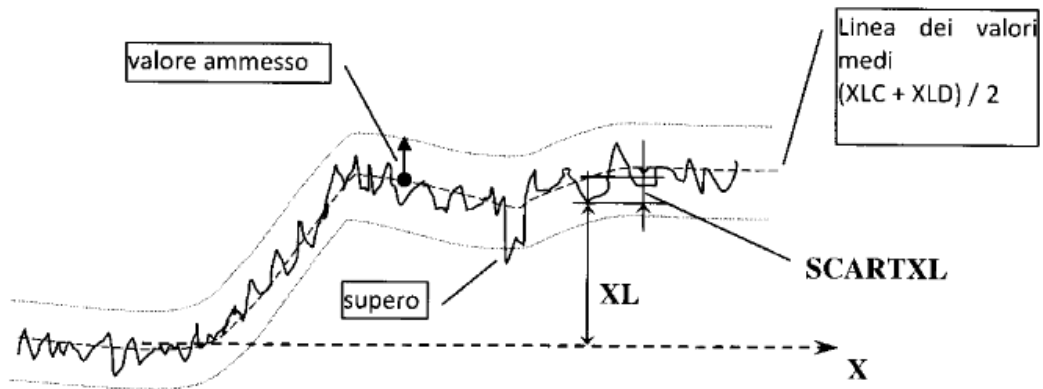


Figura 2.8: scarto di livello trasversale e superi

Per valutare se i difetti di sopraelevazione superano i valori ammessi, sul grafico si traccia, in corrispondenza delle rette e delle curve del tracciato, una linea alla quota della sopraelevazione di progetto (riportata nei tabellini delle curve) e si valuta la differenza ΔH fra il livello trasversale XL e la sopraelevazione di progetto h : se la differenza ΔH eccede il relativo valore ammesso, si ha un supero (figura 2.9).

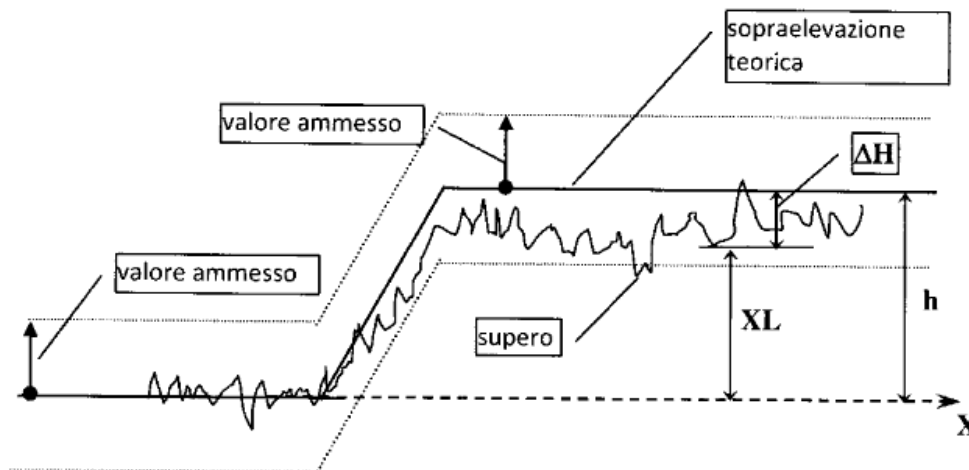


Figura 2.9: difetto di sopraelevazione e superi

Per il parametro sghembo, i superi sono gli scostamenti rispetto alla linea dello zero che eccedono il valore ammesso (lo sghembo effettivo è comprensivo della pendenza dell'eventuale rampa di sopraelevazione) [21].

2.3.1. Valori ammessi a seguito di lavori al binario

Lo standard definisce due classi di valori per i quali l'armamento è in condizioni ottimali; in particolare:

1. rinnovamento o nuova costruzione;
2. interventi di manutenzione.

I valori ammessi per la prima classe (1.) si applicano quando è costruito l'armamento in seguito a lavori di rinnovo o di costruzione ex novo, o assimilabili a questi; i valori ammessi della seconda classe (2.) si applicano, invece, alle operazioni di ripristino della geometria del binario per armamento in esercizio.

Particolare attenzione deve essere posta nell'ambito dei lavori di costruzione o rinnovo di scambi o di altri apparecchi del binario. Infatti, soprattutto in situazioni complesse quali bivi, scambi accodati, comunicazioni ecc., a maggior ragione se inseriti sui binari di corsa, deve essere fatto uno studio topografico preventivo allo scopo di non introdurre errori, in particolare di allineamento, che risulterebbero poi difficilmente gestibili come difetto nel corso della vita tecnica dell'apparecchio di binario.

Nelle figure seguenti sono rappresentati i valori ammessi di scartamento, allineamento, livello longitudinale e livello trasversale stabiliti dallo Standard, a seguito di lavori di rinnovamento o nuova costruzione (figure 2.10, 2.11, 2.12, 2.13) e a seguito di interventi di manutenzione (figure 2.14, 2.15, 2.16, 2.17).

Curve Raggio ≥ 275 m e $V \leq 300$ km/h	
Valore nominale 1435 mm	
$1434 \leq S \leq 1438$	
Tra due appoggi successivi non devono esserci variazioni di scartamento superiori a 1 mm. In corrispondenza dei deviatori si applica quanto previsto dalle DGTA.	

Curve Raggio < 275 m					
	$275 > R \geq 250$	$250 > R \geq 225$	$225 > R \geq 200$	$200 > R \geq 175$	$175 > R \geq 150$
Valore nominale	1440	1445	1450	1455	1460
S_{max}	valore nominale + 2 mm				
S_{min}	valore nominale - 2 mm				
Tra due appoggi successivi non devono esserci variazioni di scartamento superiori a 1 mm al netto dell'incremento di scartamento. In corrispondenza dei deviatori si applica quanto previsto dalle DGTA.					

Figura 2.10: scartamento - rinnovamento o nuova costruzione

campo D1	$V \leq 160$ km/h	160 km/h $< V \leq 200$ km/h	200 km/h $< V \leq 300$ km/h
	$A \leq 2,0$	$A \leq 2,0$	$A \leq 1,5$
Inoltre, per le linee aventi tracciati riferiti a punti fissi in coordinate topografiche va comunque rispettato quanto riportato dalla RFI TACR ST AR 01 002 A del 18.12.2001 "Linee guida per la realizzazione e manutenzione dei binari su base assoluta con tracciati riferiti a punti fissi in coordinate topografiche".			

Figura 2.11: allineamento - rinnovamento o nuova costruzione

Capitolo 2: la diagnostica e la qualità geometrica del binario

campo D1	V ≤ 160 km/h	160 km/h < V ≤ 200 km/h	200 km/h < V ≤ 300 km/h
		L ≤ 2,0	L ≤ 2,0

Inoltre, per le linee aventi tracciati riferiti a punti fissi in coordinate topografiche va comunque rispettato quanto riportato dalla RFI TACR ST AR 01 002 A del 18.12.2001 "Linee guida per la realizzazione e manutenzione dei binari su base assoluta con tracciati riferiti a punti fissi in coordinate topografiche".

Figura 2.12: livello longitudinale - rinnovamento o nuova costruzione

V ≤ 160 km/h	160 km/h < V ≤ 200 km/h	200 km/h < V ≤ 300 km/h
Difetto di sopraelevazione		
$\Delta H \leq 3$		$\Delta H \leq 2$
Scarto di livello trasversale $SCARTXL \leq 2$ solo per ± 5 m a cavallo dell'inizio e della fine dei raccordi parabolici con pendenza < 2,0 ‰: $SCARTXL \leq 5$ solo per ± 5 m a cavallo dell'inizio e della fine dei raccordi parabolici con pendenza ≥ 2,0 ‰ e ≤ 2,5 ‰: $SCARTXL \leq 7$		

Figura 2.13: livello trasversale - rinnovamento o nuova costruzione

Curve Raggio ≥ 275 m e V ≤ 200 km/h	200 < V ≤ 300 km/h
1433 ≤ S ≤ 1440	1434 ≤ S ≤ 1438
In corrispondenza dei deviatori si applica quanto previsto dalle DGTA	

Curve Raggio < 275 m					
	275 > R ≥ 250	250 > R ≥ 225	225 > R ≥ 200	200 > R ≥ 175	175 > R ≥ 150
Valore nominale	1440	1445	1450	1455	1460
S _{max}	valore nominale + 2 mm				
S _{min}	valore nominale - 4 mm				
In corrispondenza dei deviatori si applica quanto previsto dalle DGTA.					

Figura 2.14: scartamento – interventi di manutenzione

campo D1	$V \leq 120 \text{ km/h}$	$120 < V \leq 160 \text{ km/h}$	$160 < V \leq 200 \text{ km/h}$	$200 < V \leq 300 \text{ km/h}$
	$A \leq 4$	$A \leq 3$	$A \leq 3$	$A \leq 3$
campo D2	$250 \text{ km/h} \leq V \leq 300 \text{ km/h}$			
	$A < 5$			
campo D3	$250 \text{ km/h} \leq V \leq 300 \text{ km/h}$			
	$A < 10$			

Figura 2.15: allineamento – interventi di manutenzione

campo D1	$V \leq 120 \text{ km/h}$	$120 < V \leq 160 \text{ km/h}$	$160 < V \leq 200 \text{ km/h}$	$200 < V \leq 300 \text{ km/h}$
	$L \leq 4$	$L \leq 3$	$L \leq 3$	$L \leq 3$
campo D2	$250 \text{ km/h} \leq V \leq 300 \text{ km/h}$			
	$L < 5$			
campo D3	$250 \text{ km/h} \leq V \leq 300 \text{ km/h}$			
	$L < 10$			

Figura 2.16: livello longitudinale – interventi di manutenzione

$V \leq 160 \text{ km/h}$	$160 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	$200 \text{ km/h} < V \leq 300 \text{ km/h}$
Difetto di sopraelevazione		
$\Delta H \leq 3$		$\Delta H \leq 2$
Scarto di livello trasversale $SCARTXL \leq 3$ solo per $\pm 5 \text{ m}$ a cavallo dell'inizio e della fine dei raccordi parabolici con pendenza $< 2,0 \text{ ‰}$: $SCARTXL \leq 5$ solo per $\pm 5 \text{ m}$ a cavallo dell'inizio e della fine dei raccordi parabolici con pendenza $\geq 2,0 \text{ ‰}$ e $\leq 2,5 \text{ ‰}$: $SCARTXL \leq 7$		

Figura 2.17: livello trasversale – interventi di manutenzione

Per quanto riguarda i valori ammessi dello sghembo, a seguito di lavori di rinnovo o nuova costruzione e a seguito di interventi di manutenzione, si fa riferimento a quanto enunciato nella Circolare L.41/344/7.9 “*Sicurezza nei confronti dello svio – Valori limite dello sghembo del binario*”, nelle Disposizioni Generali Tecniche ed Amministrative (DGTA) per l’esecuzione e gestione dei lavori di manutenzione all’armamento e nella Tariffa dei Prezzi “AM”.

2.3.2. Livelli di qualità geometrica correnti

I valori dei parametri geometrici entro i quali si svolge la normale vita tecnica della geometria dell'armamento sono divisi in tre "livelli di qualità". In particolare, si identificano:

- un primo livello di qualità, entro il quale la geometria del binario non richiede alcuna programmazione di interventi correttivi;
- un secondo livello di qualità, entro il quale le condizioni geometriche del binario consentono il normale esercizio ferroviario senza alcun tipo di restrizione, ma comportano
 - l'analisi delle cause del degrado,
 - la valutazione della velocità di evoluzione del difetto,
 - la programmazione e l'eventuale esecuzione dei lavori di manutenzione della geometria in funzione della velocità di evoluzione del difetto rilevata localmente;
- un terzo livello di qualità, che ancora consente l'esercizio ferroviario senza alcun tipo di restrizione, a condizione che vengano programmati ed eseguiti lavori di manutenzione della geometria del binario prima del supero del massimo valore ammesso dal terzo livello di qualità, tenendo anche presente che le correzioni di geometria fatte tramite rinalzata, 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 (vedi limiti di lavorazione del binario).

Relativamente al secondo livello di qualità, la valutazione della velocità di evoluzione del difetto è, in linea di principio, effettuata tramite confronto con i rilievi geometrici precedenti o tramite l'effettuazione di rilievi ad hoc, oppure tramite il riconoscimento di zone ad evoluzione del difetto già nota. È necessario che sia fatto, in base all'esperienza, anche il riconoscimento delle zone a evoluzione rapida, quali possono essere le transizioni opere d'arte-rilevato, i tratti con sede instabile, i tratti con massicciata inquinata, al cui controllo deve essere posta massima attenzione. Sulle linee AV/AC la valutazione della velocità di evoluzione del difetto può, inoltre, essere effettuata tramite confronto tra i rilievi consecutivi dei treni AV della classe ETR500Y, utilizzati per misurare i parametri di dinamica di marcia a velocità maggiori o uguali a 250 km/h, fino a 300 km/h.

L'intervallo di tempo entro il quale deve essere eseguito l'intervento di ripristino della geometria è stabilito in funzione della velocità di evoluzione del difetto, in modo tale che nell'intervallo di tempo tra la misura della geometria e il successivo intervento manutentivo non sia raggiunto il valore comportante vincoli all'esercizio.

La programmazione dei lavori di manutenzione (descritti in maniera dettagliata nel capitolo successivo) va pianificata sulla base:

- dei valori assunti dai difetti isolati di allineamento, livello longitudinale e livello trasversale e delle deviazioni standard σ_A , σ_L , σ_{XL} (campo di lunghezze d'onda D1);
- dei valori di allineamento e livello longitudinale indicati per i campi di lunghezze d'onda D2 e D3 e dei valori assunti dalle accelerazioni in cassa rilevati dai treni AV della classe ETR500Y (le operazioni di intervento per la correzione di tali difetti vanno gestite utilizzando il sistema di controllo del binario su base assoluta, secondo quanto indicato

dalla Specifica tecnica “*Linee guida per la realizzazione e manutenzione dei binari su base assoluta con tracciati riferiti ai punti fissi in coordinate topografiche*”);

- dei valori puntuali dello sghembo e dell’usura a 45°.

Per lo scartamento al netto dell’usura delle rotaie (usura laterale), trattandosi generalmente di fenomeni a lenta evoluzione, le azioni di sorveglianza e manutenzione tenderanno all’individuazione di situazioni anormali e al loro ripristino. Infatti, la valutazione di casi di scartamento largo al netto dell’usura delle rotaie deve essere accompagnata dalla valutazione dello stato generale dell’armamento: lo scartamento largo può essere indice di ridotta tenuta degli organi di attacco o di ammaloramenti delle traverse [21].

Nella figura 2.18 si riportano i valori delle deviazioni standard di allineamento, livello longitudinale e livello trasversale che definiscono i tre livelli di qualità, in funzione della velocità della linea; i valori di σ_A e σ_L si riferiscono, rispettivamente, ai valori di allineamento e di livello longitudinale relativi al campo di lunghezze d’onda D1.

	V ≤ 80 km/h	80 < V ≤ 120 km/h	120 < V ≤ 160 km/h	160 < V ≤ 200 km/h	200 < V < 250 km/h
1° livello di qualità	$\sigma_A \leq 1,5$ $\sigma_L \leq 2,3$ $\sigma_{XL} \leq 1,5$	$\sigma_A \leq 1,2$ $\sigma_L \leq 1,8$ $\sigma_{XL} \leq 1,2$	$\sigma_A \leq 1,0$ $\sigma_L \leq 1,4$ $\sigma_{XL} \leq 1,0$	$\sigma_A \leq 0,8$ $\sigma_L \leq 1,2$ $\sigma_{XL} \leq 0,8$	$\sigma_A \leq 0,7$ $\sigma_L \leq 1,0$ $\sigma_{XL} \leq 0,7$
2° livello di qualità	$1,5 < \sigma_A \leq 1,8$ $2,3 < \sigma_L \leq 2,6$ $1,5 < \sigma_{XL} \leq 1,8$	$1,2 < \sigma_A \leq 1,5$ $1,8 < \sigma_L \leq 2,1$ $1,2 < \sigma_{XL} \leq 1,5$	$1,0 < \sigma_A \leq 1,3$ $1,4 < \sigma_L \leq 1,7$ $1,0 < \sigma_{XL} \leq 1,3$	$0,8 < \sigma_A \leq 1,1$ $1,2 < \sigma_L \leq 1,5$ $0,8 < \sigma_{XL} \leq 1,1$	$0,7 < \sigma_A \leq 1,0$ $1,0 < \sigma_L \leq 1,3$ $0,7 < \sigma_{XL} \leq 1,0$
3° livello di qualità	non applicabile				
250 ≤ V ≤ 300 km/h					
1° livello di qualità	$\sigma_A \leq 0,7$ $\sigma_L \leq 1,0$ $\sigma_{XL} \leq 0,7$				
2° livello di qualità	$0,7 < \sigma_A \leq 1,0$ $1,0 < \sigma_L \leq 1,3$ $0,7 < \sigma_{XL} \leq 1,0$				
3° livello di qualità	$1,0 < \sigma_A \leq 1,3$ $1,3 < \sigma_L \leq 1,7$ $1,0 < \sigma_{XL} \leq 1,3$				

Figura 2.18: σ_A , σ_L , σ_{XL} – livelli di qualità geometrica correnti

Di seguito si riportano i valori ammessi per i livelli di qualità geometrica correnti dei parametri usura a 45°, scartamento, allineamento, livello longitudinale, livello trasversale e sghembo (figure 2.19, 2.20, 2.22, 2.23, 2.24, 2.25). Quando ci sono superiori dei valori del terzo livello, si consulta la parte dello Standard relativa ai valori comportanti vincoli all'esercizio (paragrafo 2.3.3.).

1° livello di qualità	$U_{45^\circ} < 8$	seguire l'evoluzione dell'usura nel tempo
2° livello di qualità	$8 \leq U_{45^\circ} < 14$	eseguire il controllo del contatto tra la rotaia e la sagoma 2 del calibro FS97 disegno 9678: se il contatto è al disotto della fenditura della sagoma 2 sostituire la rotaia entro 3 giorni e assicurare, fino alla sostituzione, la lubrificazione del fianco usurato della rotaia
3° livello di qualità	$14 \leq U_{45^\circ} < 15$	continuare le misure sistematiche dell'usura ed il controllo con la sagoma 2 del calibro FS97 disegno 9678: se il contatto è al disotto della fenditura della sagoma 2 sostituire la rotaia entro 3 giorni e assicurare, fino alla sostituzione, la lubrificazione del fianco usurato della rotaia

Figura 2.19: usura a 45° – livelli di qualità geometrica correnti

In corrispondenza delle coppie ago-contrago dei deviatori si applica la Norma relativa (Istruzione Tecnica “*Usura delle coppie ago – contrago degli scambi, calibro di controllo e norme di manutenzione*”); in corrispondenza dei cuori e delle controrotaie dei deviatori si applica la Norma sul controllo della geometria dei deviatori (L94).

Curve Raggio ≥ 275 m e $V \leq 200$ km/h		
	Scartamento	Scartamento in media mobile
1° livello di qualità	$1432 < S < 1445$	$1432 < S_{100} < 1442$ (1)
2° livello di qualità	$1445 \leq S_{\max} < 1455$ $1430 < S_{\min} \leq 1432$	$1442 \leq S_{100\max} < 1447$ (1) $1431 < S_{100\min} \leq 1432$
3° livello di qualità intervento entro 6 mesi	$1455 \leq S_{\max} < 1463$ $1428 < S_{\min} \leq 1430$	$1447 \leq S_{100\max} < 1450$ (1) $1430 < S_{100\min} \leq 1431$
(1) al netto dell'usura laterale delle rotaie		

Figura 2.20a: scartamento – livelli di qualità geometrica correnti

200 km/h < V ≤ 300 km/h		
	Scartamento	Scartamento in media mobile
1° livello di qualità	1433 < S < 1442	1435 ≤ S ₁₀₀ ≤ 1439
2° livello di qualità	1442 ≤ S _{max} < 1445 1432 < S _{min} ≤ 1433	1439 < S _{100max} ≤ 1444 1434 ≤ S _{100min} < 1435 linee con 200 < V ≤ 250 km/h
3° livello di qualità intervento entro 6 mesi	1445 ≤ S _{max} < 1455 1430 < S _{min} ≤ 1432	1444 < S _{100max} ≤ 1450 1434 ≤ S _{100min} < 1435 linee con 250 < V ≤ 300 km/h (1) 1433 ≤ S _{100min} < 1434 linee con 200 < V ≤ 250 km/h (1)
(1) si deve procedere ad una verifica della conicità equivalente: se la conicità equivalente rientra nei limiti stabiliti al punto III.8 allora i tempi entro cui intervenire possono essere allungati; se non si dispone di misure della conicità equivalente è necessario intraprendere operazioni correttive entro 6 mesi.		

Figura 2.20b: scartamento – livelli di qualità geometrica correnti

Curve Raggio < 275 m					
Scartamento					
	275 > R ≥ 250	250 > R ≥ 225	225 > R ≥ 200	200 > R ≥ 175	175 > R ≥ 150
Valore nominale	1440	1445	1450	1455	1460
2° livello di qualità	1452 ≤ S < 1465	1457 ≤ S < 1465	1462 ≤ S < 1465	1465 ≤ S < 1469	1465 ≤ S < 1469
3° livello di qualità	1465 ≤ S < 1470			1469 ≤ S < 1470	

Figura 2.20c: scartamento – livelli di qualità geometrica correnti

In corrispondenza dei deviatori si applica la Norma sul controllo della geometria dei deviatori (L94). I limiti di conicità equivalente, cui si fa riferimento nella figura 2.20b, sono definiti all'interno dello Standard e si riportano nella figura 2.21.

Velocità	Valore della conicità equivalente in esercizio tenuto conto dell'usura di ruote e rotaie
160 < V ≤ 200 km/h	C ≤ 0,40
200 < V ≤ 230 km/h	C ≤ 0,35
230 < V ≤ 250 km/h	C ≤ 0,30
250 < V ≤ 280 km/h	C ≤ 0,25
280 < V ≤ 300 km/h	C ≤ 0,15

Figura 2.21: conicità equivalente in esercizio

	$V \leq 80$ km/h	$80 < V \leq 120$ km/h	$120 < V \leq 160$ km/h	$160 < V \leq 200$ km/h	$200 < V \leq 300$ km/h
campo D1					
1° livello di qualità	$A \leq 12$	$A \leq 8$	$A \leq 6$	$A \leq 5$	$A \leq 4$
2° livello di qualità	$12 < A \leq 14$	$8 < A \leq 10$	$6 < A \leq 8$	$5 < A \leq 7$	$4 < A \leq 6$
3° livello di qualità	$14 < A \leq 18$	$10 < A \leq 13$	$8 < A \leq 10$	$7 < A \leq 9$	$6 < A \leq 8$

	$250 \leq V \leq 300$ km/h	
	campo D2	campo D3
1° livello di qualità	$A \leq 12$	$A \leq 14$
2° livello di qualità	$12 < A \leq 16$	$14 < A \leq 19$
3° livello di qualità	$16 < A \leq 20$	$19 < A \leq 24$

I difetti di allineamento riportati in tabella per i tre campi di velocità fino a 160 km/h sono ammissibili solo se non risultano superati i limiti dei difetti di allineamento determinati dalla stabilità del binario agli effetti della lunga rotaia saldata riportati, in funzione del raggio di curva, nella Istruzione Tecnica RFI TC AR IT AR 01 008 A "Costituzione e controllo della lunga rotaia saldata (L.R.S.)" del 28/06/2012.

Figura 2.22: allineamento – livelli di qualità geometrica correnti

	$V \leq 80$ km/h	$80 < V \leq 120$ km/h	$120 < V \leq 160$ km/h	$160 < V \leq 200$ km/h	$200 < V \leq 300$ km/h
campo D1					
1° livello di qualità	$L \leq 12$	$L \leq 8$	$L \leq 6$	$L \leq 5$	$L \leq 4$
2° livello di qualità	$12 < L \leq 16$	$8 < L \leq 12$	$6 < L \leq 10$	$5 < L \leq 9$	$4 < L \leq 8$
3° livello di qualità (1)	$16 < L \leq 21$	$12 < L \leq 18$	$10 < L \leq 17$	$9 < L \leq 16$	$8 < L \leq 10$

	$250 \leq V \leq 300$ km/h	
	campo D2	campo D3
1° livello di qualità	$L \leq 12$	$L \leq 14$
2° livello di qualità	$12 < L \leq 20$	$14 < L \leq 24$
3° livello di qualità	$20 < L \leq 28$	$24 < L \leq 32$

(1) ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla l.r.s.

Figura 2.23: livello longitudinale – livelli di qualità geometrica correnti

	V ≤ 160 km/h	160 < V ≤ 300 km/h
1° livello di qualità	$\Delta H \leq 10$ $SCARTXL \leq 6$	$\Delta H \leq 10$ $SCARTXL \leq 4$
2° livello di qualità	$10 < \Delta H \leq 15$ $6 < SCARTXL \leq 10$	$10 < \Delta H \leq 15$ $4 < SCARTXL \leq 8$
3° livello di qualità intervento anche in relazione ai limiti di sghembo (2)	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) $10 < SCARTXL \leq 14$	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) $8 < SCARTXL \leq 12$
(1) il valore di ΔH può essere ammesso solo a seguito di una verifica di assenza di problemi di sagoma (gallerie, interasse, posizione linea di contatto ecc.) (2) ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla l.r.s.		

Figura 2.24: livello trasversale – livelli di qualità geometrica correnti

	V ≤ 200 km/h		200 < V ≤ 300 km/h	
	γ base 3 m	γ base 9 m	γ base 3 m	γ base 9 m
1° livello di qualità	$\gamma_{3m} < 4,5$	$\gamma_{9m} < 3,5$	$\gamma_{3m} < 3,5$	$\gamma_{9m} < 2,7$
2° livello di qualità	$4,5 \leq \gamma_{3m} < 5,8$	$3,5 \leq \gamma_{9m} < 4,0$	$3,5 \leq \gamma_{3m} < 4,5$	$2,7 \leq \gamma_{9m} < 3,0$
3° livello di qualità	Per valori di γ superiori ai limiti di cui al “2° livello di qualità” si applica quanto riportato nella Parte IV, p.to IV.6			
(1) ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla l.r.s. ATTENZIONE ai deviatoi inseriti in curva				

Figura 2.25: sghembo – livelli di qualità geometrica correnti

Per valori di sghembo superiori ai limiti corrispondenti al secondo livello di qualità, si fa riferimento a quanto riportato nel paragrafo dello Standard riguardante i valori comportanti vincoli all’esercizio (figura 2.32). Il parametro sghembo costituisce, pertanto, un’eccezione a quanto enunciato in precedenza: per esso il raggiungimento del secondo livello di qualità comporta l’effettuazione di un intervento manutentivo.

Nella figura 2.26 si riportano i valori ammessi dei parametri di dinamica di marcia, ripartiti in relazione al livello di qualità. Le operazioni di intervento sulla geometria del binario a seguito delle evidenze relative alle accelerazioni in cassa vanno gestite rilevando le singolarità di livello longitudinale e allineamento nei campi di lunghezze d’onda D2 e D3, e utilizzando il sistema di controllo del binario su base assoluta per la loro eventuale correzione. Le evidenze relative alle accelerazioni al carrello sono gestite considerando le singolarità di allineamento nel campo delle lunghezze d’onda D1.

Per il parametro instabilità di marcia, monitorato mediante la valutazione dell'accelerazione al carrello in direzione trasversale (\bar{y}^+), è fornito il valore limite di ulteriore esame, ossia quel valore che, se superato, comporta approfondimento del fenomeno mediante esame dello scartamento del binario valutandone la media mobile. In particolare, nel caso in cui a bordo del treno si registrino valori di $\bar{y}^+ \geq 5,0 \text{ m/s}^2$ su un carrello di almeno due rotabili del treno, lungo tratti di binario di lunghezza $\geq 100 \text{ m}$, allora devono essere valutati i valori dello scartamento in media mobile e confrontati con i valori ammessi riportati in figura 2.20b e nel successivo paragrafo, prendendo i relativi provvedimenti. Anche in presenza di valori di scartamento in media mobile conformi a quanto riportato nello Standard, nel caso in cui siano registrati valori di $\bar{y}^+ \geq 7,0 \text{ m/s}^2$, occorre comunque approfondire l'accertamento [21].

	Accelerazioni in cassa		Accelerazioni al carrello	
	Verticale: \bar{z}^* m/s ²	Trasversale: \bar{y}^* m/s ²	Verticale: \bar{z}^+ m/s ²	Trasversale, picchi isolati: \bar{y}^+ m/s ²
1° livello di qualità	$\leq 1,0$	$\leq 1,0$	≤ 30	$\leq 6,0$
2° livello di qualità	$1,0 < \bar{z}^* \leq 1,5$	$1,0 < \bar{y}^* \leq 1,5$	$30 < \bar{z}^+ \leq 40$	$6,0 < \bar{y}^+ \leq 8,0$
3° livello di qualità intervento entro breve termine	$1,5 < \bar{z}^* \leq 3,0$	$1,5 < \bar{y}^* \leq 2,5$	$40 < \bar{z}^+ \leq 60$	$8,0 < \bar{y}^+ \leq 10,0$

Figura 2.26: dinamica di marcia – livelli di qualità geometrica correnti

2.3.3. Valori comportanti vincoli all'esercizio

I valori comportanti vincoli all'esercizio sono quei valori dei parametri di qualità geometrica del binario e di dinamica di marcia, indicativi di condizioni di degrado della geometria del binario, tali da imporre restrizioni all'esercizio ferroviario. A seconda del parametro coinvolto e dell'entità del relativo difetto, le restrizioni consistono:

- in un rallentamento e nell'esecuzione in tempi brevissimi degli interventi manutentivi per il ripristino della corretta geometria (i tempi di intervento e la velocità di rallentamento devono essere responsabilmente valutati in relazione allo stato dell'armamento e in relazione all'entità del difetto rispetto ai valori di riferimento);
- nell'interdizione della circolazione fino a che non saranno state ripristinate corrette condizioni di geometria.

Di seguito si riportano i valori dei parametri usura a 45°, scartamento, allineamento, livello longitudinale, livello trasversale e sghembo, oltre i quali è necessario porre dei vincoli alla circolazione sulla linea (figure 2.27, 2.28, 2.29, 2.30, 2.31, 2.32). Lo Standard specifica se le

restrizioni consistono in rallentamenti (e in tal caso indica la velocità di percorrenza) o interruzioni, a seconda del parametro e del valore assunto.

Se $U_{45^\circ} \geq 15$ ed il contatto tra la rotaia e la sagoma 2 del calibro FS97 disegno 9678 è al disopra della fenditura	Velocità di rallentamento $V_{ral} \leq 40$ km/h e assicurare, fino alla sostituzione della rotaia, la lubrificazione del fianco usurato della rotaia
Se $U_{45^\circ} \geq 15$ e esame sfavorevole (contatto sotto la fenditura) con la sagoma 2 del calibro FS 97-dis. FS 9678	Interruzione della circolazione

Figura 2.27: usura a 45° – valori comportanti vincoli all’esercizio

In corrispondenza delle coppie ago-contrago dei deviatori si applica la Norma relativa (Istruzione Tecnica “*Usura delle coppie ago – contrago degli scambi, calibro di controllo e norme di manutenzione*”); in corrispondenza dei cuori e delle controrotaie dei deviatori si applica la Norma sul controllo della geometria dei deviatori (L94).

Curve Raggio ≥ 275 m e $V \leq 200$ km/h		
	Scartamento	Scartamento in media mobile
Valori ai quali deve essere istituito un rallentamento	Se $S_{max} \geq 1463$: $V_{ral} \leq 160$ km/h Se $S_{max} \geq 1465$: $V_{ral} \leq 120$ km/h	Se $S_{100max} \geq 1462$: $V_{ral} \leq 120$ km/h Se $S_{100max} \geq 1450$ (1): $V_{ral} \leq 120$ km/h
	Se $S_{min} \leq 1428$: $V_{ral} \leq 160$ km/h Se $S_{min} \leq 1427$: $V_{ral} \leq 120$ km/h Se $S_{min} \leq 1426$: $V_{ral} \leq 80$ km/h	Se $S_{100min} \leq 1430$ (2): $V_{ral} \leq 120$ km/h
Interruzione della circolazione	Scartamento	
	Se $S_{max} \geq 1470$ Se $S_{min} < 1424$	
(1) al netto dell’usura laterale delle rotaie (2) per $V > 160$ km/h deve essere calcolata la conicità equivalente e verificati i limiti di cui al punto III.8		

Figura 2.28a: scartamento – valori comportanti vincoli all’esercizio

200 km/h < V ≤ 300 km/h		
	Scartamento	Scartamento in media mobile
Valori ai quali deve essere istituito un rallentamento	Se $S_{max} \geq 1455$: $V_{ral} \leq 200$ km/h	Se $S_{100max} > 1450$: $V_{ral} \leq 200$ km/h
	Se $S_{min} \leq 1430$: $V_{ral} \leq 200$ km/h	Se $S_{100min} < 1434$: $V_{ral} \leq 250$ km/h Se $S_{100min} < 1433$ (1): $V_{ral} \leq 200$ km/h
(1) n.b.: deve essere calcolata la conicità equivalente e verificati i limiti di cui al punto III.8.		

Curve di raggio < 275 metri					
Scartamento					
	275 > R ≥ 250	250 > R ≥ 225	225 > R ≥ 200	200 > R ≥ 175	175 > R ≥ 150
Interruzione della circolazione	$S_{max} \geq 1470$				

Figura 2.28b: scartamento – valori comportanti vincoli all’esercizio

I limiti relativi alla conicità equivalente a cui fanno riferimento le figure precedenti, sono quelli riportati nella figura 2.21 del precedente paragrafo. In caso di superamento del valore ammesso di conicità equivalente per il campo di velocità di interesse, è necessario ridurre conseguentemente la velocità in modo che questa sia congruente alla conicità equivalente misurata; inoltre, deve essere misurata la causa del superamento e, quindi, devono essere intraprese le relative azioni correttive. In corrispondenza dei deviatoti si applica la Norma sul controllo della geometria dei deviatoti (L94).

Valori ai quali deve essere istituito un rallentamento	Campo D1	Se $A > 23$ $V_{ral} \leq 40$ km/h	Se $A > 18$ $V_{ral} \leq 60$ km/h	Se $A > 13$ $V_{ral} \leq 80$ km/h	Se $A > 10$ $V_{ral} \leq 120$ km/h	Se $A > 9$ $V_{ral} \leq 160$ km/h	Se $A > 8$ $V_{ral} \leq 200$ km/h	
	Campo D2	Se $A > 20$ $V_{ral} \leq 250$ km/h per $250 < V \leq 300$ km/h $V_{ral} \leq 200$ km/h per $V = 250$ km/h.						
	campo D3	Se $A > 24$ $V_{ral} \leq 250$ km/h per $250 < V \leq 300$ km/h $V_{ral} \leq 200$ km/h per $V = 250$ km/h.						
<p>Se il binario è in lunga rotaia saldata e sono superati i limiti dei difetti di allineamento determinati dalla stabilità del binario agli effetti della termica previsti dalla Normativa sulla l.r.s., allora la velocità di rallentamento deve essere $V_{ral} \leq 60$ km/h.</p> <p>ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla l.r.s.</p>								

Figura 2.29: allineamento – valori comportanti vincoli all’esercizio

Valori ai quali deve essere istituito un rallentamento	Campo D1	Se $L > 22$ $V_{ral} \leq 40$ km/h	Se $L > 21$ $V_{ral} \leq 60$ km/h	Se $L > 18$ $V_{ral} \leq 80$ km/h	Se $L > 17$ $V_{ral} \leq 120$ km/h	Se $L > 16$ $V_{ral} \leq 160$ km/h	Se $L > 10$ $V_{ral} \leq 200$ km/h
	Campo D2	Se $L > 28$ $V_{ral} \leq 250$ km/h per $250 < V \leq 300$ km/h $V_{ral} \leq 200$ km/h per $V = 250$ km/h.					
	campo D3	Se $L > 32$ $V_{ral} \leq 250$ km/h per $250 < V \leq 300$ km/h $V_{ral} \leq 200$ km/h per $V = 250$ km/h.					
ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla l.r.s.							

Figura 2.30: livello longitudinale – valori comportanti vincoli all’esercizio

Valori ai quali deve essere istituito un rallentamento	Se $\Delta H > 20$ e se la variazione è nel senso di riduzione della sopraelevazione il valore di ΔH può essere ammesso solo a seguito di una verifica di assenza di problemi di sagoma (gallerie, interasse, posizione linea di contatto ecc.):		
	<ul style="list-style-type: none"> – $V_{ral} = V$ Rango A per tutti i treni per $V \leq 250$ km/h ed intervento correttivo entro 7 giorni (1) – $V_{ral} \leq 250$ km/h per $250 < V \leq 300$ km/h (1) 		
	Se $\Delta H > 20$ e se la variazione è nel senso di aumento della sopraelevazione il valore di ΔH può essere eventualmente ammesso solo a seguito di una verifica di assenza di problemi di sagoma (gallerie, interasse, posizione linea di contatto ecc.):		
<ul style="list-style-type: none"> – per curve con sopraelevazione di progetto pari a 160 mm: interruzione della circolazione – per le altre curve: intervento correttivo entro 7 giorni (1) 			
	Se SCARTXL > 19 $V_{ral} \leq 80$ km/h	Se SCARTXL > 14 $V_{ral} \leq 120$ km/h	Se SCARTXL > 12 $V_{ral} \leq 160$ km/h
(1) primo provvedimento, salvo provvedimenti più restrittivi in caso di valori elevati di ΔH (provvedimenti da individuare in base alle Norme tecniche per la determinazione delle velocità massime di orario delle linee esistenti)			
ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla l.r.s.			

Figura 2.31: livello trasversale – valori comportanti vincoli all’esercizio

	V ≤ 200 km/h	
	γ base 3 m	γ base 9 m
Intervento nei tempi descritti nella Procedura Operativa Subdirezionale della Direzione Produzione: “Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive”	$5,8 \leq \gamma_{3m} < 6,5$	$4,0 \leq \gamma_{9m} < 4,5$
Interruzione della circolazione e ripristino solo dopo correzione	$\gamma_{3m} \geq 6,5$	$\gamma_{9m} \geq 4,5$
(1) ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla l.r.s. ATTENZIONE ai deviatori inseriti in curva		

	200 < V ≤ 300 km/h	
	γ base 3 m	γ base 9 m
Intervento nei tempi descritti nella Procedura Operativa Subdirezionale della Direzione Produzione: “Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive”	$4,5 \leq \gamma_{3m} < 5,0$	$3,0 \leq \gamma_{9m} < 3,5$
$V_{ral} \leq 200$ km/h	$5,0 \leq \gamma_{3m} < 5,8$	$3,5 \leq \gamma_{9m} < 4,0$
$V_{ral} \leq 200$ km/h Intervento nei tempi descritti nella Procedura Operativa Subdirezionale della Direzione Produzione: “Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive”	$5,8 \leq \gamma_{3m} < 6,5$	$4,0 \leq \gamma_{9m} < 4,5$
Interruzione della circolazione e ripristino solo dopo correzione	$\gamma_{3m} \geq 6,5$	$\gamma_{9m} \geq 4,5$
(1) ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla l.r.s. ATTENZIONE ai deviatori inseriti in curva		

Figura 2.32: sghembo – valori comportanti vincoli all’esercizio

Lo Standard indica i valori limite dei parametri di dinamica di marcia, per i quali l’evoluzione della geometria del binario è tale da imporre restrizioni cautelative all’esercizio ferroviario, consistenti in un rallentamento. Tali valori sono riportati in figura 2.33.

Il rallentamento sarà imposto:

- a velocità ≤ 250 km/h per linee con velocità d’orario $250 < V \leq 300$ km/h,
- a velocità ≤ 200 km/h per linee con velocità d’orario $V = 250$ km/h.

	Accelerazioni in cassa		Accelerazioni al carrello	
	Verticale: \dot{z}^* m/s ²	Trasversale: \dot{y}^* m/s ²	Verticale: \dot{z}^+ m/s ²	Trasversale, picchi isolati: \dot{y}^+ m/s ²
Valori ai quali deve essere istituito un rallentamento	$\dot{z}^* > \pm 3,0$	$\dot{y}^* > \pm 2,5$	$\dot{z}^+ > \pm 60$	$\dot{y}^+ > \pm 10,0$

Figura 2.33: dinamica di marcia – valori comportanti vincoli all’esercizio

2.4. I rotabili attrezzati per il rilievo dello stato geometrico del binario

Come già precedentemente accennato parlando di diagnostica mobile, Rete Ferroviaria Italiana dispone di una serie di rotabili e carrelli automotori dotati di sistemi di misura, tramite i quali è possibile controllare lo “stato di salute” della linea ferroviaria nel suo complesso.

Considerando dapprima i rotabili e gli automotori con velocità di rilievo inferiore o uguale a 200 km/h, per l’analisi dei difetti geometrici del binario si impiegano la vettura Talete e Aldebaran, il treno Archimede e i carrelli PV7 ed EM80.

Talete lavora a una velocità di 160 km/h e misura l’allineamento, il livello longitudinale, il livello trasversale, lo sghembo e lo scartamento; indaga, inoltre, il profilo delle rotaie, rilevando l’usura a 45°, verticale e orizzontale (figura 2.34). Il controllo della geometria del binario è supportato da immagini poiché la vettura esegue una video-ispezione (formato digitale) della linea. Oltre che alla sicurezza, le misurazioni effettuate da Talete sono finalizzate al comfort: attraverso accelerometri misura le accelerazioni che si propagano al corpo della carrozza, causate principalmente dal rotolamento della ruota sulla rotaia.



Figura 2.34: vettura Talete

Aldebaran ha una velocità di rilievo maggiore rispetto a Talete, pari a 200 km/h. Tale vettura, oltre a indagare la geometria del binario, misura tutti i parametri della linea di contatto (alimentazione, usura dei cavi, interazione tra pantografo e cavi, ecc.) e una serie di parametri nell’ambito delle telecomunicazioni (figura 2.35).



Figura 2.35: vettura Aldebaran

I carrelli PV7 ed EM80 sono degli automotori informatizzati, cioè delle motrici equipaggiate con speciali attrezzature dedicate al rilievo della geometria del binario: livello longitudinale, livello trasversale, sghembo, allineamento e scartamento (figura 2.36). Poiché i rilievi sono eseguiti con tecnologia a contatto, la velocità di rilievo è bassa: 80 km/h per EM80 e 50 km/h per PV7.



Figura 2.36: carrelli PV7 (a sinistra) ed EM80 (a destra)

Il treno Archimede è in grado di effettuare una serie completa di misure integrate, tali da fornire tutte le informazioni sullo stato dell'infrastruttura ferroviaria, vista sia nella sua globalità, sia nei suoi diversi elementi, tutti correlati fra loro (figura 2.37). Al vantaggio di poter concentrare su un unico mezzo la diagnosi di tutti i parametri dell'infrastruttura, si devono aggiungere la velocità di esercizio (200 km/h) e la possibilità di funzionamento separato (cioè le singole carrozze possono funzionare come moduli indipendenti). Altri vantaggi sono il funzionamento sia a 3 kV c.c. che a 25 kV c.a., il che consente l'utilizzo del treno anche sulle linee AV/AC, la bidirezionalità del convoglio e la separazione della fornitura rotabili dalla fornitura sistemi di misura.

Gli ambiti indagati e le grandezze rilevate dal treno, costituito da cinque carrozze, di cui una semipilota, e una motrice elettrica, sono elencati di seguito.

- Posizione: progressiva chilometrica, punti singolari (scambi, gallerie, portali, ecc.), coordinate geografiche;
- Armamento: geometria del binario, profilo delle rotaie, usura ondulatoria;
- Dinamica di marcia: accelerazioni in cassa, ai carrelli e agli assili, forze di contatto ruota-rotaia;

- Trazione elettrica: tensione e armoniche della linea di contatto e corrente derivata dai pantografi, geometria della linea di contatto e usura dei fili sagomati, interazione pantografo-catenaria (forze e accelerazioni) e archi elettrici;
- Impianto di segnalamento: qualità dell'accoppiamento captatori-rotaie e qualità del codice captato;
- Telecomunicazioni: qualità del servizio sistemi GSM (3 gestori), GSM-R;
- Video - ispezione della linea ferroviaria: tracciato, binario e linea di contatto.

L'usura ondulatoria (marezzatura) è un'alterazione del piano di rotolamento delle rotaie dovuta alle sollecitazioni impresse dai rotabili; si presenta come una serie di striature visibili della superficie delle rotaie aventi profondità (detta ampiezza) e spaziatura (detta lunghezza d'onda) variabili. L'usura ondulatoria produce delle frequenze di vibrazione al passaggio dei rotabili, che accelerano il degrado della geometria del binario.



Figura 2.37: treno Archimede

La diagnostica mobile è volta anche ad analizzare i difetti nelle rotaie (specialmente in corrispondenza delle saldature) e nei deviatoi. I rilievi riguardanti lo stato delle rotaie avvengono mediante controlli a ultrasuoni, attraverso il treno misure Galileo o attraverso rivelatori portatili, mentre la geometria dei deviatoi è rilevata mediante carrellini informatizzati.

In particolare, Galileo effettua la video-ispezione digitale delle rotaie e il controllo con ultrasuoni dei difetti interni delle rotaie, avanzando con una velocità di 45 km/h. Quando i sensori del treno rilevano un'anomalia, un dispositivo automatico aziona una pompa che spruzza un getto di vernice in corrispondenza del punto critico, così da facilitare l'intervento degli addetti alla manutenzione che verificano l'anomalia con i rivelatori portatili [13].

Sulle linee AV/AC transitano rotabili, attrezzati con sistemi di misura per il rilievo dei parametri della linea, che si muovono ad una velocità uguale o superiore a 250 km/h. Più nel dettaglio, le linee Alta Velocità italiane sono state attivate e sono oggi monitorate attraverso i treni AV della classe ETR500Y, specializzati anche nel rilievo dei parametri di dinamica di marcia, i cui valori sono da confrontare con i valori ammessi stabiliti dall'Istruzione della Direzione Tecnica "*Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per linee con velocità fino a 300 km/h*".

Il treno ETR500Y1 è il convoglio sperimentale di RFI con il quale si sono testati tutti i sottosistemi strutturali del sistema AV italiano e in particolare:

- l'infrastruttura ferroviaria, l'armamento, il binario e gli scambi, con corse di prova fino a una velocità del 10% superiore a quella nominale;
- il settore energia, con riguardo alle caratteristiche prestazionali dei nuovi impianti di trazione elettrica a 250 kV, effettuando corse di prova per la verifica dei parametri elettrici e delle caratteristiche meccaniche e geometriche della linea di contatto, fino alla velocità massima della linea;
- il settore comando-controllo e segnalamento, per la verifica della funzionalità del sistema ERTMS/ETCS di livello 2, in condizioni di esercizio normale e degradate, e per la verifica della funzionalità della trasmissione via radio GSM-R, fino alla velocità massima della linea;
- il materiale rotabile, per la verifica della funzionalità delle nuove tecnologie di bordo, sia per il segnalamento che per la trazione elettrica, fino a una velocità del 10% superiore a quella commerciale di progetto.

Tale treno ha concesso inoltre l'attivazione degli imbocchi e delle interconnessioni, le verifiche di compatibilità elettromagnetica tra le nuove linee alimentate a 25 kV/50 Hz e gli impianti esistenti sulle linee convenzionali.

Relativamente alla composizione, Y1 è formato da due locomotori e otto carrozze diversamente attrezzate, come di seguito specificato:

- la carrozza laboratorio è quella nella quale confluiscono i dati relativi alle misure eseguite nella corsa di prova e nella quale il personale specialista valuta l'andamento delle misure in tempo reale ed esamina i risultati della dinamica di marcia e della qualità dell'interazione ruota-rotaia e pantografo-catenaria;
- la carrozza misure ospita la postazione di misura della geometria del binario;
- la carrozza regia assolve alla diffusione audio, allo smistamento delle immagini video da proiettare a bordo del treno, sia per il sussidio agli operatori, che per la formazione del personale interessato;
- la carrozza formazione è una tipica carrozza viaggiatori specificamente attrezzata di monitor e di diffusione sonora, per la presentazione delle immagini e dei dati rilevati durante la corsa di prova e per la proiezione di filmati didattici a integrazione della formazione del personale della manutenzione e dell'esercizio delle linee in fase di attivazione;
- la carrozza visitatori è una carrozza viaggiatori che ospita i visitatori e che all'occorrenza può essere equipaggiata di schermi video analoghi a quelli della carrozza formazione;
- le tre carrozze passanti, sostanzialmente vuote, sono aggiunte al treno per portarlo alla composizione standard, così da verificare le prestazioni attese.

In figura 2.38 si rappresentano il treno nel suo complesso e la posizione delle varie carrozze appena descritte.



Figura 2.38: treno ETR500Y1

Facendo riferimento alla tipologia di grandezze fisiche acquisite, l'architettura del sistema di monitoraggio e diagnostica è suddivisa in tre importanti catene di misura. Le due gestite e controllate a bordo della carrozza laboratorio sono quelle riguardanti:

- la dinamica di marcia, per l'analisi dello stato dell'armamento, valutato rilevando i parametri di influenza dell'interazione ruota-rotai, attraverso sensori dislocati lungo tutto il treno;
- la qualità della captazione, per l'analisi dello stato della linea aerea di contatto, valutato misurando i parametri di influenza dell'interazione pantografo-catenaria, attraverso sensori concentrati essenzialmente sui pantografi delle due locomotive.

La terza catena di misura, installata e gestita a bordo della carrozza misure, è costituita dalla piattaforma inerziale per i rilevamenti di geometria del binario.

Il sistema di acquisizione della qualità della dinamica di marcia, esegue la verifica e il controllo dello stato dell'armamento misurando i parametri rappresentativi del comportamento dinamico del veicolo, rispetto alle sollecitazioni imposte dal tracciato. In particolare, si rilevano le accelerazioni verticali e trasversali in corrispondenza delle boccole delle ruote, dei carrelli e delle casse, e la componente di accelerazione centrifuga non compensata dalla sopraelevazione del binario [12].

La tabella seguente (figura 2.39), tratta dalla Procedura Operativa Subdirezionale di RFI "Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive", mostra nel dettaglio i parametri dinamici rilevati.

Grandezze misurate	Tecnologia di misura	Frequenza di campionamento	Incertezza di misura
<i>accelerazione in cassa in direzione verticale in corrispondenza dei carrelli</i>	MEMS	1 kHz	Incertezza \pm 5% con fattore di copertura $k=2$ (livello di confidenza 95%)
<i>accelerazione in cassa in direzione trasversale all'asse del binario in corrispondenza dei carrelli</i>	MEMS		
<i>accelerazione al carrello in direzione verticale</i>	MEMS		
<i>accelerazione al carrello in direzione trasversale</i>	MEMS		
<i>velocità</i>	Odometro		
<i>accelerazione non compensata</i>	Inclinometro		
<i>spazio</i>	Odometro		

Figura 2.39: grandezze dinamiche rilevate dal treno ETR500Y1

Il treno ETR500Y2, anche detto Diamante (acronimo di Diagnostica e Manutenzione Tecnologica), è il treno diagnostico con il quale periodicamente si misura lo stato delle infrastrutture e degli impianti delle linee AV/AC italiane, con una velocità di rilievo di 300-330 km/h. Il treno è specializzato per la diagnostica:

- delle infrastrutture e del binario,
- della linea di contatto,
- degli impianti di segnalamento,
- degli impianti di telecomunicazione [10].

In figura 2.40 si rappresentano la composizione del treno e la funzione delle varie carrozze.



Figura 2.40: treno Diamante

La carrozza “dinamica di marcia” analizza le accelerazioni trasversali e verticali su boccola, su carrello e in cassa, misurate attraverso accelerometri monoassiali posizionati sulla carrozza stessa e sulle due locomotive. Dall’analisi di tali parametri direttamente rilevati, e dalla loro successiva elaborazione effettuata dal sistema di bordo, è possibile controllare la stabilità del convoglio in movimento e ricavare informazioni principalmente rivolte al comfort di marcia [18].

Il sistema di misura della geometria e del profilo del binario, situato sulla carrozza “armamento”, rileva i parametri riguardanti la geometria del binario e al profilo delle rotaie: scartamento, livello longitudinale, allineamento, sopraelevazione, sghembo, curvatura e usura (a 45°, verticale e orizzontale). Tali parametri sono ottenuti, ogni 50 cm, grazie alla misura e alla rilevazione diretta del profilo di ogni singola rotaia, attraverso laser, speciali sensori inerziali e telecamere [17]. Nella tabella mostrata in figura 2.41, tratta dalla Procedura Operativa “*Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive*”, si riportano le grandezze rilevate e le relative tecnologie di misura.

Parametri rilevati	Tecnologia di misura	Base di misura	Scala grafico	Risoluzione	Incertezza di misura 2σ
Progressiva chilometrica	Encoder 2000 impulsi/giro	/	1:5000	0,5 m	±2 m/km
Livello Longitudinale sx/dx banda [3-25] m	Laser ottico	23,220 m (19,023-4,197)	1:1	0,5 mm	±1 mm
Livello Longitudinale sx/dx banda [25-70] m	Laser ottico	23,220 m (19,023-4,197)	1:1	0,5 mm	±3 mm
Livello Longitudinale sx/dx banda [70-150] m	Laser ottico	23,220 m (19,023-4,197)	1:1	0,5 mm	±5 mm
Livello trasversale assoluto/relativo	Piattaforma inerziale	/	1:6	1 mm	±5 mm
Sghembo	Laser ottico Piattaforma inerziale	3,00 m. selezionabile	1:1	0,5 mm	±1,5 mm
Allineamento sx/dx banda [3-25] m	Laser ottico	23,220 m (19,023-4,197)	1:1	0,5 mm	±1,5 mm
Allineamento sx/dx banda [25-70] m	Laser ottico	23,220 m (19,023-4,197)	1:1	0,5 mm	±4 mm
Allineamento sx/dx banda [70-200] m	Laser ottico	23,220 m (19,023-4,197)	1:1	0,5 mm	±10 mm
Scartamento	Laser ottico	/	1:1	0,5 mm	±1 mm
Scartamento m media mobile	Parametro derivato on board	/	1:1	0,5 mm	±1 mm
Curvatura	Laser ottico	23,220 m (19,023-4,197)	2000:1		/
Usura a 45° sx/dx	Laser ottico	/	1:1	0,01 mm	±0,3mm
Usura verticale sx/dx					
Usura orizzontale sx/dx	Laser ottico	/	/	0,01 mm	±0,05 mm ±0,07 mm ±0,1 mm
Usura ondulatoria sx/dx bande [20-200] mm;					
[200-1000] mm; [1000-3000] mm					

Figura 2.41: grandezze geometriche rilevate dal treno ETR500Y2

Attraverso un sensore laser montato sul telaio del carrello e un target rigidamente fissato all’assile, Diamante rileva anche l’usura ondulatoria o mazzatura, che, come già visto, consiste in una serie di avvallamenti quasi regolari nella direzione longitudinale del binario, dovuti all’usura della

superficie. La misura dell'usura ondulatoria è di fondamentale aiuto nella diagnosi della superficie di rotolamento e nella pianificazione delle attività di molatura [19].

I sistemi a bordo del treno sono in grado di ricavare anche il parametro conicità equivalente, valutando così la qualità del contatto dinamico tra ruota e rotaia. A tal fine, i profili delle rotaie acquisiti dal treno diagnostico si accoppiano con i profili delle ruote di uno dei veicoli che abitualmente percorrono la linea oggetto della corsa di verifica [17].

Per quanto riguarda la trazione elettrica, è importante monitorare le condizioni della linea aerea al fine di garantire un buon trasferimento di potenza. Il treno Diamante rileva la geometria e l'usura dei fili costituenti la linea di contatto, senza interagire meccanicamente con essi, ma servendosi di un sistema di box ottici posti sull'imperiale della carrozza "trazione elettrica". Inoltre, esegue misure riguardanti l'interazione dinamica tra il pantografo e la linea aerea di contatto [20].

Descrivendo i parametri che indicano la qualità geometrica del binario, e in particolare l'allineamento e il livello longitudinale, sono stati nominati i campi di lunghezza d'onda D1, D2 e D3, per i quali sono definiti differenti valori ammissibili dei parametri (paragrafi 2.2. e 2.3.).

La forma planimetrica (o altimetrica) del binario può pensarsi come una sommatoria di una serie di componenti sinusoidali (armoniche), di ampiezza e fasi differenti. La trasformata di Fourier è lo strumento matematico per scomporre la reale forma d'onda del binario nelle componenti armoniche. I valori della forma d'onda dei parametri allineamento o livello longitudinale sono ottenuti da quelli misurati dai rotabili diagnostici, in precedenza descritti, dotati di sistemi di misura di tipo inerziale o a corda. Più precisamente, i sistemi di misura di tipo inerziale forniscono direttamente la forma d'onda del binario, mentre per i sistemi a corda è necessaria un'elaborazione matematica (ricoloritura) dei valori misurati, al fine di rappresentare la forma d'onda del binario, entro certi limiti di lunghezze d'onda dipendenti dalla base di misura. Nei sistemi a corda il parametro d'interesse è calcolato come distanza (freccia) della retta congiungente due punti distanti dal punto in esame di due quantità a e b ; la somma di a e b è pari alla lunghezza della corda o base di misura, impiegata dal sistema (figura 2.42).

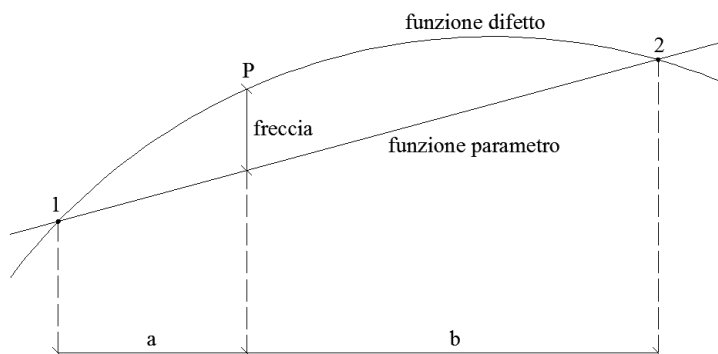


Figura 2.42: sistema di misura corda-freccia

Tali sistemi non forniscono la reale forma d'onda, ma una sua rappresentazione distorta. Inoltre, al variare di a e b , quindi al variare della base di misura, cambia il valore della funzione parametro che si vuole rilevare. Per eliminare l'influenza del particolare metodo di misura adottato e risalire alla reale forma d'onda del binario, si applica una funzione di trasferimento che permette di ottenere il

parametro ricolorato in un determinato intervallo di lunghezze d'onda. La funzione di trasferimento, dipendente dai valori di a e b e dalla lunghezza d'onda del difetto, fornisce per ogni componente armonica il rapporto tra ampiezza misurata e ampiezza reale [6].

Per poter confrontare i valori dei parametri rilevati dai treni diagnostici con i valori soglia fissati dall'Istruzione della Direzione Tecnica "*Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per linee con velocità fino a 300 km/h*", è necessario ricolorare i parametri nei campi di lunghezza d'onda D1, D2 e D3, corrispondenti rispettivamente a 3-25 m, 25-70 m e 70-150 m per il livello longitudinale, 70-200 m per l'allineamento. La ricoloritura dei valori "grezzi" avviene mediante software di elaborazione dati presenti a bordo dei rotabili, e l'elaborazione dei parametri allineamento e livello longitudinale nei campi D2 e D3 è eseguita solamente per le linee caratterizzate da velocità massima maggiore o uguale a 250 km/h (linee AV/AC) [22].

I difetti di allineamento e livello longitudinale della geometria del binario aventi componenti armoniche con lunghezze d'onda comprese nella banda D1 sono detti di "onda corta". Essi sono causati, essenzialmente, dagli assestamenti del binario nella massicciata, oppure possono anche essere determinati da carrelli sghembi o squilibri di carico presenti sul veicolo. Sono, invece, detti di "onda lunga" i difetti dovuti ad assestamenti del corpo stradale e aventi lunghezze d'onda che ricadono nei campi D2 e D3.

Sulle linee AV/AC, quindi a velocità elevate, i difetti di onda corta influenzano le accelerazioni longitudinali e trasversali sui carrelli dei veicoli, poiché causano colpi e vibrazioni tra la ruota e la rotaia, mentre i difetti di onda lunga influenzano le accelerazioni della cassa del treno, intervenendo così sul comfort dei passeggeri. Se questi ultimi difetti sono persistenti, possono causare instabilità di marcia [7].

La tabella 2.1 del paragrafo 2.2. mostra la correlazione fra le accelerazioni, in cassa e ai carrelli, e i difetti geometrici di onda corta e di onda lunga.

Le vibrazioni che interessano il convoglio dipendono dal rapporto tra la sua velocità v e la lunghezza d'onda λ del difetto, secondo la relazione: $f = v/\lambda$. A velocità elevate i difetti di onda lunga generano delle vibrazioni con frequenza di oscillazione paragonabile a quella di una carrozza passeggeri dei treni AV, variabile tra 1 e 1,5 Hz (effetto di risonanza). Un carrello ha invece una frequenza propria di oscillazione maggiore, indotta, alla velocità di 300 km/h, da lunghezze d'onda di 10-20 m (onda corta) [14].

Per la correzione dei difetti di onda lunga è necessario confrontare la posizione plano-altimetrica corrente del binario con la posizione di progetto, determinando rispetto a essa i valori correttivi. Infatti, una correzione effettuata attraverso macchine operatrici che operano mediante sistema corda-freccia risulta inefficace poiché, come visto, le componenti armoniche sono alterate e le onde lunghe attenuate (la base di misura ha lunghezza contenuta).

Rilevando la geometria del binario attraverso i sistemi di misura dei rotabili diagnostici, le ampiezze dei difetti sono relative al riferimento del treno e non alla posizione di progetto del binario, l'unica che garantisce una corretta geometria (figura 2.43). Pertanto, individuati dei difetti di onda lunga su base relativa, sarà opportuno eseguire un rilievo della geometria del binario su base assoluta, cioè facendo riferimento a punti fissi di coordinate note esterni al binario, e progettare di conseguenza l'intervento manutentivo.



Figura 2.43: relatività dei treni diagnostici

2.5. Il rilievo su base assoluta

La progettazione del tracciato di nuove linee in costruzione, comprese quelle ad Alta Velocità, è eseguita per via topografica, facendo riferimento a una rete di punti fissi esterni, in coordinate assolute. In questo modo le posizioni planimetrica (riferita al proprio asse) e altimetrica (riferita alla rotaia bassa) del tracciato sono individuate con elevata precisione, e il posizionamento del binario sul tracciato di progetto avviene mediante macchine operatrici di tipo “intelligente” (dotate di computer di bordo). Nel tempo, la collocazione del binario è controllata mediante rilievo plano-altimetrico su base assoluta appoggiato ai punti fissi: confrontando i rilievi eseguiti sul binario esistente con i dati geometrici del tracciato di progetto si elaborano i piani di correzione.

Tale metodologia ha come obiettivi quelli di:

- migliorare la marcia dei treni e il comfort di viaggio, in particolare sulle linee AV/AC;
- ridurre il degrado della geometria del binario, con conseguente riduzione dei costi e della frequenza della manutenzione;
- tenere sotto controllo le tolleranze di posizione del binario e i margini tra la sagoma del treno e gli ostacoli presenti lungo la linea (specialmente nelle gallerie dove sono ridotti).

Per riassumere, la metodologia consente un miglioramento della qualità del sistema treno-infrastruttura a livello di circolazione, rispetto al tradizionale sistema di picchettazione; quest'ultimo prevede controlli a terra, mediante spezzoni di rotaia, solo delle curve ed esclusivamente con mezzi manuali. Sperimentazioni hanno dimostrato che le picchettazioni di tipo tradizionale causano nel tempo errori di posizionamento del binario, con riduzione di comfort sui treni viaggiatori, degrado del tracciato di progetto, riduzione dei franchi tra le sagome e gli ostacoli, difficoltà nei controlli e nel riposizionamento del binario sul tracciato di progetto.

La progettazione per via topografica su base assoluta può applicarsi anche a binari esistenti, in occasione di rinnovamento [23].

Più nel dettaglio, il sistema base assoluta si compone di:

- una rete di punti rilevati in coordinate topografiche, di inquadramento della linea (cispaldi e vertici di poligonali);

- punti rilevati in coordinate topografiche installati sui pali della trazione elettrica lungo la linea ferroviaria o sui piedritti delle gallerie (punti fissi);
- coordinate topografiche dell'asse del binario;
- quote D_0 e H_0 del binario rispetto ai punti fissi [5].

La rete di inquadramento della linea ferroviaria si appoggia ai punti trigonometrici e ai capisaldi di livellazione dell'Istituto Geografico Militare (IGM) e viene affittita mediante rilievi topografici (figura 2.44).

In particolare, dal punto di vista planimetrico, si esegue una poligonale a lati lunghi o una rete rilevata con sistema GPS, appoggiandosi ad almeno quattro vertici della rete IGM, posti a distanza di 15-20 km tra loro, e una poligonale a lati corti con vertici ubicati sulla banchina della linea ferroviaria, a distanza contenuta entro 250 metri.

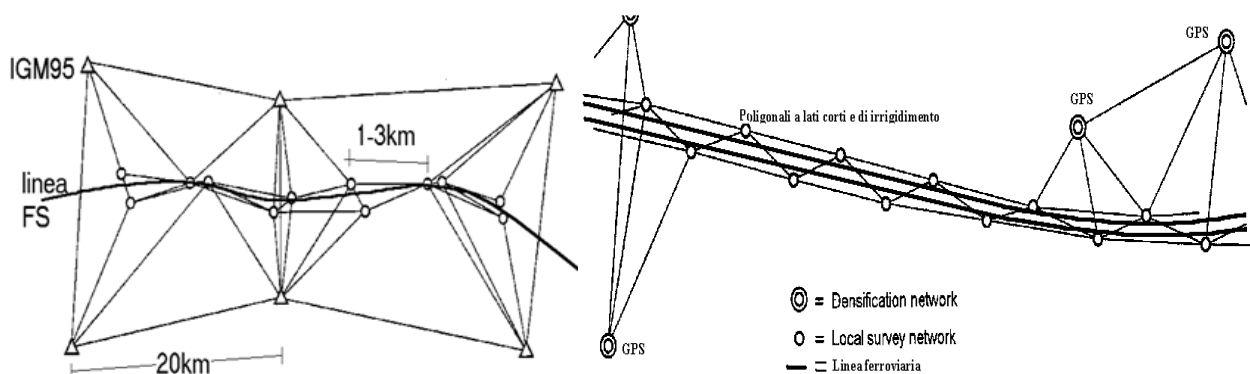


Figura 2.44: rete di inquadramento del tracciato

I punti fissi sono determinati mediante rilievo topografico a partire dai vertici della poligonale a lati corti: ogni punto dovrà essere rilevato da almeno due vertici contigui della poligonale, con strumento topografico a stazione totale (figura 2.45). I vertici della poligonale costituiscono anche i capisaldi per la livellazione di precisione dei punti fissi.

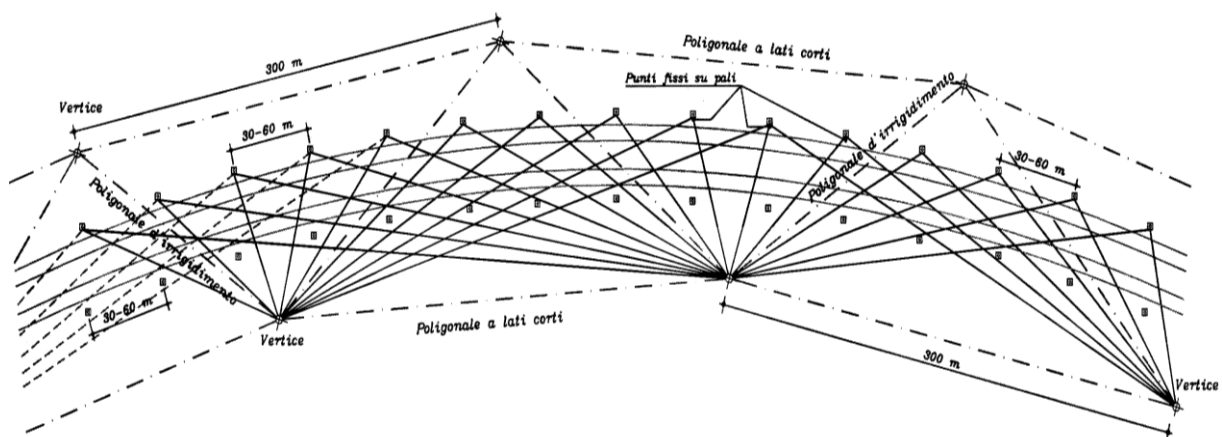


Figura 2.45: rilievo topografico dei punti fissi

La materializzazione dei punti fissi, di riferimento per la realizzazione del tracciato su base assoluta e per i successivi controlli ed eventuali correzioni, si esegue con un passo pari a quello della sospensione elettrica, in genere compreso tra 30 e 60 metri.

In particolare i punti fissi sono materializzati mediante posa in opera di appositi perni sui pali della trazione elettrica; tali perni sono sempre dallo stesso lato della sede ferroviaria per linee a semplice binario (salvo impedimenti) e affacciati verso il binario, sia sul palo del binario pari, sia su quello del binario dispari, per linee a doppio binario. Ove i pali della trazione elettrica sono mancanti, per la presenza di una galleria o di un altro manufatto di lunghezza superiore al passo della sospensione, i punti fissi andranno fissati sulla sezione trasversale del binario, sui piedritti o sulla muratura dell'opera d'arte, sempre in corrispondenza delle sospensioni e sempre affacciati se la linea è a doppio binario.

I perni sono elementi cilindrici con diametro pari a 12 mm, in acciaio inossidabile, posizionati perfettamente orizzontali a una quota compresa tra 30 e 60 cm al di sopra della rotaia più bassa (figura 2.46).

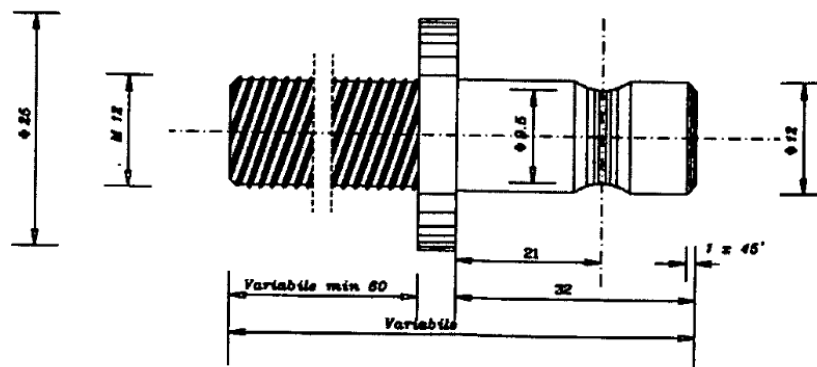


Figura 2.46: particolare perno

Durante le operazioni di rilievo dei punti fissi, ai perni sono agganciati dei prismi, che costituiscono la mira ottica. In tale fase, i punti fissi, battuti da due vertici/capitaldi della poligonale a lati corti, dovranno avere scarti quadratici medi inferiori a:

- +/- 3 mm sul piano orizzontale,
- +/- 2 mm nella direzione verticale.

Rilevati i punti fissi in coordinate assolute, garantendone la migliore precisione per poter appoggiare ad essi tutte le attività inerenti la geometria del binario, si procede con il rilievo plan-altimetrico della geometria del binario su base assoluta. In particolare il rilievo è eseguito con stazione totale topografica posizionata fuori dal binario (rilievo off-track), per mezzo dello "stazionamento libero": tecnica che individua la posizione dello strumento topografico su base assoluta in coordinate cartesiane, utilizzando le letture angolari e di distanza verso i punti fissi (sei punti) di coordinate note. Nota la posizione della stazione totale, per consentire la lettura della posizione del binario si devono utilizzare un carrellino o un idoneo supporto che traguarda le due rotaie ed è dotato di prisma ottico o di due prismi ottici posti a diretto contatto sul piano delle due rotaie, atti ad individuare l'asse del binario. I prismi sono letti dalla stazione totale (figura 2.47) [23].

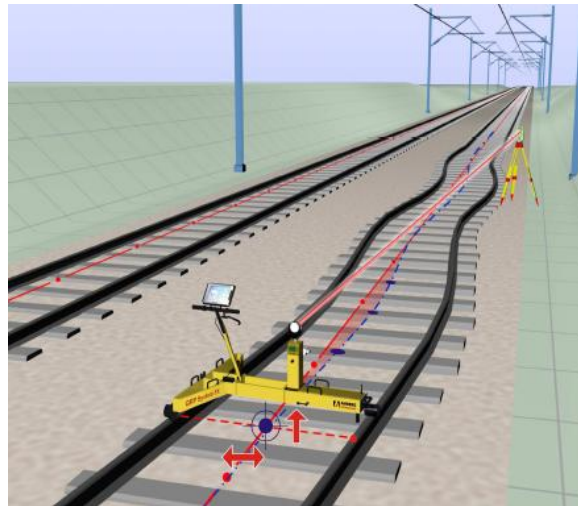


Figura 2.47: rilievo off-track della geometria del binario

In fase di progetto, il binario è posto a una certa distanza orizzontale e a una certa distanza verticale rispetto ai punti fissi; tali grandezze, misurate e registrate come valori di progetto, consentiranno di valutare le variazioni della posizione del binario nel tempo e di determinare le opportune correzioni (figura 2.48). Più nel dettaglio, le grandezze di progetto considerate sono:

- D_0 = distanza orizzontale di progetto dal punto fisso del filo interno della rotaia più vicina;
- H_0 = distanza verticale di progetto dal punto fisso del centro del piano di rotolamento della rotaia più vicina [5].

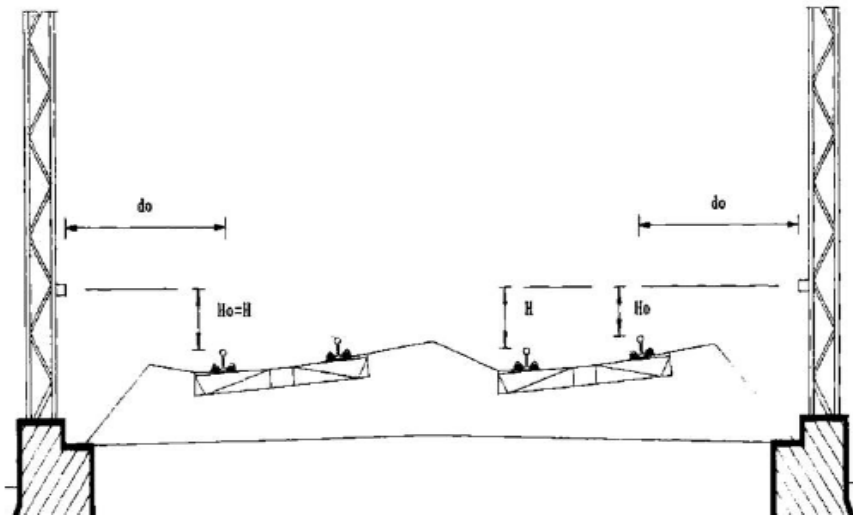


Figura 2.48: quote di progetto

Per le grandezze di geometria assoluta esistono un livello di riferimento per binario in esercizio e un livello di riferimento per binario in lavorazione, come indicato nella Procedura Operativa Subdirezionale di RFI “*Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive*”.

In particolare, i valori di riferimento per binario in esercizio si ricavano sommando ± 25 mm ai relativi valori di progetto D_0 e H_0 . Tali valori vanno confrontati con:

- D_r (misura orizzontale di punto fisso) = misura della distanza orizzontale dal punto fisso del filo interno della rotaia più vicina;
- H_r (misura verticale di punto fisso) = misura della distanza verticale dal punto fisso del centro del piano di rotolamento della rotaia più vicina se in rettilineo, della rotaia bassa se in curva.

La procedura indica inoltre i valori di riferimento della differenza di spostamenti rispetto alle quote di progetto tra due punti fissi, in funzione della velocità della linea e del passo dei punti fissi (figura 2.49).

Relativamente al livello di riferimento per binario in lavorazione, e quindi in caso di rilievi post-intervento (rinnovamento, risanamento, nuova posa, livellamento del binario), i valori di riferimento si ricavano sommando ± 5 mm ai valori di progetto D_0 e H_0 , ovvero ai valori di correzione D_c e H_c , quando questi ultimi non coincidano con i valori di progetto (figura 2.50).

Nel dettaglio:

- D_c (quota orizzontale di correzione di punto fisso) = distanza orizzontale dal punto fisso del filo interno della rotaia di riferimento, definita in fase di progettazione dell'intervento di posizionamento del binario (è di norma un valore intermedio tra la quota di progetto D_0 e la misura D_r)
- H_c (quota verticale di correzione di punto fisso) = distanza verticale dal punto fisso al centro del piano di rotolamento della rotaia più vicina, ovvero più bassa, definita in fase di progettazione dell'intervento di posizionamento del binario (è di norma un valore intermedio tra la quota di progetto D_0 e la misura D_r).

Velocità max della linea	Spostamenti rispetto alle quote di progetto in corrispondenza dei punti fissi	Differenze di spostamenti rispetto alle quote di progetto tra due punti fissi successivi
300 km/h	$D_0(\pm 25 \text{ mm})$ $H_0(\pm 25 \text{ mm})$	$\leq 10 \text{ mm}$ se la distanza tra I punti fissi $\approx 60 \text{ m}$ $\leq 20 \text{ mm}$ se la distanza tra I punti fissi $\approx 120 \text{ m}$
250 km/h	$D_0(\pm 25 \text{ mm})$ $H_0(\pm 25 \text{ mm})$	$\leq 5 \text{ mm}$ se la distanza tra I punti fissi $\approx 30 \text{ m}$ $\leq 10 \text{ mm}$ se la distanza tra I punti fissi $\approx 60 \text{ m}$ $\leq 20 \text{ mm}$ se la distanza tra I punti fissi $\approx 120 \text{ m}$

Figura 2.49: valori di riferimento per binario in esercizio

Velocità max della linea	Spostamenti rispetto alle quote di progetto ovvero alle quote di correzione in corrispondenza dei punti fissi
Tutte	$D_0 (\pm 5 \text{ mm})$ ovvero $D_c (\pm 5 \text{ mm})$ $H_0 (\pm 5 \text{ mm})$ ovvero $H_c (\pm 5 \text{ mm})$

Figura 2.50: valori di riferimento post-intervento

In fase di controllo della posizione del binario rispetto ai punti fissi, i rilievi vanno eseguiti lungo il binario:

- ogni 5 metri;
- in corrispondenza dei punti fissi, nella sezione ortogonale al binario;
- in corrispondenza dei punti geometrici caratteristici dei deviatori.

Confrontando i rilievi eseguiti sul binario esistente con i dati geometrici forniti dal tracciato di progetto, si determinano le correzioni planimetriche, altimetriche e della sopraelevazione.

La misura della posizione del binario rispetto ai punti fissi si esegue periodicamente e in caso di segnalazione di difetto di geometria del binario da parte dei treni diagnostici o di segnalazione di moto anomalo da parte dei macchinisti.

Il controllo puntuale del binario può essere eseguito con strumenti manuali meccanici/ottici (distanziometro laser, calibri, filo a piombo e asta), tramite i quali è possibile misurare le quote D_r e H_r in corrispondenza dei punti fissi (precedente e successivo il difetto o il tratto di lavorazione), prima e dopo l'intervento di correzione.

Il controllo della posizione del binario con passo 5 metri si può eseguire, invece, con stazione totale posta fuori dal binario, unitamente a target posti sul binario (rilievo off-track) o con macchine registratrici automotrici che operano direttamente sul binario (rilievo on-track) [5].

In particolare, la Procedura Operativa “*Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive*” indica le caratteristiche tecniche del carrello automotore EM-SAT 100, il quale esegue controlli della geometria del binario rispetto al sistema assoluto dei punti fissi (figure 2.51 e 2.52).

Grandezze misurate	Tecnologia di misura	Risoluzione	Incertezza di misura 2σ
D_r	laser	0,01 mm	2 mm
H_r	laser	0,01 mm	2 mm
Scartamento	Trasduttore lineare	0,1 mm	1 mm
Sopraelevazione	Trasduttore lineare	0,1 mm	1 mm
Difetto di sopraelevazione	Parametro derivato on board	0,1 mm	1 mm
Livello corda lunga	laser	0,01 mm	1 mm
Allineamento corda lunga	laser	0,01 mm	1 mm
Progressiva chilometrica	Encoder	0,01 mm	1 m / 1 km

Figura 2.51: EM-SAT 100 - caratteristiche tecniche e grandezze misurate



Figura 2.52: carrello automotore EM-SAT 100

La vettura EM-SAT è dotata di un teodolite, attraverso il quale rileva la posizione del binario rispetto ai punti fissi e di un emettitore laser, tramite il quale esegue il rilievo della geometria del binario, con passo 20 cm da un punto fisso all'altro. In particolare, per il lavoro di misurazione vero e proprio, la vettura dispone di un carrello satellite a trazione elettrica autonoma, che può essere fatto scendere sul binario e su cui è montato il trasmettitore laser [3].

I vantaggi del rilevamento con l'EM-SAT, in confronto al metodo di misurazione manuale, sono:

- una maggiore precisione e velocità di misurazione;
- la misurazione e il riconoscimento dei difetti di binario ad onda lunga;
- il riconoscimento di cambiamenti di posizione e di livello dei punti fissi, con conseguente possibile disinserimento;
- l'elevata accuratezza dei dati;
- l'analisi e la trasmissione alla macchina rinalzatrice, senza necessità di interruzione;
- il lavoro in un posto sicuro per tutti i collaboratori, non più esposti ai pericoli derivanti dall'intervento su linea con esercizio ferroviario [2].

2.6. Frequenza dei rilievi e documentazione rilasciata durante le corse di verifica

I rilievi della geometria del binario sono effettuati durante corse o attività di verifica, che si distinguono in: ordinarie, straordinarie e di servizio.

Le verifiche ordinarie sono quelle programmate annualmente ed eseguite con cadenza regolare, in funzione del gruppo di appartenenza della linea. In particolare, la frequenza di effettuazione dei rilievi ordinari di geometria del binario dipende dal volume di traffico e dalle velocità di fiancata (velocità massima alla quale un veicolo può percorrere un certo tratto di linea): si è quindi stabilito di correlare la frequenza ai gruppi nei quali le linee della rete ferroviaria italiana sono classificate.

La tabella seguente (figura 2.53), contenuta nella Procedura Operativa Subdirezionale di RFI "Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive", mostra nel dettaglio le frequenze dei rilievi ordinari, in relazione alla classe di linea e alla tipologia di binario.

I rilievi sui binari di corsa delle linee elettrificate sono di competenza del Centro Diagnostico (CDN), mentre per i binari di corsa delle linee non elettrificate, i binari centralizzati, le comunicazioni, le interconnessioni e i binari attrezzati con il sistema base assoluta, i rilievi sono affidati alla Direzione Territoriale Produzione (D.T.P.).

Classe di Linea Tipologia Binario	AV-AC	1^ Classe	2^ Classe	3^ Classe	4^ Classe	Competenza
	Binari di corsa elettrificati	2 settimane	2 settimane	2 mesi	4 mesi	6 mesi
4 mesi		--	--	--	--	CDN DINAMICA DI MARCIA
Binari di corsa non elettrificati	--	--	--	--	6 mesi	D.T.P.
Comunicazioni su binari di corsa e Interconnessioni	6 mesi	6 mesi	12 mesi	12 mesi	12 mesi	D.T.P.
Binari centralizzati	12 mesi	12 mesi	12 mesi	24 mesi	24 mesi	D.T.P.
Altri binari	24 mesi	24 mesi	24 mesi	24 mesi	24 mesi	D.T.P.
Binari attrezzati con il sistema base assoluta	24 mesi	48 mesi				D.T.P. EM-SAT
Verifica coordinate topografiche dei punti fissi	120 mesi	120 mesi				D.T.P.

Figura 2.53: frequenze dei rilievi

Il rilievo con il carrello EM-SAT 100, per i binari attrezzati con il sistema base assoluta, viene attualmente eseguito ogni due anni e riguarda l'intero sviluppo di ciascuna linea ferroviaria.

In caso d'intervento manutentivo che richieda un progetto di posizionamento del binario rispetto al sistema assoluto dei punti fissi, se i rilievi con EM-SAT 100 sono antecedenti i 12 mesi, si esegue un rilievo di pre-intervento della posizione del binario su base assoluta, limitatamente al tratto di linea interessato dall'intervento di correzione, attraverso strumenti topografici e carrelli di misura.

Le coordinate dei punti fissi del sistema base assoluta vanno verificate ogni 10 anni e in caso di misure di Dr e Hr superiori a due volte i valori di riferimento (indicati in figura 2.49). Nel caso si riscontrino scarti quadratici medi delle coordinate topografiche di punto fisso superiori a +/- 3 mm sul piano orizzontale e +/- 2 mm nella direzione verticale, su almeno due punti fissi consecutivi, il sistema base assoluta risulta non attendibile e pertanto occorre eseguire un nuovo rilievo topografico del binario, uno studio di ottimizzazione del tracciato e occorre ricalcolare le quote di progetto D₀ e H₀ [22].

Le verifiche straordinarie non sono realizzate con frequenza regolare, ma eseguite soltanto quando particolari esigenze lo richiedono, come ad esempio nel caso di un'anomalia rilevante che si ripete su una stessa tratta anche dopo vari interventi correttivi, o dopo uno svio del quale non risultino chiare le cause. Tali verifiche sono quindi richieste per motivi straordinari dalle Strutture Organizzative interessate. Più nel dettaglio, la Procedura Operativa "Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive" specifica di eseguire le verifiche straordinarie:

- in tutti i casi di svio su binari di corsa e di circolazione o in quelli in cui ci siano stati danni alle persone e, dai primi accertamenti effettuati in loco, non risultino chiare le cause dell'inconveniente;
- negli altri casi di svio qualora gli incaricati degli accertamenti ne facessero richiesta.

Inoltre, corse di verifica straordinaria possono essere stabilite dalle D.T.P. con l'approssimarsi della stagione estiva per le tratte di linea in cui le corse di verifica ordinarie abbiano evidenziato la presenza di difetti di allineamento che possano degenerare in difetti oltre la soglia d'intervento (valori comportanti vincoli all'esercizio) e non risultare più gestibili in piena stagione estiva, tenuto conto delle precauzioni da adottare per i tratti di binario armati in lunga rotaia saldata.

Le verifiche di servizio sono quelle che si eseguono per motivi tecnici relativi all'esercizio delle apparecchiature e ai rotabili di rilievo (verifiche di funzionamento delle apparecchiature, controlli, tarature, ecc.).

Durante l'effettuazione di una verifica sono rilasciati alcuni documenti a cura degli operatori dei treni o automotori diagnostici. In particolare, durante le corse di verifica si consegnano:

- la stampa dell'eventuale “*Comunicazione di difetti rilevanti di geometria binario e con provvedimento di intervento a 30 gg*” e “*Comunicazione di difetti rilevanti di dinamica di marcia*”;
- il grafico del rilievo (cartaceo o in formato elettronico);
- l'eventuale ripresa video della sede stradale.

Durante i controlli del binario su base assoluta con carrello automotore EM-SAT 100, si produce, invece, la seguente documentazione:

- elaborati grafici della posizione del binario rispetto ai punti fissi;
- tabulati dei punti fissi, riportanti le quote di progetto, le misure Dr e Hr e conseguenti spostamenti e alzamenti.

Un difetto della geometria del binario è classificato come “rilevante” quando il parametro geometrico corrispondente assume valori comportanti vincoli all'esercizio ferroviario, secondo quanto stabilito dall'Istruzione della Direzione Tecnica di RFI “*Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per linee con velocità fino a 300 km/h*” (paragrafo 2.3.3.). I difetti con provvedimento d'intervento a 30 giorni sono, invece, identificati da valori dei parametri geometrici corrispondenti al terzo livello di qualità definito dal precedente Standard (secondo livello per lo sghembo) e per i quali gli interventi correttivi vanno eseguiti in tempi ristretti (30 giorni).

Entro 15 giorni lavorativi dalla data di effettuazione delle verifiche, tutti i dati rilevati sono caricati su InRete2000 (Sistema Informativo della Manutenzione), a cura di Servizi per i rotabili e per la Diagnostica e delle D.T.P., queste ultime limitatamente all'attività di caricamento dei dati di geometria assoluta. Sulla base di tali dati si programmano gli interventi di manutenzione; in tale fase non sono presi in considerazione i difetti rilevanti in quanto richiedono un intervento manutentivo immediato [22].

2.7. Analisi ed elaborazione delle grandezze rilevate

Le grandezze di geometria relativa, ossia quelle rilevate dai treni diagnostici che, come visto, eseguono rilievi in relativo della geometria del binario, e quelle di geometria assoluta, sono confrontate con i rispettivi valori di riferimento. Per riassumere, le grandezze relative sono

caratterizzate secondo i valori stabiliti dall’Istruzione della Direzione Tecnica di RFI “*Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per linee con velocità fino a 300 km/h*”, mentre per le grandezze assolute si verifica che le misure di Dr e Hr e le differenze di spostamenti rispetto alle quote di progetto di due punti fissi successivi, non eccedano i valori di riferimento per binario in esercizio (figura 2.49). Nel caso di rilievo post-intervento della posizione del binario rispetto al sistema base assoluta, occorre verificare il rispetto dei corrispettivi valori di riferimento, in corrispondenza di tutti i punti fissi interessati dalla lavorazione (figura 2.50).

Tornando alle grandezze di geometria relativa, come mostrato nella tabella 2.2, alcuni parametri sono direttamente misurati dai rotabili diagnostici, altri sono derivati a bordo dei rotabili stessi attraverso software di elaborazione dati, altri ancora sono derivati a seguito delle corse di verifica (post-elaborazione off-board) [22].

Parametri misurati	Parametri derivati on-board	Analisi	Post elaborazione off-board		
Livello longitudinale	Livello longitudinale ricolorito banda [3-25] m	Confronto con i valori di riferimento e individuazione dei difetti in fascia di attenzione, d’intervento, di rallentamento e d’interruzione	Deviazione standard su 200 m del livello longitudinale ricolorito	Indice di Qualità della Rincalzatura del Binario in tratta e in località; difettosità geometriche diffuse	
Livello trasversale	Scarto di livello trasversale su base 10 m		Deviazione standard su 200 m dello scarto di livello trasversale		
Allineamento	Allineamento ricolorito banda [3-25] m		Deviazione standard su 200 m dell’allineamento ricolorito		
Livello longitudinale	Livello longitudinale ricolorito banda [25-70] m e [70-150] m		/	Difetti di onda lunga	
Allineamento	Allineamento ricolorito banda [25-70] m e [70-200] m		/		
Sghembo	Sghembo su base 3 m e 9 m		/	/	
Usura a 45°	Media mobile su 100 m		/	Difetti di usura a 45°	
Scartamento	Scartamento in media mobile su 100 m (depurato e non dell’usura orizzontale)		/	Conicità equivalente	Difetti di scartamento in media mobile
Usura orizzontale	Media mobile su 100 m				/
Usura verticale	Media mobile su 100 m				/
Usura ondulatoria	/	/	/	Difetti di marezzatura	

Tabella 2.2 : elaborazione e analisi delle grandezze geometriche rilevate

Sulle grandezze rilevate e derivate è eseguita un'analisi informatizzata finalizzata all'individuazione dei difetti puntuali di geometria del binario, dei difetti di geometria d'onda lunga per le linee AV/AC e delle difettosità geometriche diffuse, e un'elaborazione statistica finalizzata al calcolo degli indici di qualità.

I parametri allineamento e livello longitudinale, rilevati dai rotabili e ricolorati nei campi D1, D2 e D3 nel caso di sistema di misura corda-freccia, sono confrontati con i valori di riferimento stabiliti dallo Standard al fine di individuare difetti isolati di attenzione (2° livello di qualità), d'intervento (3° livello di qualità) e rilevanti (valori comportanti vincoli all'esercizio).

Analogamente per i parametri usura a 45° e scartamento, che sono rilevati direttamente, scartamento in media mobile e sghembo su base 3 m e 9 m, che sono derivati on-board, con la particolarità che il raggiungimento del terzo livello per lo sghembo comporta un intervento immediato, come per un qualunque difetto rilevante. Nel caso di valori di scartamento in media mobile corrispondenti al terzo livello di qualità, per velocità superiori a 200 km/h, e per valori comportanti vincoli all'esercizio, lo Standard stabilisce di controllare i valori di conicità equivalente (figure 2.20b, 2.21, 2.28a, 2.28b), parametro calcolato in seguito alle corse di verifica, sulla base dei valori rilevati di scartamento e usura delle rotaie.

A partire dal parametro livello trasversale, rilevato dai treni diagnostici, si calcolano lo scarto di livello trasversale (SCARTXL) e il difetto di sopraelevazione (ΔH), poiché i valori soglia sono fissati per tali grandezze. Mentre SCARTXL è un parametro derivato a bordo dei treni, Δh è calcolato manualmente noto il livello trasversale e la sopraelevazione teorica, riportata nei tabellini delle curve.

Per i parametri usura ondulatoria, usura verticale e usura orizzontale, direttamente rilevati dai rotabili, lo Standard non disciplina valori di riferimento. Tuttavia, all'interno della Procedura Operativa "Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive", per l'usura ondulatoria, sono indicati valori di riferimento per le diverse lunghezze d'onda, che garantiscono il corretto contatto ruota-rotaia (figura 2.54). Il confronto fra essi e i valori rilevati aiuta a orientare la pianificazione biennale degli interventi di molatura delle rotaie.

Parametro	Valori di riferimento [mm]
Usura ondulatoria sx/dx [30-100] mm	0,10
Usura ondulatoria sx/dx [100-300] mm	
Usura ondulatoria sx/dx [300-1000] mm	0,20

Figura 2.54: valori di riferimento per l'usura ondulatoria

Relativamente ai parametri usura orizzontale e verticale, si raccomanda di analizzare i grafici del profilo delle rotaie rilasciati dai treni diagnostici, al fine di individuare eventuali tratti di rotaia caratterizzati da profilo irregolare e di mettere in atto i controlli e le attività di correzione.

Per quanto concerne l'individuazione dei difetti di geometria d'onda lunga con effetti sulla dinamica di marcia, essa avviene con l'elaborazione dei parametri livello longitudinale e

allineamento nelle bande D2 e D3 e confronto con i valori di riferimento dello Standard. Tale elaborazione è eseguita solamente sulle linee AV/AC.

Nel condurre l'analisi delle grandezze geometriche, volta a individuare difettosità isolate, per motivi di convenienza pratica, difetti di eguale tipologia con estese molto vicine fra loro sono accorpati in un unico difetto, avente come estesa quella complessiva interessata dai difetti. In figura 2.55 si riportano le distanze minime, stabilite dalla Procedura Operativa "Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive", affinché due difetti siano considerati separati.

<i>Tipo Difetto</i>	<i>Distanza minima tra i difetti [m]</i>
Scarto di livello trasversale base 10 m	20
Sghembo	20
Scartamento puntuale	20
Scartamento in media mobile	20
Livello longitudinale (D1)	20
Allineamento (D1)	20
Livello longitudinale onda lunga (D2)	60
Allineamento onda lunga (D2)	60
Livello longitudinale onda lunga (D3)	120
Allineamento onda lunga (D3)	120
Usura rotaia a 45°	50
Sopraelevazione	50
Usura ondulatoria	100

Figura 2.55: distanza minima tra i difetti

L'individuazione delle difettosità geometriche diffuse avviene con l'elaborazione off-board dei parametri deviazioni standard su 200 m di allineamento, livello longitudinale e livello trasversale nella banda D1 e confronto con i valori di riferimento definiti nello Standard (figura 2.18). In particolare, per le linee convenzionali sono previsti due livelli di qualità, mentre per le sole linee AV/AC ne è previsto un terzo, al cui supero corrisponde la programmazione e l'esecuzione degli interventi correttivi per il ripristino del livello qualitativo, unitamente alla realizzazione d'interventi volti a correggere i difetti isolati.

Calcolate le deviazioni standard, è possibile ricavare l'Indice di Qualità della Rincalzatura del Binario, il quale ha lo scopo di:

- caratterizzare sinteticamente l'andamento plano-altimetrico dei binari di corsa di ciascuna tratta/località, esprimendo l'andamento dei parametri allineamento, livello longitudinale e trasversale;
- indicare l'efficacia degli interventi manutentivi di rincalzatura eseguiti sulla sede in esame;
- supportare l'esame dello stato del binario di corsa ai fini della programmazione e pianificazione degli interventi manutentivi.

In particolare, si definiscono due indici di qualità della rincalzatura del binario:

- in tratta (IQBT), pari al valore medio degli indici di rincalzatura calcolati sulla tratta considerata;
- in località (IQBS), pari al valore medio degli indici di difettosità di livello longitudinale nella località considerata.

La distinzione serve a separare il giudizio della qualità geometrica del binario per la piena linea da quello per le stazioni, le quali sono caratterizzate da maggiori difettosità dovute alla presenza di punti singolari (deviatoi, giunzioni, passerelle, ecc.) che “sporcano” il segnale del rilievo.

Per comprendere le precedenti definizioni è necessario introdurre i seguenti concetti:

- indice di difettosità del livello longitudinale, pari alla deviazione standard su un'estesa di 200 m del livello longitudinale;
- indice di difettosità dell'allineamento, pari alla deviazione standard su un'estesa di 200 m dell'allineamento;
- indice di difettosità del livello trasversale, pari alla deviazione standard su un'estesa di 200 m del livello trasversale;
- indice di rincalzatura, pari, per ogni estesa di 200 m, al più alto (quindi al peggiore) degli indici di difettosità sopra citati.

In figura 2.56 si riportano i livelli di riferimento per gli Indici di Qualità della Rincalzatura del Binario, tratti dalla Procedura Operativa “*Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive*”.

Fascia di velocità [km/h]	Indice di Qualità in Tratta IQBT [mm]	Indice di Qualità Stazioni IQBS [mm]
V ≤ 80	2,6	2,6
80 < V ≤ 100	2,3	2,3
100 < V ≤ 120	2,1	2,1
120 < V ≤ 140	1,8	2,0
140 < V ≤ 160	1,7	2,0
160 < V ≤ 180	1,6	2,0
180 < V ≤ 200	1,5	2,0
200 < V ≤ 250	1,0	1,0
250 < V ≤ 300	0,7	0,7

Figura 2.56: valori di riferimento per IQB

Al fine di fornire elementi sintetici e immediati per la valutazione della qualità geometrica del binario, con riferimento ai parametri livello longitudinale, allineamento e livello trasversale, i valori degli IQB, calcolati a partire dalle grandezze rilevate, sono rappresentati nel SIM (Sistema Informativo della Manutenzione) nel seguente modo:

- indice di valore uguale o inferiore a quello di riferimento = indice verde,
- indice di valore superiore a quello di riferimento = indice rosso.

Le grandezze che esprimono la dinamica di marcia, direttamente rilevate dai treni AV ETR500Y o derivate a bordo degli stessi, per le linee con velocità maggiore o uguale a 250 km/h, sono confrontate con i valori di riferimento indicati nello Standard. Analogamente a quanto avviene per le grandezze di geometria relativa, si individuano difetti di attenzione, d'intervento e rilevati. Data la correlazione fra le grandezze dinamiche e la geometria del binario, i difetti di dinamica di marcia sono gestiti analizzando quelli geometrici, programmando così le attività di manutenzione correttiva e preventiva. Più precisamente:

- i difetti di accelerazione verticale o trasversale in cassa vanno gestiti rilevando ed elaborando i difetti di geometria d'onda lunga di livello longitudinale e di allineamento nelle bande D2 e D3 o di geometria assoluta rispetto ai punti fissi;
- i difetti di accelerazione verticale o trasversale al carrello vanno gestiti rilevando i difetti di geometria d'onda corta di livello longitudinale, allineamento (D1), sghembo e scarto di livello trasversale;
- i difetti di accelerazione trasversale al carrello su tratti estesi (≥ 100 m) vanno gestiti rilevando i difetti di scartamento in media mobile [22].

La tabella 2.3 sintetizza l'analisi precedentemente descritta.

Parametri misurati	Analisi	Post-elaborazione off-board	
Accelerazione in cassa in direzione verticale	Confronto con i valori di riferimento e individuazione dei difetti in fascia di attenzione, d'intervento, di rallentamento e d'interruzione	Livello longitudinale D2-D3 Dr e Hr	Difetti di onda lunga
Accelerazione in cassa in direzione trasversale		Allineamento D2-D3 Dr e Hr	
Accelerazione al carrello in direzione verticale		Livello longitudinale D1	Difetti d'onda corta/puntuali/diffusi
Accelerazione al carrello in direzione trasversale		Allineamento D1, sghembo, scarto di livello trasversale	Difetti d'onda corta/puntuali/diffusi
Accelerazione al carrello in direzione trasversale (su estese ≥ 100 m)		Scartamento in media mobile	Difetti di scartamento in media mobile

Tabella 2.3: analisi delle grandezze di dinamica di marcia

CAPITOLO 3:

LA MANUTENZIONE FERROVIARIA

3.1. Il processo della manutenzione

Con il termine “manutenzione” s’intende la combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, durante il ciclo di vita di un bene, volte a mantenere o a riportare tale bene in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta. Questa definizione deriva dal fatto che, nel corso degli ultimi anni, il concetto di manutenzione ha subito una modifica, trasformandosi da attività prevalentemente operativa di riparazione, a complesso sistema gestionale orientato alla prevenzione del guasto e al miglioramento continuo.

L’obiettivo principale delle attività che rientrano nel processo di manutenzione è quello di mantenere in efficienza l’infrastruttura ferroviaria, assicurando i massimi standard di qualità, sicurezza e affidabilità, garantendo la compatibilità dei costi di manutenzione nel quadro dei costi di produzione [3].

Rete Ferroviaria Italiana provvede alla manutenzione di oltre 16.000 km di linee ferroviarie, occupandosi dei binari di circolazione, dei binari secondari e degli impianti per la regolazione della circolazione dei treni. Più nel dettaglio, le differenti tipologie d’opere e apparecchiature da mantenere sono riconducibili a cinque principali settori:

- le opere civili,
- l’armamento,
- la trazione elettrica (energia, alimentazione e linee di contatto),
- gli apparati di segnalamento,
- gli impianti di telecomunicazione.

Le attività di manutenzione sono orientate non solo a eliminare eventuali scostamenti di macchine o attrezzature dalle funzionalità richieste, ma soprattutto a gestire il mantenimento in efficienza di un sistema complesso. Infatti, la manutenzione dell’infrastruttura ferroviaria coinvolge numerosi e differenti aspetti, quali:

- l’aspetto patrimoniale, in quanto è tenuta a preservare in condizioni ottimali gli impianti ferroviari e il loro valore;
- l’aspetto tecnologico, in quanto i sistemi innovativi richiedono un continuo impegno per garantire efficienza e durata;
- l’aspetto economico, in quanto contribuisce notevolmente al non decremento della ricchezza prodotta dall’azienda;
- l’aspetto umano, in quanto impegna un significativo numero di esperti con elevati livelli di qualificazione e professionalità [24].

Al fine di soddisfare gli obiettivi, è necessaria l’adozione di un efficiente sistema informativo che consenta il costante e capillare monitoraggio dei beni della rete ferroviaria, fondamentale per la pianificazione, la programmazione e il controllo delle attività manutentive. In particolare, l’alimentazione e la gestione del processo della manutenzione avviene attraverso il sistema informativo SAP (*Systems, Applications and Products in data processing*) InRete2000, il quale

rappresenta una banca dati contenente informazioni accessibili e trasparenti. Tale sistema è composto di differenti moduli e strumenti che supportano i vari processi collegati alle attività manutentive.

La figura 3.1 sintetizza il processo della manutenzione nel suo complesso, mostrando i moduli funzionali e gli strumenti di InRete2000 e i dati in ingresso nel sistema informativo, necessari all'alimentazione del flusso dei processi.

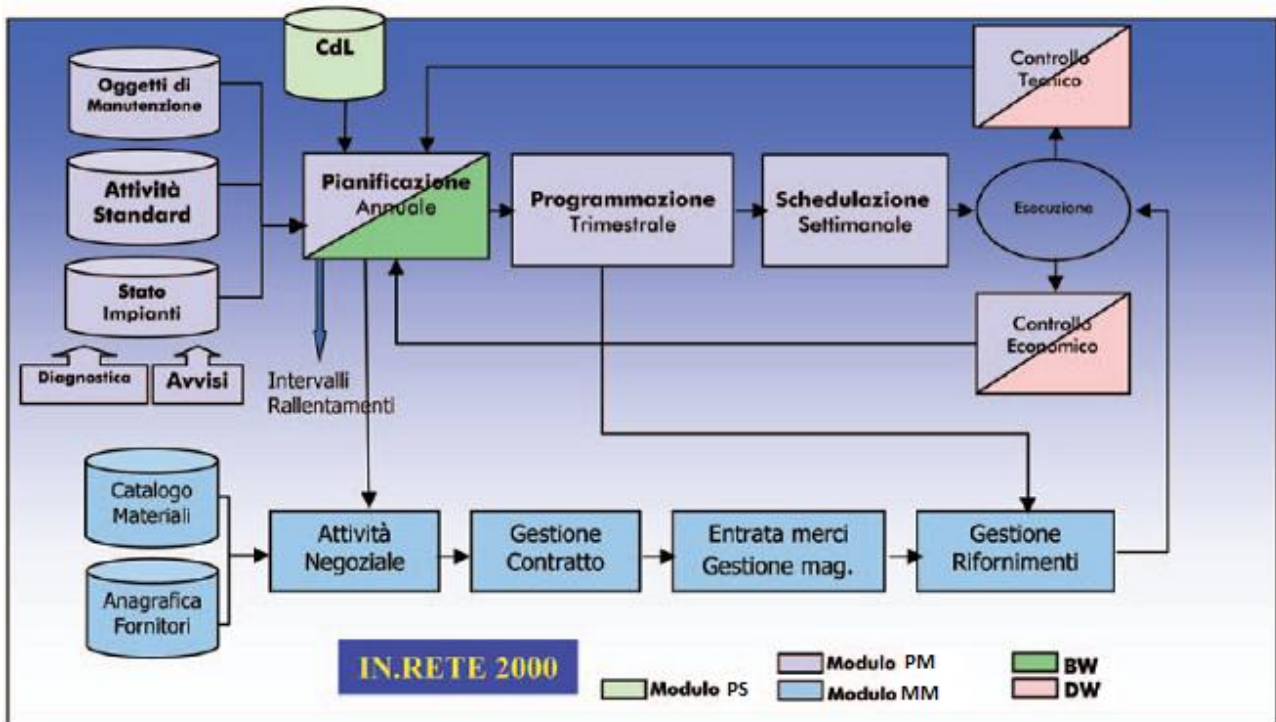


Figura 3.1: il processo della manutenzione

Con riferimento alla figura 3.1, di seguito si descrivono i moduli, gli strumenti e i dati in ingresso.

- PM (*Plaint Management*): modulo attraverso il quale è possibile gestire la manutenzione.
- PS (*Project System*): modulo che consente la gestione degli investimenti.
- MM (*Material Management*): modulo attraverso cui si dirige il processo della gestione dei materiali.
- DW (*Data Warehouse*): archivio informatico di dati che consente di produrre facilmente analisi e relazioni utili a fini decisionali - aziendali.
- BW (*Business Warehouse*): piattaforma di analisi e reporting per il controllo di gestione sulle aree del conto economico e degli investimenti, e per la pianificazione delle attività di manutenzione.
- Oggetti di manutenzione: è necessario conoscere il numero, il tipo e le caratteristiche degli oggetti che costituiscono l'infrastruttura su cui fare manutenzione.
- Attività standard: definiscono la qualità e la quantità delle attività manutentive da svolgere.
- Stato degli impianti: deriva da visite ispettive alle sedi tecniche e dalla diagnostica fissa e mobile, che permette di valutare lo stato di salute degli impianti.
- Centri di lavoro (CdL): definiscono le risorse necessarie in termini di uomini e di mezzi, oltre che di competenze [13].

Come accennato nel precedente capitolo, fondamentale per la programmazione e la pianificazione della manutenzione è l'attività diagnostica, la quale permette di verificare il differente grado di usura delle linee ferroviarie. Infatti, è a partire dai dati rilevati dai treni diagnostici, dagli impianti fissi e dalle visite tecniche, che si definiscono gli interventi manutentivi.

Relativamente alla geometria del binario, i parametri di riferimento indicati dall'Istruzione della Direzione Tecnica di Rete Ferroviaria Italiana "*Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per linee con velocità fino a 300 km/h*" costituiscono degli indicatori di performance e di affidabilità, e a seconda dei valori da essi assunti varia la tipologia e il tempo di intervento.

La figura 3.2 mostra la correlazione fra diagnostica e manutenzione, riassumendo il processo di analisi che, partendo dai dati rilevati, porta alla definizione delle attività manutentive.

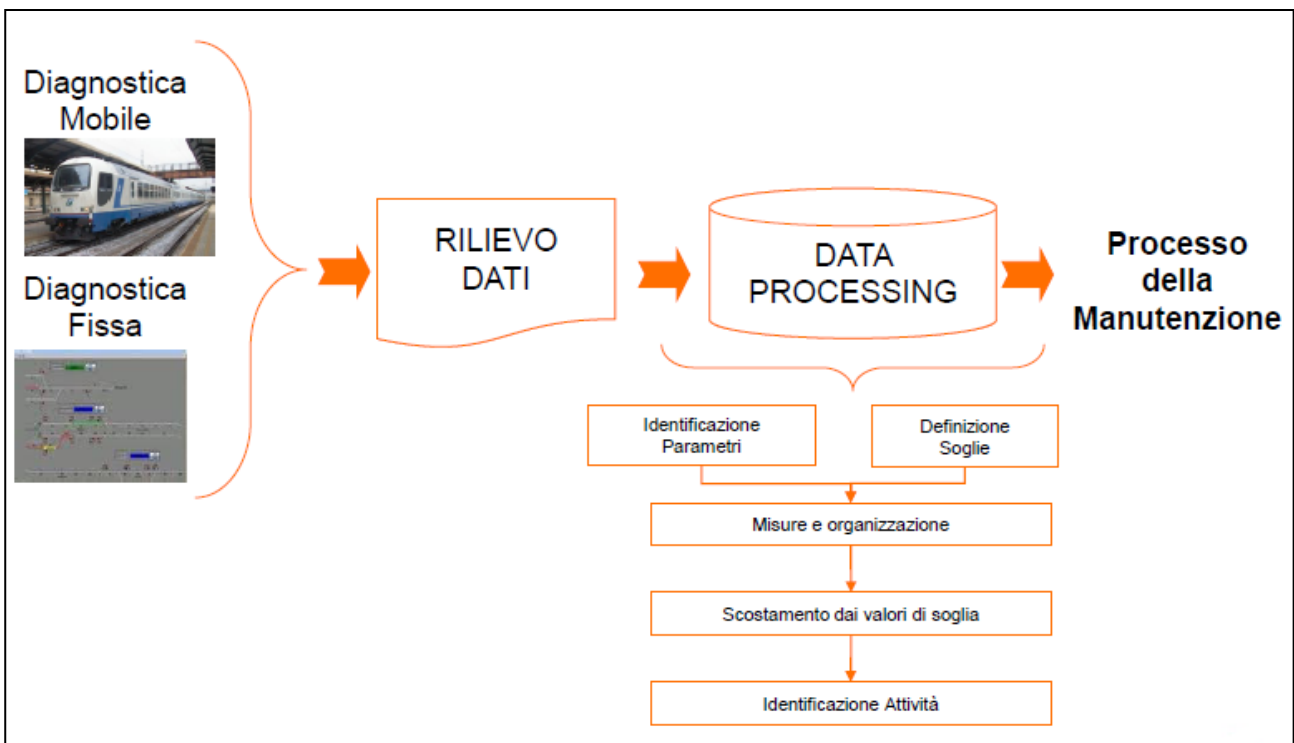


Figura 3.2: correlazione fra diagnostica e manutenzione

3.2. Le tipologie di manutenzione

In base alla tipologia dei lavori e alla loro finalità, le attività di manutenzione si distinguono in ordinarie e straordinarie.

La manutenzione ordinaria comprende gli interventi atti a:

- mantenere l'integrità originaria di un bene;
- mantenere o ripristinare l'efficienza dei beni;
- contenere il normale degrado d'uso;
- garantire la vita utile di un bene;
- far fronte a eventi accidentali.

Tali interventi hanno costi spesi nel corso dell'esercizio e non modificano le caratteristiche originarie di un bene, né la struttura essenziale o la destinazione d'uso.

In generale, la manutenzione ordinaria può essere:

- *correttiva*, se è eseguita a seguito di rilevazioni di guasti o avarie;
- *migliorativa*, se è finalizzata a migliorare la manutenibilità, l'affidabilità e l'efficienza di un bene (interventi di miglioramento o di piccola modifica che non comportano incremento del valore patrimoniale del bene);
- *preventiva*, se eseguita a seguito dell'attuazione di piani manutentivi.

Più nel dettaglio, la manutenzione correttiva è volta a riportare un bene in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta, mentre la manutenzione preventiva ha lo scopo di ridurre la possibilità di guasto o di degradazione di un bene, e può essere ciclica, su condizione o predittiva. In particolare, l'evoluzione dei mezzi di controllo e dei sistemi informativi di diagnostica ha permesso il passaggio dalla manutenzione sistematica o ciclica, alla manutenzione “*on condition*” (su condizione), cioè eseguita in relazione allo stato corrente dell'infrastruttura e alla sua effettiva esigenza di manutenzione. Pertanto, grazie all'attività diagnostica è possibile migliorare la gestione delle priorità e delle risorse, e anche valutare il tempo di vita residuo di un bene, così da prevenire i guasti e i degradi (manutenzione predittiva).

La manutenzione straordinaria è costituita da quella tipologia d'interventi non ricorrenti, non ripetibili e di costo elevato rispetto al valore di rimpiazzo di un bene e ai suoi costi annuali di manutenzione ordinaria. La finalità di tali interventi è di prolungare la vita utile di un bene riportandolo nelle condizioni ordinarie di esercizio, con rinnovo o sostituzione di sue parti, e/o di migliorarne l'efficienza, l'affidabilità, la produttività, la manutenibilità e l'ispezionabilità.

Gli interventi di manutenzione straordinaria sono capitalizzati perché incrementano il valore patrimoniale dei beni [3].

3.3. La manutenzione del binario

All'interno di tale paragrafo si descrivono i principali interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria che coinvolgono la sovrastruttura ferroviaria, e in particolare la massicciata e l'armamento.

Le attività manutentive devono impedire l'inquinamento del ballast e garantirne la stabilità, al fine di non alterare i requisiti di elasticità e permeabilità e di assicurare il mantenimento delle caratteristiche geometriche del binario. Fattori inquinanti all'interno della massicciata, come polvere, detriti, radici di piante e acqua piovana stagnante, innescano movimenti del pietrisco e perdita d'ingranamento fra gli inerti, causando così instabilità. È possibile intervenire sulla presenza di vegetazione e sui ristagni d'acqua, rispettivamente controllando la crescita delle piante intorno alle linee ferroviarie e le opere di scolo e allontanamento delle acque meteoriche. Pertanto, periodicamente si provvede all'estirpazione delle erbe e degli arbusti, nelle adiacenze della sede ferroviaria, mediante treni diserbatori che applicano meccanicamente diserbante chimico miscelato ad acqua (figura 3.3). Per garantire lo smaltimento delle acque è necessario eseguire una serie di operazioni manuali di pulizia delle banchine, delle cunette, dei cunicoli coperti e dei fossi di guardia, asportando erbe, arbusti, terra e altri eventuali materiali che impediscono il regolare deflusso. Inoltre, le banchine vanno regolate secondo le quote e le pendenze prescritte.



Figura 3.3: treno diserbatore

Al fine di garantire caratteristiche di portanza del binario idonee al transito dei convogli, è necessario eseguire la *rincalzatura*: un trattamento superficiale della massicciata limitato alle zone di appoggio del binario in corrispondenza delle rotaie. Tale operazione di manutenzione fa sì che il pietrisco si disponga in modo da reagire elasticamente alle sollecitazioni trasmesse dal passaggio dei treni, rendendo nuovamente portanti le traverse. Infatti, gli sforzi di compressione che si generano in seguito al continuo transito dei convogli compattano il pietrisco, riducendone il volume fino al punto tale che le traverse non risultino più portanti.

La rincalzatura si effettua per compressione, impiegando delle masse battenti, per vibrazione, impiegando attrezzi oscillanti a elevata frequenza, e per vibro-compressione, sfruttando congiuntamente le azioni di percussione e di vibrazione. Quest'ultimo metodo è operato da macchine rincalzatrici che si muovono lungo il binario, dotate di coppie di batte che, agendo una da un lato e l'altra dall'altro della traversa, effettuano contemporaneamente un movimento di stringimento e un'azione di vibrazione (figura 3.4).



Figura 3.4: particolare macchina rincalzatrice

Il *livellamento* è l'operazione mediante la quale si ristabilisce il corretto livello del binario, sia in senso longitudinale, sia trasversale. Tale intervento manutentivo, per essere eseguito, richiede l'individuazione della posizione altimetrica (longitudinale e trasversale) cui deve essere portato il binario, al fine di determinare i valori di sollevamento. Attraverso un meccanismo di forza il binario

è alzato e sostenuto provvisoriamente nella corretta posizione fino all'esecuzione della rinalzata. Pertanto, i mezzi meccanici che realizzano il livellamento (macchine livellatrici) sono, generalmente, anche macchine rinalzatrici.

L'*allineamento* è un'operazione, complementare alla precedente, tramite la quale si ristabilisce il corretto posizionamento del binario in senso planimetrico. Attraverso mezzi meccanici, generalmente consistenti in macchine che sono anche rinalzatrici e livellatrici, individuati i difetti planimetrici, si sposta il binario nella corretta posizione. Tale operazione è realizzata da un dispositivo di forza avente una coppia di tenaglie che afferrano il binario e lo portano nella posizione individuata dal sistema di misura. L'intervento di allineamento si esegue:

- in rettilineo, allineando le rotaie;
- in curva e nei raccordi parabolici, conferendo alle rotaie esterne l'esatta posizione.

Prima di effettuare le operazioni di allineamento, livellamento e rinalzata, è necessario rimuovere la massicciata, iniziando dalle estremità delle traverse e lasciando nel mezzo del binario un nucleo della larghezza di circa 50 cm. Tale intervento, detto *sguarnitura*, consente di esaminare le traverse scoperte, provvedendo alla sostituzione di quelle fradice o spaccate o nelle quali si notino eccessivi allargamenti dei fori delle caviglie (elementi a vite che fissano gli organi di attacco alle traverse). In tale fase si verificano anche lo stato degli organi di attacco e lo scartamento, realizzando eventuali correzioni. In particolare, si serrano gli attacchi, operazione che consente anche di correggere difetti di scartamento largo, e si provvede alla molatura e profilatura della sezione trasversale del fungo della rotaia, al fine di rettificare lo scartamento stretto.

Al termine dei lavori, per ripristinare la sagoma della massicciata nelle sue dimensioni prescritte, si eseguono le operazioni di *riuguarnitura* e di *profilatura*. La prima consiste nella risistemazione del pietrisco rimosso durante la sguarnitura, eventualmente integrandolo con altro di nuova fornitura; la seconda consiste nel dare il giusto profilo in sezione trasversale alla massicciata. La macchina profilatrice è dotata di vomeri laterali e frontali in grado di spostare e modellare il ballast ferroviario (figura 3.5).



Figura 3.5: macchina profilatrice

Periodicamente, dove presenti, è necessario stringere gli organi di giunzione che collegano le testate delle rotaie, e regolare delle luci di dilatazione, limitatamente alle zone nelle quali si sono verificati ammassamenti per l'azione provocata dal transito dei treni.

Se dall'analisi del profilo delle rotaie, rilevato attraverso le vetture diagnostiche, s'individuano tratti caratterizzati da profilo irregolare o usurati, si provvede alla riprofilatura delle rotaie o alla sostituzione delle stesse.

Per quanto riguarda gli scambi, preliminarmente all'esecuzione delle attività manutentive in precedenza descritte, possono essere necessari lavori di riparazione quali:

- saldature di riporto sui cuori e sulle controrotaie,
- rimozione di punti di difetto sulle rotaie,
- riparazione del telaio degli aghi,
- raddrizzamento e sbavatura dei cuori, degli aghi, dei contraghi e delle controrotaie.

Gli interventi finora descritti rientrano nella manutenzione ordinaria del binario ferroviario. Con il passare del tempo il pietrisco e l'armamento perdono le qualità necessarie a fornire le idonee caratteristiche meccaniche e si rendono pertanto necessari interventi di manutenzione straordinaria. In particolare, l'operazione di *risanamento della massiciata* ripristina l'integrità e l'efficienza del ballast degradato per inquinamento o inadatto per difetto di pezzatura (elementi troppo grossi) o per qualità del pietrisco (elementi arrotondati e frantumati). L'intervento di risanamento consiste nello scavo del vecchio pietrisco per una certa profondità, nella vagliatura del materiale rimosso, al fine di allontanare la parte non più rispondente come pezzatura o per qualità, e nella ricostruzione della massiciata impiegando il pietrisco proveniente dalla vagliatura, aggiunto ad altro di nuova fornitura. Tutte queste operazioni sono meccanizzate: le macchine risanatrici, avanzando sul binario esistente, provvedono allo scavo della massiciata a una profondità tra i 15 e i 35 cm sotto il piano di posa delle traverse, alla vagliatura, alla distribuzione del pietrisco vagliato sulla sede ferroviaria e all'allontanamento del materiale di risulta (figura 3.6).



Figura 3.6: macchina risanatrice

Un altro intervento straordinario è il *rinnovamento del binario*, che comprende la demolizione del vecchio binario, il suo allontanamento, la sostituzione delle traverse e il montaggio delle nuove rotaie. Per non dar luogo a severe soggezioni all'esercizio ferroviario, il complesso delle operazioni è eseguito in modo coordinato da macchine opportunamente predisposte [1].

3.4. Programmazione della manutenzione sulla base dei dati rilevati dai treni diagnostici e dei livelli di qualità geometrica

Le attività manutentive che riguardano il binario, eseguite a seguito del passaggio dei rotabili di diagnostica, sono basate su politiche di manutenzione correttiva e di manutenzione preventiva “on condition”.

Durante le corse di verifica ordinaria sono comunicati, a cura degli operatori dei treni diagnostici, i difetti rilevanti di geometria del binario e di dinamica di marcia, eventualmente riscontrati. L'individuazione di tali difetti comporta l'esecuzione di attività manutentive correttive: s'impongono restrizioni alla circolazione e si attuano interventi di correzione immediati. I vincoli all'esercizio ferroviario imposti dai difetti rilevanti consistono in un rallentamento o in un'interruzione della circolazione, a seconda del valore assunto dal parametro geometrico corrispondente e in base a quanto indicato nell'Istruzione della Direzione Tecnica di Rete Ferroviaria Italiana “*Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per linee con velocità fino a 300 km/h*”.

La Procedura Operativa “*Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive*” afferma che per il parametro sghembo il superamento del secondo livello di qualità comporta l'esecuzione di un intervento correttivo entro 48 ore, senza alcuna restrizione alla circolazione. Solo per valori maggiori del parametro (indicati in figura 2.32, tratta dallo Standard) è necessario interrompere il transito dei convogli fino alla correzione del difetto.

Relativamente al parametro difetto di sopraelevazione (ΔH), essendo calcolato manualmente solo a seguito delle corse di verifica, sono segnalati dagli operatori dei treni diagnostici soltanto i punti con sopraelevazione (livello trasversale rilevato dal treno) superiore a 180 mm, considerando che:

- la sopraelevazione massima ammessa è pari a 160 mm,
- lo scostamento massimo ammesso di ΔH , oltre il quale occorre imporre limitazioni all'esercizio, è di 20 mm.

Lo Specialista Armamento provvede all'analisi dei grafici dei rilievi, consegnati a seguito della corsa di verifica, al fine di individuare altri eventuali difetti rilevanti di sopraelevazione.

Unitamente ai difetti rilevanti, durante la corsa di rilievo sono comunicati anche alcuni difetti in intervento (3° livello di qualità) che devono essere eliminati in tempi ristretti, e in particolare entro 30 giorni. Questi ultimi sono trattati diversamente dagli altri difetti in intervento, cioè non vanno ad alimentare il normale processo di manutenzione, ma sono corretti rapidamente a cura del responsabile d'impianto. Nel dettaglio, i difetti da eliminare entro 30 giorni sono:

- il difetto puntuale in intervento di allineamento (ricolorato nella banda D1), per tutte le linee;
- il difetto puntuale in intervento (2° livello di qualità) di sghembo su base 3 m, per tutte le linee;
- il difetto puntuale in intervento di livello longitudinale (ricolorato nella banda D1), per le sole linee AV/AC;
- il difetto puntuale in intervento di scarto di livello trasversale, per le sole linee AV/AC.

I restanti difetti in intervento sono eliminati con scadenze variabili in funzione della tipologia di difetto e della classe della linea, attuando interventi manutentivi preventivi su condizione. Infatti,

l'intervallo temporale massimo d'intervento è definito in modo da garantire il non superamento del 3° livello di qualità indicato dallo Standard (passaggio da difetto in intervento a difetto rilevante) [22].

Come già accennato nel paragrafo 2.6, i dati rilevati dai treni e dagli automotori diagnostici sono caricati sul sistema informativo InRete2000 attraverso le applicazioni Diagnostica Armamento e Diagnostica Carrello EM-SAT 100. Queste ultime consentono la creazione di documenti e avvisi di manutenzione, all'interno del SIM (Sistema Informativo della Manutenzione), variabili secondo la tipologia di difetto e contenenti i rispettivi tempi previsti per l'eliminazione. Gli avvisi creati possono essere chiusi solo quando tutti i difetti in essi contenuti sono stati eliminati, nel rispetto dei tempi indicati.

Poiché non è sempre possibile eseguire il rilievo completo di una linea all'interno della stessa giornata, nel SIM non si riescono ad aggregare i dati di una medesima linea con un'unica data, a meno di non utilizzarne una fittizia. Al fine di agevolare gli addetti alla manutenzione nella fase di ricerca, per convenzione si raggruppano i vari rilievi sotto una sola data, che corrisponde:

- al 1° giorno del mese, per la prima campagna di misure di ciascun mese;
- al 15° giorno del mese, per la seconda campagna di misure di ciascun mese (solo per le linee con velocità > 200 km/h).

Data la bassa velocità di rilievo del carrello EM-SAT 100 per la geometria assoluta (2 km/h), non è certamente possibile concludere le operazioni in un'unica giornata per una stessa linea ferroviaria; pertanto si assume come data convenzionale l'ultimo giorno di rilievo.

All'interno degli avvisi creati nel sistema InRete2000 sono riportate le seguenti date:

- data di avviso, che corrisponde alla data convenzionale di rilievo (stabilita secondo i criteri precedentemente descritti);
- inizio richiesta, che è la data di caricamento dei dati rilevati sul sistema informativo;
- fine richiesta, che è il termine per l'esecuzione dell'intervento manutentivo [22].

Di seguito si riportano i documenti e gli avvisi creati nel SIM a seguito delle corse di verifica.

- *Avviso di tipo V3*: associato alle linee non AV/AC, contiene l'indicazione dei difetti in intervento connessi all'Indice di Qualità della Rincalzatura del Binario (livello longitudinale e scarto di livello trasversale) e i tempi assegnati per la loro eliminazione.
- *Avviso di tipo V4*: associato a tutte le linee, contiene l'indicazione dei difetti non connessi all'Indice di Qualità della Rincalzatura del Binario (usura a 45°, sghembo e scartamento), i relativi livelli di soglia superati e i tempi assegnati per l'eliminazione.
- *Avviso di tipo VZ*: associato alle linee AV/AC, contiene l'indicazione dei difetti di geometria d'onda lunga (allineamento e livello longitudinale nelle bande D2 e D3), i relativi livelli di soglia superati e i tempi assegnati per l'eliminazione.
- *Avviso di tipo VX*: associato alle linee AV/AC, contiene l'indicazione dei difetti geometrici diffusi (valori delle deviazioni standard su base 200 m di livello longitudinale, allineamento e livello trasversale, che superano il 3° livello di qualità) e i tempi assegnati per il rientro al 1° livello di qualità.

- *Avviso di tipo VY*: associato alle linee AV/AC, contiene l'indicazione dei difetti di dinamica di marcia (accelerazioni al carrello e in cassa), i relativi livelli di soglia superati e i tempi assegnati per l'eliminazione.
- *Misura*: associata all'avviso della tratta/località interessata, rappresenta il singolo difetto di geometria del binario, di geometria d'onda lunga, di dinamica di marcia e di deviazione standard.
- *Documento di misura*: è il valore dell'Indice di Qualità della Rincalzatura del Binario, in tratta o in località, risultante dalla corsa di verifica considerata.
- *Documento di misura di tipo E*: contiene i tabulati dei punti fissi, cioè le progressive chilometriche, i valori delle quote di progetto D_0 e H_0 e i valori delle misure D_r e H_r .

L'avviso riguardante i difetti di sopraelevazione non è creato in automatico dall'applicazione Diagnostica Armamento, in quanto tali difetti non sono individuabili dal server del Centro Diagnostico. In seguito all'analisi manuale dei grafici dei rilievi, si apre nel SIM un avviso di tipo A1, contenente i difetti di sopraelevazione in intervento.

Anche per i difetti da correggere entro 30 giorni si crea un avviso all'interno di InRete2000, detto di tipo I2. I difetti rilevanti danno invece luogo ad Avvisi o Rapporti di Avaria (I1), contenente ciascuno:

- il tipo di difetto riscontrato,
- il numero totale di difetti di quella tipologia e le relative progressive chilometriche,
- il valore del singolo difetto,
- l'estesa del singolo difetto,
- il provvedimento da adottare (rallentamento, interruzione o intervento a 48 ore),
- il nome del mezzo utilizzato per i rilievi.

Dal SIM si possono anche ottenere report, selezionabili per linea, per binario e per data della verifica, contenenti i dati dei difetti (progressiva chilometrica, soglia, valore del parametro, ecc.), i codici delle sedi tecniche e il riferimento agli avvisi creati. In particolare si realizzano e restano poi consultabili i seguenti documenti:

- *Report Difetti Connessi Armamento*, relativo ai difetti in intervento di livello longitudinale e scarto di livello trasversale;
- *Report Difetti Non Connessi Armamento*, relativo ai difetti in intervento di scartamento e usura e ai difetti in attenzione di sghembo su base 9 m;
- *Report AV Difetti di Geometria d'onda lunga*, relativo ai difetti in intervento di allineamento e livello longitudinale nelle bande D2 e D3;
- *Report AV Deviazioni standard*, relativo ai difetti in intervento delle deviazioni standard su base 200 m di livello longitudinale, allineamento e livello trasversale, e riportante tutte le tratte e le località con avvisi di tipo VX i cui tempi scadono nel trimestre considerato;
- *Report AV Accelerazioni*, relativo ai difetti in intervento delle accelerazioni verticali e trasversali al carrello e in cassa, e riportante tutte le tratte e le località con avvisi di tipo VY i cui tempi scadono nel trimestre considerato;

- *Tabella Indici Qualità Armamento*, contenente per ogni tratta e località il valore dell'indice di Qualità della Rincalzatura del Binario rilevato, con indicazione, tramite colorazione, del livello di scostamento rispetto al valore di riferimento (vedi figura 2.56);
- *Report Trimestrale Armamento Difetti connessi/non connessi*, che riporta, a partire da una data assunta come riferimento, tutte le tratte e località con avvisi V3/V4 i cui tempi di intervento scadono nel corso del trimestre considerato, nonché gli avvisi ancora aperti alla data di riferimento, il cui termine di intervento sia scaduto;
- *Report Trimestrale AV Difetti di Geometria d'onda lunga*, che riporta, a partire da una data assunta come riferimento, tutte le tratte e località con avvisi VZ i cui tempi di intervento scadono nel corso del trimestre considerato, nonché gli avvisi ancora aperti alla data di riferimento, il cui termine di intervento sia scaduto [22].

Analizzando gli avvisi e i report si definiscono le attività manutentive necessarie per eliminare le difettosità entro le scadenze stabilite, programmando e pianificando gli interventi secondo una logica di ottimizzazione e di utilizzo efficace delle risorse.

La tabella 3.1, riportata nella pagina seguente, sintetizza i difetti contenuti nei vari avvisi in precedenza descritti e mostra i rispettivi tempi limite d'intervento, tratti dalla Procedura Operativa "*Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive*".

Come mostra la tabella, all'interno del SIM ogni difetto è identificato da un codice, che sintetizza la tipologia e il livello di qualità corrispondente. Ad esempio un difetto di livello longitudinale in intervento (3° livello di qualità) è indicato con la sigla "L2".

Anche per i difetti in attenzione (2° livello di qualità) esistono codici identificativi, utili per la memorizzazione sul sistema informativo della manutenzione, ma per tali difetti non sono aperti avvisi all'interno di InRete2000. Infatti, per i difetti in attenzione riscontrati a seguito di una corsa diagnostica, non sono previsti tempi limite di esecuzione degli interventi manutentivi, in quanto non è necessaria la rapida correzione. L'Istruzione della Direzione Tecnica "*Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per linee con velocità fino a 300 km/h*" specifica di analizzare le cause del degrado e di valutare la velocità di evoluzione di ciascun difetto, in funzione della quale si programmano le attività manutentive. In particolare, in presenza di tratte/località senza o con pochi isolati difetti in intervento è necessario analizzare la velocità di degrado dei difetti in attenzione per valutare l'eventuale opportunità di intervenire su quelli che potrebbero velocemente degradare in difetti in intervento o rilevanti. Invece, in presenza di tratte/località con numerosi difetti in intervento, sulle quali si prevedono interventi abbastanza estesi, è opportuno programmare anche l'eliminazione dei più significativi difetti isolati in attenzione. La correzione di tali difetti diventa necessaria quando la sede tecnica presenta un Indice di Qualità della Rincalzatura del Binario superiore ai valori di riferimento [22].

Tipo parametro	Tipo avviso	Descrizione	Codice	Livello qualità	Gruppo Linea	Scadenza intervento (mesi)
Difetto non connesso	I2	Allineamento (D1)	A2	3°	Tutte	1
		Sghembo su base 3 m	SG31	2°	Tutte	1
	V4	Usura a 45°	U2	3°	Tutte	3
		Sghembo su base 9 m	SG91	2°	Tutte	3
		Scartamento puntuale	S2	3°	Tutte	6
		Scartamento in media mobile	SM2	3°	Tutte	6
	Scartamento in media mobile depurato dall'usura	SMD2	3°	Tutte	6	
A1	Difetto di sopraelevazione	ΔH2	3°	Tutte	3	
Difetto connesso	I2	Livello longitudinale (D1)	L2	3°	AV/AC	1
		Scarto di livello trasversale	XL2			
	V3	Livello longitudinale (D1)	L2	3°	1^	3
					2^	6
					3^ e 4^	9
		Scarto di livello trasversale	XL2	3°	1^	3
					2^	6
3^ e 4^	9					
Difetto diffuso	VX	Deviazione standard livello longitudinale	SDL3	>3°	AV/AC	3
		Deviazione standard allineamento	SDA3			
		Deviazione standard livello trasversale	SDX3			
Difetto d'onda lunga	VZ	Livello longitudinale D2	LD22	3°	AV/AC	3
		Livello longitudinale D3	LD32			
		Allineamento D2	AD22			
		Allineamento D3	AD32			
Dinamica di marcia	VY	Accelerazione verticale in cassa	ZCS2	3°	AV/AC	3
		Accelerazione trasversale in cassa	YCS2			
		Accelerazione verticale al carrello	ZCR2			
		Accelerazione trasversale al carrello	YCR2			

Tabella 3.1: parametri e scadenze per la manutenzione "on condition"

Oltre alle “misure” contenute negli avvisi precedentemente descritti, gli incaricati della programmazione/pianificazione hanno a disposizione numerosi altri elementi utili a indirizzare la manutenzione “on condition” (per la correzione dei difetti in intervento e in attenzione), ottimizzando gli interventi e utilizzando efficacemente le risorse a disposizione. Tra i dati più significativi di cui poter disporre si evidenziano:

- i grafici dei rilievi, consegnati dal personale dei treni e carrelli diagnostici, altrimenti reperibili su InRete2000 o sul portale Plinio;
- le liste dei difetti in attenzione e in intervento degli ultimi anni, reperibili sul portale Plinio;
- i grafici delle deviazioni standard, reperibili sul portale Plinio;
- gli Indici di Qualità della Rincalzatura del Binario, reperibili su InRete2000 o sul portale Plinio;
- i tabulati dei punti fissi e i grafici dei rilievi di geometria assoluta, rilasciati durante le corse di verifica, altrimenti reperibili su InRete2000;
- le riprese video della sede stradale, consegnate a seguito delle corse di verifica;
- le risultanze delle visite linee [22].

Il portale diagnostico Plinio di Rete Ferroviaria Italiana, cui si fa riferimento nell’elenco soprastante, rappresenta una risposta agli innumerevoli bisogni degli addetti ai lavori che necessitano di uno strumento di consultazione dati maneggevole e facilmente utilizzabile. Tramite tale portale è possibile analizzare i parametri caratteristici dei principali settori dell’infrastruttura (armamento, trazione elettrica, ecc.), mettendoli al tempo stesso in correlazione fra loro, al fine di sostenere le scelte manutentive.

Relativamente alla geometria del binario, tutti i dati ottenuti dai rilievi di diagnostica mobile armamento e dinamica di marcia, sia presenti che non presenti nel sistema InRete2000, sono scaricabili e visionabili accedendo al portale Plinio. In particolare, oltre ai dati grezzi e ai grafici dei rilievi sono disponibili anche report, indici statistici e grafici che mostrano la posizione geografica lungo la linea e l’andamento temporale dei difetti (figura 3.7). Tutti i dati contenuti sul portale sono consultabili selezionando la linea, la data e la vettura diagnostica; la ricerca si può affinare selezionando l’intervallo chilometrico e la tipologia di dato [9].

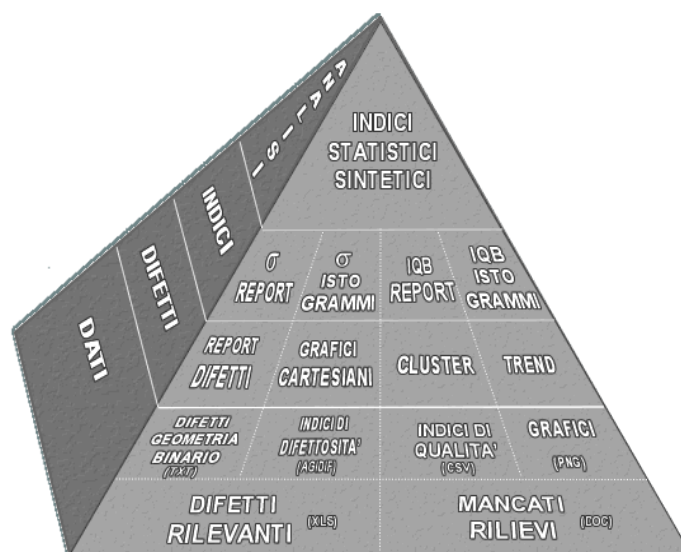


Figura 3.7: portale diagnostico – settore armamento

In aggiunta ai dati relativi ai parametri che indicano la qualità geometrica del binario, stabiliti dallo Standard, all'interno del portale Plinio sono presenti documenti collegati ad altri parametri rilevati dalle vetture diagnostiche, come l'usura verticale e orizzontale delle rotaie, e l'usura ondulatoria. In particolare sono reperibili:

- report dei difetti di usura ondulatoria del binario e relativi grafici, resi disponibili al termine di ogni quadrimestre di esercizio;
- grafici dell'usura verticale e orizzontale delle rotaie.

Sulla base di tali elaborati si individuano gli eventuali tratti di rotaia caratterizzati da profilo irregolare e si programma la correzione dei difetti eliminabili con la molatura: asportazione di un certo quantitativo di materiale (circa 0.3 mm) dalla superficie di rotolamento.

Per quanto riguarda i difetti in intervento e rilevanti di scartamento stretto in media mobile, lo Standard di qualità geometrica del binario specifica di procedere ad una verifica della conicità equivalente, calcolata dai sistemi diagnostici a seguito delle corse di verifica, e resa disponibile su Plinio. In particolare, sul portale sono presenti i report dei difetti rilevanti di scartamento stretto in media mobile e i relativi dati di conicità equivalente [22].

3.5. Interventi manutentivi per l'eliminazione delle difettosità geometriche e di dinamica di marcia delle linee AV/AC

All'interno di tale paragrafo si descrivono le modalità di intervento da eseguirsi sulle linee AV/AC per l'eliminazione delle difettosità d'attenzione, d'intervento e rilevanti della geometria del binario e della dinamica di marcia.

Per i difetti di dinamica di marcia, come già enunciato nel paragrafo 2.7, l'analisi è eseguita sui correlati parametri di geometria del binario, in base ai quali si programmano gli interventi manutentivi. In particolare, in presenza di un difetto geometrico in livello di attenzione che determini un difetto di dinamica di marcia in intervento o rilevante, è necessario eseguire un'azione correttiva.

Per i parametri di geometria del binario, nella scelta delle modalità di intervento sono determinanti:

- l'estesa dei difetti,
- la distanza dei difetti,
- la posizione assoluta del binario nel tratto in esame.

Le prime due informazioni sono ricavabili dai report dei difetti e dai relativi avvisi, i quali contengono le progressive chilometriche d'inizio e fine di ciascun difetto. Per i difetti rilevanti, la comunicazione rilasciata durante la corsa di verifica contiene le estese e le progressive.

Per posizione assoluta del binario s'intendono i valori dei parametri di geometria, nel tratto di binario interessato dal difetto, rilevati con carrello EM-SAT 100 nell'ultima campagna di rilievo, purché non antecedente i 12 mesi. In caso contrario devono essere predisposte nuove misure, anche con strumenti manuali in corrispondenza dei punti fissi contenuti nel tratto difettoso, con estensione ai due punti fissi collocati a monte e a valle della porzione di linea in esame [22].

La Procedura Operativa “*Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive*” indica, per le linee AV/AC, quattro schede d’intervento, di cui la tabella 3.2 riassume le condizioni di applicazione.

Tipologia	Verifiche	Difetti		Estesa intervento
		Estesa	Distanza	
Scheda 1 (DR-A-I corti e isolati)		≤ 6 m	> 100 m	20 m
Scheda 2 (DR estesi o ravvicinati)	Punti fissi	> 6 m	≤ 100 m	≤ 200 m
Scheda 3 (A-I estesi o ravvicinati e per ripristino livello qualità)	Punti fissi	> 6 m	≤ 100 m	≤ 360 m
Scheda 4 (DR-A-I estesi o ravvicinati, per ripristino livello qualità, posizionamento del binario su base assoluta)	Punti fissi	> 6 m	≤ 100 m	> 360 m

Tabella 3.2: interventi manutentivi sulle linee AV/AC (DR = difetti rilevanti, I = difetti in intervento, A = difetti in attenzione).

Di seguito si descrivono più nel dettaglio le condizioni di applicazione e le modalità di esecuzione delle quattro tipologie di schede manutentive. Relativamente ai tempi d’intervento rimane valido quanto enunciato nel paragrafo 3.4.

Intervento per eliminazione di difetti di geometria del binario corti e isolati (scheda 1)

Tale intervento è eseguito in caso di segnalazione di difetti (di attenzione, d’intervento e rilevanti) di sghembo, di livello longitudinale e di allineamento nella banda D1, di livello trasversale o di accelerazioni verticali e trasversali al carrello riconducibili ai sopraindicati parametri geometrici, purché l’estesa dei difetti sia minore eguale di 6 m e la distanza fra essi maggiore di 100 m. L’esecuzione dei lavori prevede l’impiego di una macchina rinalzatrice, livellatrice e allineatrice, dotata di un sistema per la misura e la registrazione dei parametri geometrici, di una stabilizzatrice dinamica della massicciata per il ripristino alla piena velocità della linea, e di mezzi e attrezzi per la sistemazione del pietrisco.

Intervento di manutenzione correttiva per l’eliminazione di difetti rilevanti di geometria del binario estesi o ravvicinati (scheda 2)

Tale intervento è eseguito in caso di segnalazione di difetti rilevanti di sghembo, di livello longitudinale e di allineamento nella banda D1, di livello trasversale o di accelerazioni verticali e trasversali al carrello riconducibili ai sopraindicati parametri geometrici, con estesa dei difetti maggiore di 6 m o distanza fra essi minore eguale di 100 m.

Oltre ai macchinari e agli attrezzi di lavoro descritti per la scheda 1, questo intervento richiede anche l’impiego di strumenti di rilievo manuale della posizione del binario rispetto ai punti fissi. Infatti, a seguito dei lavori è prevista la verifica dei valori di geometria assoluta D_r e H_r e, in caso di supero delle soglie di riferimento (vedi figura 2.49), la programmazione dell’intervento di posizionamento del binario rispetto al sistema assoluto dei punti fissi (scheda 4).

Intervento per l'eliminazione di difetti estesi o ravvicinati e ripristino del livello qualitativo del binario (scheda 3)

Tale intervento è eseguito in caso di segnalazione di difetti di attenzione e d'intervento di sghebo, di livello longitudinale e di allineamento nella banda D1, di livello trasversale o di accelerazioni verticali e trasversali al carrello riconducibili ai sopraindicati parametri geometrici, con estesa dei difetti maggiore di 6 m o distanza fra essi minore eguale di 100 m. Inoltre, l'intervento è applicabile in caso di valori delle deviazioni standard di livello longitudinale, allineamento e livello trasversale che superano il terzo livello di qualità su una singola sezione di 200 m. Il tratto di linea interessato dai lavori deve avere estensione massima di 360 m.

L'intervento è eseguito con macchina rinalzatrice, livellatrice e allineatrice, dotata di un sistema per la misura e la registrazione dei parametri geometrici, con profilatrice, con stabilizzatrice dinamica della massicciata, con mezzi e attrezzi per la sistemazione del pietrisco e con strumenti di rilievo manuale della posizione del binario rispetto ai punti fissi. Anche in questo caso è, infatti, prevista una verifica dei valori di geometria assoluta D_r e H_r , e un'eventuale programmazione dell'intervento di posizionamento del binario rispetto al sistema assoluto dei punti fissi (scheda 4).

Le schede d'intervento 1, 2, 3 prevedono il rilievo della geometria del binario con il sistema di misura di una delle macchine operatrici, al fine di individuare precisamente la posizione del difetto da eliminare e i punti d'inizio e fine dell'intervento di ripristino. La rinalzatura del binario, per un'estesa variabile secondo la scheda (tabella 3.2), è eseguita utilizzando il sistema automatico di allineamento/livellamento su base relativa della macchina rinalzatrice. In particolare, impostati i valori di geometria plano-altimetrica di progetto, sulla base dei dati rilevati dalla macchina stessa, il computer di bordo calcola i valori di correzione (alzamenti e scostamenti) tramite i quali riposiziona le rotaie utilizzando un sistema a corda.

Più nel dettaglio, il sistema di allineamento e livellamento ad alta precisione a tre punti parte dal presupposto che l'asse di misura posteriore della corda poggi sul binario privo di difetto, precedentemente allineato e livellato. Il punto anteriore della corda è guidato, in ragione del valore di correzione di scostamento o alzamento, sulla posizione planimetrica teorica o sul livello teorico. Il terzo punto di misura della corda si trova sulla posizione di lavoro: qui il sistema elettronico della macchina mette in relazione, per l'allineamento, la frecciatura reale con quella teorica, per il livellamento, il livello reale con quello teorico, e, attraverso meccanismi di forza, la rotaia in quel punto è spostata e sollevata secondo i valori di correzione calcolati (figure 3.8 e 3.9).

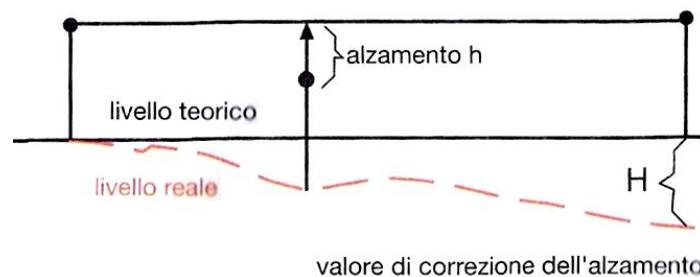


Figura 3.8: livellamento a tre punti

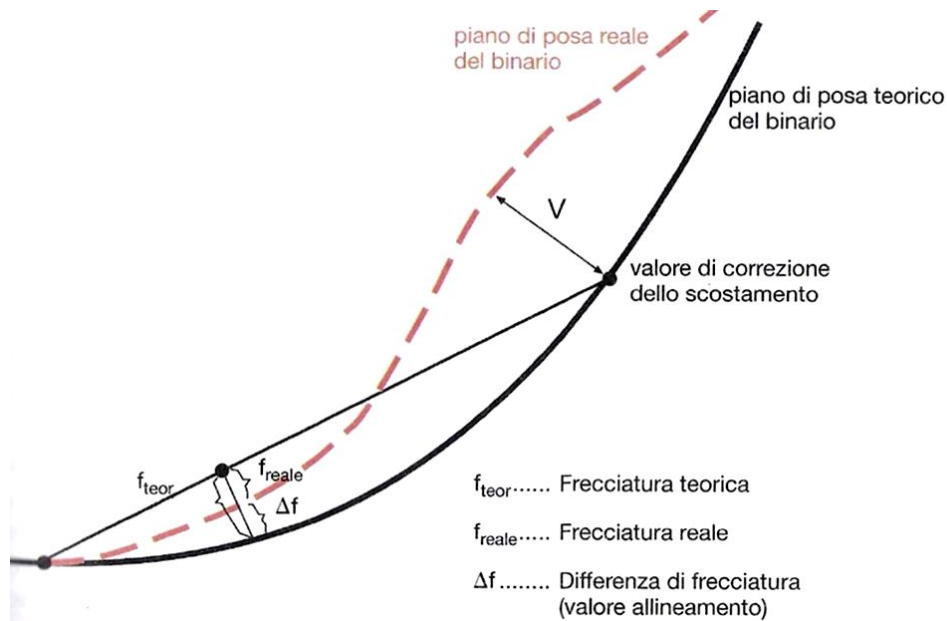


Figura 3.9: allineamento a tre punti

La posizione plano-altimetrica teorica è calcolata dal computer a bordo della macchina rinalzatrice, una volta inseriti i dati geometrici principali: posizione chilometrica delle curve di raccordo, cambi di livelletta, raggi di curvatura, raggi di raccordo, ecc [2].

In seguito alla rinalzatura, le tre schede prevedono una stabilizzazione dinamica del tratto interessato dall'intervento e un rilievo della geometria del binario, utilizzando gli strumenti di misura della stessa macchina operatrice impiegata per individuare i difetti, per la verifica dell'eliminazione del difetto e dell'idoneità alla ripresa della circolazione. Le schede 2 e 3, come già detto, richiedono anche una verifica in corrispondenza dei punti fissi con strumenti di rilievo manuali. Nel caso di difetti estesi o ravvicinati (schede 2 e 3), a seguito della rinalzatura è necessario anche profilare la massicciata del tratto rinalzato.

La stabilizzazione dinamica, eseguita con macchina stabilizzatrice, ha lo scopo di ancorare meglio la griglia del binario alla massicciata, consentendo ai treni di transitare alla normale velocità d'orario della linea, in seguito all'intervento manutentivo. In caso di mancata stabilizzazione, la circolazione è riattivata a una certa velocità, indicata dalla Procedura Operativa "Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive" e riportata in figura 3.10, da mantenere fino al transito di 80.000 tonnellate-treno o comunque fino alla stabilizzazione dinamica della massicciata.

Velocità di linea (km/h)	Velocità di riattivazione (km/h)
$260 < V \leq 300$	220
$200 < V \leq 260$	180

Figura 3.10: velocità di riattivazione fino alla stabilizzazione

Prima di riattivare la circolazione, per i tratti con velocità maggiore di 250 km/h è necessario svuotare l'eventuale pietrisco nella zona sottorotaia e mantenere il profilo della massicciata a una

quota media di 20-30 mm rispetto all'estradosso della traversa, per un tratto di 2 m in asse al binario. Tale provvedimento ha lo scopo di contenere l'effetto di "risucchio" del pietrisco provocato dal transito dei treni ad alta velocità.

Intervento di posizionamento del binario rispetto al sistema assoluto dei punti fissi (scheda 4)

Tale intervento è eseguito in caso di valori dei parametri di geometria assoluta (D_r e H_r) eccedenti i valori di riferimento o su segnalazione di difetti (di attenzione, d'intervento e rilevanti) di livello longitudinale e di allineamento nelle bande D2 e D3 (difetti d'onda lunga), o di accelerazioni verticali e trasversali al carrello riconducibili ai sopraindicati parametri geometrici, o in caso di valori di deviazioni standard (base 200 m) di livello longitudinale, allineamento e livello trasversale che superano il terzo livello di qualità per almeno due sezioni adiacenti. Inoltre, l'intervento è applicabile quando i difetti di attenzione e d'intervento di livello e allineamento nella banda D1, con estesa maggiore di 6 m o distanti di una quantità minore eguale di 100 m, insistono su di un tratto superiore di 360 m.

Per l'esecuzione dei lavori è necessario un rilievo di pre-intervento del binario rispetto al sistema assoluto dei punti fissi, eseguito con carrello EM-SAT 100 o con strumenti topografici. In particolare, in caso di rilievi con EM-SAT antecedenti i 12 mesi si provvede a rilevare il tratto di binario interessato dall'intervento con strumenti topografici dotati di un teodolite di precisione e di un carrellino robotizzato. Il rilievo deve avere passo 5 m su di un tratto pari all'estensione delle difettosità riscontrate, con almeno due punti fissi esterni per parte, aventi le seguenti caratteristiche:

- non ricadenti all'interno di un raccordo parabolico;
- con D_r e H_r in tolleranza (vedi figura 2.49);
- esterni allo scambio, in caso di intervento di riposizionamento di uno scambio.

Dal confronto fra la geometria di progetto e la geometria rilevata nella fase di pre-intervento, si elabora il progetto di correzione del tracciato, in seguito trasformato in un file di spostamenti planimetrici e altimetrici, con passo 5 m, da trasferire ai sistemi delle macchine rinalzatrici per l'esecuzione degli interventi.

Di seguito si riportano alcune regole di buona progettazione tratte dalla Procedura Operativa "*Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive*":

- la correzione deve riportare l'asse reale del binario all'intorno dell'asse di progetto rispettando le tolleranze ammesse per binario in esercizio (figura 2.49);
- la posizione finale del binario dovrà essere parallela a quella teorica per non alterare la geometria del tracciato;
- i punti d'inizio e fine intervento non devono ricadere in un raccordo parabolico;
- eventuali rampe non possono superare una pendenza dello 0.3‰;
- sono consentiti spostamenti massimi di 30 mm e alzamenti massimi di 40 mm, per valori superiori occorre programmare più interventi correttivi successivi;
- occorre progettare alzamenti minimi di 10 mm per eseguire un'efficace rinalzatura, salvo sul ramo deviato di uno scambio sono tollerati anche alzamenti minori o nulli.

Eseguita la correzione del tracciato e la rinalzatura del binario tramite la macchina rinalzatrice, la massicciata è profilata e stabilizzata. In seguito, si procede alla verifica della posizione del binario rispetto ai punti fissi, tramite strumenti manuali, con riferimento ai valori ammessi post-intervento di D_r e H_r (figura 2.50). Utilizzando, invece, gli strumenti di misura della rinalzatrice o

stabilizzatrice si verifica l'eliminazione dei difetti e l'idoneità alla ripresa della circolazione. In caso di mancata stabilizzazione la velocità di riattivazione è quella indicata nella figura 3.9, altrimenti i treni possono transitare alla normale velocità d'orario. Preliminarmente, anche in questo caso, per tratti con velocità maggiore di 250 km/h è necessario svuotare l'eventuale pietrisco nella zona sottorotaia e mantenere il profilo della massicciata a una quota media di 20-30 mm rispetto all'estradosso della traversa, per un tratto di 2 m in asse al binario.

Per quanto riguarda i difetti di usura a 45°, scartamento e conicità equivalente, le attività manutentive da intraprendere sono la sostituzione e la molatura della rotaia. In particolare, la Procedura Operativa "*Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive*" indica di eliminare mediante l'attività di molatura:

- i difetti di conicità equivalente;
- i difetti di scartamento stretto puntuale in livello d'intervento, per estese significative (s'intende un tratto di binario di 200 m caratterizzato almeno per il 50% da difetti di scartamento puntuale in intervento);
- i difetti di scartamento stretto in media mobile.

Ciò nonostante, in presenza di rotaie in buono stato, piccoli difetti di scartamento stretto possono essere efficacemente risolti agendo sugli organi di attacco. Ad esempio, sulla linea AV/AC Milano-Bologna, in alcuni casi, l'inclinazione della rotaia verso l'interno del binario è stata corretta sostituendo le piastrine isolanti poste fra la suola della rotaia e la molla Pandrol.

I difetti di scartamento largo, se non dipendenti dalla tenuta degli organi di attacco, sono, in genere, dovuti al consumo della rotaia esterna nei tratti in curva, e sono eliminabili sostituendo la rotaia. Tuttavia, di solito gli interventi di sostituzione delle rotaie si programmano sulla base del valore assunto dal parametro usura a 45°, il quale evolve più velocemente dello scartamento verso il livello d'intervento.

CAPITOLO 4:

ANALISI DEI DATI RILEVATI CON CORSE DIAGNOSTICHE

4.1. Collocazione spazio-temporale dell'analisi

Nel presente capitolo si analizzano i dati rilevati, durante le corse di verifica, dal treno diagnostico Diamante (ETR500Y2), relativamente a una tratta della linea AV/AC Milano – Bologna, descritta nel dettaglio nel paragrafo 1.4.

In particolare si considerano i rilievi dei parametri geometrici della porzione di linea ferroviaria compresa fra il Posto di Movimento di Campegine (progressiva chilometrica 74.318) e il bivio di Parma Est (progressiva chilometrica 85.047). La tratta in esame si sviluppa, quindi, nella Pianura Padana fra le città di Reggio Emilia e Parma, parallelamente all'autostrada A1 Milano – Napoli (figura 4.1).

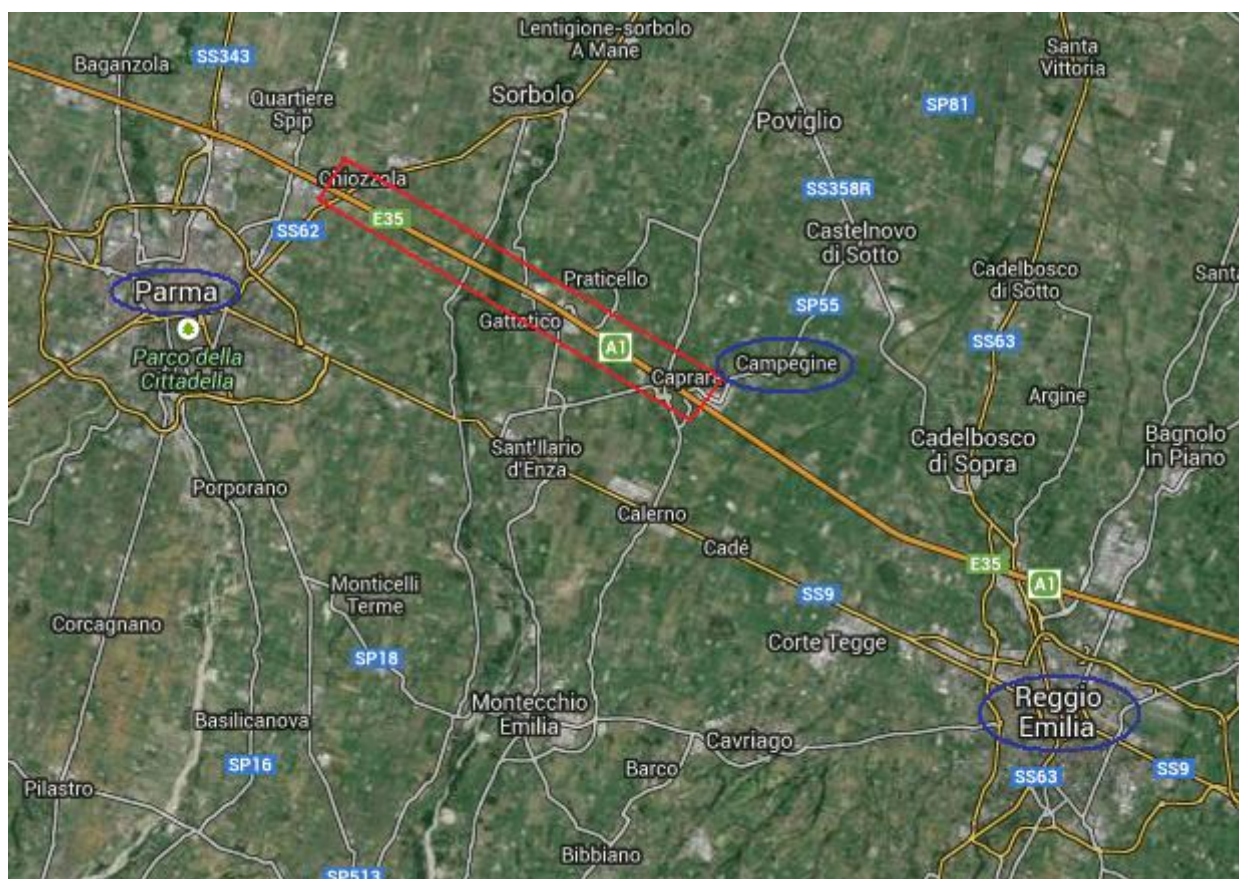


Figura 4.1: localizzazione della tratta analizzata

La porzione di linea ferroviaria analizzata, di lunghezza 10.729 km, appartiene al terzo lotto funzionale della linea AV/AC Milano – Bologna, il quale è compreso fra Piacenza Ovest e Modena Est e le cui caratteristiche geometriche sono riportate nella tabella 4.1. Infatti, in fase di progetto la linea Milano – Bologna è stata suddivisa in tre tratte funzionali: oltre al terzo lotto già descritto, il primo lotto si estende da Milano Centrale a Piacenza Ovest e il secondo lotto da Modena Est a Bologna [16].

Raggio minimo delle curve (m)	3440, con sopraelevazione max 110 mm e 255 m di raccordo parabolico
Raggio massimo delle curve (m)	32000, con sopraelevazione max 20 mm e 63 m di raccordo parabolico
Raggio raccordo verticale (m)	45000 / 30000 / 20000
Pendenza massima	15 ‰

Tabella 4.1: caratteristiche geometriche del terzo lotto funzionale della linea Milano-Bologna

Essendo la linea AV/AC Milano – Bologna a doppio binario, il treno diagnostico Diamante rileva i parametri geometrici di entrambi i binari, durante corse di verifica eseguite in date differenti.

In particolare, nel presente capitolo si analizzano i rilievi del periodo temporale novembre 2013 – gennaio 2014, durante il quale sono state effettuate 6 corse di verifica per ciascun binario della linea, in accordo con la frequenza di rilievo della geometria del binario pari a due settimane (come riportato nella figura 2.53).

A seconda del senso di percorrenza, i due binari della linea ferroviaria sono denominati “pari” e “dispari”, e nel dettaglio:

- il binario pari è percorso da Bologna verso Milano,
- il binario dispari è percorso da Milano verso Bologna.

Con riferimento al periodo temporale analizzato, le corse di verifica per il binario pari sono state eseguite nelle date:

- 5 novembre 2013,
- 19 novembre 2013,
- 3 dicembre 2013,
- 17 dicembre 2013,
- 14 gennaio 2014,
- 28 gennaio 2014.

Il treno diagnostico Diamante è, invece, transitato sul binario dispari nelle date:

- 7 novembre 2013,
- 21 novembre 2013,
- 5 dicembre 2013,
- 19 dicembre 2013,
- 16 gennaio 2014,
- 30 gennaio 2014.

Le varie tratte e località di servizio della linea AV/AC Milano – Bologna sono identificate da un codice alfanumerico: quello corrispondente alla porzione di linea analizzata è TR9719. Più nel dettaglio, il codice TR9719-BC-BC01 indica il binario dispari, il codice TR9719-BC-BC02 il binario pari. Dalla conoscenza di questi ultimi è possibile individuare, tra i dati diagnostici relativi a tutta la linea, quelli corrispondenti alla tratta analizzata. Infatti, come descritto più dettagliatamente nel paragrafo successivo, il treno diagnostico produce un documento riassuntivo di tutti i difetti riscontrati lungo la linea, associati ai codici delle tratte e delle località.

4.2. Documenti rilasciati dal treno diagnostico Diamante

Come descritto nel paragrafo 2.4, Diamante è il treno diagnostico con il quale, periodicamente, si controlla lo stato di salute delle linee ferroviarie ad alta velocità, nel loro complesso.

In particolare, il sistema Geometria e Profilo del Binario, presente a bordo del treno, esegue una dettagliata analisi della geometria del binario, rilevando i difetti che lo stesso può presentare. I parametri geometrici sono ottenuti grazie alla misura e alla rilevazione diretta del profilo di ogni singola rotaia, con passo 50 cm, qualunque sia la velocità di marcia del treno.

A partire dal profilo reale del binario, sono calcolati i punti tangenti al piano di rotolamento e i punti situati 14 mm al di sotto di tale piano, fondamentali per il calcolo dei parametri di scartamento, livello longitudinale e allineamento. Ricostruendo i semiprofilo interni sono, invece, calcolati i parametri di usura della rotaia e l'interazione di quest'ultima con la ruota, attraverso i parametri di conicità equivalente e di gioco sala-rotaia.

Le operazioni di rilievo sono eseguite attraverso laser, speciali sensori inerziali e telecamere. Più nel dettaglio, gli allineamenti e i livelli longitudinali (per rotaia destra e sinistra) sono misurati utilizzando un sistema ottico e adottando il metodo a corde (con corda di 23225 mm); un sottosistema inerziale, costituito principalmente da inclinometri e giroscopi, è, invece, impiegato per misurare i parametri sopraelevazione e sghembo.

I vantaggi del sistema di misura utilizzato dal treno diagnostico Diamante sono:

- la possibilità di eseguire misure senza contatto;
- l'elevata accuratezza, ottenuta grazie a stazioni ottiche in grado di rilevare il profilo della rotaia utilizzando sensori ottici e laser di ultima generazione;
- le alte frequenze d'acquisizione [17].

Come descritto nel paragrafo 2.6, durante una corsa di verifica sono rilasciati, a cura degli operatori del treno diagnostico, la comunicazione dei difetti rilevanti e con provvedimento di intervento a 30 giorni, e il grafico del rilievo. Quest'ultimo mostra l'andamento spaziale dei parametri geometrici misurati: l'asse delle ascisse corrisponde alla progressiva chilometrica del binario rilevato, mentre sull'asse delle ordinate sono rappresentati i valori misurati dei parametri. All'interno di uno stesso grafico di rilievo sono rappresentati gli andamenti di più parametri. In particolare, a seguito delle corse di Diamante sono consultabili due documenti, contenenti, il primo, il grafico di:

- sghembo,
- scartamento,
- allineamento destro e sinistro (D1, D2, D3),
- livello longitudinale destro e sinistro (D1, D2, D3),
- sopraelevazione (livello trasversale),

e, il secondo, il grafico di:

- usura a 45° (per rotaia destra e sinistra),
- usura orizzontale (per rotaia destra e sinistra),
- usura verticale (per rotaia destra e sinistra),
- scartamento,
- scartamento in media mobile.

Come esempio, in figura 4.2 è rappresentato l'andamento del parametro allineamento nel campo di lunghezza d'onda D3, per una porzione della tratta analizzata, rilevato mediante la corsa di verifica

del 7 novembre 2013. Le due linee rappresentate in figura corrispondono agli allineamenti delle due rotaie del binario (destra e sinistra), entrambi ricolorati nell'intervallo di lunghezze d'onda 70-200 m, mediante software di elaborazione presente a bordo del treno. Per entrambi i parametri, il grafico rappresenta gli scostamenti (positivi o negativi) dal valore medio di allineamento, al variare della progressiva chilometrica.

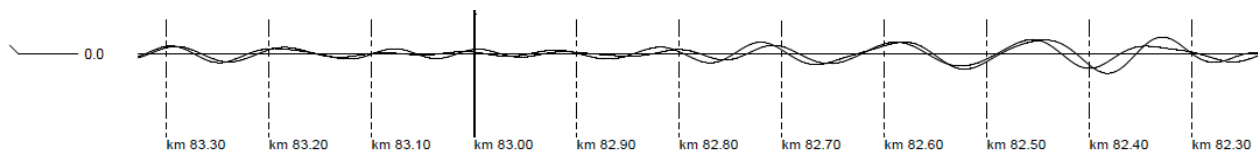


Figura 4.2: grafico del rilievo del parametro allineamento D3

Osservando la figura 4.2 si nota che i chilometri sono decrescenti da sinistra verso destra: questo è dovuto al fatto che il binario rilevato è quello dispari. La progressiva chilometrica è, invece, crescente da sinistra verso destra nei grafici e nei documenti relativi al binario pari della linea.

I difetti rilevanti, cioè quelli che superano le soglie corrispondenti al terzo livello di qualità, fissate dallo “Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per linee con velocità fino a 300 km/h”, per i vari parametri geometrici, sono evidenziati in colore rosso nel grafico del rilievo. Come esempio, la figura 4.3 mostra un difetto rilevante del parametro livello longitudinale sinistro nel campo di lunghezze d'onda D1, rilevato durante la corsa di verifica del 16 gennaio 2014.

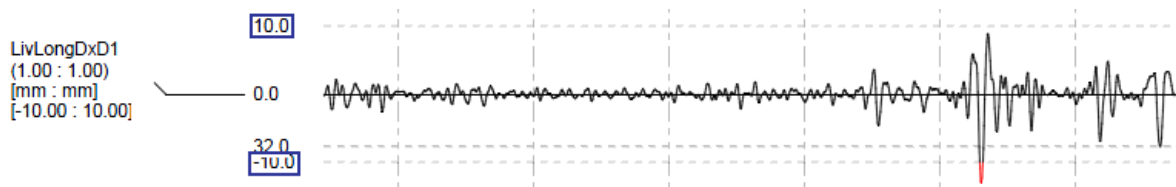


Figura 4.3: difetto rilevante di livello longitudinale sinistro D1 nel grafico del rilievo

Per ciascun parametro rilevato, nel grafico sono rappresentate mediante linee tratteggiate orizzontali le soglie limite del terzo livello di qualità, corrispondenti al passaggio da difetto in intervento a difetto rilevante. In figura 4.3 sono evidenziati in blu i valori ammessi per il parametro livello longitudinale D1, in accordo con quanto riportato dalla figura 2.23 tratta dallo Standard (la classe di velocità a cui far riferimento è 200-300 km/h). La linea tratteggiata corrispondente al valore 32.0 è relativa al parametro livello longitudinale D3, riportato all'interno dello stesso grafico del rilievo.

Per quanto riguarda i parametri scartamento e scartamento in media mobile, le soglie riportate nel grafico del rilievo, per la classe di velocità compresa fra 200 e 300 km/h, sono rispettivamente +20.0, -5.0 e +15.0, -2.0 (figure 4.4 e 4.5). Tali valori sono in accordo con i limiti ammessi dallo Standard, riportati nella figura 2.20b, considerando la linea orizzontale tracciata al valore 0.0 corrispondente al valore di scartamento nominale: 1435 mm. Infatti, lo scartamento rientra nel terzo livello di qualità se inferiore a 1455 mm (scartamento largo) e superiore a 1430 mm (scartamento stretto); analogamente lo scartamento in media mobile deve essere minore o uguale a 1450 e maggiore o uguale a 1433.

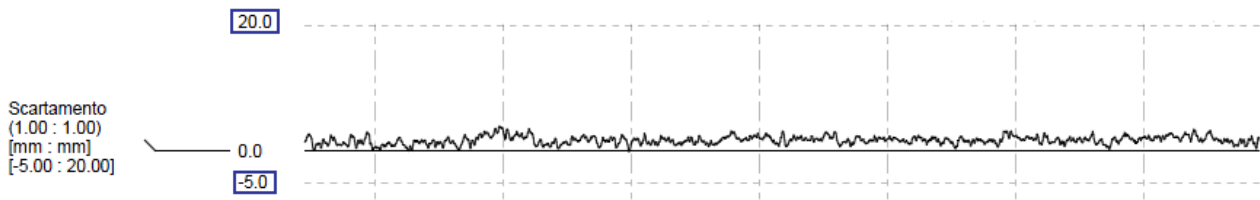


Figura 4.4: grafico del rilievo del parametro scartamento

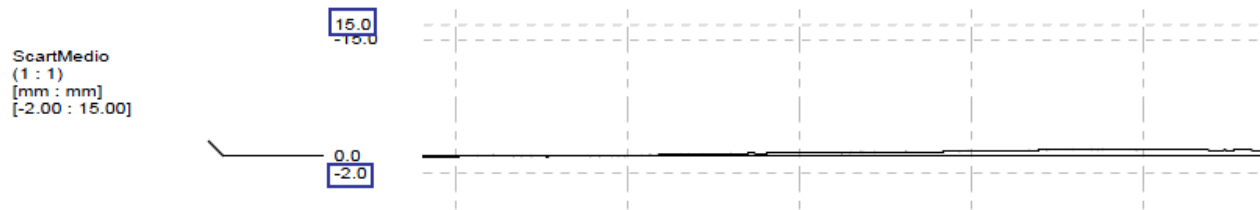


Figura 4.5: grafico del rilievo del parametro scartamento in media mobile

In aggiunta al grafico del rilievo e alla comunicazione dei difetti rilevanti e con provvedimento d'intervento a 30 giorni, a seguito di una corsa di verifica è prodotto un report testuale contenente tutti i difetti rilevati dal sistema di misura del treno diagnostico, nelle fasce di attenzione (2° livello di qualità), d'intervento (3° livello di qualità) e rilevante (valori comportanti vincoli all'esercizio). Sulla base dei valori contenuti in tale documento sono creati gli avvisi e i report all'interno del sistema informativo della manutenzione, e sono programmate le attività di manutenzione, nel rispetto dei tempi limite d'intervento per ciascuna tipologia di difetto (vedi paragrafo 3.4).

Più nel dettaglio, per ogni corsa di verifica il treno Diamante rilascia un documento contenente:

- le tratte e le località (codice identificativo);
- il tipo di difetto (scartamento, allineamento, livello longitudinale, ecc.)
- il livello di qualità in cui rientra ciascun difetto, con l'indicazione dei tempi limite d'intervento nel caso di difetto al 3° livello di qualità o del provvedimento restrittivo da adottare in caso di valori comportanti vincoli all'esercizio ferroviario;
- la classe di velocità per ciascuna tratta o località della linea;
- le progressive chilometriche iniziale e finale di ciascun difetto rilevato;
- l'estensione di ciascun difetto rilevato (differenza fra progressive chilometriche finale e iniziale);
- il valore massimo di ciascun difetto rilevato;
- la soglia superata da ciascun difetto, con riferimento ai valori ammessi per ciascun parametro, fissati dallo Standard.

L'identificazione dei difetti è eseguita in maniera automatica dal sistema di misura ed elaborazione presente a bordo del treno, il quale confronta i valori rilevati dei parametri geometrici con i valori ammessi fissati dallo Standard.

Come esempio, si riporta in figura 4.6 una parte del report testuale dei difetti rilasciato in seguito alla corsa di verifica del 5 novembre 2013 (binario pari della linea AV/AC Milano – Bologna).

Capitolo 4: analisi dei dati rilevati con corse diagnostiche

Tratta/Località	Tipo Difetto	Set soglie	classe	Km Iniziale	Km Finale	Lunghezza	valMax	KmMax	Soglia sup.
				(Km)	(Km)	(m)		(Km)	
[Body]									
TR0534-BC-BC02	ScartMedio	Int 6 mesi	250<V<=300	14.8850	14.9405	55.5	-0.2	14.899	0.0
TR0534-BC-BC02	ScartMedio	Int 6 mesi	250<V<=300	14.9840	14.9890	5.0	-0.0	14.985	0.0
TR0534-BC-BC02	Scartamento	Attenzione	200<V<=300	15.1130	15.1150	2.0	-2.7	15.114	-2.0
TR0534-BC-BC02	ScartLivTrasv	Attenzione	200<V<=300	18.2545	18.2563	2.0	-5.3	18.256	-4.0
TR0534-BC-BC02	Scartamento	Attenzione	200<V<=300	19.3365	19.3385	2.0	-2.4	19.338	-2.0
TR0534-BC-BC02	ScartMedio	Int 6 mesi	250<V<=300	19.2330	19.6295	396.5	-0.6	19.290	0.0
TR0534-BC-BC02	ScartMedio	Int 6 mesi	250<V<=300	19.8425	19.8470	4.5	-0.0	19.844	0.0
TR0534-BC-BC02	ScartLivTrasv	Attenzione	200<V<=300	20.6395	20.6415	2.0	-5.2	20.641	-4.0
TR0534-BC-BC02	LivLongSxD1	Attenzione	200<V<=300	20.6390	20.6415	2.5	-6.4	20.640	-4.0
TR0534-BC-BC02	ScartLivTrasv	Attenzione	200<V<=300	21.1685	21.1705	2.0	-5.3	21.170	-4.0
TR0534-BC-BC02	LivLongSxD1	Attenzione	200<V<=300	21.1765	21.1785	2.0	-5.2	21.178	-4.0
TR0534-BC-BC02	ScartMedio	Int 6 mesi	250<V<=300	21.7270	21.7980	71.0	-0.5	21.767	0.0
LO1595-BC-BC02	ScartLivTrasv	Attenzione	200<V<=300	22.2455	22.2525	7.0	4.8	22.247	4.0
LO1595-BC-BC02	Scartamento	Int 6 mesi	200<V<=300	22.2875	22.2920	4.5	-3.3	22.289	-3.0
LO1595-BC-BC02	ScartMedio	Int 6 mesi	250<V<=300	22.2330	22.3710	138.0	-0.9	22.292	0.0

Figura 4.6: report dei difetti rilevati dal treno diagnostico

Il segno positivo o negativo dei valori massimi e delle soglie superate dipende dal “verso” dello scostamento di ciascun parametro dal valore medio o dalla linea dello zero. Per i difetti di scartamento e scartamento in media mobile i valori massimi e le soglie superate sono da considerare come scostamento dal valore di scartamento nominale (1435 mm), il quale corrisponde alla soglia 0.0.

A partire dai report testuali dei difetti, rilasciati dal treno Diamante, per ogni data analizzata e quindi per ogni corsa di verifica, sono stati individuati i difetti corrispondenti alla tratta PM Campegine – Bivio Parma, andando a cercare nei documenti il codice identificativo di quest’ultima (figura 4.7).

TR9720-BC-BC01	LivLongSxD1	Attenzione	200<V<=300	87.7480	87.7450	3.0	-6.7	87.747	-4.0
TR9720-BC-BC01	LivLongDXD1	Intervento 30gg	200<V<=300	87.7485	87.7445	4.0	-8.5	87.747	-8.0
TR9720-BC-BC01	LivLongDXD1	Attenzione	200<V<=300	87.3460	87.3440	2.0	-5.8	87.346	-4.0
TR9720-BC-BC01	LivLongDXD1	Attenzione	200<V<=300	87.3465	87.3440	2.5	-6.3	87.346	-4.0
TR9719-BC-BC01	LivLongSxD1	Attenzione	200<V<=300	84.2465	84.2435	3.0	-6.6	84.245	-4.0
TR9719-BC-BC01	LivLongSxD1	Attenzione	200<V<=300	84.2465	84.2435	3.0	-6.9	84.246	-4.0
TR9719-BC-BC01	LivLongSxD1	Intervento 30gg	200<V<=300	82.9325	82.9290	3.5	-8.6	82.931	-8.0
TR9719-BC-BC01	LivLongDXD1	Intervento 30gg	200<V<=300	82.9325	82.9290	3.5	-9.1	82.931	-8.0
TR9719-BC-BC01	LivLongDXD1	Attenzione	200<V<=300	82.8960	82.8935	2.5	-5.0	82.895	-4.0
TR9719-BC-BC01	LivLongDXD1	Attenzione	200<V<=300	82.5030	82.5010	2.0	-4.8	82.502	-4.0
TR9719-BC-BC01	LivLongSxD1	Attenzione	200<V<=300	80.8395	80.8375	2.0	-4.9	80.839	-4.0
TR9719-BC-BC01	LivLongSxD1	Attenzione	200<V<=300	80.6300	80.6280	2.0	-5.0	80.630	-4.0
TR9719-BC-BC01	LivLongDXD1	Attenzione	200<V<=300	80.6305	80.6280	2.5	-5.3	80.630	-4.0
TR9719-BC-BC01	LivLongSxD1	Attenzione	200<V<=300	80.5100	80.5070	3.0	-6.0	80.509	-4.0
TR9719-BC-BC01	LivLongSxD1	Attenzione	200<V<=300	80.5100	80.5070	3.0	-6.0	80.509	-4.0
TR9719-BC-BC01	LivLongDXD1	Attenzione	200<V<=300	80.4300	80.4275	2.5	-5.1	80.429	-4.0
TR9719-BC-BC01	LivLongDXD1	Attenzione	200<V<=300	79.9545	79.9525	2.0	-5.3	79.954	-4.0
TR9719-BC-BC01	LivLongSxD1	Attenzione	200<V<=300	79.9550	79.9520	3.0	-6.9	79.954	-4.0
TR9719-BC-BC01	LivLongDXD1	Attenzione	200<V<=300	79.1905	79.1885	2.0	-4.8	79.190	-4.0
TR9719-BC-BC01	LivLongSxD1	Attenzione	200<V<=300	79.1905	79.1880	2.5	-6.4	79.190	-4.0
TR9719-BC-BC01	ScartLivTrasv	Attenzione	200<V<=300	78.3335	78.3245	9.0	-7.0	78.326	-4.0

Figura 4.7: ricerca dei difetti rilevati per la tratta oggetto di analisi

I documenti conseguenti alle corse di verifica hanno un’estensione corrispondente al software di elaborazione dei dati misurati, installato a bordo del treno. Tuttavia è possibile visualizzare i documenti in formato testuale e anche importarli su un programma di calcolo, in modo da poterli analizzare.

Prima di procedere con l’analisi dei difetti, al fine d’individuare le zone critiche e gli interventi manutentivi da applicare, è necessario correggere le progressive chilometriche indicate nel report testuale prodotto dal treno diagnostico. Infatti, lo strumento che consente di ricavare la posizione del treno durante la corsa di verifica, e quindi la posizione dei vari difetti rilevati durante essa, è un odometro: un contagiri applicato a una delle ruote della motrice, che permette di ottenere la distanza percorsa moltiplicando la circonferenza della ruota per il numero di giri indicati dal contagiri. Tale strumento non è preciso e può accumulare nel tempo un errore significativo nella misura.

L’operazione di correzione delle progressive chilometriche è possibile grazie alla conoscenza della posizione delle curve del tracciato della linea ferroviaria. In particolare, attraverso il grafico del rilievo s’individua la posizione, non corretta, di ciascuna curva osservando l’andamento del

parametro sopraelevazione, e, nota la posizione reale, si ricava lo scostamento e quindi la correzione.

Il parametro sopraelevazione rilevato dal sistema di misura del treno diagnostico corrisponde al livello trasversale, ossia alla misura della differenza in altezza tra le due tavole di rotolamento adiacenti (come descritto nel paragrafo 2.2 e mostrato in figura 2.5). Teoricamente tale misura è uguale a 0 nei tratti di linea in rettilineo, poiché la sopraelevazione di una rotaia rispetto all'altra è nulla, e diversa da 0 nelle curve circolari, dove la rotaia esterna è sopraelevata. Anche se le misure effettive si discostano dai valori di progetto, osservando l'andamento del parametro rilevato è possibile individuare i tratti in rettilineo e quelli in curva.

La figura 4.8 mostra l'andamento del parametro sopraelevazione rispetto alla linea dello 0 (linea orizzontale continua), rilevato con la corsa del 16 gennaio 2014, tra i chilometri 79.90 e 78.90 (progressiva chilometrica decrescente in quanto binario dispari). Dove la linea corrispondente ai valori rilevati è vicina alla linea dello 0, il binario si sviluppa in rettilineo, mentre dove la linea del rilievo si discosta dal valore zero, è presente una curva. In particolare, nei tratti in cui il parametro livello trasversale è variabile, è presente un raccordo di sopraelevazione, nei tratti in cui è circa costante e lontano dalla linea dello zero, la sopraelevazione della curva è pari al valore massimo. I raccordi di sopraelevazione sono necessari per far variare in modo graduale la sopraelevazione della rotaia esterna, nel passaggio da rettilineo a curve. (La linea verticale continua presente nella figura corrisponde al chilometro 79.00: ogni chilometro intero nel grafico del rilievo viene indicato in questo modo).

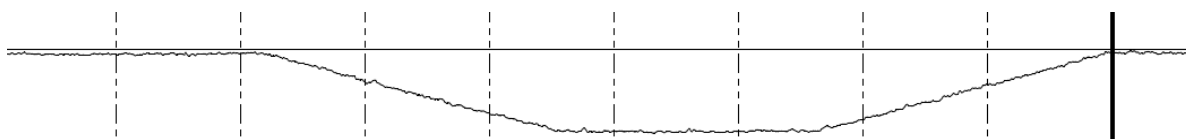


Figura 4.8: andamento del parametro sopraelevazione in curva

La figura 4.9 mostra l'individuazione del punto iniziale (o finale) di una curva, dall'osservazione del parametro sopraelevazione, e la successiva lettura sull'asse delle ascisse della progressiva chilometrica corrispondente, calcolata valutando la distanza dalle linee verticali tratteggiate presenti ogni 100 m. Ricavata la posizione della curva indicata dal grafico del rilievo, si valuta lo scostamento dalla reale posizione, noto il progetto del tracciato, determinando così la correzione da applicare. La stessa correzione è applicata alle progressive chilometriche dei difetti rilevati nella vicinanza della curva esaminata, ottenendo così le reali posizioni.

Le posizioni dei difetti sono determinate con ulteriore precisione in fase d'intervento manutentivo con macchina operatrice, la quale è dotata di un sistema di misura per il rilievo della geometria di binario. Come descritto nel paragrafo 3.5, il rilievo che precede l'intervento correttivo è necessario per individuare precisamente la posizione del difetto da eliminare, oltre che i punti d'inizio e fine intervento. Infatti, nonostante la correzione applicata alle progressive chilometriche dei difetti indicate nel documento rilasciato dal treno diagnostico, determinata attraverso lo studio del grafico di rilievo, possono esserci ancora scostamenti da quelle che sono le reali posizioni.

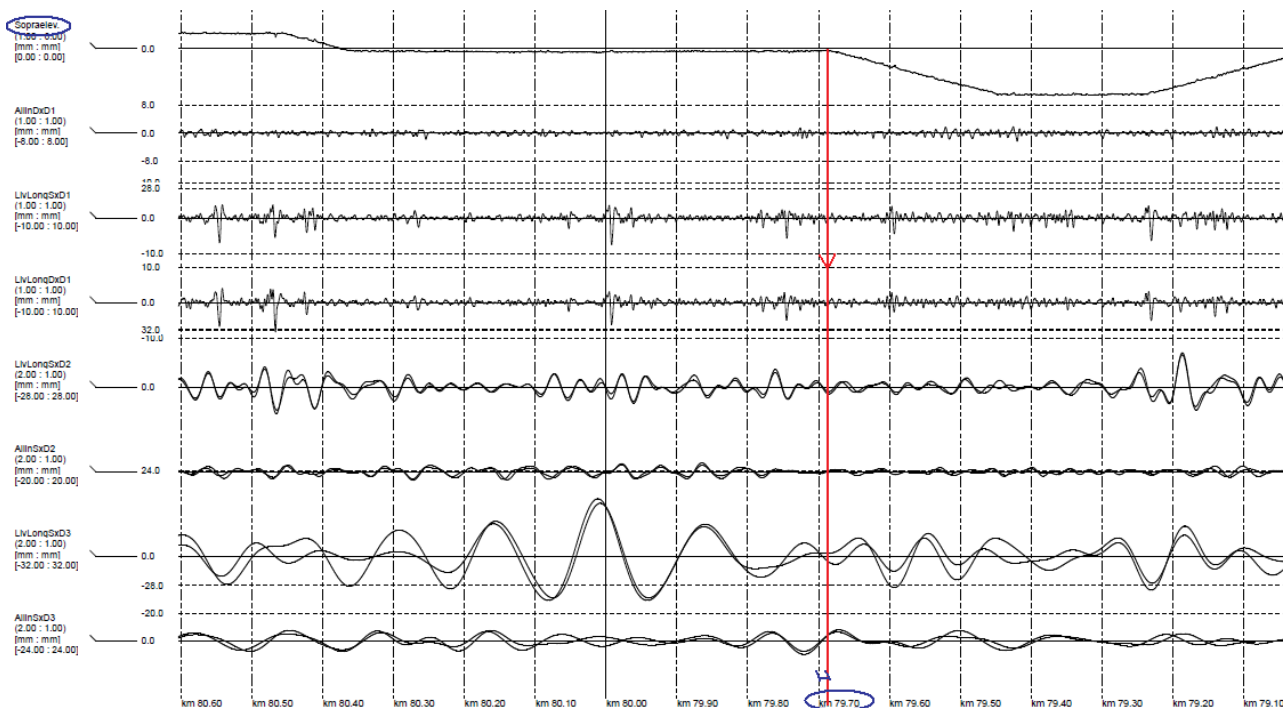


Figura 4.9: individuazione della progressiva chilometrica d’inizio di una curva

4.3. Elaborazione e analisi dei dati rilevati

Una volta individuati i difetti rilevati dal sistema di misura ed elaborazione presente a bordo del treno Diamante, relativi al periodo temporale analizzato e alla tratta oggetto di studio, l’analisi è stata condotta sui difetti rilevanti e in fascia d’intervento, in quanto sono quelli per cui è prevista la correzione in tempi ristretti. Infatti, per i difetti in attenzione (2° livello di qualità) lo “*Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per linee con velocità fino a 300 km/h*” afferma di analizzare le cause del degrado e di valutare la velocità di evoluzione, programmando ed eseguendo eventuali interventi manutentivi in funzione di quest’ultima. I difetti in fascia di attenzione non alimentano, quindi, il processo di manutenzione, nel senso che non sono previsti per essi tempi limite d’esecuzione degli interventi correttivi. Come descritto nel paragrafo 3.4, è opportuno correggere i più significativi difetti in attenzione in presenza di tratte/località con numerosi difetti in intervento, sulle quali si prevedono interventi abbastanza estesi. Quest’ultimo descritto non è il caso della tratta analizzata: lo studio condotto mostra, alle varie date di rilievo, la presenza di un numero limitato di difetti, distanti fra loro e, quindi, eliminabili con interventi localizzati.

Pertanto, per ciascuna data di rilievo del periodo temporale novembre 2013 – gennaio 2014, per binario pari e dispari della tratta PM Campegine – Bivio Parma, sono stati contati i difetti rilevanti e in intervento, osservandone la tipologia.

La tabella 4.2 riassume il numero di difetti individuati sulla tratta analizzata, specificando quanti riguardano il binario pari e quanti il dispari. Sia per le difettosità rilevanti, che per quelle in intervento, la quantità risulta maggiore per il binario dispari. La distribuzione temporale dei difetti è mostrata dai grafici delle figure 4.10 e 4.11, corrispondenti al binario pari e al binario dispari e riportanti le rispettive date di rilievo.

Capitolo 4: analisi dei dati rilevati con corse diagnostiche

Tot difetti rilevati (rilevanti e intervento)	85	binario pari	37
		binario dispari	48
di cui rilevanti	5	binario pari	2
		binario dispari	3
di cui in intervento	80	binario pari	35
		binario dispari	45

Tabella 4.2: numero di difetti rilevati nel periodo temporale analizzato

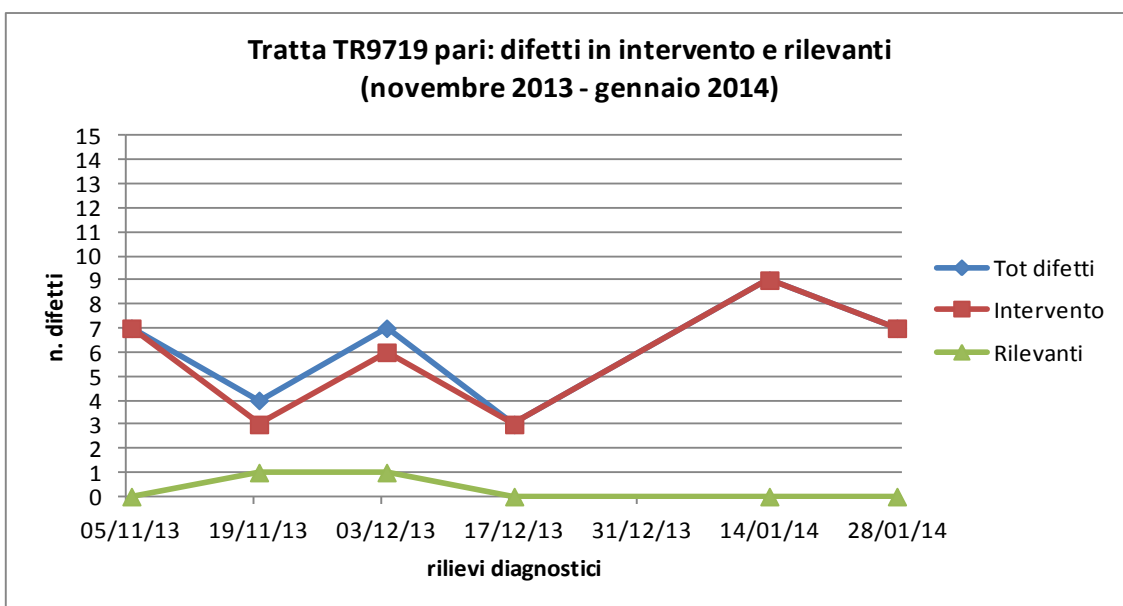


Figura 4.10: quantità di difetti rilevanti e in intervento del binario pari

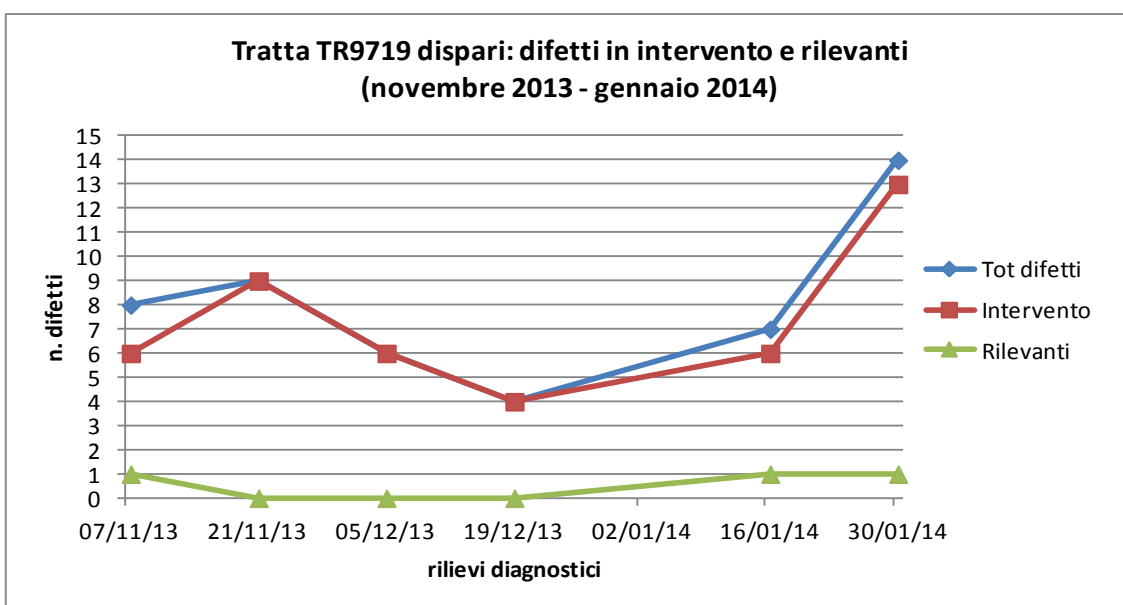


Figura 4.11: quantità di difetti rilevanti e in intervento del binario dispari

Si osserva che il numero di difetti rilevanti è limitato rispetto al totale dei difetti rilevati, in accordo con la politica di manutenzione preventiva condotta da Rete Ferroviaria Italiana. Infatti, il frequente monitoraggio dello stato del binario consente di individuare i nuovi difetti e di seguire l'evoluzione nel tempo di quelli esistenti, eseguendo interventi correttivi prima del superamento delle soglie del terzo livello di qualità, cioè prima della formazione di difetti tali da imporre restrizioni alla circolazione ferroviaria.

Il grafico di figura 4.12 confronta le quantità di difetti individuati, a ogni corsa di rilievo del periodo analizzato, sul binario pari e su quello dispari (il 1° rilievo di novembre si riferisce alle prime due corse di verifica del mese di novembre, eseguite una sul binario pari e una su quello dispari, a distanza di due giorni, e così via). Per ciascuna data la quantità di difetti rilevati sui due binari è differente, ma si osserva un andamento abbastanza simile.

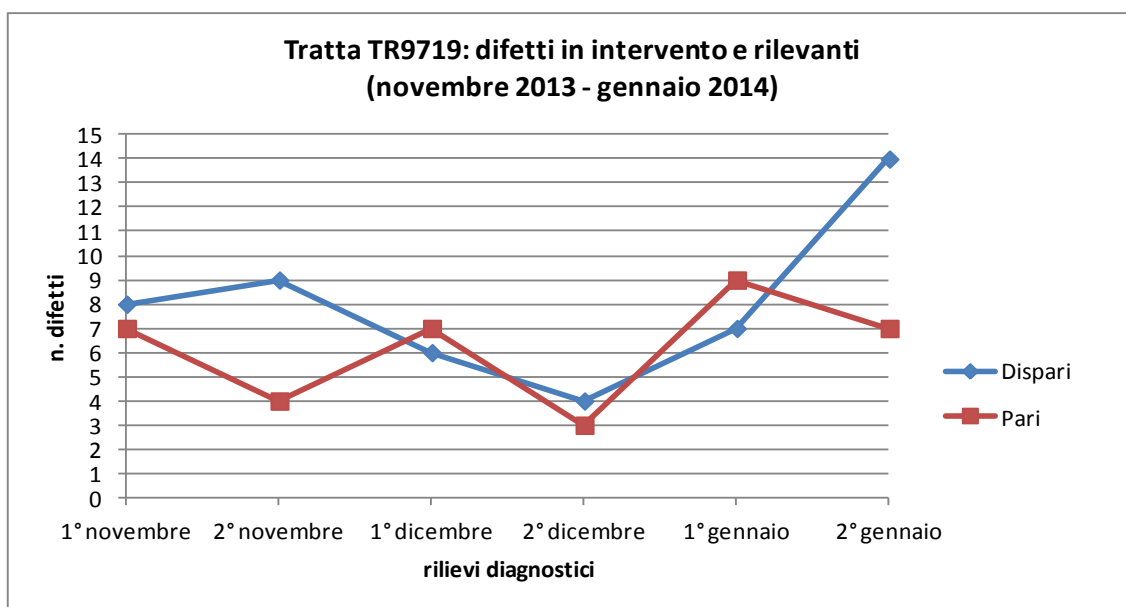


Figura 4.12: quantità di difetti dei binari pari e dispari

Per quanto riguarda le tipologie di difetti, nel periodo temporale analizzato, per entrambi i binari, sono state individuate le seguenti categorie di difetti:

- livello longitudinale nel campo di lunghezza d'onda D1 (onda corta),
- scarto di livello trasversale,
- scartamento in media mobile,
- scartamento puntuale.

Più nel dettaglio, la tabella 4.3 riassume le quantità di difetti per ciascuna tipologia, specificando quanti sono stati rilevati sul binario pari e quanti su quello dispari. La tabella illustra, inoltre, a quale tipologia appartengono i cinque difetti rilevanti individuati nel periodo d'analisi (3 sul binario dispari e 2 sul binario pari): si sono verificati quattro difetti rilevanti di livello longitudinale e uno di scartamento in media mobile.

Livello longitudinale D1	56		
di cui rilevanti	4	binario pari	2
		binario dispari	2
di cui in intervento	52	binario pari	22
		binario dispari	30
Scartamento in media mobile	26		
di cui rilevanti	1	binario pari	0
		binario dispari	1
di cui in intervento	25	binario pari	13
		binario dispari	12
Scarto di livello trasversale (in intervento)	2	binario pari	0
		binario dispari	2
Scartamento puntuale (in intervento)	1	binario pari	0
		binario dispari	1

Tabella 4.3: tipologie di difetti

Le quantità di difetti di ciascuna tipologia, alle varie date in cui sono state eseguite le corse di rilievo, sono mostrate dai grafici delle figure 4.13 e 4.14, relative rispettivamente al binario pari e a quello dispari.

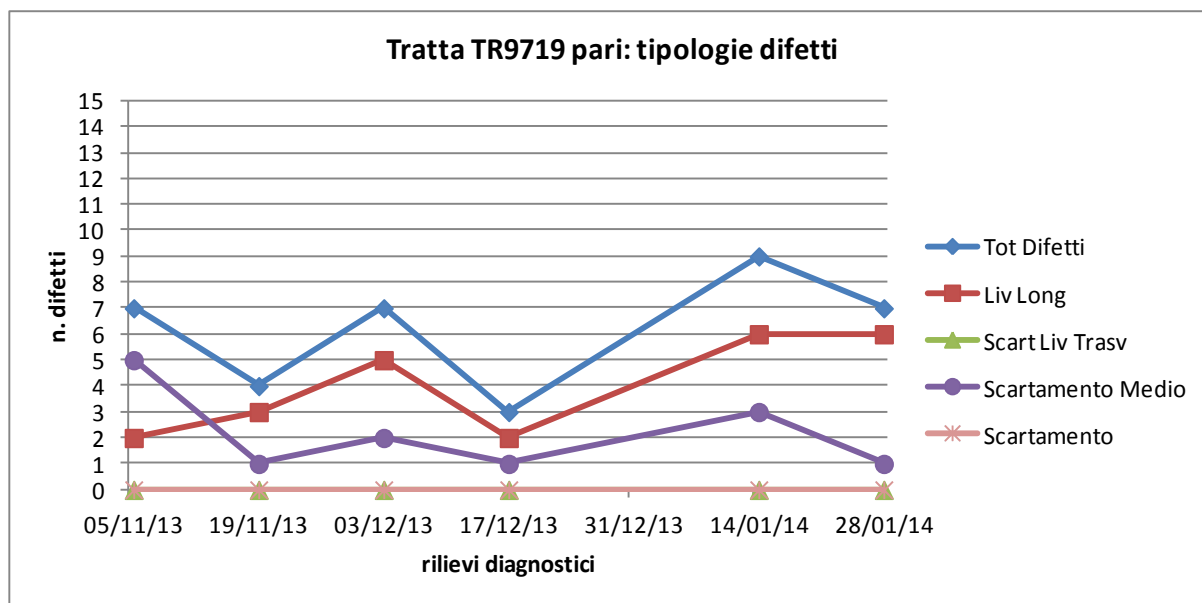


Figura 4.13: tipologie di difetti del binario pari

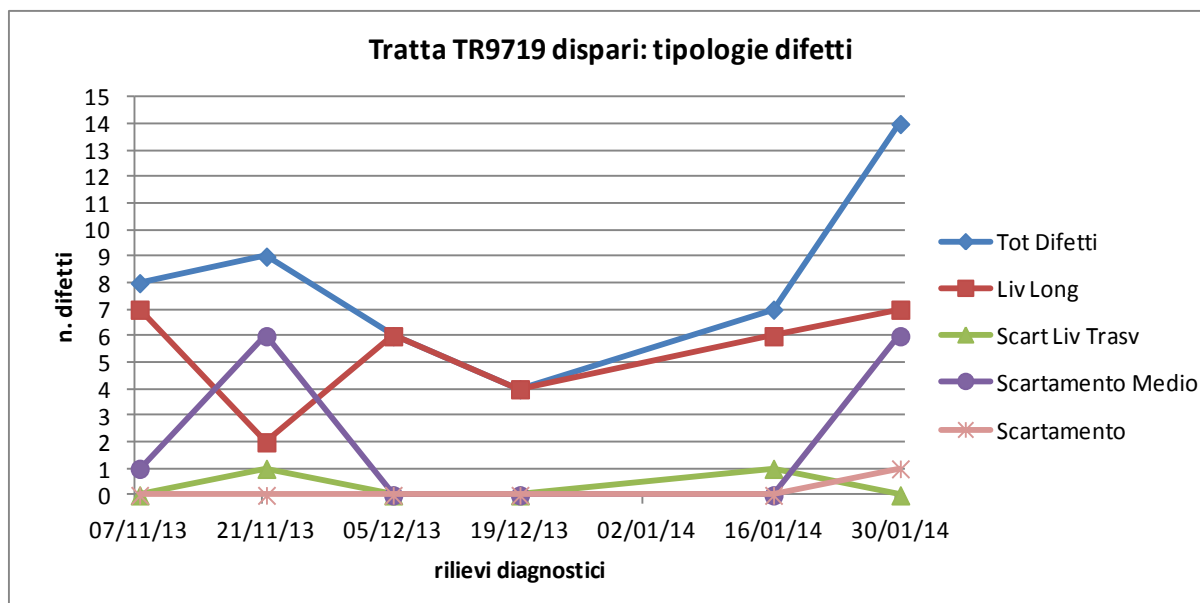


Figura 4.14: tipologie di difetti del binario dispari

Le tipologie prevalenti di difetti sono risultate essere il livello longitudinale e lo scartamento in media mobile: quasi a ogni data analizzata sono stati riscontrati difetti di entrambe le tipologie. Nel periodo analizzato si sono verificati solamente due difetti di scarto di livello trasversale e uno di scartamento puntuale, tutti manifestatisi sul binario dispari.

I difetti di livello longitudinale di onda corta (3-25 m) sono dovuti ad assestamenti del binario nella massicciata, hanno evoluzione relativamente rapida e influenzano le accelerazioni dei carrelli dei treni. Nel periodo analizzato, i segni dei difetti di livello longitudinale sono tutti negativi: poiché si rilevano gli scostamenti dal valore medio, ciò significa che i difetti individuati sono stati determinati da cedimenti del binario, indotti dai carichi trasmessi dai convogli in transito.

Come indicato nel paragrafo 3.4, i difetti di livello longitudinale d'onda corta in fascia d'intervento devono essere eliminati entro 30 giorni. Per i difetti rilevanti, invece, è necessario imporre un vincolo alla circolazione ferroviaria, consistente in un rallentamento, fino all'esecuzione dell'intervento correttivo, la quale avviene entro 48 ore dal momento dell'individuazione del difetto.

Anche i difetti in intervento di scarto di livello trasversale, i quali esprimono una variazione del livello trasversale del binario, devono essere eliminati entro 30 giorni (per la definizione di scarto di livello trasversale si rimanda al paragrafo 2.2).

Per le due tipologie di difetti, nella tabella 4.4 si riassumono le soglie, definite dallo Standard, corrispondenti al 2° e 3° livello di qualità, e la velocità di rallentamento da imporre nel caso di difetto rilevante di livello longitudinale. In particolare, per valori di livello longitudinale compresi fra 10 e 16 mm, come nel caso dei difetti rilevanti individuati nella tratta analizzata, la velocità di rallentamento è inferiore o uguale a 200 km/h, mentre essa diminuisce al crescere del valore assunto dal parametro livello longitudinale. I valori riportati in tabella si riferiscono alla classe di velocità 200-300 km/h, in accordo con la velocità di percorrenza della tratta di linea analizzata.

	Livello Longitudinale D1	Scarto di Livello Trasversale
Attenzione	$4 < L \leq 8$	$4 < SCARTXL \leq 8$
Intervento	$8 < L \leq 10$	$4 < SCARTXL \leq 12$
Vincoli all'esercizio	$L > 10$ $V_{ral} \leq 200 \text{ km/h}$	

Tabella 4.4: soglie ammesse per i parametri livello longitudinale e scarto di livello trasversale ($v = 200\text{-}300 \text{ km/h}$)

L'intervento manutentivo da eseguire per eliminare i difetti di livello longitudinale e di scarto di livello trasversale è il livellamento, eseguito con le modalità descritte nei paragrafi 3.3 e 3.5.

I difetti di scartamento in media mobile e puntuale, individuati nel periodo d'analisi, sono tutti di segno negativo e sono quindi difetti di scartamento stretto: i fianchi interni delle due rotaie del binario si sono avvicinati. Questo può dipendere da spostamenti delle rotaie dalla posizione di progetto o dallo stato degli organi di attacco e delle traverse.

In fascia d'intervento, gli interventi manutentivi per la correzioni di tali difetti vanno eseguiti entro 6 mesi: il limite temporale è ampio poiché queste l'evoluzione di tali tipologie di difetto è lenta. Per lo scartamento stretto in media mobile, per velocità maggiore a 200 km/h, i tempi d'intervento possono anche essere allungati se i valori di conicità equivalente rientrano nei limiti ammessi (figura 2.21); in caso contrario, o se non si dispone di misure di conicità equivalente, la correzione deve essere eseguita entro 6 mesi dall'individuazione del difetto.

La tabella 4.5 riassume le soglie, definite dallo Standard, corrispondenti al 2° e 3° livello di qualità, e la velocità di rallentamento da imporre per difetti rilevanti di scartamento in media mobile, di valore maggiore a 1433 mm, come nel caso del difetto rilevante individuato nel periodo analizzato. Imposta la restrizione alla circolazione, un difetto rilevante di scartamento in media mobile deve essere eliminato entro 48 ore, come tutte le altre tipologie di difetti rilevanti. I valori riportati in tabella si riferiscono alla classe di velocità 200-300 km/h, in accordo con la velocità di percorrenza della tratta di linea analizzata.

	Scartamento Medio (stretto)	Scartamento (stretto)
Attenzione	-	$1432 < S \leq 1433$
Intervento	$1434 \leq S < 1435$	$1430 < S \leq 1432$
Vincoli all'esercizio	$S < 1434$ $V_{ral} \leq 250 \text{ km/h}$	

Tabella 4.5: soglie ammesse per i parametri scartamento puntuale e in media mobile ($v = 200\text{-}300 \text{ km/h}$)

L'intervento manutentivo per correggere i difetti di scartamento stretto in media mobile è la molatura della rotaia. Lo stesso intervento è eseguito anche per difetti di scartamento stretto puntuali con estese significative: s'intende un tratto di binario di 200 m caratterizzato almeno per il 50% da difetti di tale tipologia. Quest'ultimo non è il caso che si presenta nel periodo analizzato: si

manifesta un unico difetto in intervento di scartamento puntuale, di valore 1432 mm ed estesa pari a 36.5 m. Per eliminare tale difetto si agisce sugli organi di attacco o sulle traverse, sostituendole se danneggiate.

Considerando l'intero periodo temporale novembre 2013 – gennaio 2014, è stata valutata la tendenza dei difetti a ripresentarsi nelle stesse posizioni della tratta analizzata, individuando dapprima le sezioni più critiche per il binario pari e per quello dispari, cioè quelle con la maggiore quantità di difetti. In particolare, dividendo la tratta analizzata in sezioni di 500 metri, a partire dal km 84.0 fino al km 85.0, è stato contato il numero di difetti manifestatisi in ogni sezione, considerando la progressiva chilometrica corrispondente al valore massimo di ciascun difetto rilevato. Tale operazione è stata condotta separatamente per i difetti di livello (livello longitudinale e scarto di livello trasversale) e per quelli di scartamento (in media mobile e puntuale).

I risultati relativi ai difetti di livello sono riportati nelle tabelle 4.6 e 4.7, riferite al binario pari e al binario dispari. Esse indicano anche le tipologie di difetti individuati in ciascuna sezione: livello longitudinale della rotaia destra, livello longitudinale della rotaia sinistra e scarto di livello trasversale. Le quantità di difetti in ciascuna sezione sono mostrate nei grafici delle figure 4.15 e 4.16, relativi al binario pari e al binario dispari della tratta, i quali rappresentano il valore massimo (valore assoluto) e la posizione dei difetti rilevati nel periodo temporale analizzato, suddividendoli per data.

Binario Pari (TR9719-BC-BC02)			
Sezione	N. Difetti	LivLongDx	LivLongSx
74.0 - 74.5	4	3	1
74.5 - 75.0	4	3	1
75.0 - 75.5	0	0	0
75.5 - 76.0	0	0	0
76.0 - 76.5	0	0	0
76.5 - 77.0	1	1	0
77.0 - 77.5	2	2	0
77.5 - 78.0	0	0	0
78.0 - 78.5	4	1	3
78.5 - 79.0	0	0	0
79.0 - 79.5	1	0	1
79.5 - 80.0	0	0	0
80.0 - 80.5	0	0	0
80.5 - 81.0	2	2	0
81.0 - 81.5	0	0	0
81.5 - 82.0	1	1	0
82.0 - 82.5	2	1	1
82.5 - 83.0	0	0	0
83.0 - 83.5	2	1	1
83.5 - 84.0	1	1	0
84.0 - 84.5	0	0	0
84.5 - 85.0	0	0	0

Tabella 4.6: quantità di difetti in ciascuna sezione di 500 m del binario pari

Binario Dispari (TR9719-BC-BC01)				
Sezione	N. Difetti	LivLongDx	LivLongSx	ScartXL
74.0 - 74.5	1	0	1	0
74.5 - 75.0	4	4	0	0
75.0 - 75.5	1	1	0	0
75.5 - 76.0	0	0	0	0
76.0 - 76.5	0	0	0	0
76.5 - 77.0	3	1	2	0
77.0 - 77.5	0	0	0	0
77.5 - 78.0	0	0	0	0
78.0 - 78.5	12	5	5	2
78.5 - 79.0	1	0	1	0
79.0 - 79.5	0	0	0	0
79.5 - 80.0	1	1	0	0
80.0 - 80.5	4	2	2	0
80.5 - 81.0	0	0	0	0
81.0 - 81.5	0	0	0	0
81.5 - 82.0	0	0	0	0
82.0 - 82.5	0	0	0	0
82.5 - 83.0	7	3	4	0
83.0 - 83.5	0	0	0	0
83.5 - 84.0	0	0	0	0
84.0 - 84.5	0	0	0	0
84.5 - 85.0	0	0	0	0

Tabella 4.7: quantità di difetti in ciascuna sezione di 500 m del binario dispari

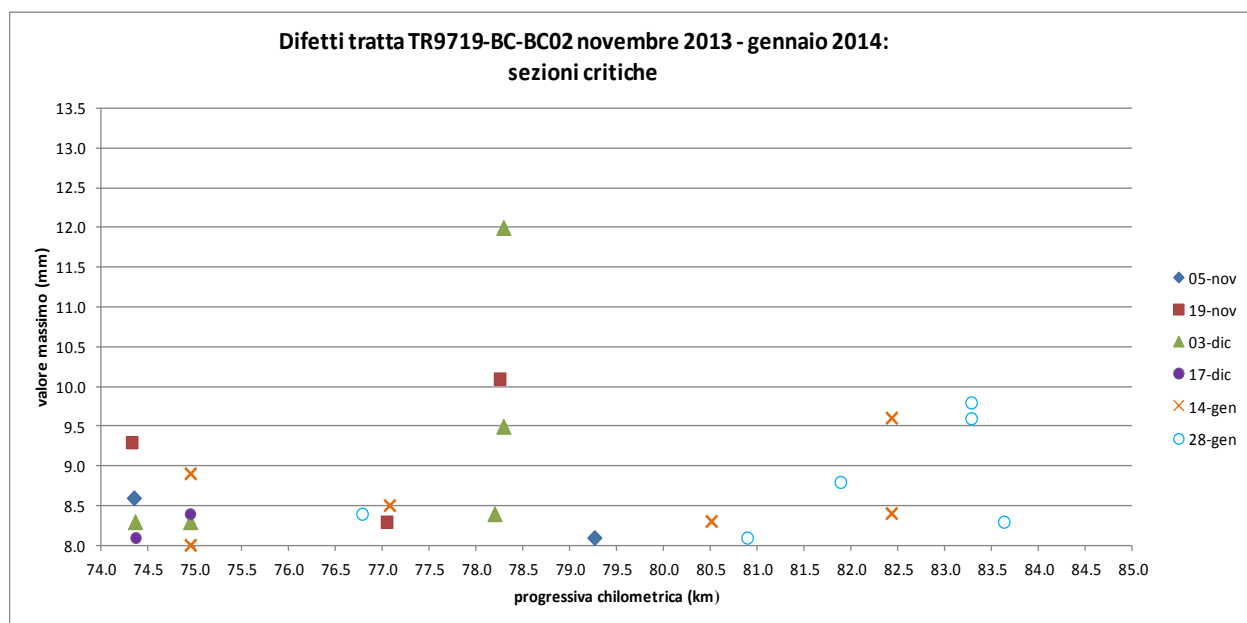


Figura 4.15: posizione dei difetti di livello del binario pari

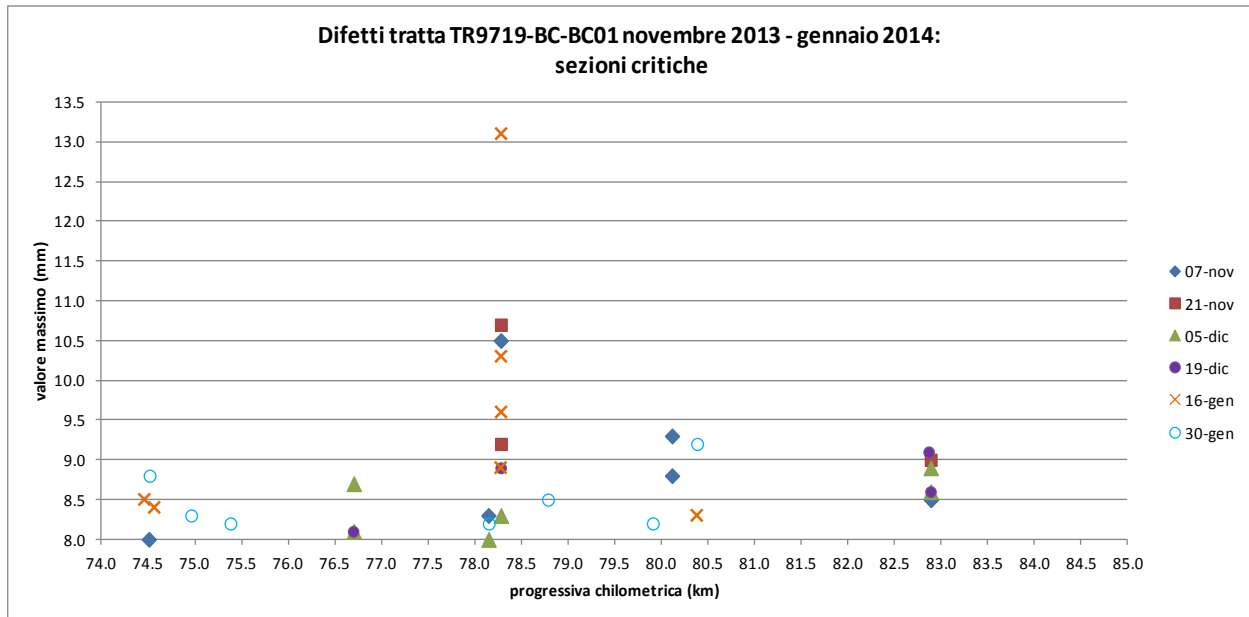


Figura 4.16: posizione dei difetti di livello del binario dispari

Dall'osservazione dei grafici delle figure 4.15 e 4.16, s'individua una certa tendenza dei difetti a ripresentarsi nelle stesse sezioni, in date successive. Sia per il binario pari che per quello dispari, alcune sezioni sono prive di difetti ad ogni data, mentre altre contengono un numero elevato di difetti: per queste ultime è stata analizzata la sede ferroviaria osservando la planimetria della linea AV/AC Milano – Bologna.

Relativamente al binario dispari, con riferimento alla tabella 4.7, le sezioni di 500 metri contenenti il maggior numero di difetti sono quelle comprese tra i chilometri:

- 78.0 – 78.5, con 12 difetti, 10 di livello longitudinale e 2 di scarto di livello trasversale;
- 82.5 – 83.0, con 7 difetti di livello longitudinale.

Nel grafico della figura 4.16 in tali sezioni si osservano delle verticali di punti, indicative della coincidenza di posizione dei difetti manifestatisi in date differenti del periodo analizzato.

Ricercando le sezioni sopra indicate nella planimetria e individuando all'interno di esse la posizione dei difetti, è emersa la coincidenza con punti singolari della linea, e in particolare:

- un tratto in curva in prossimità di un tombino (dimensioni 5x3 m) che sottopassa la sede stradale, per 9 dei 12 difetti individuati tra i chilometri 78.0 e 78.5 (figura 4.17);
- la zona di transizione tra un rilevato e un viadotto, per i 7 difetti individuati tra i chilometri 82.5 e 83.0 (figura 4.18).

Relativamente al binario pari, per il quale il numero di difetti individuati in ciascuna sezione di 500 m è inferiore rispetto al binario dispari, s'individuano tre sezioni contenenti una quantità di difetti superiore alle altre e pari a 4 (tabella 4.6). Esse sono quelle comprese tra i chilometri:

- 74.0 – 74.5;
- 74.5 – 75.0;
- 78.0 – 78.5.

Ricercando nella planimetria la posizione dei difetti verificatisi nelle prime due sezioni sopra indicate, è emersa la coincidenza con punti singolari corrispondenti a:

- un sottovia, cioè un ponte ferroviario al di sotto del quale passa la strada (figura 4.19);
- un viadotto (figura 4.20).

La terza sezione critica sopra indicata coincide con una di quelle individuate per il binario dispari. Le posizioni dei quattro difetti verificatisi all'interno di essa, tre dei quali sono stati rilevati alla stessa data, sono in prossimità del tombino mostrato nella figura 4.17.

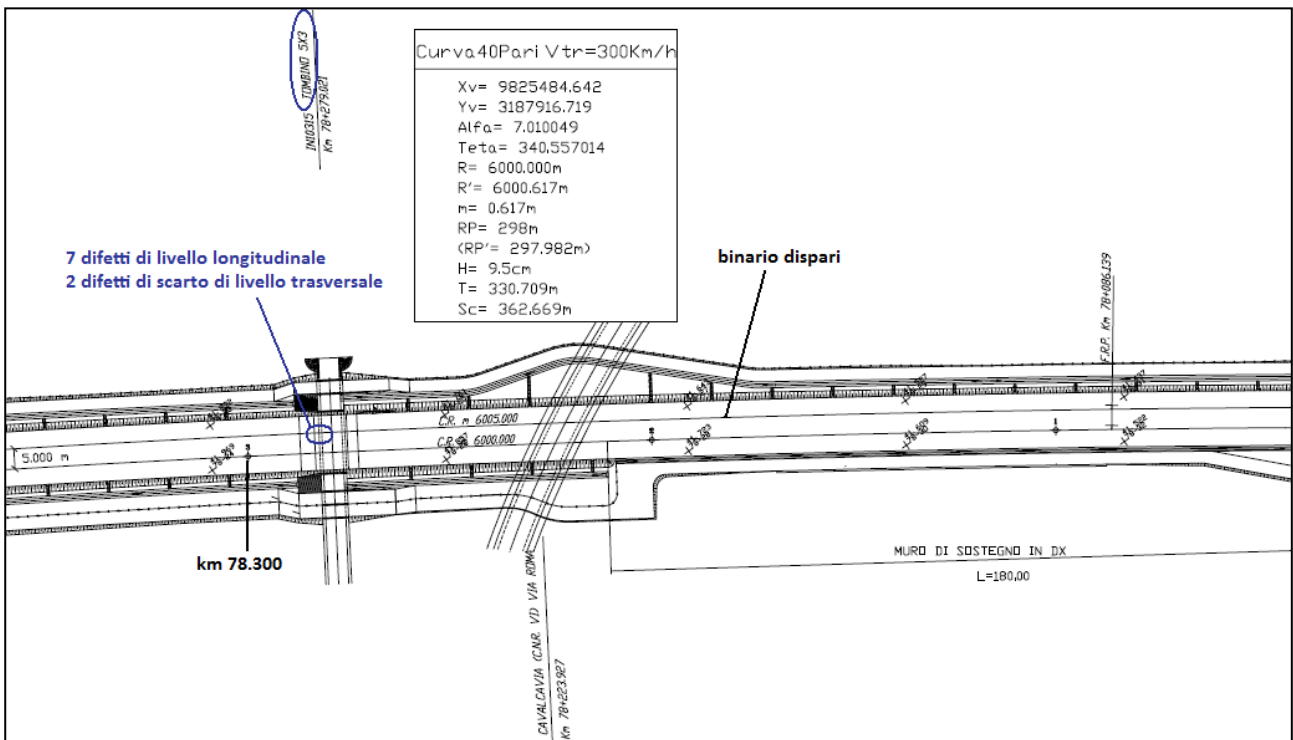


Figura 4.17: localizzazione dei difetti rilevati nella sezione 78.0-78.5 (km) per binario dispari

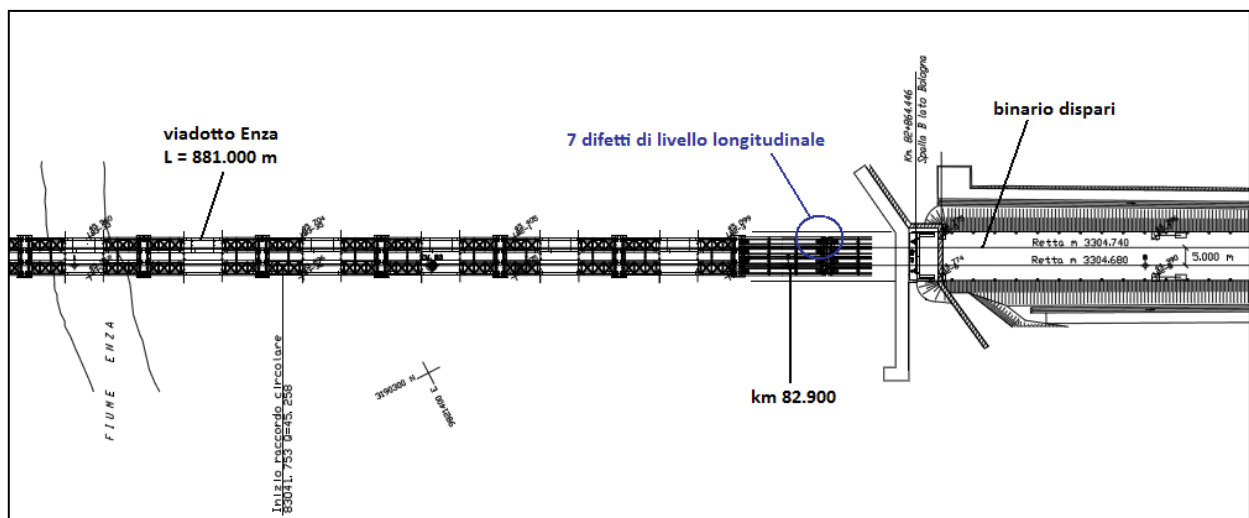


Figura 4.18: localizzazione dei difetti rilevati nella sezione 82.5-83.0 (km) per binario dispari

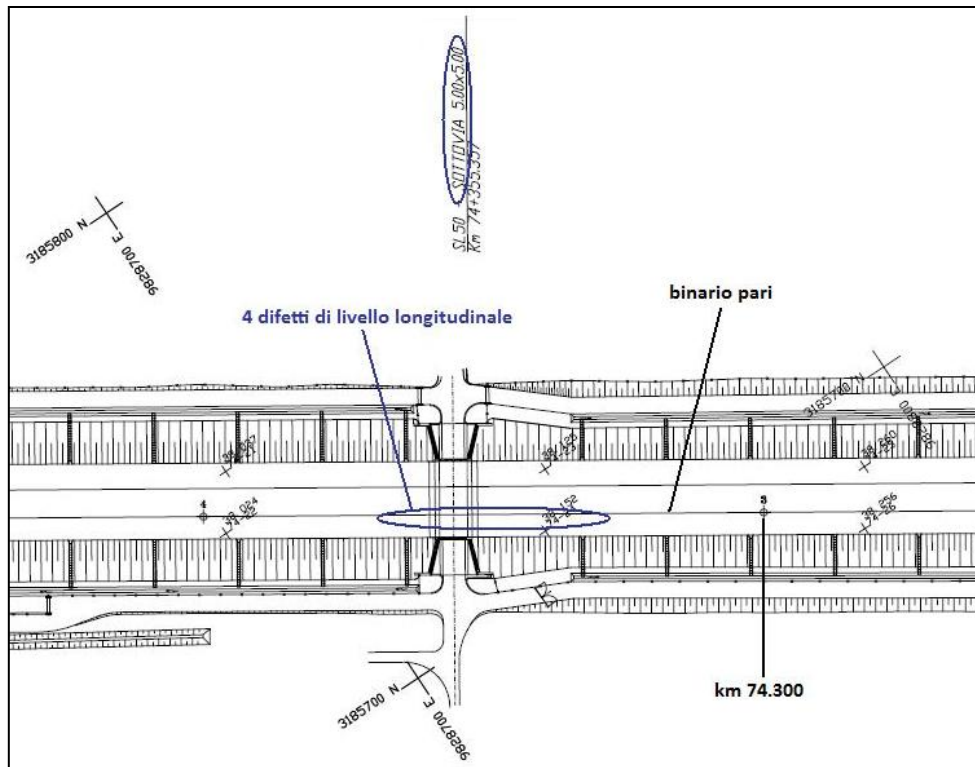


Figura 4.19: localizzazione dei difetti rilevati nella sezione 74.0-74.5 (km) per binario pari

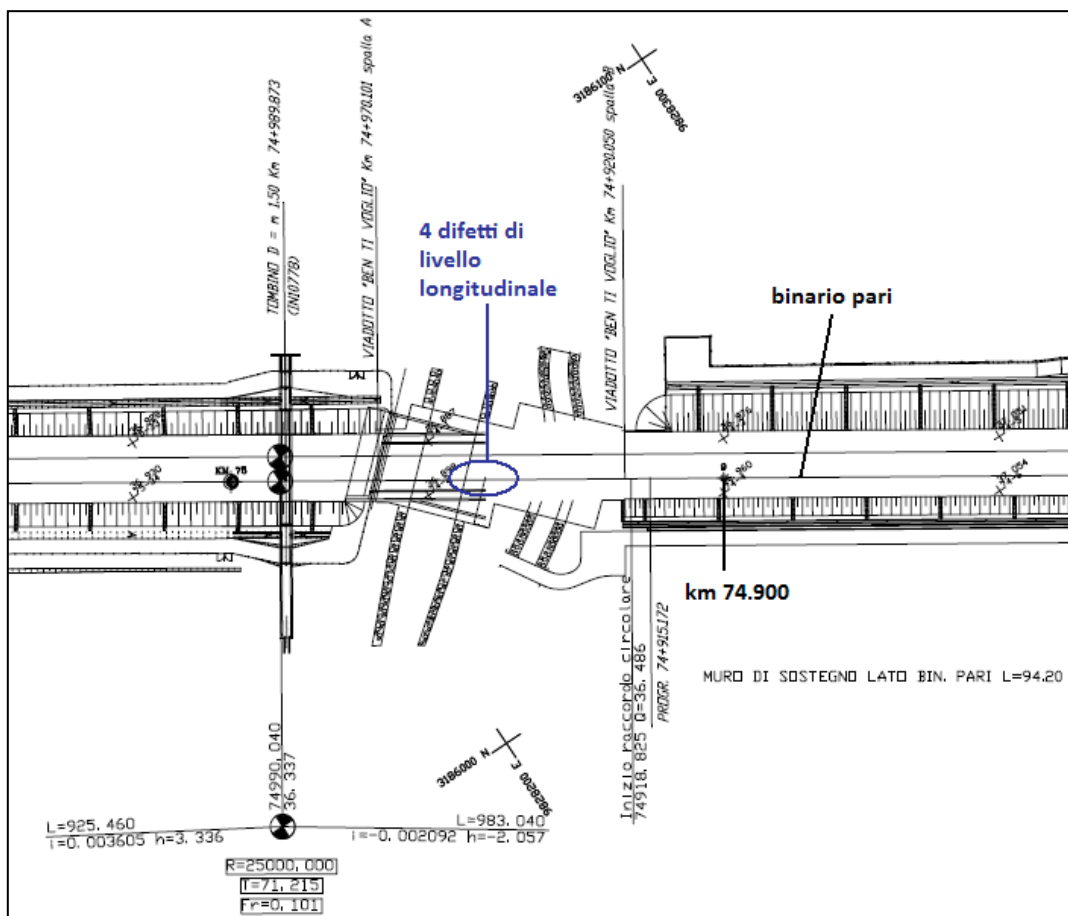


Figura 4.20: localizzazione dei difetti rilevati nella sezione 74.5-75.0 (km) per binario pari

In corrispondenza delle zone indicate nelle figure 4.17, 4.18, 4.19 e 4.20, il binario subisce degli assestamenti in quanto cambia il corpo stradale, passando da rilevato (struttura in terra) a viadotto (struttura in calcestruzzo armato o in acciaio o mista), o subisce un'interruzione, nel caso di tombini e sottovia. Pertanto, i difetti riscontrati in tali zone sono probabilmente legati alla particolarità delle posizioni e non dipendono dalla modalità di realizzazione della sovrastruttura ferroviaria. Tuttavia, non per tutte le zone analizzate i difetti si sono manifestati su entrambi i binari della linea, come di seguito illustrato.

Considerando l'intero periodo temporale analizzato, le posizioni dei difetti rilevati sul binario pari sono state confrontate con quelle dei difetti rilevati sul binario dispari, riportando all'interno di un unico grafico i valori (assoluti) massimi e le progressive chilometriche di tutti i difetti (figura 4.21).

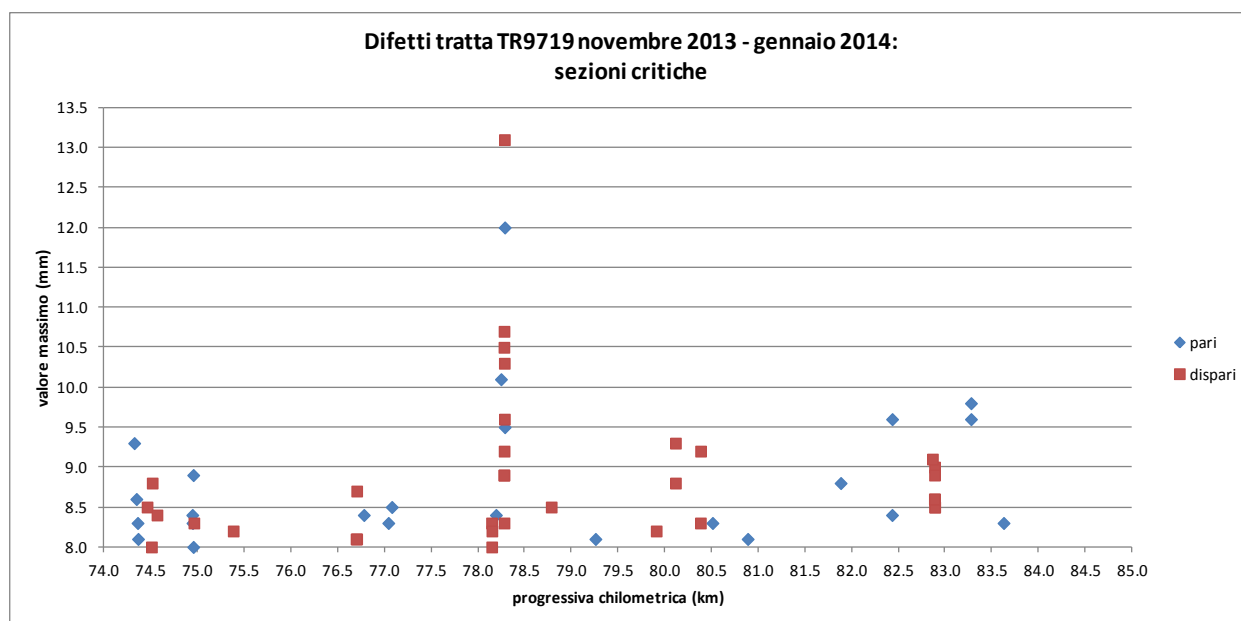


Figura 4.21: posizione dei difetti dei binari pari e dispari a confronto

Si osserva che in alcune sezioni di 500 m della tratta di linea ferroviaria analizzata non si sono verificati difetti, in nessuno dei due binari. Per le altre sezioni, non sempre si sono manifestati difetti su entrambi i binari o le quantità di difetti sul binario pari e su quello dispari sono differenti. In particolare, come indicato anche nelle tabelle 4.6 e 4.7, per le sezioni critiche precedentemente analizzate si osserva:

- tra i chilometri 74.0 e 74.5 (sezione critica del binario pari), una quantità di difetti pari a 4 su entrambi i binari;
- tra i chilometri 74.5 e 75.0 (sezione critica del binario pari), 4 difetti sul binario pari e solo uno sul binario dispari;
- tra i chilometri 78.0 e 78.5 (sezione critica per entrambi i binari), 12 difetti sul binario pari e 4 sul binario dispari;
- tra i chilometri 82.5 e 83.0 (sezione critica del binario dispari), difetti solamente sul binario dispari.

Per quanto riguarda le sezioni prive di difetti (75.0-76.0, 77.5-78, 81.0-81.5, 84.0-85.0), osservando la planimetria sono state individuate le seguenti opere d'arte: tombini di piccole dimensioni

(1.5x1.5 m, 2x2 m, 3x2 m e di diametro 1.5 m) e un ponte scatolare di dimensioni 6x5 m nella sezione tra i chilometri 75.5 e 76.0.

Oltre a esaminare le posizioni dei difetti individuati alle varie date di rilievo, sono state analizzate le loro progressive chilometriche suddividendoli per tipologia. In particolare, sono stati considerati i difetti di scarto di livello trasversale, di livello longitudinale della rotaia destra e di livello longitudinale della rotaia sinistra. I grafici delle figure 4.22 e 4.23 mostrano le posizioni e i valori (assoluti) massimi dei difetti, divisi per categorie, per il binario pari e per quello dispari. Le tabelle 4.6 e 4.7 specificano le quantità per ciascuna sezione di 500 m della tratta analizzata.

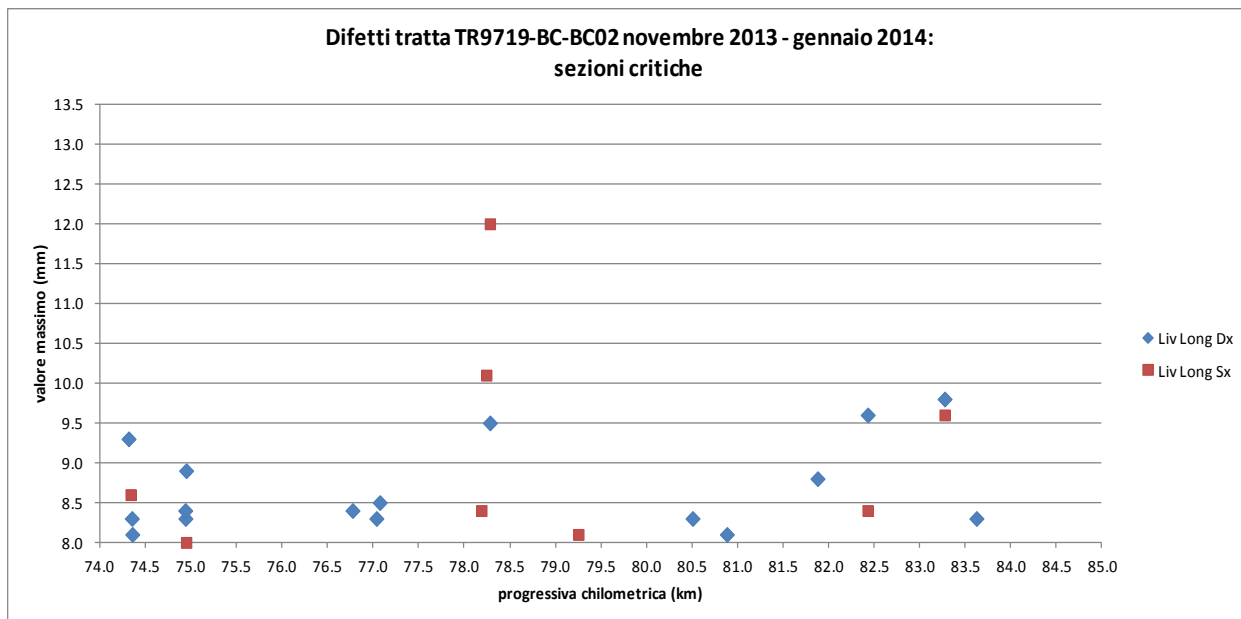


Figura 4.22: posizione dei difetti del binario pari divisi per tipologia

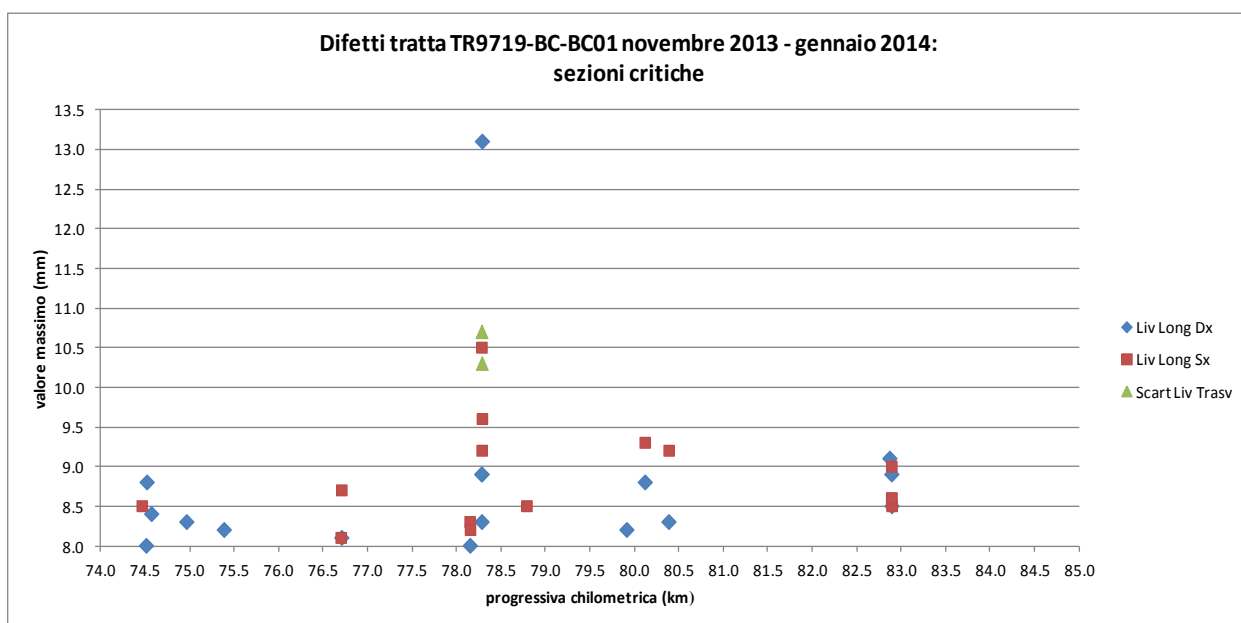


Figura 4.23: posizione dei difetti del binario dispari divisi per tipologia

Osservando il grafico di figura 4.23 si nota che i due difetti di scarto di livello trasversale, rilevati in date differenti (21 novembre 2013 e 16 gennaio 2014, come illustra il grafico di figura 4.14), si sono manifestati nella stessa posizione del binario dispari, mostrata nella figura 4.17.

Relativamente ai difetti di livello longitudinale, per entrambi i binari si osserva che in alcune posizioni si sono verificati solo difetti nella rotaia destra o solo nella rotaia sinistra. Pertanto, il comportamento sotto carico del binario non è sempre simmetrico. Inoltre, la quantità totale di difetti per le due rotaie è differente e in particolare, per entrambi i binari, sono maggiori i difetti di livello longitudinale destro, come indicato nella tabella 4.8.

	N. difetti di livello longitudinale destro	N. difetti di livello longitudinale sinistro
Binario pari	16	8
Binario dispari	17	15

Tabella 4.8: quantità di difetti di livello longitudinale destro e sinistro per binario pari e dispari

Considerando solamente i difetti rilevanti di livello longitudinale, manifestatisi due sul binario pari e due sul binario dispari, nelle date indicate dalle figure 4.10 e 4.11, sono state analizzate le progressive chilometriche per verificare l'eventuale coincidenza di posizione. In particolare, il grafico della figura 4.24 rappresenta i valori (assoluti) massimi dei difetti e i rispettivi chilometri, separatamente per il binario pari e per quello dispari. Nel dettaglio, le date di rilievo, i valori, le posizioni e le tipologie di difetti sono indicati nella tabella 4.9.

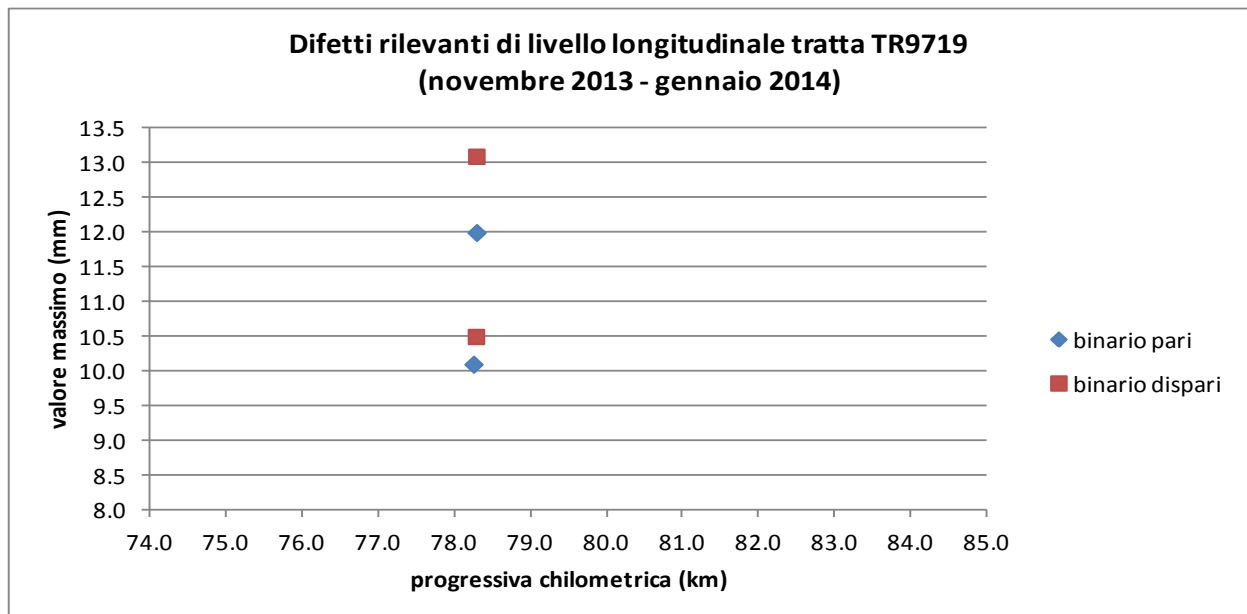


Figura 4.24: posizione dei difetti rilevanti per binario pari e dispari

Dal grafico della figura 4.24 si osserva la coincidenza della posizione dei difetti rilevanti di livello longitudinale, sia all'interno dello stesso binario, che al variare del binario: in date differenti, i difetti del binario pari e quelli del binario dispari sono stati individuati circa allo stesso chilometro.

	Binario dispari		Binario pari	
	7 novembre 2013	16 gennaio 2014	19 novembre 2013	3 dicembre 2013
Valore massimo (mm)	10.5	13.1	10.1	12.0
Km massimo	78.279	78.284	78.247	78.287
Tipologia difetto	Livello longitudinale (D1) sinistro	Livello longitudinale (D1) destro	Livello longitudinale (D1) sinistro	Livello longitudinale (D1) sinistro

Tabella 4.9: difetti rilevanti di livello longitudinale D1

Le posizioni dei difetti rilevanti sono in prossimità del tombino mostrato nella figura 4.17, in corrispondenza del quale si sono verificati altri difetti di livello longitudinale in intervento, per entrambi i binari, e di scarto di livello trasversale per il binario dispari (posizione critica).

Per quanto riguarda i difetti di scartamento in media mobile, le quantità di difetti rilevati in ciascuna sezione di 500 m della tratta analizzata, per l'intero periodo temporale studiato, sono indicate nelle tabelle 4.10 e 4.11, relative al binario pari e al binario dispari. L'unico difetto di scartamento puntuale si è verificato nel binario dispari nella sezione compresa fra i chilometri 84.0 e 84.5 (valore massimo pari a 1432 mm, al chilometro 84.248).

Sezione	N. Difetti
74.0 - 74.5	0
74.5 - 75.0	0
75.0 - 75.5	1
75.5 - 76.0	2
76.0 - 76.5	0
76.5 - 77.0	0
77.0 - 77.5	0
77.5 - 78.0	0
78.0 - 78.5	0
78.5 - 79.0	0
79.0 - 79.5	0
79.5 - 80.0	6
80.0 - 80.5	3
80.5 - 81.0	0
81.0 - 81.5	0
81.5 - 82.0	1
82.0 - 82.5	0
82.5 - 83.0	0
83.0 - 83.5	0
83.5 - 84.0	0
84.0 - 84.5	0
84.5 - 85.0	0

Tabella 4.10: quantità di difetti di scartamento in ciascuna sezione di 500 m del binario pari

Sezione	N. Difetti
74.0 - 74.5	0
74.5 - 75.0	0
75.0 - 75.5	0
75.5 - 76.0	2
76.0 - 76.5	0
76.5 - 77.0	0
77.0 - 77.5	0
77.5 - 78.0	1
78.0 - 78.5	0
78.5 - 79.0	2
79.0 - 79.5	1
79.5 - 80.0	0
80.0 - 80.5	0
80.5 - 81.0	0
81.0 - 81.5	0
81.5 - 82.0	0
82.0 - 82.5	0
82.5 - 83.0	1
83.0 - 83.5	2
83.5 - 84.0	1
84.0 - 84.5	3
84.5 - 85.0	0

Tabella 4.11: quantità di difetti di scartamento in ciascuna sezione di 500 m del binario dispari

Le posizioni dei difetti sono mostrate nel grafico della figura 4.25, il quale rappresenta, suddividendoli per binario, i valori massimi dei difetti e le rispettive progressive chilometriche.

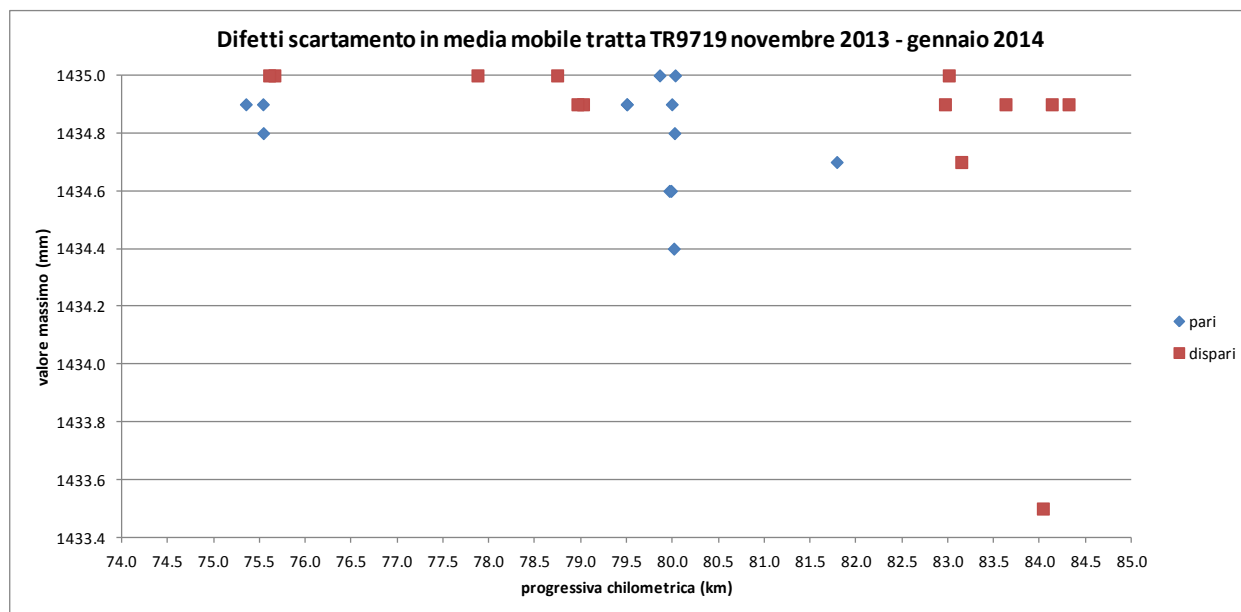


Figura 4.25: posizione dei difetti di scartamento in media mobile dei binari pari e dispari

Dall'osservazione del grafico di figura 4.25 si nota che i difetti del binario pari e del binario dispari si sono manifestati in posizioni differenti della linea ferroviaria, nell'arco del periodo temporale analizzato. Inoltre, sul binario dispari i difetti hanno perlopiù differenti progressive chilometriche, mentre per il binario pari si osserva una concentrazione di difetti intorno al chilometro 80.0. Infatti, in tale zona nel grafico è presente una verticale di punti, le cui posizioni, ricercate nella planimetria della linea ferroviaria, corrispondono a un tratto di tracciato curvilineo.

Osservando le tabelle 4.10 e 4.11 si deduce che le sezioni critiche, cioè quelle contenenti il maggior numero di difetti di scartamento in media mobile, sono quelle comprese fra i chilometri:

- 79.5 – 80.0 del binario pari, nella quale non si sono verificati difetti di livello longitudinale;
- 80.0 – 80.5 del binario pari, nella quale non si sono verificati difetti di livello longitudinale;
- 84.0 – 84.5 del binario dispari, nella quale non si sono verificati difetti di livello longitudinale.

Pertanto, non si riscontra una relazione fra i difetti di scartamento in media mobile e i difetti di livello longitudinale in intervento e rilevanti, individuati nel periodo d'analisi.

Nei grafici seguenti si rappresentano i difetti di scartamento, rilevati alle varie date, separatamente per il binario pari (figura 4.26) e per quello dispari (figura 4.27).

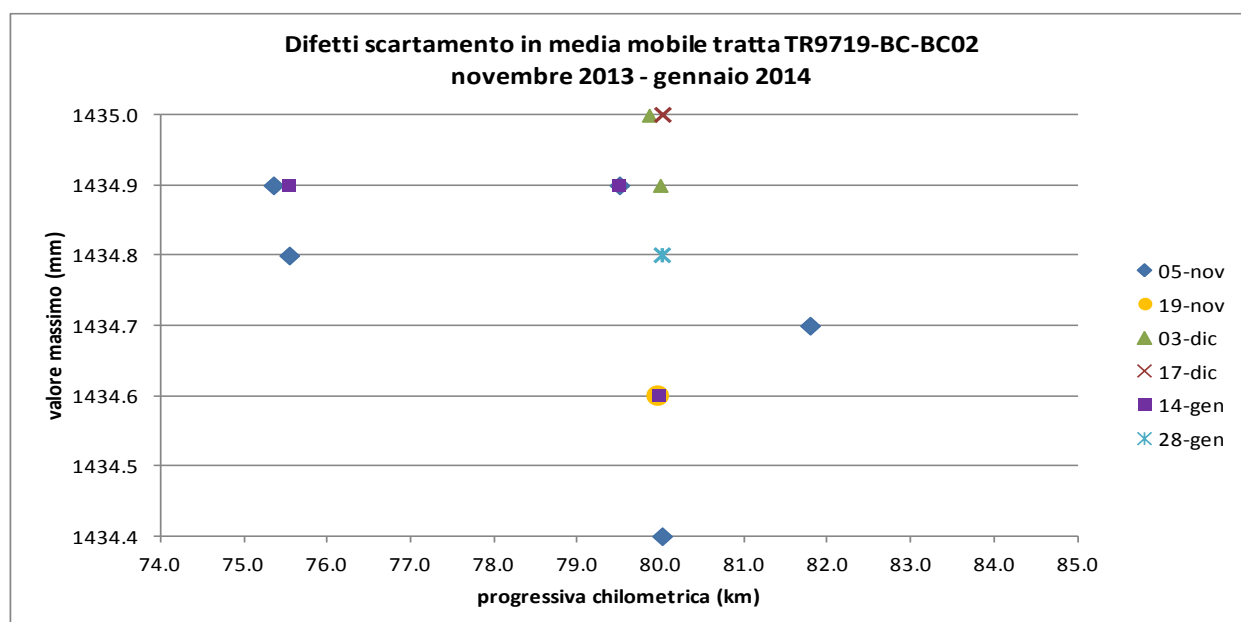


Figura 4.26: posizione dei difetti di scartamento in media mobile del binario pari

Dall'osservazione del grafico della figura 4.26 si nota una tendenza dei difetti a rimanifestarsi nelle stesse posizioni, e in particolare:

- intorno al chilometro 80.0, per tutte le date di rilievo;
- intorno ai chilometri 75.5 e 79.5, per le date del 5 novembre 2013 e del 14 gennaio 2014.

Nel primo caso si parla di nuovi difetti che si rimanifestano e non di vecchi difetti non ancora corretti (il tempo limite d'intervento è pari a 6 mesi) in quanto, in date successive, i valori si avvicinano a 1435 mm. Un difetto che non è stato corretto tende ad aumentare e non a diminuire, pertanto un vecchio difetto di scartamento stretto dovrebbe allontanarsi ulteriormente dal valore nominale di scartamento.

Nel secondo caso i difetti che si ripresentano nelle stesse posizioni sono nuovi in quanto individuati in date distanti fra loro.

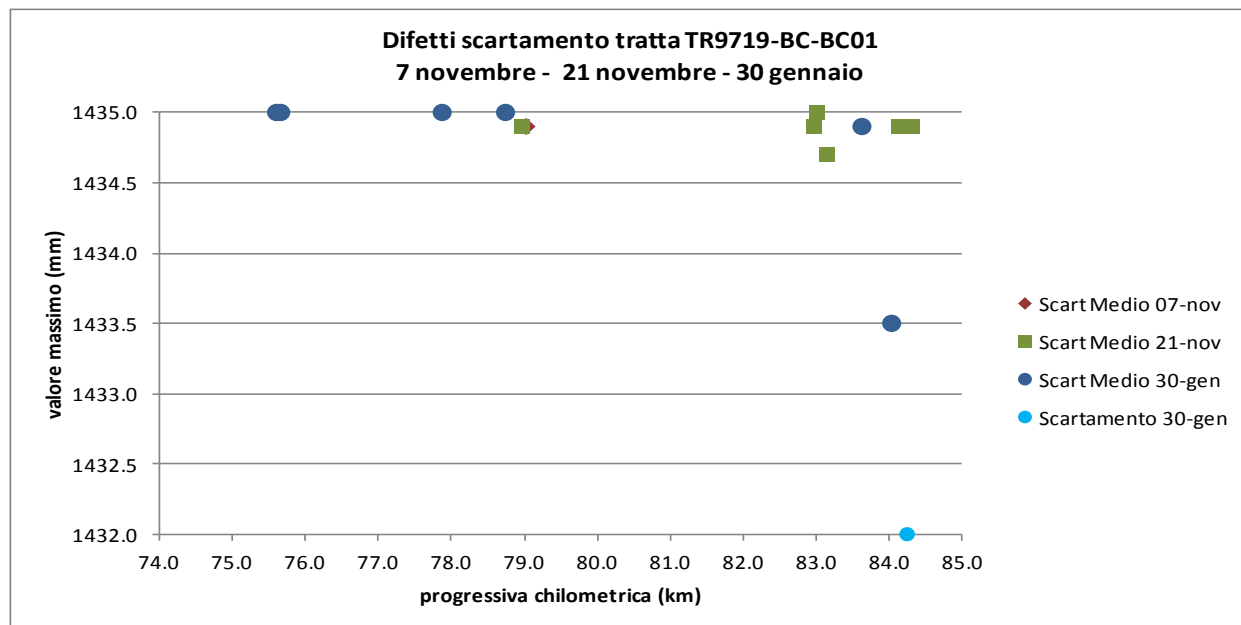


Figura 4.27: posizione dei difetti di scartamento in media mobile e puntuale del binario dispari

Per quanto riguarda il binario dispari (figura 4.17), i difetti di scartamento sono stati rilevati solamente in tre date del periodo temporale analizzato. In particolare dal 21 novembre 2013, i nuovi difetti si sono manifestati il 30 gennaio 2014, perlopiù in posizioni del binario differenti. In quest'ultima data di rilievo sono stati individuati un difetto di scartamento in media mobile rilevante, in aggiunta ad altri in intervento, di valore massimo 1433.5 mm, e un difetto di scartamento puntuale in intervento, di valore massimo 1432 mm

Considerando le singole date in cui sono stati eseguiti i rilievi, si osservano difetti ravvicinati intorno ai chilometri:

- 75.5, per la data del 30 gennaio 2014;
- 83.0 e 84.5, per la data del 21 novembre 2013.

Nel paragrafo 3.6 sono state descritte quattro schede d'intervento, da applicare sulle linee AV/AC, per la correzione dei difetti di livello longitudinale, allineamento, livello trasversale e sghembo. In particolare, l'utilizzo dell'una o dell'altra scheda manutentiva dipende dalla tipologia dei difetti, dall'estesa dei singoli difetti e dalla distanza fra i vari difetti, come riassunto nella tabella 3.2.

In relazione all'analisi condotta nel presente paragrafo, la scheda manutentiva numero 4 non è applicata per correggere i difetti di geometria rilevati dal treno diagnostico, in quanto:

- non sono stati individuati difetti d'onda lunga;
- non sono stati individuati difetti di livello longitudinale d'onda corta estesi o ravvicinati, insistenti su un tratto maggiore di 360 m.

Analizzando le singole date di rilievo del periodo analizzato, per il binario pari e per quello dispari, sono state individuate le estese e le posizioni dei vari difetti, valutando le distanze reciproche, in modo da indicare la scheda manutentiva da applicare.

In tale fase sono anche stati valutati:

- il numero di difetti di livello longitudinale della rotaia destra e della rotaia sinistra a ogni data;
- il numero di volte in cui c'è stata una coincidenza di posizione per i difetti di livello longitudinale della rotaia destra e della rotaia sinistra;
- il numero di difetti nuovi e vecchi (già presenti nella data precedente di rilievo) a ogni data, considerando nuovi i difetti individuati con il primo rilievo del periodo temporale studiato;
- le distanze tra i difetti di livello e quelli di scartamento a ogni data, in modo da verificare la mancanza di una relazione fra le due tipologie di difetti, già individuata confrontando le sezioni critiche.

Considerando dapprima il binario pari, si riportano di seguito i risultati e le osservazioni relativi alle varie date di rilievo.

In seguito al rilievo del *5 novembre 2013* sono stati individuati 2 difetti di livello longitudinale sinistro in intervento, per i quali i valori, le progressive chilometriche e le estese sono indicati nella tabella 4.12.

Rotaia	Valore Max (mm)	Km Max	Estesa (m)	Estesa \geq 6 m
Sinistra	8.6	74.344	8.0	SI
Sinistra	8.1	79.258	3.0	NO

Tabella 4.12: difetti di livello longitudinale rilevati il 5 novembre 2013

I due difetti sono isolati in quanto la loro distanza è pari a 4.9 km, tuttavia uno di essi ha estesa maggiore di 6 m. Pertanto, con riferimento alla tabella 3.2, le schede manutentive da applicare per la correzione sono la 3 e la 1 (rispettivamente per i difetti al chilometro 74.344 e 79.258).

Le posizioni dei 5 difetti di scartamento in media mobile individuati in tale data sono differenti da quelle dei difetti di livello longitudinale: i più vicini difetti delle due tipologie distano 245 m.

In seguito al rilievo del *19 novembre 2013* sono stati individuati 2 difetti di livello longitudinale destro, uno in intervento e l'altro rilevante, e un difetto di livello longitudinale sinistro in intervento. I valori, le progressive chilometriche e le estese sono indicati dalla tabella 4.13.

Rotaia	Valore Max (mm)	Km Max	Estesa (m)	Estesa \geq 6 m
Destra	9.3	74.321	3.5	NO
Destra	8.3	77.041	3.0	NO
Sinistra	10.1	78.247	3.0	NO

Tabella 4.13: difetti di livello longitudinale rilevati il 19 novembre 2013

Le distanze tra i difetti sono superiori al chilometro e le estese sono tutte inferiori a 6 m, pertanto si tratta di difetti corti e isolati, eliminabili applicando la scheda 1. Tutti e tre i difetti sono nuovi: nella data precedente non sono stati rilevati difetti nella rotaia destra e quelli della rotaia sinistra erano in diverse posizioni. Si osserva, però, che un difetto di livello longitudinale destro si è manifestato

nella stessa posizione di un difetto di livello longitudinale sinistro rilevato il 5 novembre (distanza pari a 23 m). Le posizioni dei difetti individuati con le due corse di verifica di novembre sono rappresentate nel grafico della figura 4.28.

Il difetto di scartamento in media mobile rilevato in tale data non coincide e non è vicino a nessuno dei tre difetti di livello: esso si verifica al chilometro 80.0.

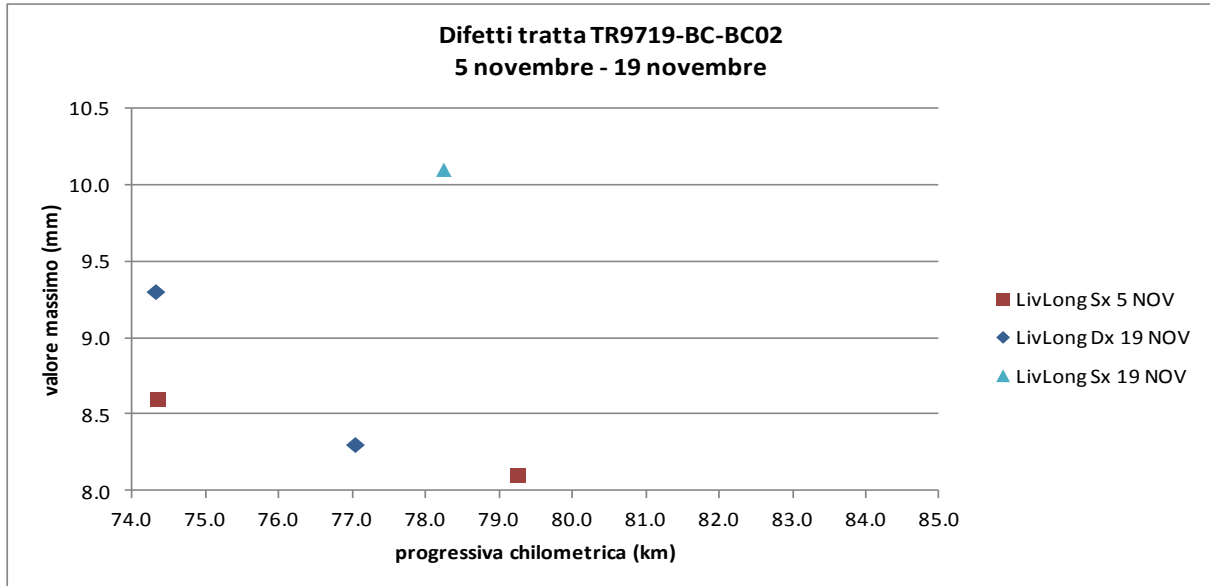


Figura 4.28: posizione dei difetti di livello rilevati il 5 novembre e il 19 novembre

In seguito al rilievo del 3 dicembre 2013 sono stati individuati 3 difetti di livello longitudinale destro in intervento e 2 difetti di livello longitudinale sinistro, uno rilevante e l'altro in intervento. I valori, le progressive chilometriche e le estese sono indicati nella tabella 4.14.

Rotaia	Valore Max (mm)	Km Max	Estesa (m)	Estesa \geq 6 m
Destra	8.3	74.357	8.0	SI
Destra	8.3	74.945	3.5	NO
Destra	9.5	78.287	4.0	NO
Sinistra	8.4	78.193	3.5	NO
Sinistra	12.0	78.287	9.0	SI

Tabella 4.14: difetti di livello longitudinale rilevati il 3 dicembre 2013

Dall'osservazione della tabella 4.14 e del grafico della figura 4.29, nel quale sono rappresentati i valori e le posizioni dei difetti, si nota che i due difetti di livello longitudinale sinistro sono ravvicinati (distanza pari a 94 m) e che in un caso si ha la coincidenza delle posizioni dei difetti destro e sinistro (chilometro 78.287).

Le schede manutentive da applicare per l'eliminazione sono la 1, per la correzione del difetto al chilometro 74.945 (corto e isolato), e la 3, per la correzione dei difetti ai chilometri 74.357 (difetto esteso), 78.193 e 78.287 (difetti sinistro e destro ravvicinati). Per il difetto rilevante esteso la scheda da utilizzare è la 2.

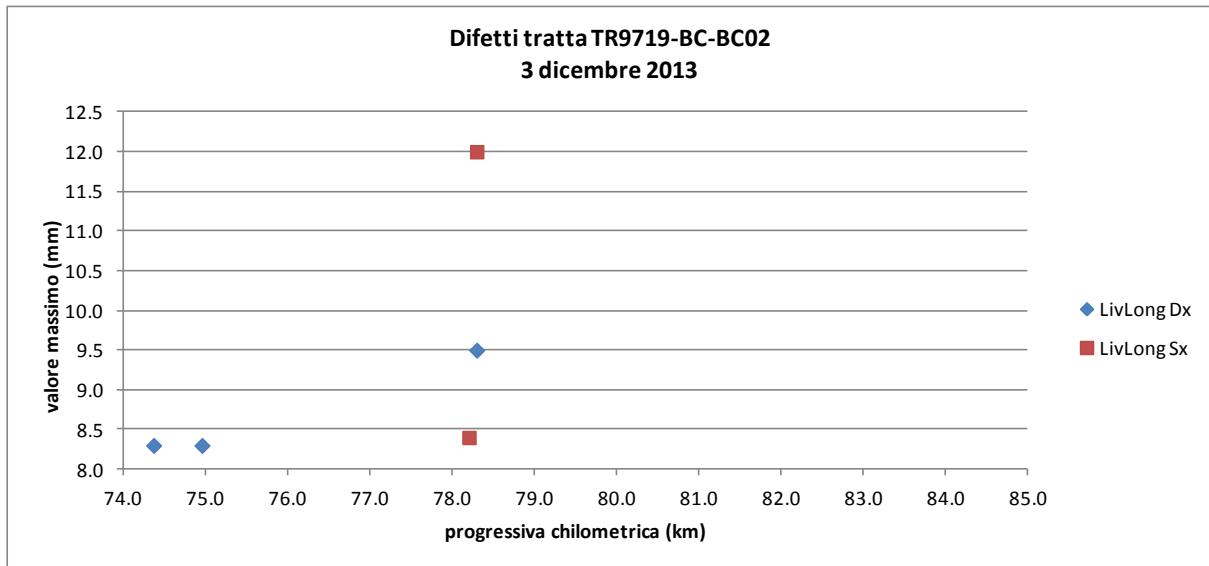


Figura 4.29: posizione dei difetti di livello rilevati il 3 dicembre 2013

I 2 difetti di scartamento in media mobile rilevati in tale data si sono manifestati vicino al chilometro 80.0, pertanto anche in tale caso non c'è coincidenza con le posizioni dei difetti di livello longitudinale.

Confrontando i rilievi di questa data e quelli della data precedente, si osserva che:

- nelle vicinanze del difetto di livello longitudinale sinistro del 19 novembre si sono manifestati due nuovi difetti, uno in intervento e uno rilevante, sempre nella rotaia sinistra (distanze pari a 40 m e 54 m);
- un difetto di livello longitudinale destro si verifica circa nella stessa posizione (distanza fra i valori massimi pari a 36 m).

Quest'ultimo, può tuttavia essere un difetto vecchio, per il quale è calato il valore massimo in quanto è aumentata l'estesa.

I grafici delle figure 4.30 e 4.32 mostrano, per la rotaia destra e sinistra, le posizioni dei difetti rilevati nelle date successive.

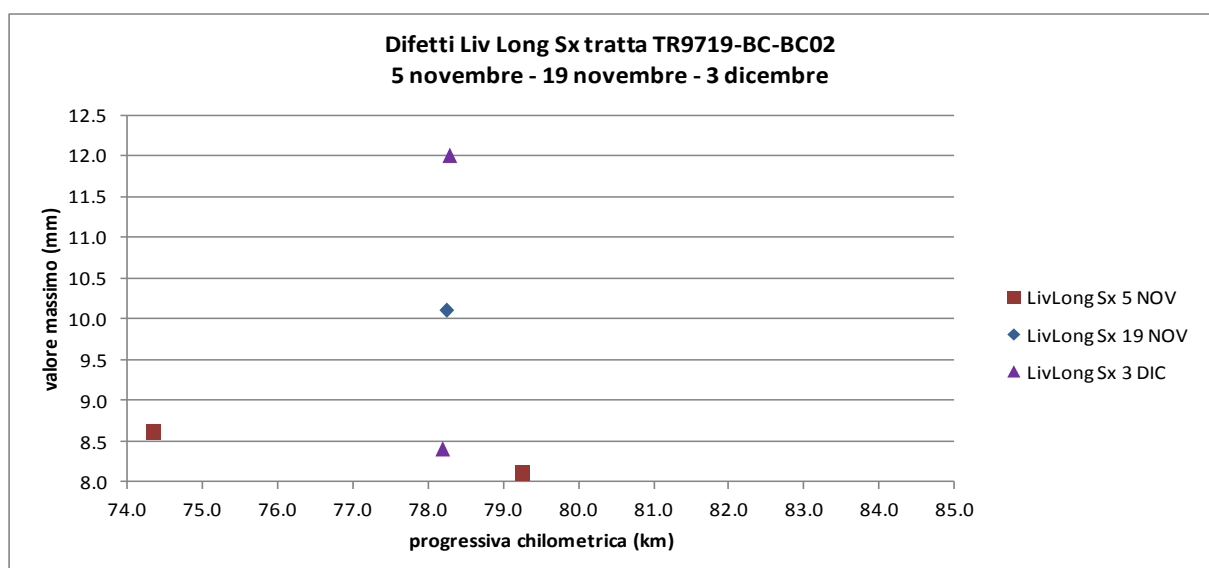


Figura 4.30: posizione dei difetti di livello longitudinale sinistro rilevati il 5 novembre , il 19 novembre e il 3 dicembre

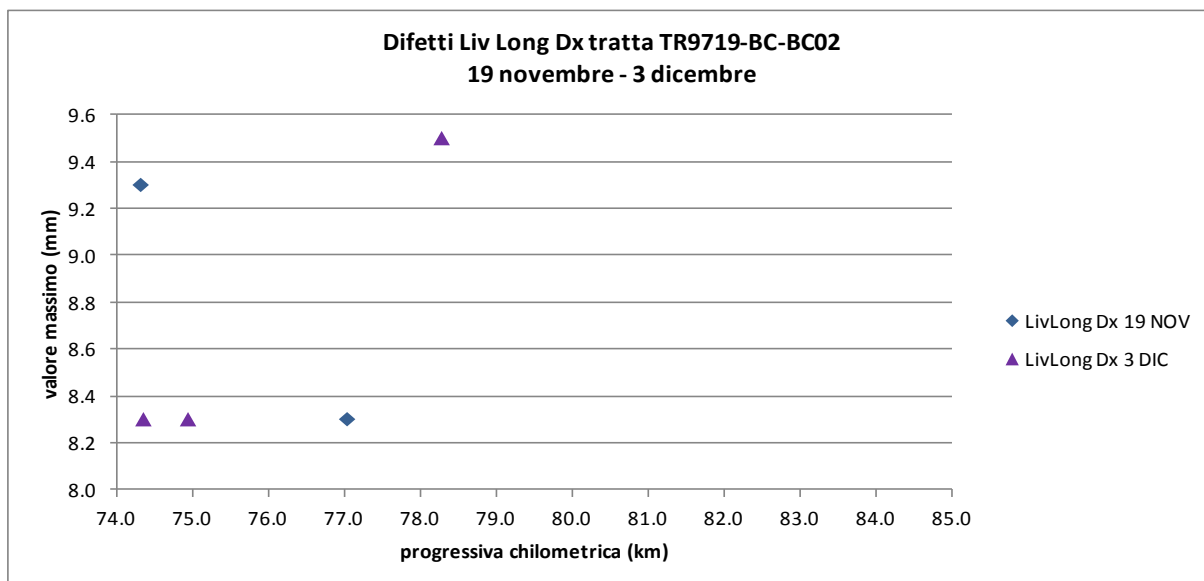


Figura 4.31: posizione dei difetti di livello longitudinale destro rilevati il 19 novembre e il 3 dicembre

In seguito al rilievo del *17 dicembre 2013* sono stati individuati 2 difetti di livello longitudinale destro in intervento, per i quali i valori, le progressive chilometriche e le estese sono indicati nella tabella 4.15.

Rotaia	Valore Max (mm)	Km Max	Estesa (m)	Estesa ≥ 6 m
Destra	8.1	74.362	7.5	SI
Destra	8.4	74.943	3.5	NO

Tabella 4.15: difetti di livello longitudinale rilevati il 17 dicembre 2013

I due difetti sono isolati in quanto la loro distanza è pari a 581 m, tuttavia uno di essi ha estesa maggiore di 6 m. Pertanto, le schede manutentive da applicare per la correzione sono la 3 e la 1 (rispettivamente per i difetti al chilometro 74.362 e 74.943).

Anche in tale data il difetto di scartamento in media mobile rilevato si è manifestato vicino al chilometro 80.0, pertanto non c'è coincidenza con le posizioni dei difetti di livello longitudinale.

Le posizioni dei difetti individuati in tale data coincidono con quelle di due dei difetti di livello longitudinale destro rilevati nella data precedente (distanze pari a 5 m e 2 m), pertanto può trattarsi di vecchi difetti non ancora corretti. In particolare, è probabile che il difetto rilevato al chilometro 74.943 fosse già presente e sia aumentato, in quanto il suo valore massimo è cresciuto rispetto al 3 dicembre, mentre il difetto al chilometro 74.362 ha valore massimo ed estesa inferiori rispetto al 3 dicembre. In quest'ultimo caso si tratta, pertanto, di un nuovo difetto, manifestatosi nella stessa posizione.

In seguito al rilievo del *14 gennaio 2014* sono stati individuati 4 difetti di livello longitudinale destro e 2 difetti di livello longitudinale sinistro, tutti in intervento, per i quali i valori, le progressive chilometriche e le estese sono indicati nella tabella 4.16.

Rotaia	Valore Max (mm)	Km Max	Estesa (m)	Estesa \geq 6 m
Destra	8.9	74.953	3.5	NO
Destra	8.5	77.078	4.0	NO
Destra	8.3	80.511	4.0	NO
Destra	9.6	82.434	4.0	NO
Sinistra	8.0	74.953	4.0	NO
Sinistra	8.4	82.433	3.5	NO

Tabella 4.16: difetti di livello longitudinale rilevati il 14 gennaio 2014

Si osserva che tutti i difetti hanno estesa minore di 6 m e che le distanze fra difetti sulla stessa rotaia sono maggiori di un chilometro. In corrispondenza dei due difetti di livello longitudinale sinistro si verificano anche difetti sulla rotaia destra. Le posizioni dei difetti sono rappresentate nel grafico della figura 4.32.

La scheda manutentiva da applicare è la numero 1, in quanto i difetti individuati in tale data sono corti e isolati. Con uno stesso intervento correttivo si eliminano i difetti presenti sulle rotaie destra e sinistra, aventi la stessa progressiva chilometrica.

Le posizioni dei 3 difetti di scartamento in media mobile individuati in tale data sono differenti da quelle dei difetti di livello longitudinale: i difetti più vicini delle due tipologie distano 527 m.

I difetti di livello longitudinale sinistro rilevati in tale data sono nuovi in quanto alla data precedente erano presenti solo difetti nella rotaia destra. Confrontando le loro posizioni con quelle dei rilievi di novembre e del 3 dicembre si osserva che si sono manifestati in differenti posizioni del binario (figura 4.33). Per quanto riguarda, invece, i difetti di livello longitudinale destro, si sono verificati in differenti posizioni rispetto a quelli del rilievo del 17 dicembre (e sono quindi difetti nuovi), ma si osserva la coincidenza di posizione con alcuni dei difetti individuati nelle date precedenti, in particolare nelle vicinanze dei chilometri 75.0 e 77.0 (figura 4.34).

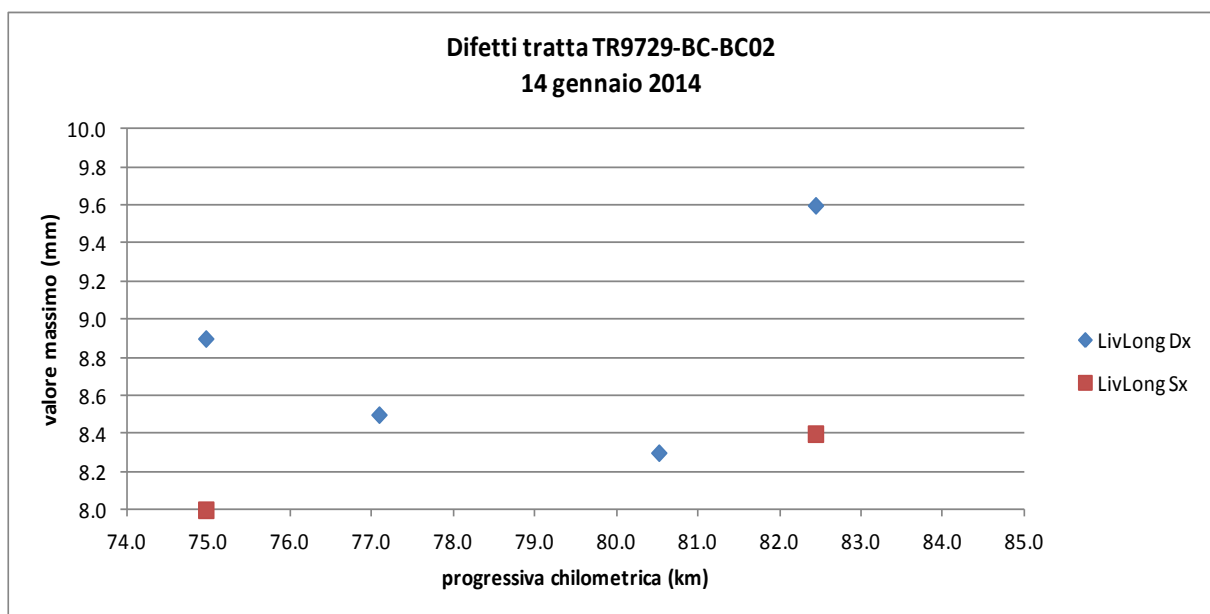


Figura 4.32: posizione dei difetti di livello longitudinale rilevati il 14 gennaio 2014

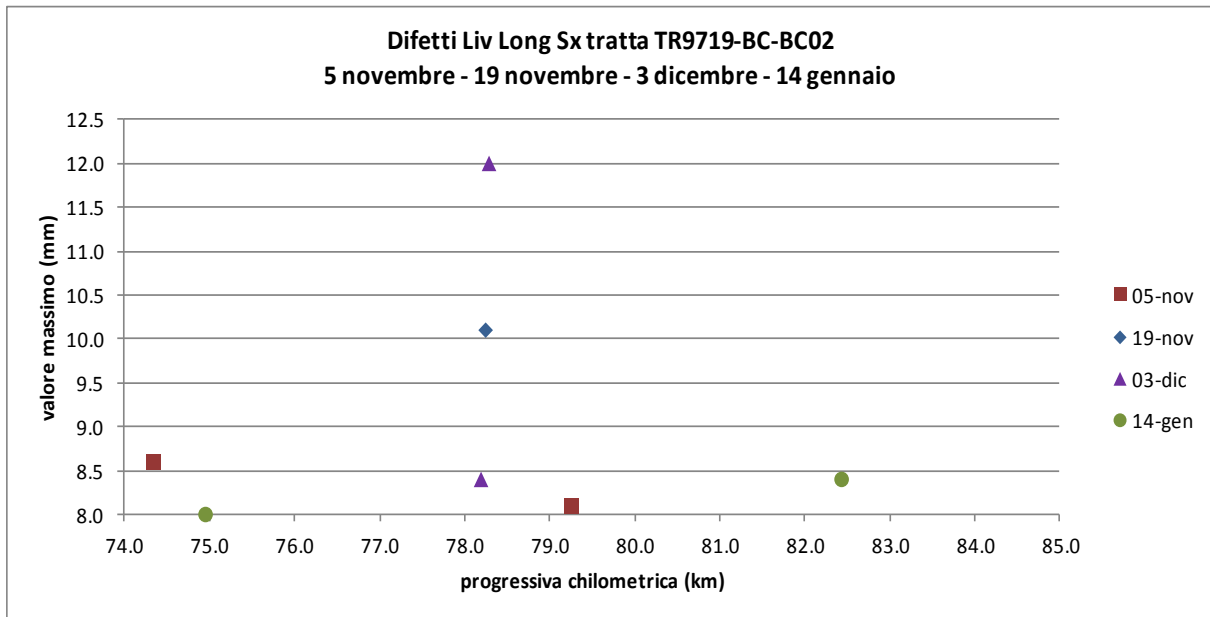


Figura 4.33: posizione dei difetti di livello longitudinale sinistro rilevati il 5 e 19 novembre, il 3 dicembre e il 14 gennaio

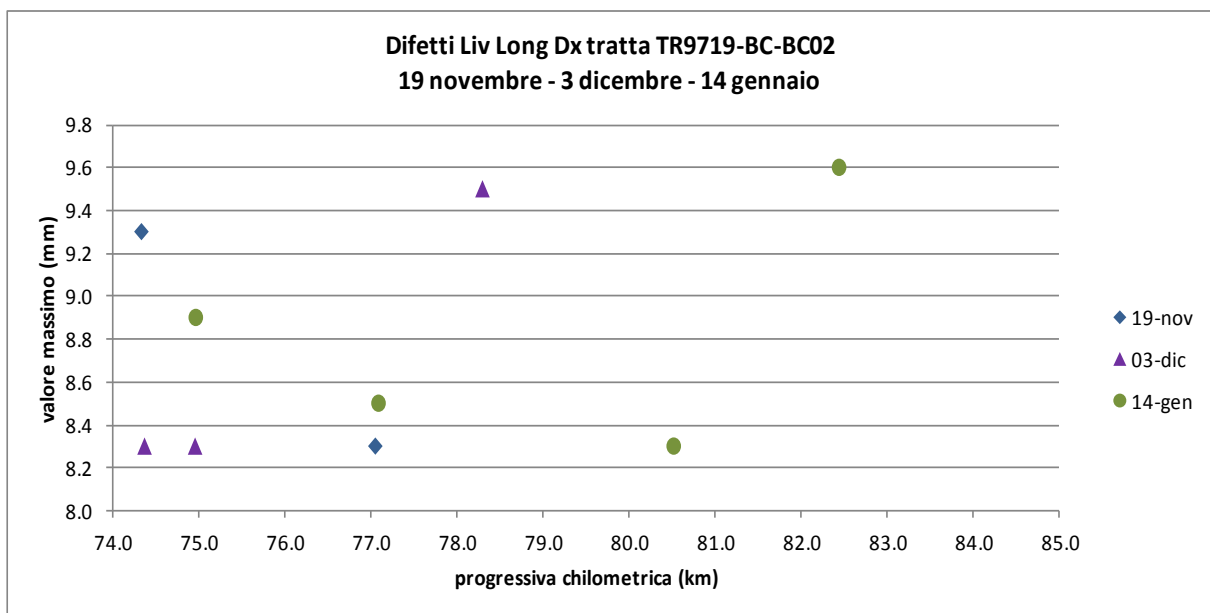


Figura 4.34: posizione dei difetti di livello longitudinale destro rilevati il 19 novembre, il 3 dicembre e il 14 gennaio

In seguito al rilievo del *28 gennaio 2014* sono stati individuati 5 difetti di livello longitudinale destro e un difetto di livello longitudinale sinistro, tutti in intervento, per i quali i valori, le progressive chilometriche e le estese sono indicati nella tabella 4.17.

Rotaia	Valore Max (mm)	Km Max	Estesa (m)	Estesa \geq 6 m
Destra	8.4	76.779	2.5	NO
Destra	8.1	80.888	23.0	SI
Destra	8.8	81.883	18.5	SI
Destra	9.8	83.278	3.5	NO
Destra	8.3	83.627	3.0	NO
Sinistra	9.6	83.278	3.5	NO

Tabella 4.17: difetti di livello longitudinale rilevati il 28 gennaio 2014

La distanza minima fra i difetti di livello longitudinale rilevati in tale data è pari a 349 m, pertanto nessun difetto è ravvicinato, ma due di essi hanno estese maggiori di 6 m. Le schede manutentive da applicare sono, quindi, la 1 e la 3, quest'ultima per i difetti estesi.

Il difetto di livello longitudinale sinistro si verifica alla stessa progressiva chilometrica di uno dei difetti di livello della rotaia destra (chilometro 83.278).

Tutti i difetti rilevati in tale data sono nuovi, in quanto le posizioni sono differenti da quelle dei difetti verificatisi nella data precedente. Osservando i grafici delle figure 4.35 e 4.36, nelle quali si confrontano i difetti individuati sulla rotaia destra e su quella sinistra nell'arco dell'intero periodo temporale analizzato, si nota che le posizioni dei difetti individuati in tale data sono differenti dalle posizioni dei difetti rilevati alle precedenti date del periodo temporale analizzato.

La posizione del difetto di scartamento in media mobile rilevato in tale data non coincide con le posizioni dei difetti di livello: il difetto di scartamento dista 866 m dal più vicino difetto di livello.

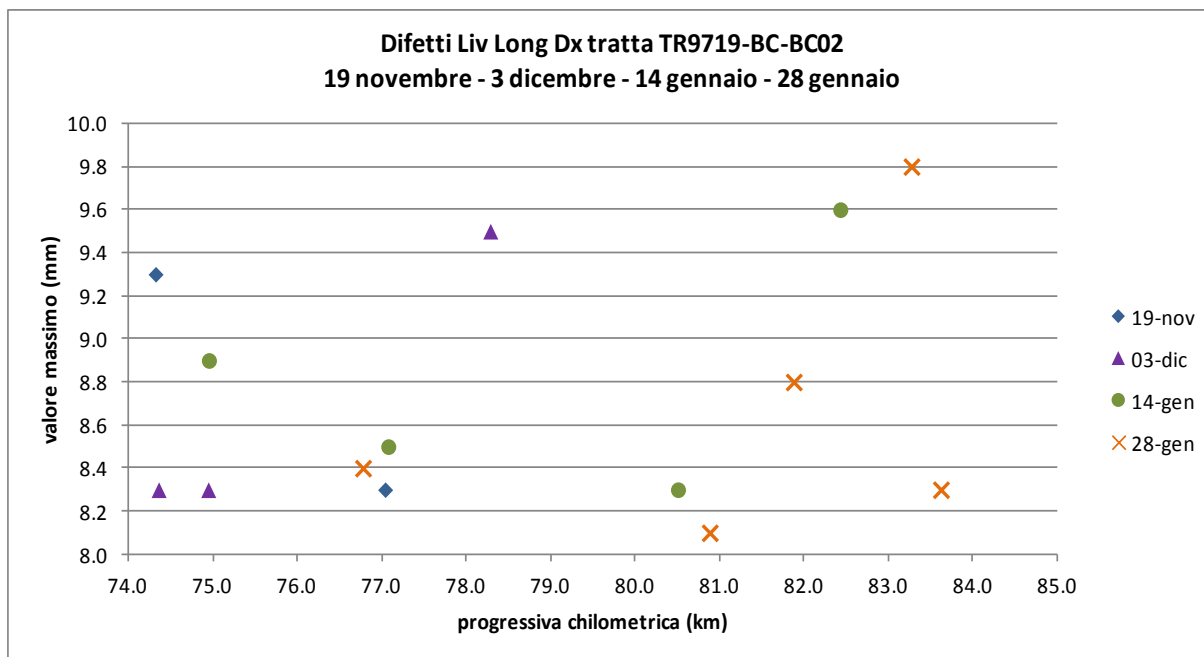


Figura 4.35: posizione dei difetti di livello longitudinale destro rilevati il 19 novembre, il 3 dicembre, il 14 gennaio e il 28 gennaio

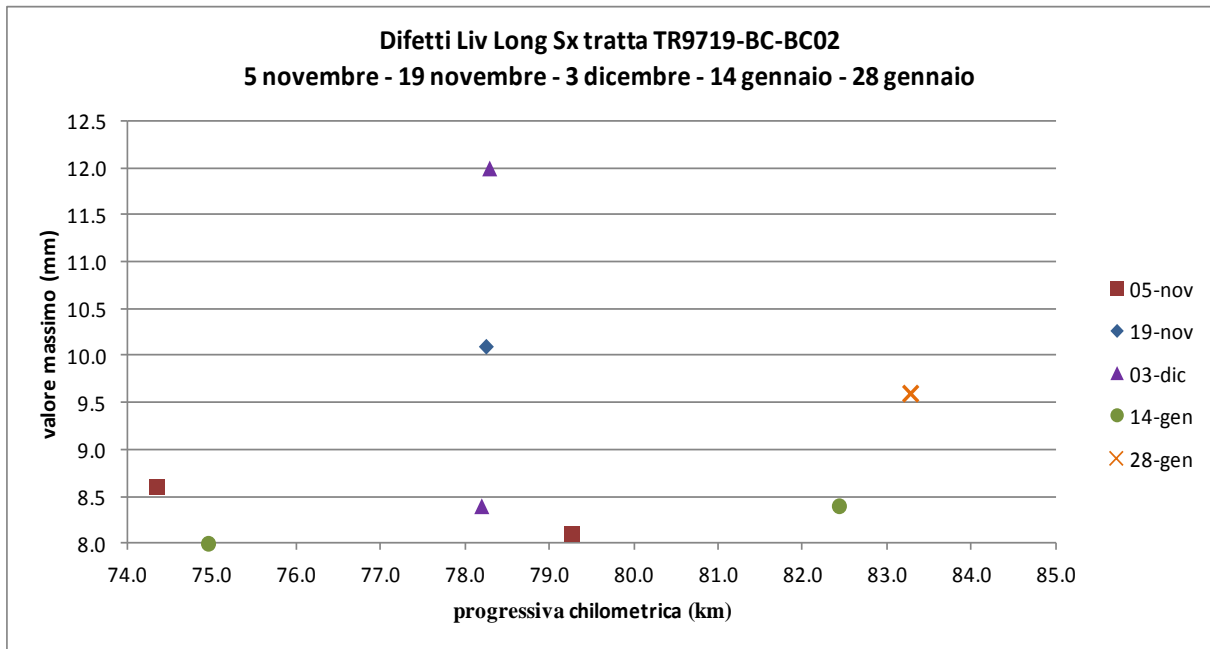


Figura 4.36: posizione dei difetti di livello longitudinale sinistro rilevati il 5 e 19 novembre, il 3 dicembre, il 14 gennaio e il 28 gennaio

Complessivamente, per il binario pari, ad ogni data del periodo temporale studiato, è stata verificata la lontananza tra i difetti di livello longitudinale e quelli di scartamento in media mobile.

Dall'analisi è emerso inoltre che, su un totale di 8 difetti di livello longitudinale sinistro e 16 di livello longitudinale destro, soltanto in quattro casi si sono verificati, alla stessa progressiva chilometrica e nella stessa data, difetti sia sulla rotaia destra che su quella sinistra.

I difetti rilevati con le varie corse di verifica sono risultati essere quasi tutti nuovi, pertanto, in seguito ad ogni rilievo, sono state eseguite le opportune correzioni. Le posizioni dei difetti in date successive sono perlopiù differenti, pertanto i difetti tendono a non rimanifestarsi nel breve tempo dopo l'intervento manutentivo.

Si considera ora il binario dispari, riportando di seguito i risultati e le osservazioni relativi alle varie date di rilievo.

In seguito al rilievo del 7 novembre 2013 sono stati individuati 3 difetti di livello longitudinale destro in intervento e 4 difetti di livello longitudinale sinistro, uno rilevante e gli altri in intervento. I valori, le progressive chilometriche e le estese sono indicati nella tabella 4.18.

Le distanze tra i difetti della stessa tipologia sono tutte superiori al chilometro ad eccezione di una tra due difetti sinistri, la quale è pari a 133 m. Per quanto indicato nelle schede manutentive descritte nel paragrafo 3.6, i difetti sono considerati ravvicinati solo se la distanza è inferiore a 100 m, pertanto nella data analizzata i difetti rilevati sono isolati. Osservando la tabella 4.18 si nota che le estese dei difetti sono tutte minori di 6 m. Si deduce, quindi che la scheda manutentiva da applicare per l'eliminazione dei difetti è la 1.

Rotaia	Valore Max (mm)	Km Max	Estesa (m)	Estesa ≥ 6 m
Destra	8.0	74.506	3.0	NO
Destra	8.8	80.115	2.5	NO
Destra	8.5	82.890	2.5	NO
Sinistra	8.3	78.146	3.0	NO
Sinistra	10.5	78.279	4.0	NO
Sinistra	9.3	80.115	2.5	NO
Sinistra	8.5	82.890	2.5	NO

Tabella 4.18: difetti di livello longitudinale rilevati il 7 novembre 2013

In due casi si ha la coincidenza di posizione tra i difetti nella rotaia destra e quelli nella rotaia sinistra, come si può osservare dal grafico della figura 4.37, il quale rappresenta i valori (assoluti) massimi e le progressive chilometriche dei difetti rilevati. I difetti destri e sinistri aventi la stessa posizione sono eliminati mediante un unico intervento manutentivo.

Il difetto di scartamento in media mobile rilevato in tale data si è manifestato vicino al chilometro 79.0, pertanto non c'è coincidenza con le posizioni dei difetti di livello longitudinale.

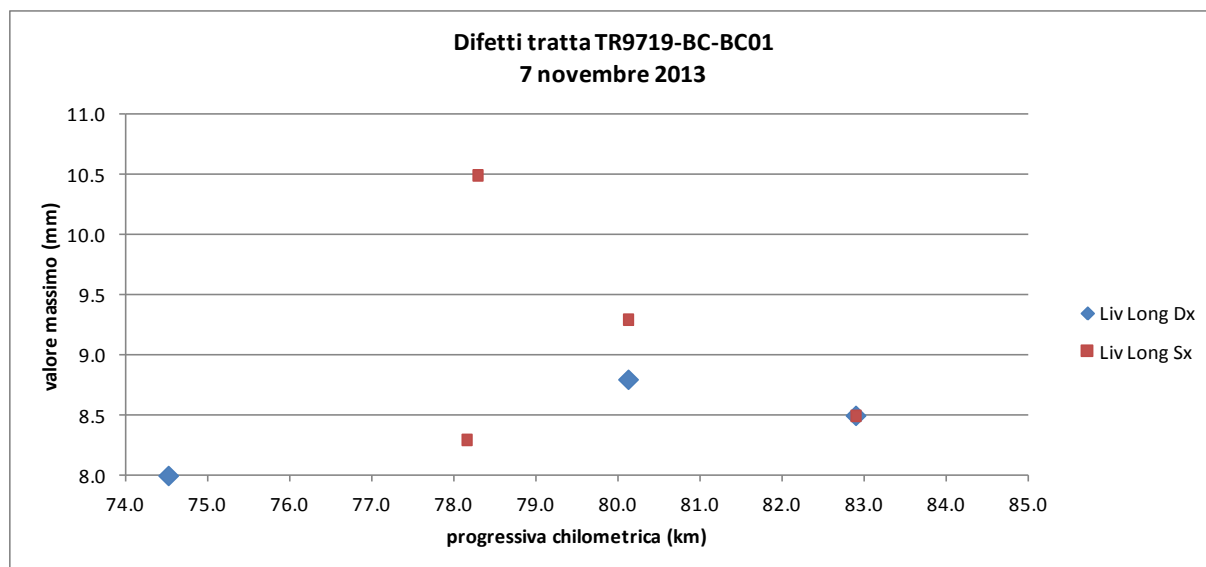


Figura 4.37: posizione dei difetti di livello longitudinale rilevati il 7 novembre 2013

In seguito al rilievo del 21 novembre 2013 sono stati individuati 2 difetti di livello longitudinale sinistro in intervento e 2 difetti di scarto di livello trasversale in intervento, per i quali i valori, le progressive chilometriche e le estese sono indicati nella tabella 4.19.

Tipologia difetto	Valore Max (mm)	Km Max	Estesa (m)	Estesa \geq 6 m
Liv Long Sx	9.2	78.281	14.0	SI
Liv Long Sx	9.0	82.888	3.0	NO
Scart Liv Trasv	10.7	78.280	2.0	NO

Tabella 4.19: difetti rilevati il 21 novembre 2013

I due difetti di livello longitudinale sono isolati, mentre il difetto di scarto di livello trasversale si verifica nella stessa posizione di uno dei due difetti di livello. Le schede manutentive da applicare per la correzione sono la 1 e la 3, in quanto un difetto è esteso.

I due difetti di livello longitudinale sinistro rilevati in tale data si sono verificati nelle stesse posizioni di due dei difetti sinistri individuati il 7 novembre. Si tratta di nuovi difetti rimanifestatisi alle stesse progressive chilometriche in quanto:

- al chilometro 78.279, in data 7 novembre, era presente un difetto rilevante che è stato sicuramente corretto (tempo d'intervento pari a 48 ore);
- al chilometro 89.890, in data 7 novembre, erano presenti difetti di livello su entrambe le rotaie e poiché nella data analizzata non sono stati rilevati difetti destri, il difetto di livello longitudinale destro è stato corretto e con esso anche quello sinistro nella stessa posizione.

Le posizioni dei difetti di livello longitudinale sinistro rilevati in data 7 novembre e 21 novembre sono rappresentate nel grafico della figura 4.38.

Per quanto riguarda i difetti di scartamento in media mobile, in tale data ne sono stati rilevati 6 e soltanto uno si è verificato nelle vicinanze del difetto di livello longitudinale sinistro rilevato al chilometro 82.888 (la distanza tra le posizioni dei valori massimi dei due difetti è pari a 81 m).

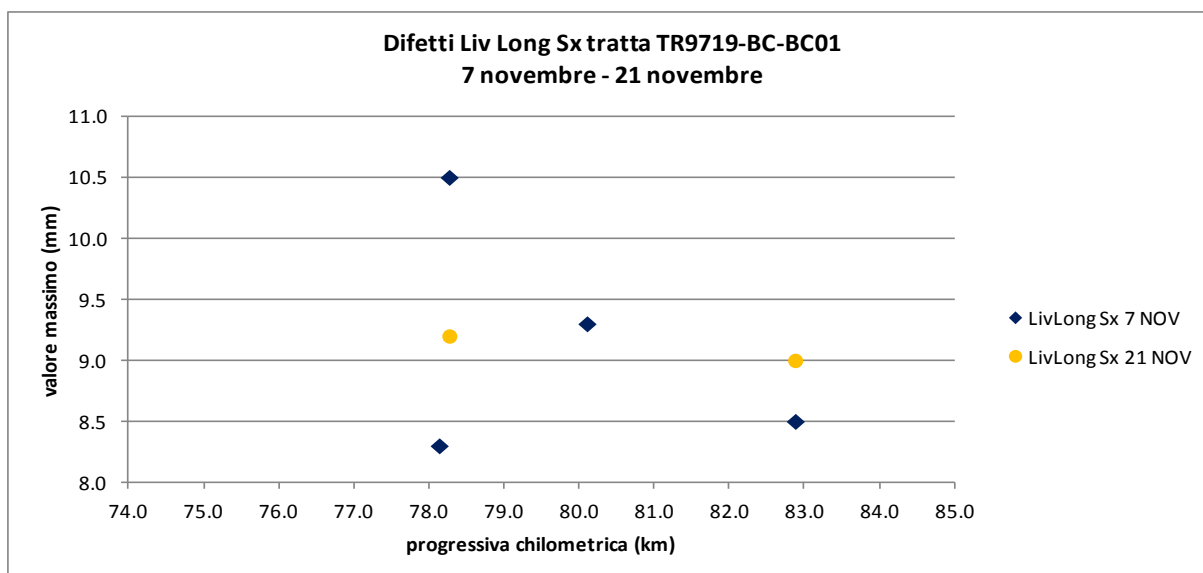


Figura 4.38: posizione dei difetti di livello longitudinale sinistro rilevati il 7 novembre e il 21 novembre

In seguito al rilievo del 5 dicembre 2013 sono stati individuati 4 difetti di livello longitudinale destro e 2 difetti di livello longitudinale sinistro, tutti in intervento e per i quali i valori, le progressive chilometriche e le estese sono indicati nella tabella 4.20.

Rotaia	Valore Max (mm)	Km Max	Estesa (m)	Estesa \geq 6 m
Destra	8.1	76.703	4.0	NO
Destra	8.0	78.148	4.0	NO
Destra	8.3	78.280	14.5	SI
Destra	8.9	82.888	3.5	NO
Sinistra	8.7	76.703	4.0	NO
Sinistra	8.6	82.888	3.5	NO

Tabella 4.20: difetti di livello longitudinale rilevati il 5 dicembre 2013

Le distanze tra i difetti della stessa tipologia sono tutte superiori al chilometro ad eccezione di una fra due difetti destri, la quale è pari a 132 m. Come già detto in precedenza, i difetti sono da considerare isolati e la scheda manutentiva da applicare è la 1, tranne che per il difetto esteso al chilometro 78.280, eliminabile con la 3.

In due casi si ha la coincidenza di posizione tra i difetti nella rotaia destra e quelli nella rotaia sinistra, come si può osservare dal grafico della figura 4.39, il quale rappresenta i valori (assoluti) massimi e le progressive chilometriche dei difetti rilevati. I difetti destri e sinistri aventi la stessa posizione sono eliminati mediante un unico intervento manutentivo.

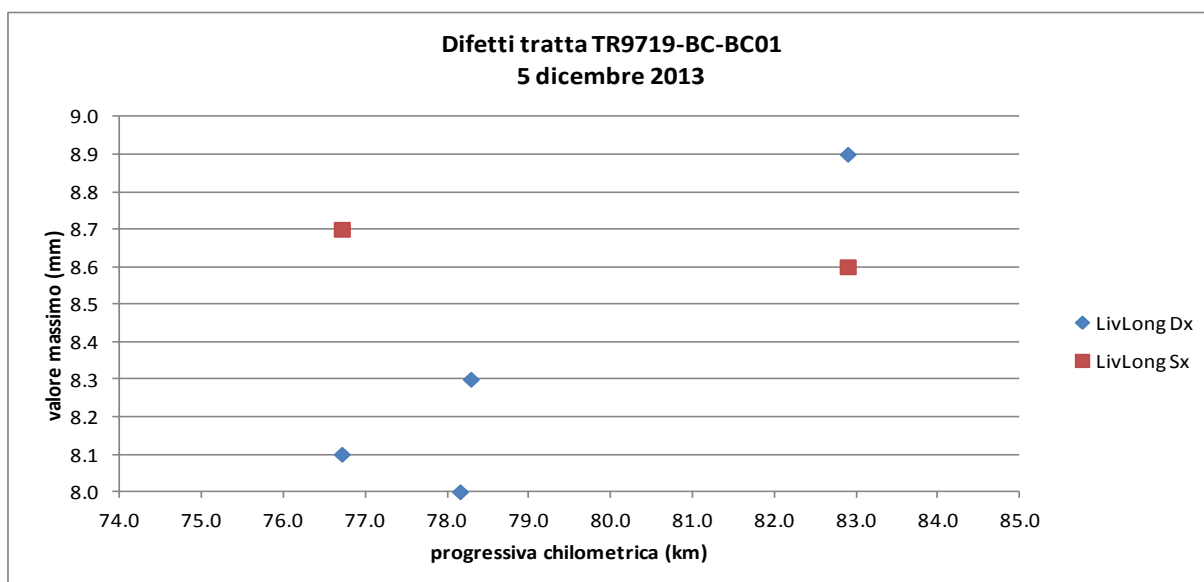


Figura 4.39: posizione dei difetti di livello longitudinale rilevati il 5 dicembre 2013

I difetti di livello longitudinale destro rilevati in tale data sono nuovi in quanto nella precedente data erano presenti soltanto difetti di livello sulla rotaia sinistra. Invece, per i difetti di livello longitudinale sinistro, uno si manifesta in una nuova posizione del binario, mentre l'altro si verifica esattamente alla stessa progressiva chilometrica di uno dei difetti sinistri rilevati nella data

precedente: può trattarsi di un vecchio difetto per il quale è calato il valore massimo in quanto è aumentata l'estesa (vedi tabelle 4.19 e 4.20).

Confrontando le posizioni dei difetti rilevati in tale data sulla rotaia destra, con quelle dei difetti destri individuati il 7 novembre (figura 4.40), si osserva che solo in un caso i difetti si sono manifestati nella stessa posizione.

In tale data non sono stati individuati difetti di scartamento in media mobile in intervento.

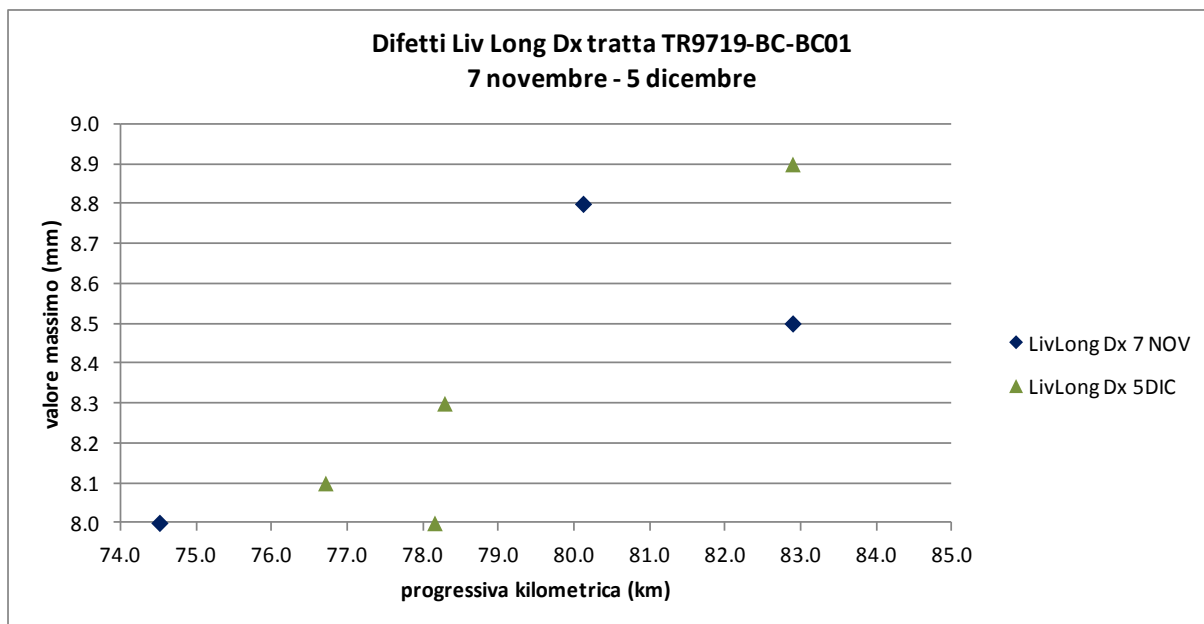


Figura 4.40: posizione dei difetti di livello longitudinale destro rilevati il 7 novembre e il 5 dicembre

In seguito al rilievo del 19 dicembre 2013 sono stati individuati 2 difetti di livello longitudinale destro e 2 difetti di livello longitudinale sinistro, tutti in intervento e per i quali i valori, le progressive chilometriche e le estese sono indicati nella tabella 4.21.

Rotaia	Valore Max (mm)	Km Max	Estesa (m)	Estesa \geq 6 m
Destra	8.9	78.278	19.0	SI
Destra	9.1	82.886	3.5	NO
Sinistra	8.1	76.696	4.0	NO
Sinistra	8.6	82.886	3.5	NO

Tabella 4.21: difetti di livello longitudinale rilevati il 19 dicembre 2013

Osservando le tabelle 4.20 e 4.21, si nota che tre dei difetti indicati in tabella 4.21 sono vecchi difetti, già presenti alla precedente data di rilievo, e nel dettaglio quelli ai chilometri 78.278 (rotaia destra) e 82.866 (rotaia destra e sinistra). In particolare, il difetto di livello longitudinale sinistro, rilevato al chilometro 82.886, è rimasto invariato rispetto alla data del 5 dicembre, in termini di valore massimo ed estesa. Per i difetti di livello longitudinale destro, rispetto alla data precedente, sono aumentati i valori massimi, mentre l'estesa è rimasta invariata in un caso (difetto al chilometro 82.886) ed è aumentata nell'altro (difetto al chilometro 78.278).

Il restante difetto di livello longitudinale sinistro rilevato in tale data (chilometro 76.696) si manifesta circa nella stessa posizione di un difetto sinistro individuato il 5 dicembre (distanza pari a 7 m), ma esso è un nuovo difetto in quanto nel tempo il valore è diminuito, pur restando invariata l'estesa (vedi tabelle 4.20 e 4.21).

Le schede manutentive da applicare per la correzione dei difetti rilevati sono la 1 e la 3, in quanto i difetti sono isolati e uno di essi è esteso.

Anche in tale data non sono stati individuati difetti di scartamento in media mobile in intervento.

In seguito al rilievo del *16 gennaio 2014* sono stati individuati 4 difetti di livello longitudinale destro, uno rilevante e gli altri in intervento, 2 difetti di livello longitudinale sinistro in intervento e un difetto di scarto di livello trasversale in intervento. I valori, le posizioni e le estese sono indicati nella tabella 4.22.

Tipologia difetto	Valore Max (mm)	Km Max	Estesa (m)	Estesa \geq 6 m
Liv Long Dx	8.4	74.565	3.0	NO
Liv Long Dx	8.9	78.279	3.5	NO
Liv Long Dx	13.1	78.284	5.0	NO
Liv Long Dx	8.3	80.382	2.5	NO
Liv Long Sx	8.5	74.459	3.5	NO
Liv Long Sx	9.6	78.284	3.5	NO
Scart Liv Trasv	10.3	78.283	4.0	NO

Tabella 4.22: difetti rilevati il 16 gennaio 2014

I difetti di livello longitudinale rilevati in tale data ai chilometri 74.565 e 80.382 per la rotaia destra, 74.459 e 78.284 per la rotaia sinistra, sono difetti nuovi in quanto manifestatisi in differenti posizioni del binario rispetto alla data precedente. I due restanti difetti di livello longitudinale destro, uno in intervento e uno rilevante, individuati intorno al chilometro 78.280, si sono verificati nella stessa posizione del difetto di livello longitudinale destro rilevato nella data precedente. Tali due difetti sono ravvicinati: la distanza fra i loro valori massimi è pari a 5 m.

Il difetto di scarto di livello trasversale è nuovo, ma si verifica nella stessa posizione del difetto della stessa tipologia rilevato in data 21 novembre 2013.

Le posizioni dei difetti rilevati in tale data sono rappresentate nel grafico della figura 4.41.

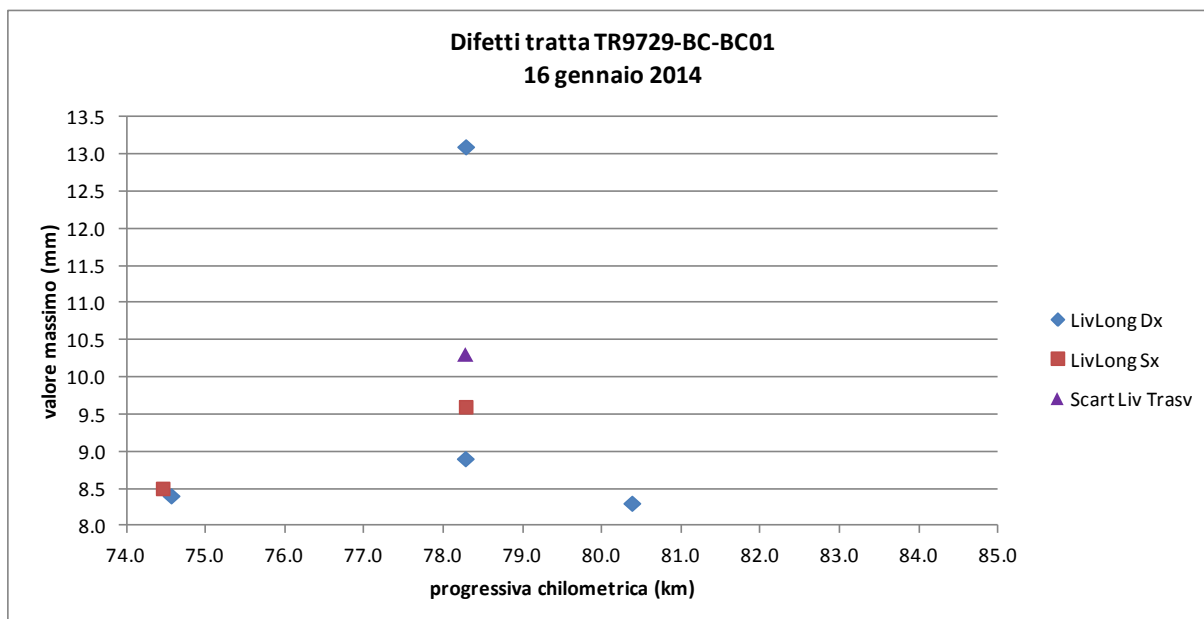


Figura 4.40: posizione dei difetti rilevati il 16 gennaio 2014

La scheda manutentiva da applicare è la 1, in quanto i difetti non sono estesi e sono isolati, ad eccezioni di quelli che si verificano intorno al chilometro 78.280, eliminabili con un unico intervento.

Solo in un caso i difetti di livello longitudinale destro e sinistro si sono verificati alla stessa progressiva chilometrica (78.284): la distanza tra i due difetti destro e sinistro individuati intorno al chilometro 74.5 è pari a 106 m.

In tale data non sono stati individuati difetti di scartamento in media mobile in intervento.

In seguito al rilievo del 30 gennaio 2014 sono stati individuati 4 difetti di livello longitudinale destro e 3 difetti di livello longitudinale sinistro, tutti in intervento e per i quali i valori, le progressive chilometriche e le estese sono indicati nella tabella 4.23. Le posizioni dei difetti rilevati sono rappresentate nel grafico della figura 4.41.

Rotaia	Valore Max (mm)	Km Max	Estesa (m)	Estesa \geq 6 m
Destra	8.8	74.514	3.5	NO
Destra	8.3	74.960	2.5	NO
Destra	8.2	75.381	3.0	NO
Destra	8.2	79.909	3.0	NO
Sinistra	8.2	78.150	3.5	NO
Sinistra	8.5	78.785	3.0	NO
Sinistra	9.2	80.384	3.0	NO

Tabella 4.23: difetti di livello longitudinale rilevati il 30 gennaio 2014

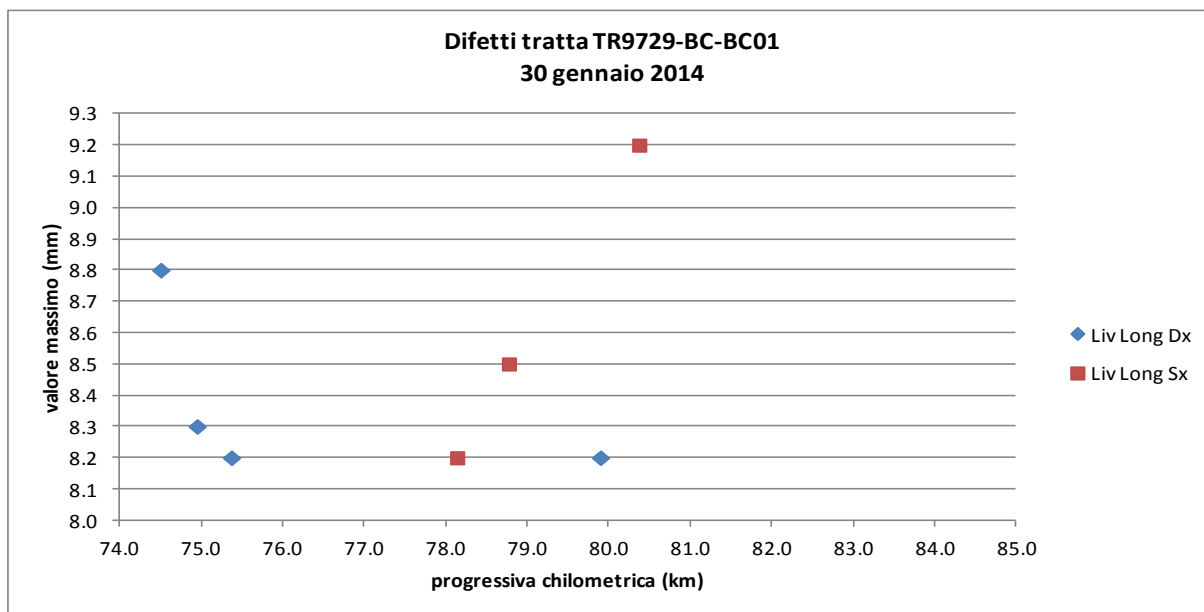


Figura 4.41: posizione dei difetti rilevati il 30 gennaio 2014

I difetti rilevati in tale data sono eliminabili applicando la scheda manutentiva numero 1, in quanto sono corti e isolati: le estese sono tutte inferiori a 6 m e i difetti più vicini distano 446 m. Come si osserva dal grafico della figura 4.41, in nessun caso si verifica la coincidenza di posizione tra i difetti di livello longitudinale destro e sinistro.

Tutti i difetti individuati in tale data sono nuovi in quanto manifestatisi in posizioni differenti rispetto a quelle dei difetti rilevati il 16 gennaio.

Per quanto riguarda i 7 difetti di scartamento (6 in media mobile e uno puntuale) rilevati in tale data, soltanto uno si è verificato nelle vicinanze di un difetto di livello longitudinale: la distanza tra i due valori massimi è pari a 41 m.

Complessivamente, per il binario dispari, per le tre date del periodo temporale analizzato nelle quali sono stati individuati difetti di scartamento, si è verificata la lontananza di questi ultimi dai difetti di livello longitudinale. In particolare, soltanto 2 difetti di scartamento, su un totale di 14, si sono manifestati nelle vicinanze di un difetto di livello longitudinale.

Dall'analisi è emerso inoltre che, su un totale di 15 difetti di livello longitudinale sinistro e 17 di livello longitudinale destro, soltanto in cinque casi si sono verificati, alla stessa progressiva chilometrica e nella stessa data, difetti sia sulla rotaia destra che su quella sinistra.

I difetti rilevati con le varie corse di verifica sono risultati essere quasi tutti nuovi, pertanto, in seguito ad ogni rilievo, sono state eseguite le opportune correzioni. Soltanto in data 19 dicembre sono stati individuati tre difetti vecchi, non ancora corretti.

Dal confronto delle posizioni dei nuovi difetti rilevati in date successive, è emersa la tendenza dei difetti a riverificarsi nelle stesse zone del binario.

4.4. Conclusioni a seguito dell'analisi

Analizzando i valori dei parametri geometrici del binario, rilevati dal treno diagnostico Diamante, per una tratta di 10 km della linea AV/AC Milano – Bologna, sono stati individuati i seguenti difetti in intervento e rilevanti:

- livello longitudinale nel campo di lunghezze d'onda D1 (3-25 m),
- scarto di livello trasversale,
- scartamento in media mobile e puntuale.

All'interno del periodo temporale analizzato (novembre 2013 – gennaio 2014) i difetti prevalenti come quantità sono risultati essere quelli di livello longitudinale (56) e di scartamento in media mobile (26). Nei tre mesi studiati si sono verificati solamente due difetti di scarto di livello trasversale e uno di scartamento puntuale.

I segni negativi dei difetti di livello longitudinale indicano abbassamenti delle rotaie rispetto alla linea dei valori medi, causati da assestamenti del binario della massicciata. Tali assestamenti si sono verificati soprattutto in corrispondenza di punti singolari della linea ferroviaria, quali viadotti, sottovia e tombini. Infatti, il maggior numero di difetti di livello è stato rilevato in prossimità di tali opere d'arte.

Il comportamento delle due rotaie del binario (sia per quello pari, sia per quello dispari), non è risultato essere simmetrico: non sempre in presenza di un difetto di livello longitudinale sulla rotaia destra è stato rilevato, nella stessa posizione, anche un difetto sulla rotaia sinistra, e viceversa.

Anche il comportamento dei due binari della linea ferroviaria non è risultato essere simmetrico: il numero di difetti rilevati sui due binari è differente (maggiore per il binario dispari) e le sezioni di 500 m critiche, cioè quelle nelle quali è stato rilevato il maggior numero di difetti, in generale non coincidono. Soltanto in prossimità del chilometro 78.300 si sono verificati numerosi difetti, sia sul binario pari, sia su quello dispari. In particolare, in tale zona si sono verificati i quattro difetti rilevanti di livello longitudinale individuati nel periodo temporale analizzato, due sul binario pari e due su quello dispari.

Complessivamente sulla tratta analizzata, nel periodo temporale novembre 2013 – gennaio 2014, si sono manifestati 5 difetti rilevanti (4 di livello longitudinale e uno di scartamento in media mobile) su un totale di 82 difetti rilevati di livello longitudinale e scartamento in media mobile. La limitata quantità di difetti rilevanti è una conseguenza della politica di manutenzione preventiva condotta da Rete Ferroviaria Italiana. Infatti, individuati i difetti e monitorata la loro evoluzione nel tempo, si eseguono gli interventi correttivi prima del superamento delle soglie del terzo livello di qualità, cioè prima della formazione di difetti tali da imporre restrizioni alla circolazione ferroviaria. Analizzando i difetti individuati alle varie date di rilievo, è emerso che in date successive i difetti erano quasi sempre nuovi e che, pertanto, le correzioni a seguito delle corse di verifica erano state eseguite.

I difetti di livello longitudinale sono risultati essere perlopiù difetti non estesi (lunghezza inferiore a 6 m) e non ravvicinati (distanza maggiore di 100 m), eliminabili con un intervento di livello eseguito su un tratto limitato di binario. Non sono stati, quindi, individuati tratti di binario caratterizzati da difetti ravvicinati della stessa tipologia, ma è stata verificata la tendenza dei difetti a rimanifestarsi nel tempo nelle stesse posizioni.

Per quanto riguarda i difetti di scartamento in media mobile individuati nel periodo d'analisi, i segni dei valori rilevati sono tutti negativi. Ciò significa che i difetti sono di scartamento stretto, cioè che i fianchi interni delle rotaie dei binari si sono avvicinati.

I difetti di livello longitudinale e di scartamento in media mobile si sono manifestati, all'interno del periodo temporale analizzato, in differenti posizioni del binario (sia per quello pari, sia per quello dispari). Pertanto, i difetti di livello longitudinale individuati non hanno causato spostamenti delle rotaie verso l'interno del binario, generando così difetti di scartamento stretto.

Anche per i difetti di scartamento in media mobile, le sezioni critiche individuate sul binario pari e su quello dispari non coincidono. Per il binario dispari, nel corso del periodo temporale analizzato, i difetti si sono manifestati in diverse posizioni; mentre per il binario pari sono stati rilevati, in diverse date, numerosi difetti intorno al chilometro 80.0.

CONCLUSIONI

5.1. Considerazioni sull'attuale politica manutentiva adottata da Rete Ferroviaria Italiana

Per un sistema complesso come l'infrastruttura ferroviaria l'andamento del tasso di guasto è rappresentato in maniera qualitativa dalla "curva a vasca a bagno" (*bath tub curve*, Wiesbaden 1971), rappresentata in figura 5.1.

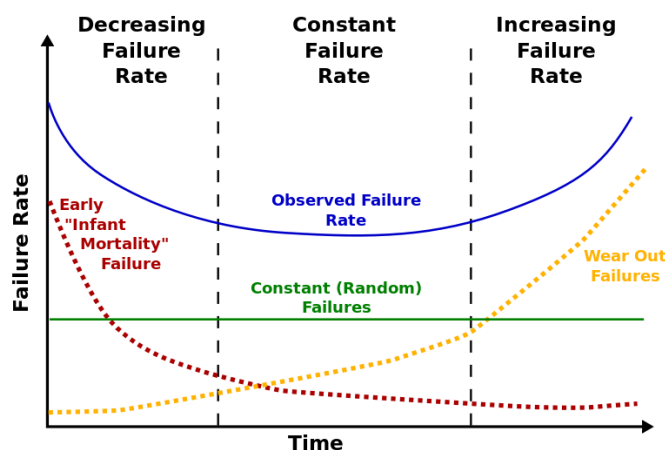


Figura 5.1: andamento nel tempo del tasso di guasto

In particolare, la curva a vasca da bagno è ottenuta dalla combinazione di tre leggi di guasto, che individuano tre aree singolari della curva:

- l'area dei guasti precoci (o mortalità infantile), dove il tasso di guasto decresce con il tempo;
- l'area della vita fisica, dove il tasso di guasto si mantiene costante nel tempo;
- l'area delle usure generalizzate, dove il tasso di guasto cresce molto rapidamente, proprio a causa delle usure.

La prima regione della curva è caratteristica dei componenti che sono stati progettati male, oppure che presentano difettosità nel materiale. I componenti a tasso di guasto costante (seconda area della curva) sono, invece, quelli nei quali il guasto si manifesta in modo casuale. La terza area della curva, infine, è caratteristica dei componenti caratterizzati da fenomeni classici di invecchiamento (usura, abrasione, erosione) [15].

Lo scopo della politica manutentiva adottata da Rete Ferroviaria Italiana è quello di garantire un'elevata vita utile dei beni costituenti l'infrastruttura ferroviaria, mantenendo il tasso di guasto costante per un lungo periodo temporale. Infatti, con azioni manutentive preventive si interviene sui beni prima della formazione di guasti o degradi, ripristinando così l'efficienza e prolungando l'intervallo temporale entro il quale il bene svolge la funzione richiesta.

Nel caso dell'armamento ferroviario, analizzato all'interno del presente elaborato, si programmano e pianificano gli interventi manutentivi quando i valori dei parametri geometrici, indicativi della qualità del binario, raggiungono il terzo livello di qualità fissato da Rete Ferroviaria Italiana. I difetti corrispondenti a tali valori non sono tali da imporre restrizioni alla circolazione ferroviaria e sono eliminabili in tempi variabili da uno a sei mesi, a seconda della velocità di evoluzione del difetto. Pertanto, si realizzano interventi manutentivi prima della formazione di difetti pericolosi per

la marcia dei treni, per i quali sarebbe necessaria una restrizione alla circolazione e una correzione immediata. Si deduce, quindi, che l'adozione di tale politica manutentiva, oltre ad allungare la vita utile dei beni, non limita la circolazione ferroviaria.

L'andamento ottimale del tasso di guasto nel tempo, che s'intende raggiungere con la manutenzione preventiva, è rappresentato nella figura 5.2 [11].

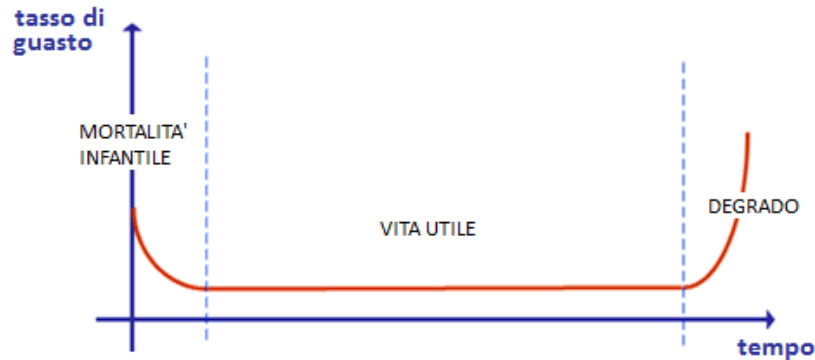


Figura 5.2: andamento ottimale del tasso di guasto

È possibile intervenire sull'infrastruttura ferroviaria prima della formazione di difetti rilevanti grazie al frequente monitoraggio dello stato delle diverse componenti. L'attività diagnostica è, quindi, fondamentale per la programmazione della manutenzione, la quale è eseguita su condizione, cioè in relazione allo stato corrente dell'infrastruttura.

La frequenza dei rilievi ordinari della geometria del binario (diagnostica mobile) dipende dal volume di traffico e dalla velocità della linea ferroviaria. Sulle linee AV/AC, il treno diagnostico ETR500Y2 transita ogni due settimane, misurando i parametri indicativi della geometria del binario.

Relativamente alla linea AV/AC Milano – Bologna, analizzata nel capitolo 4, si valuta di seguito se la politica manutentiva adottata, abbinata alla frequenza prevista per le corse di verifica, è adeguata o meno. I dati iniziali da considerare prima delle valutazioni sono:

- la velocità massima della linea, pari a 300 km/h;
- la data di attivazione della linea (aperta al pubblico il 14 dicembre 2008);
- il carico trasmesso alla sovrastruttura ferroviaria e al corpo stradale dai treni in transito, pari a 25 tonnellate per asse (carico massimo);
- il numero di treni circolanti sulla linea, riportati nella tabella 5.1;
- la possibilità di eseguire gli interventi manutentivi solo nelle ore notturne, quando cioè la linea è chiusa al traffico (sono disponibili circa 5 ore ogni notte).

La tabella 5.1 riassume i volumi di traffico della linea AV/AC Milano – Bologna per gli anni dal 2009 al 2013. Nel 2008, nei mesi di ottobre, novembre e fino al 13 dicembre, sono circolati treni in condizioni di pre-esercizio, mentre dalla data di apertura al pubblico fino al 31 dicembre sono transitati 824 treni (media giornaliera pari a 46). Per quanto riguarda l'anno 2014, sono circolati 3460 treni nel mese di gennaio e 3174 treni nel mese di febbraio (medie giornaliere pari a 112 e 113).

Conclusioni

Anno	Treni circolati	Media giornaliera
2009	16884	46
2010	22546	62
2011	23204	64
2012	29094	79
2013	39331	108

Tabella 5.1: volumi di traffico della linea AV/AC Milano-Bologna

Da queste premesse, l'adeguatezza della manutenzione si determina valutando la quantità di difetti rilevanti (cioè tali da imporre limitazioni alla circolazione) e la conseguente indisponibilità della linea ferroviaria. Infatti, in presenza di tali difetti è necessario interrompere la circolazione o imporre un rallentamento di velocità nell'intorno del difetto, a seconda del parametro geometrico coinvolto e dal valore assunto da quest'ultimo.

In seguito all'analisi dei dati diagnostici, descritta nel capitolo 4, per la tratta di linea AV/AC Milano – Bologna compresa fra il Posto Movimento di Campegine e il Bivio di Parma, sono stati individuati, nell'arco temporale novembre 2013 – gennaio 2014, soltanto 5 difetti rilevanti su un totale di 85 (in intervento e rilevanti, per binari pari e dispari). In particolare, tre dei cinque difetti rilevanti sono stati rilevati sul binario dispari e due sul binario pari, tutti in date differenti fra loro (figure 4.10 e 4.11).

Per via dei parametri geometrici coinvolti (livello longitudinale D1 e scartamento in media mobile) e dei valori da essi assunti, le restrizioni alla circolazione derivanti dai difetti individuati consistono in un rallentamento, fino all'esecuzione dell'intervento manutentivo (il quale avviene entro 48 ore), alle velocità di:

- 200 km/h per i difetti rilevanti di livello longitudinale D1;
- 250 km/h per il difetto rilevante di scartamento in media mobile.

I perditempo, associati al singolo treno, derivanti da tali rallentamenti sono, rispettivamente, pari a:

- 1.5 minuti;
- 50 secondi.

Poiché in seguito a ogni corsa di rilievo è stato individuato al più un difetto rilevante, il ritardo accumulato dal singolo treno è pari a uno dei due perditempo precedentemente indicati. Pertanto, l'indisponibilità della linea derivante dai difetti rilevanti non ha influito sulla puntualità dei mezzi circolanti: i treni ad alta velocità sono considerati puntuali se arrivano alle stazioni entro 15 minuti dall'orario previsto.

Ovviamente lo studio non può limitarsi a una singola tratta della linea AV Milano – Bologna, in quanto possono essersi manifestati altri difetti rilevanti in altre posizioni, determinanti anch'essi un certo perditempo. Tuttavia, l'analisi condotta ha indagato la porzione di linea che nell'arco temporale 2009 – 2013 ha necessitato di una maggiore quantità di interventi manutentivi rispetto a tutte le altre. Poiché nel periodo temporale studiato, pari a 3 mesi, in tale tratta sono stati individuati

pochi difetti rilevanti e mai più di uno in ogni data di rilievo, è lecito pensare che la quantità di difetti sia stata ridotta anche per le altre tratte.

Si conclude, pertanto, che la politica manutentiva preventiva su condizione, adottata da Rete Ferroviaria Italiana, è adeguata al mantenimento della qualità della linea ferroviaria. Infatti, intervenendo preventivamente sulla geometria del binario, sulla base delle misure dei parametri geometrici ottenute ogni due settimane con le corse diagnostiche, si limita la formazione di difetti che limitano la marcia dei treni e tali da indurre un'indisponibilità della linea ferroviaria.

Considerando che la linea AV/AC Milano – Bologna è attiva dalla fine del 2008 e che su di essa è transitata un'elevata quantità di treni, a elevate velocità, l'individuazione di pochi difetti rilevanti nel periodo temporale novembre 2013 – gennaio 2014 dimostra che gli interventi manutentivi eseguiti sono stati efficaci per il mantenimento dell'efficienza dell'armamento ferroviario, garantendo nel contempo il servizio di trasporto richiesto con impatti minimi sulla circolazione dei treni.

L'analisi descritta nel capitolo 4 ha mostrato che i difetti rilevati nell'intervallo temporale studiato (rilevanti e in intervento, per binari pari e dispari) si sono manifestati soprattutto in corrispondenza delle zone di transizione tra rilevato e opere d'arte. In tali zone, a causa del cambiamento di rigidità, si sviluppano cedimenti differenziali che modificano l'assetto dell'armamento, agendo negativamente sul comfort e sulla sicurezza di marcia. I difetti rilevati in tali zone dipendono, quindi, dalle condizioni del corpo stradale e non dalla modalità di realizzazione della sovrastruttura ferroviaria. Pertanto, come azione migliorativa della politica manutentiva si consiglia di intervenire su tali zone critiche, analizzando le rigidità e monitorando il comportamento nel tempo.

In particolare, le zone di transizione sono realizzate in modo da garantire una graduale variazione di rigidità, interponendo strati di misto cementato (misto granulare miscelato con cemento) all'interno del terreno, diluendo così gli inevitabili cedimenti differenziali. È importante che la variazione graduale di rigidità, presente in fase di costruzione, si mantenga nel tempo.

Il monitoraggio del comportamento delle opere d'arte nel tempo avviene mediante l'applicazione stabile di dispositivi di misura (diagnostica fissa), che consentono di rilevare e controllare vari parametri d'interazione struttura-terreno, tra cui i cedimenti. Inoltre, periodicamente, si eseguono visite di controllo sulle linee ferroviarie per ispezionare i singoli binari e i deviatoi; nel corso di tali visite gli incaricati osservano anche lo stato del corpo stradale e delle opere d'arte. Si raccomanda di eseguire controlli anche in corrispondenza di opere d'arte minori come tombini e sottovia, in quanto la maggior parte dei difetti individuati nel periodo temporale novembre 2013 – gennaio 2014 si sono manifestati in prossimità di un tombino di dimensioni 5x3 m.

5.2. Azioni da intraprendere in caso di aumento della velocità commerciale

In futuro è previsto un aumento della velocità commerciale delle linee ferroviarie AV/AC fino a 360 km/h. Infatti, è in costruzione il nuovo treno veloce ETR1000 delle Ferrovie dello Stato italiane, che sarà in grado di raggiungere la velocità massima di 400 km/h (figura 5.3). Tale treno potrà viaggiare su tutte le reti ad alta velocità europee, riducendo ulteriormente i tempi di viaggio [26].



Figura 5.3: nuovo treno veloce Frecciarossa 1000

In tale scenario futuro, aumentando la velocità dei convogli in transito e variando i carichi trasmessi da questi ultimi, cambierà la risposta dell'infrastruttura ferroviaria alle sollecitazioni. Per valutare il comportamento delle diverse componenti della linea ferroviaria sarà necessario eseguire delle campagne di prova, facendo transitare i convogli a velocità superiore a 300 km/h.

La politica di manutenzione preventiva dell'infrastruttura subirà alcune modifiche. In particolare, per mantenere elevata la qualità dell'infrastruttura, sarà necessario modificare la frequenza delle corse ordinarie di verifica (diagnostica mobile) e, per quanto riguarda l'armamento ferroviario, modificare le soglie dei parametri geometrici indicativi della qualità del binario, corrispondenti ai livelli qualitativi fissati da Rete Ferroviaria Italiana.

Infatti, per garantire la sicurezza e la qualità della marcia a velocità superiori rispetto a quelle attuali, sarà necessario intervenire sulla geometria del binario per valori, assunti dai parametri geometrici, inferiori a quelli che attualmente comportano un intervento. Pertanto, le soglie corrispondenti ai tre livelli di qualità geometrica saranno ridotte. Conseguentemente, la frequenza delle corse di verifica sarà aumentata, in modo da monitorare l'evoluzione dei valori assunti dai parametri, intervenendo prima del superamento delle soglie limite del terzo livello di qualità (superamento che avverrà per valori inferiori rispetto al caso di velocità massima pari a 300 km/h).

Per testare il comportamento dell'infrastruttura ferroviaria nel caso di velocità dei treni maggiore di 300 km/h, da novembre 2012 si stanno eseguendo una serie di prove su una tratta della linea AV/AC Torino – Milano, facendo transitare il treno diagnostico ETR500Y1 (descritto nel paragrafo 2.4) a velocità crescente fino a 330 km/h. Le misure eseguite durante tali prove sono relative:

- alla configurazione del pietrisco (si sta studiando se abbassare ulteriormente, rispetto al caso attuale, la quota media della massicciata al fine di evitare fenomeni di sollevamento dovuti al transito dei convogli),
- ai carichi di pressione,
- al comportamento delle opere d'arte,
- all'emissione sonora,
- all'interazione ruota-rotaia e pantografo-catenaria.

Per il futuro sono previste simulazioni a velocità maggiori e corse di prova con il nuovo treno veloce ETR1000.

Conclusioni

Una volta eseguite le verifiche relative alla sovrastruttura ferroviaria, sarà necessario far transitare il treno diagnostico su un campo prova, cioè su un tratto di binario riportato nelle condizioni di progetto. Su tale tratto si studierà l'evoluzione nel tempo dei difetti geometrici, in modo da poter individuare le nuove soglie dei parametri geometrici del binario e la frequenza delle corse di verifica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Mayer, L., (1970), Impianti ferroviari, Nuova Edizione a cura di Guida, P. L. e Milizia, E., Roma, CIFI (Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani).
- [2] Lichtberger, B., (2010), Manuale del binario: sottostruttura, sovrastruttura, manutenzione, economicità, Amburgo, Eurailpress.
- [3] Ciaravella, G., (2013), Corso di tecnica ferroviaria: l'infrastruttura ferroviaria, Bologna, CIFI.
- [4] Anon., (2009), Componenti AV/AC: settore armamento, Roma, RFI (Rete Ferroviaria Italiana) - Gruppo Ferrovie dello Stato.
- [5] Anon., (2010), Controllo e posizionamento del binario rispetto al sistema base assoluta, Bologna, RFI - Gruppo Ferrovie dello Stato.
- [6] Anon., (2010), Diagnostica: strumenti per rilievi saltuari e sistematici dello stato geometrico del binario, Bologna, RFI - Gruppo Ferrovie dello Stato.
- [7] Anon., (2011), Nuovi standard del binario, Bologna, RFI - Gruppo Ferrovie dello Stato.
- [8] Anon., (2011), La qualità geometrica del binario delle linee AV/AC, Milano, RFI - Gruppo Ferrovie dello Stato.
- [9] Anon., (2013), Il portale diagnostico Plinio di Rete Ferroviaria Italiana, Roma, RFI - Gruppo Ferrovie dello Stato.
- [10] Anon., S.d., Importanza della ricerca e dell'innovazione per l'ingegneria ferroviaria, S.l., RFI - Gruppo Ferrovie dello Stato.
- [11] Anon., S.d., Definizioni e concettualità della manutenzione: sviluppo competenze Ingegneria di Manutenzione, S.l., RFI - Gruppo Ferrovie dello Stato.
- [12] Fumi, A., Napolitano, A., S.d., Le corse prova e i test dinamici per l'attivazione dell'AV, S.l., RFI - Direzione Tecnica - Istituto Sperimentale.
- [13] Ciaravella, G., (2005), Diagnostica del binario con sistemi avanzati, Master in Ingegneria delle Infrastrutture e dei Sistemi Ferroviari, La Sapienza - Università degli Studi di Roma, RFI.
- [14] Formato, A. G., (2013), Analisi di fattibilità del rilievo degli spostamenti del binario tramite tecnologie di interferometria satellitare, Master in Ingegneria delle Infrastrutture e dei Sistemi Ferroviari, La Sapienza - Università degli Studi di Roma, RFI.
- [15] Caoduro, M., (2011), Politiche manutentive degli impianti industriali, Tesi di Laurea in Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Padova.
- [16] Cepav Uno, (2008), Manuale operativo: manutenzione binario corrente linea alta velocità.
- [17] Mermec S.p.A., Manuale utente: sistema geometria e profilo del binario.

Bibliografia

- [18] Mermec S.p.A., Manuale utente: sistema dinamica.
- [19] Mermec S.p.A., Manuale utente: sistema usura ondulatoria.
- [20] Mermec S.p.A., Manuale utente: sistema intpant.
- [21] Istruzione della Direzione Tecnica di Rete Ferroviaria Italiana, 31/01/2013, RFI TCAR ST AR 01 001 D, “Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per linee con velocità fino a 300 km/h”.
- [22] Procedura Operativa Subdirezionale di Rete Ferroviaria Italiana, 24/06/2013, RFI DPR PS IFS 90 B, “Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive”.
- [23] Specifica Tecnica di Rete Ferroviaria Italiana, 18/12/2001, RFI TCAR ST AR 01 002 A, “Linee guida per la realizzazione e manutenzione dei binari su base assoluta con tracciati riferiti ai punti fissi in coordinate topografiche”.
- [24] www.rfi.it
- [25] www.ec.europa.eu/transport
- [26] www.fsnews.it