



Linea AV Bologna-Firenze
La costruzione dell'armamento nelle lunghe gallerie ferroviarie

High Speed railway line Bologna-Florence

Permanent-way construction in the long railway tunnels

Dott. Ing. Maurizio GRECO^(), Dott. Ing. Mario FORESTA^(*)*

1. Premessa

Si illustrano nel presente articolo le modalità con le quali è stato realizzato l'armamento della linea ad Alta Velocità tra Bologna e Firenze. La peculiarità della tratta che ricade, per la quasi sua totalità, in galleria (circa il 93%) ha condizionato la scelta dei criteri e le connesse attività necessarie per la realizzazione della sovrastruttura ferroviaria.

^(*) Italferr S.p.A.

1. Foreword

The present paper describes the specific modalities adopted for the permanent way construction of the High Speed Line Bologna-Florence. The peculiarities of this line section, almost completely in tunnel (about 93%), influenced the choice of the construction criteria and the connected activities for the construction of the railway superstructure.

^(*) Italferr S.p.A.

2. Problematiche di costruzione dell'armamento nelle gallerie

Le procedure operative e le moderne tecnologie per la costruzione dei binari e degli scambi normalmente utilizzate sulle reti ferroviarie italiane hanno raggiunto, anche con la realizzazione del sistema ad Alta Velocità, un grado di meccanizzazione tale da garantire elevate produttività, con un livello di qualità ed affidabilità assolutamente adeguato agli standard prestazionali indispensabili per un binario AV a 300 km/h.

Anche per la costruzione dell'armamento nella tratta Bologna Firenze sono state, quindi, messe a punto procedure e tecniche realizzative analoghe a quelle già utilizzate sulle altre tratte realizzate in precedenza; però, alcune di queste procedure hanno dovuto necessariamente essere calibrate in relazione alle caratteristiche dell'opera in costruzione quasi tutta in galleria: le difficoltà di accesso ed uscita dei mezzi di cantiere, l'introduzione all'interno delle gallerie di materiale polveroso con conseguente difficoltà di estrazione di estrazione delle polveri, la gestione della contemporanea presenza di più cantieri, la movimentazione dei materiali, le modalità di realizzazione della Lunga Rotaia Saldata.

Vengono descritte a seguire le modalità con cui è stato costruito l'armamento della tratta Bologna Firenze, evidenziando quali sono stati i principali accorgimenti messi in atto per tener conto della peculiarità della tratta, quasi completamente in galleria.

3. Descrizione delle opere e del tracciato

La linea Alta Velocità Bologna-Firenze, la cui velocità di progetto è di 300 km/h, con raggio minimo di 5.500 m, pendenza massima del 15 per mille, sviluppa 78.500 m circa, di cui 73.310 m in galleria, 1.200 m su opere d'arte (ponti, viadotti) e 3.990 m su corpo ferroviario in rilevato. Le gallerie a doppio binario sono dodici (la più lunga misura 18.200 m), i ponti ed i viadotti sono sei. Per la costruzione delle gallerie sono previsti ulteriori 9.650 m circa di tunnel per finestre e 10.000 m circa di tunnel per galleria di servizio/sicurezza. Le gallerie hanno conformazione policentrica con sezione utile di 82 m². La linea è dotata di un'interconnessione con la attuale linea storica nella zona di Bologna S. Ruffillo, anch'essa quasi totalmente in galleria, con velocità pari a 140-120 km/h (vedi nota 2), in uscita dalla linea AV, fino ad arrivare a 100 km/h in corrispondenza dei deviatori sulla linea storica, con uno sviluppo del binario pari di m 5222 ed uno sviluppo del binario dispari di m 5204.

È lungo questa interconnessione che tutti i treni AV transiteranno, fintanto che non saranno completati i lavori del passante sotterraneo AV della città di Bologna, il quale collegherà direttamente la linea AV Milano Bologna con la linea AV Bologna Firenze.

Il tracciato ha origine nel Nodo di Firenze all'interno

2. Problems concerning the permanent-way construction in tunnel

The operating procedures and the modern technologies normally used in the Italian Railway networks for the construction of tracks and points have reached a very high level of mechanization, even with the implementation of the High Speed system. Such a level of mechanization guarantees high productivities with quality and reliability levels that absolutely match the performance standards required for a 300 km/h HS track.

Such specific construction procedures and techniques, similar to the ones previously used on other railway sections, were applied to the construction of the permanent way of the HS line Bologna-Florence, too; nevertheless, it was necessary to calibrate some of these procedures according to the characteristics of the structure under construction that extends almost completely in tunnel: the entrance and exit difficulties of the construction vehicles, the introduction of dusty materials in the tunnels with the consequent dust extraction problems, the management of the contemporary presence of different construction sites, the modalities of construction of the Long Welded Rails.

The specific modalities adopted for the construction of the permanent-way of the HS line Bologna-Florence are hereafter described and the main measures taken to consider the peculiarities of this line section, almost completely in tunnel, are put in evidence.

3. Structure and layout description

The High Speed Line Bologna-Florence is characterized by a design speed of 300 km/h, a minimum curve radius of 5500 m and a maximum slope of 15‰; its length is of about 78500 m of which 73310 m of tunnels, 1200 m of bridges and viaducts and 3990 m of railway embankments. The double track tunnels are in number of twelve (the longest tunnel measures 18200 m), the viaducts and bridges are in number of six. The construction of the main tunnels required the building of about 9650 m of transversal access tunnels and about 10000 m of service/safety tunnels.

The line tunnels have a polycentric configuration with a useful section of 82 m². A branching line connects the High Speed line to the historical line in the area of Bologna S. Ruffillo. It runs almost completely in tunnel and its maximum speed is of 140-120 km/h (see footnote 2) at the exit from the HS line and 100 km/h at the points on the Historical Line. The up track extension is of about 5222 m while the down track extension is of 5204 m.

All the HS trains will have to run this branching line till the works for the construction of the HS underground railway link of Bologna city will be completed. Such underground link will then connect directly the HS line Milan-Bologna to the HS line Bologna-Florence.

della Stazione di Firenze Castello alla progressiva km 5+447,13 (km 83+366)⁽¹⁾.

Da questo punto il tracciato (fig. 1) può essere schematicamente individuato nei seguenti tre tratti:

The HS line layout begins at the Florence Node, inside the station of Florence Castello, at the kilometric point 5+447,13 (km 83+366)⁽¹⁾. It can be schematically divided into three line sections (fig. 1):

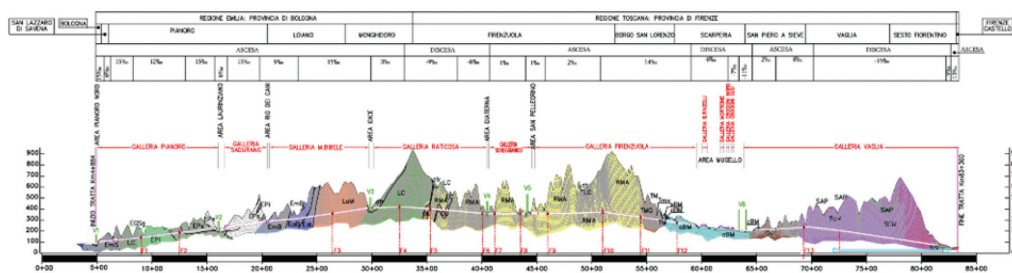


Fig. 1 - Profilo longitudinale della tratta AV Bologna-Firenze. Longitudinal section of the High Speed Line Bologna-Florence.

1. Il tratto Firenze Castello-Mugello (L=23,781 km) che dalla stazione di Firenze Castello risale da Firenze verso nord con la Galleria di Vaglia, e supera la piana del Mugello con un tratto allo scoperto e ed il fiume Sieve con il viadotto più lungo della tratta.

Le principali opere d'arte di questo tratto sono:

- gallerie: Borgo Rinzelli (717 m), Morticine (693 m), Crocioni Nord (192 m) e Sud (190m), Vaglia (18.204 m);
- viadotto: Sieve (642 m).

2. Il tratto Mugello-Idice (L=29,811 km) che rappresenta il vero e proprio attraversamento della catena appenninica con gallerie di notevole sviluppo e copertura.

Le principali opere d'arte di questo tratto sono:

- gallerie: Raticosa (10.436 m), Scheggianico (3.555 m), Firenzuola (15.280 m);
- viadotti: Diaterna (85 m), Santerno (74 m).

3. Il tratto Idice-Bologna (L=24,890 km) che è di approccio della linea ferroviaria alla catena appenninica e che segue in gran parte la S.S.65 della Futa lato Est.

Le principali opere d'arte di questo tratto sono:

- gallerie: Pianoro (10.843 m), Laurinziano (110 m), Sadurano (3.859 m), Monte Bibeale (9.243 m);

1. The Florence Castello-Mugello section (L=23,781 km) extending Northward from the station of Florence up to the Mugello area while running the Tunnel of Vaglia and crossing outdoor the Mugello plane and the river Sieve by the longest viaduct of the line.

The main structures of this line section are:

- tunnels: Borgo Rinzelli (717 m), Morticine (693 m), Crocioni North (192 m) and Crocioni South (190m), Vaglia (18.204 m);
- viaduct: Sieve (642 m).

2. The Mugello-Idice section (L=29,811 km) that represents the real crossing of the Appenninic range and is characterized by high extension and coverage tunnels.

The main structures of this line section are:

- tunnels: Raticosa (10.436 m), Scheggianico (3.555 m), Firenzuola (15.280 m);
- viaducts: Diaterna (85 m), Santerno (74 m).

3. The Idice-Bologna section (L=24,890 km) running mainly along the East side of the Futa road S.S.65 and representing the approach of the HS railway line to the Appenninic range.

The main structures of this line section are:

- tunnels: Pianoro (10.843 m), Laurinziano (110 m),

⁽¹⁾ La presenza di doppie progressive si spiega con l'aver cambiato, nel corso dei lavori, la progressiva di origine della tratta. La formula matematica di passaggio tra l'una e l'altra progressiva è la seguente:

• Progr. "X" = (83+441,13 - Progr. "A") + 5+372,00
Ove "X" è la nuova progressiva del punto oggetto di riprogressivazione
"A" è la prog.va del progetto di atto integrativo del punto oggetto di riprogressivazione

⁽¹⁾ The existence of double kilometric points is due to the fact that the starting kilometric point was changed during the construction works. The mathematical formula allowing to pass from the old representation to the new one is as below:

• "X" = (83+441,13 - "A") + 5+372,00
where "X" is the new kilometric point of the considered line element.
"A" is the kilometric point of the same line element as defined in the initial design.

OSSERVATORIO

- *viadotti*: Savena (66 m), Laurinziano (132 m), Idice (126 m).

Inoltre all'inizio di questo tratto ricade la interconnessione di S. Ruffillo con la linea storica Bologna-Firenze, quasi completamente in galleria, di sviluppo 5200 m circa.

In corrispondenza di Bologna S. Ruffillo, immediatamente dopo l'attraversamento del fiume Savena (fig. 2) termina il tratto della linea A.V. entro il Nodo di Bologna km 83+928,89 (km 4+884,24).



Fig. 2 - Ponte Savena. Savena bridge.

Sadurano (3.859 m), Monte Bibele (9.243 m);

- *viaducts*: Savena (66 m), Laurinziano (132 m), Idice (126 m).

The San Ruffillo branching line, connecting the HS line to the historical line Bologna-Florence, is located at the beginning of this line section and extends for about 5200 m almost completely in tunnel.

The HS line Bologna-Florence ends immediately after the river Savena crossing (fig.2) in the area of Bologna S. Ruffillo where the line enters the Bologna Railway Node area, km 83+928,89 (km 4+884,24). As far as the permanent way is concerned the following plants can be found from North to South (fig. 3):

- *Emilia Junction Point*, composed, in its final configuration⁽²⁾, of 2 single swing nose points of type S60U/1200/0,040, designed to be run at a maximum speed of 100 km/h on the diverging track, and of 2 points of the same type forming a single track cross-

⁽²⁾ In a first phase, before the completion of the Bologna underground link, 2 direct connections were executed instead of 2 single movable frog points, tangent 0,040, between the HS Up and Down tracks and the corresponding branching tracks. This solution allowed to reaching, in the considered branching tracks, a speed of more than 100 km/h that is the maximum speed permitted in the switching sections of the design points.

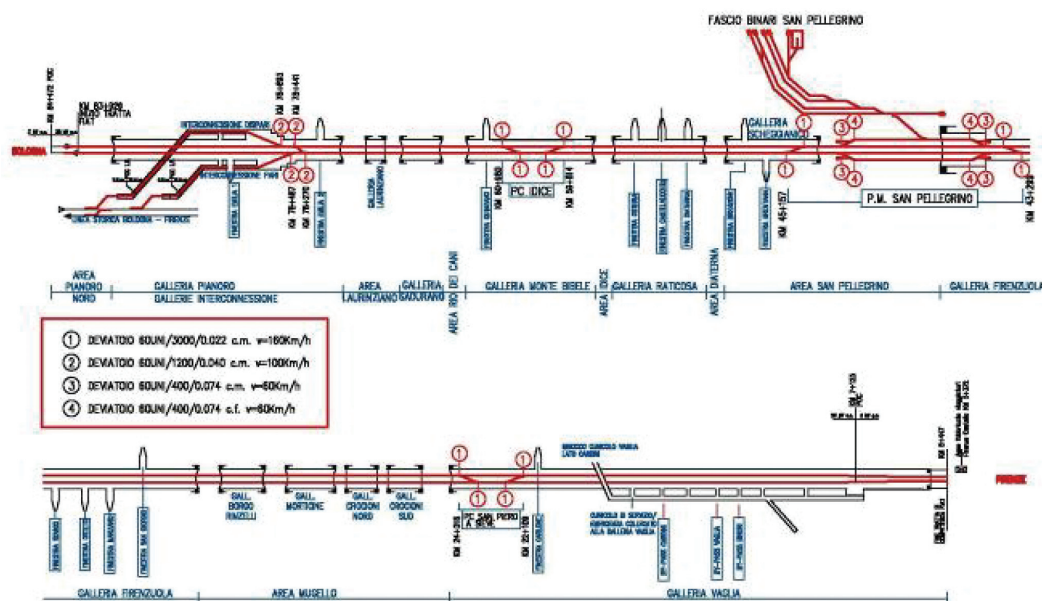


Fig. 3 - Piano schematico della tratta AV Bologna-Firenze. Scheme plan of the High Speed Line Bologna-Florence.

Da un punto di vista degli impianti di armamento, partendo da nord, si ha (fig. 3):

- *Bivio Emilia*, costituito, a regime⁽²⁾, da 2 deviatori in deviato semplice del tipo S60U/1200/0,040 con cuore a punta mobile, percorribili a 100 km/h sul ramo deviato e da 2 deviatori della medesima tipologia posti in comunicazione pari-dispari. Il bivio Emilia si interconnette con l'attuale linea storica tra Bologna e Firenze, poco prima della Stazione di San Ruffillo, attraverso un bivio a raso costituito da 2 deviatori in deviato semplice del tipo S60U/1200/0,040 con cuore a punta fissa e da 2 deviatori della medesima tipologia posti in comunicazione pari dispari sulla linea storica (fig. 4).
- *Posto di Comunicazione di Idice*, costituito da 4 deviatori del tipo S60U/3000 $\rightarrow \infty/0,022$ con cuore a punta mobile, percorribili a 160 km/h sul ramo deviato, formanti doppia comunicazione pari – dispari.
- *Posto di Movimento di San Pellegrino*, costituito da 4 deviatori del tipo S60U/3000 $\rightarrow \infty/0,022$ con cuore a punta mobile formanti doppia comunicazione pari-dispari, 4 deviatori del tipo S60U/400/0,074 con cuore a punta mobile, percorribili a 60 km/h sul ramo deviato, per l'accesso dai binari di corsa ai binari di precedenza, 4 deviatori del tipo S60U/400/0,074 con cuore a punta fissa a realizzare l'indipendenza tra i binari di corsa ed i binari di precedenza.



Fig. 4 - Bivio Emilia. Innesto interconnessione sulla linea storica Firenze-Bologna. *Emilia Junction. Branching line section joining the historical line Florence-Bologna.*

⁽²⁾ In prima fase, in attesa del completamento del sottoattraversamento di Bologna, in luogo dei 2 deviatori tg 0,040 con cuore a punta mobile in deviato semplice, sono stati realizzati 2 collegamenti diretti tra i binari pari e dispari linea AV ed i corrispondenti rami dell'interconnessione, così da permettere una velocità di percorrenza superiore ai 100 km/h, velocità massima ammessa percorrendo il ramo deviato degli scambi.



Fig. 5 - Scambio a gola 68G1/150/0,13 durante le fasi di montaggio nel Piazzale di San Pellegrino. *Groove point of type 68G1/150/0,13 during the mounting phases in the San Pellegrino yard.*

sover. The Emilia junction interconnects to the historical line Bologna-Florence just before the Station of San Ruffillo by means of 2 single fixed frog points of type S60U/1200/0,040 and 2 points of the same type forming a single track crossover on the historical line (fig. 4).

- *Idice Crossover Point*, composed of 4 swing nose points of type S60U/3000 $\rightarrow \infty/0,022$, designed to be run at a maximum speed of 160 km/h on the diverging track, forming a double track crossover.
- *San Pellegrino Movement Point*, composed of 4 swing nose points of type S60U/3000 $\rightarrow \infty/0,022$, forming a double track crossover; 4 swing nose points of type S60U/400/0,074, designed to be run at a maximum speed of 60 km/h on the diverging track, connecting the main tracks to the passing tracks, 4 fixed frog points of type S60U/400/0,074 ensuring the independence between the main tracks and the passing tracks.

A set of maintenance tracks has been moreover constructed, including fixed frog points of type S60U/250/0,12 and S60U/170/0,12 and groove points of type 68G1/150/0,13 (fig. 5) in the ground-level area,

Indeed, taking into consideration the characteristics of the area and aiming to guarantee the most efficient handling of materials and vehicles, a "ground-level area" (fig. 6) has been constructed for all the tracks of the San Pellegrino track set; as the design of this specific area required a crossover between two tracks of the maintenance track-set it was necessary to utilize groove profile tramway points in order to allow the subsequent asphaltting of all the area.

- *Vaglia Crossover Point*, composed of 4 swing nose points of type S60U/3000 $\rightarrow \infty/0,022$ forming a double track crossover.

È presente, inoltre, in questa zona un fascio di binari per la manutenzione realizzato con deviatori del tipo con cuore a punta fissa del tipo S60U/250/0,12 e S60U/170/0,12 e, nella zona a raso, con scambi a gola del tipo 68G1/150/0,13 (fig. 5).

Infatti, viste le caratteristiche dell'area ed allo scopo di garantire il più efficientemente possibile la movimentazione di materiali e mezzi, per tutti i binari del piazzale di San Pellegrino è stata prevista la realizzazione del "piano a raso" (fig. 6); poiché in tale zona il progetto prevedeva una comunicazione tra due binari del fascio di manutenzione, è stato necessario impiegare dei deviatori di derivazione tranviaria, con profilo a gola, che permettessero la successiva asfaltatura di tutta la zona.

- Posto di comunicazione di Vaglia, costituito da 4 deviatori del tipo S60U/3000 $\rightarrow \infty/0,022$ con cuore a punta mobile formanti doppia comunicazione pari – dispari.

4. Logistica dei materiali

La particolare collocazione geografica della linea ha comportato la necessità di realizzare un unico cantiere di armamento (denominato CAR1) nella zona all'aperto della piana del Mugello, cantiere nel quale sono stati stoccati tutti i materiali di armamento occorrenti per la costruzione della tratta, in particolare (fig. 7):

- 260.000 traverse da 2,60 m per i binari di corsa della linea AV;
- 20.000 traverse da 2,40 m per i binari di precedenza, di interconnessione e di scalo;
- 20.000 ton circa di rotaie del profilo 60E1, qualità R260, in barre elementari da 108 m per la costruzione dei binari di linea e delle interconnessioni e circa 170



Fig. 6 - Dettaglio del piano a raso nel Piazzale di San Pellegrino nella zona dove è prevista la comunicazione realizzata con gli scambi a gola 68G1. Detail of the ground-level area in the San Pellegrino yard where it is planned the crossover with groove points 68G1.



Fig. 7 - Cantiere di armamento CAR1. Area di stoccaggio ballast e traverse. Permanent way yard CAR1. Ballast and sleeper storage area.

4. Logistics of the materials

The particular geographic position imposed to carry out a single permanent-way yard (named CAR1) in the outdoor area of the Mugello plane. All the permanent-way materials used for the construction of the considered HS line were stored in such construction yard; in details (fig. 7):

- 260.000 sleepers of 2,60 m length for the main tracks of the HS line;
- 20.000 sleepers of 2,40 m length for passing tracks, branching tracks and staging tracks;

About 20.000 tons of 60E1-profile rails, quality R260, in elementary bars of 108 m length for the construction of the tracks of the main line and the branching line and about 170 tons in elementary bars of 36 m length for the construction of the staging tracks⁽³⁾;

- 12 swing nose points S60U/3000 $\rightarrow \infty/0,022$;
- 4 swing nose points S60U/400/0,074;
- 4 swing nose points S60U/1200/0,040;
- 4 fixed frog points S60U/400/0,074;
- 1 point S60U/250/0,12 with pre-compressed reinforced concrete bearers;
- 5 points S60U/250/0,12, with timber bearers;
- 1 point S60U/170/0,12 with timber bearers;

⁽³⁾ The rails were anyway supplied "just in time": at least one couple of backup rail sets (36 x 108 m, for each set) was always present in the construction yard thus allowing to face possible discontinuities in the arrival of rails supplying the movable track construction yard.

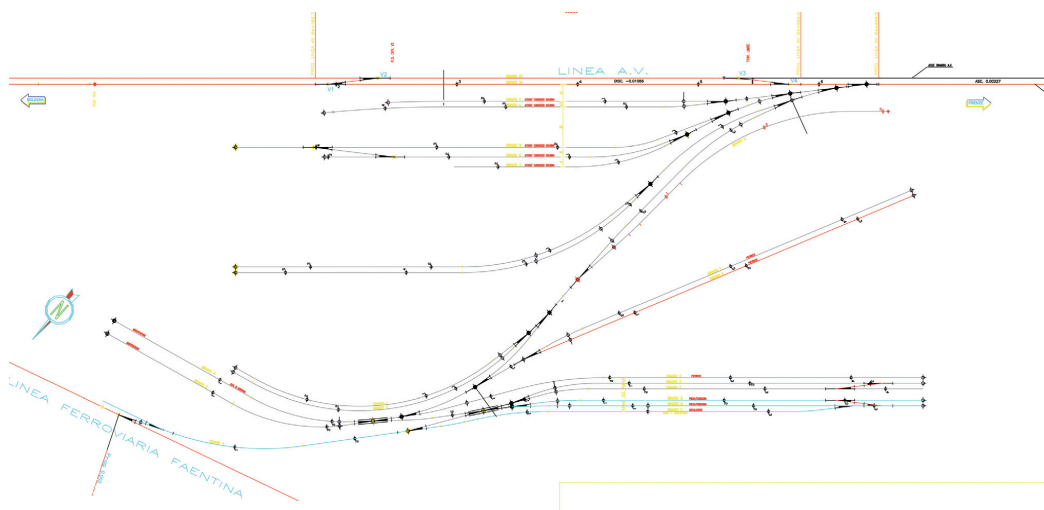


Fig. 8 - Planimetria Cantiere di armamento CAR1 in località S. Piero a Sieve. *Layout of the permanent way yard CAR1 in the area of S. Piero a Sieve.*

ton in barre elementari da 36 m, per la costruzione dei binari di scalo⁽³⁾;

- 12 deviatori S60U/3000 $\rightarrow \infty/0,022$ con cuore a punta mobile;
- 4 deviatori S60U/400/0,074 con cuore a punta mobile;
- 4 deviatori S60U/1200/0,040 con cuore a punta mobile;
- 4 deviatori S60U/400/0,074 con cuore a punta fissa;
- 1 deviatoio S60U/250/0,12, con piano di posa su cap;
- 5 deviatori S60U/250/0,12, con piano di posa su legno;
- 1 deviatoio S60U/170/0,12 con piano di posa su legno;
- 2 deviatori del tipo a gola 68G1/150/0,13;
- circa 700.000 m³ di ballast basaltico di 1^a categoria secondo declaratoria RFI. Di questi, circa 600.000 m³ sono stati stoccati nelle aree del CAR1 al Mugello, mentre la rimanente parte è stata stoccata in due aree poste in corrispondenza dell'interconnessione di San Ruffillo e del Viadotto Laurinziano.

L'innesto del cantiere di armamento sulla linea Faentina (fig. 8) ha garantito il collegamento con la rete RFI in esercizio, permettendo l'accesso sulla costruenda linea AV di tutti i materiali di armamento pervenuti su carri ferroviari (rotaie, deviatori, etc.) e dei macchinari d'armamento

⁽³⁾ La fornitura delle rotaie è comunque avvenuta "just in time": in cantiere, è sempre stata presente almeno una coppia di equipaggi di rotaie di "backup" (36 x 108 m, per ciascun equipaggio), in caso fossero intervenuti inconvenienti nell'arrivo in continuo delle rotaie di alimentazione del cantiere mobile di costruzione del binario.

2 groove points di tipo 68G1/150/0,13;

About 700.000 m³ of basaltic ballast of 1st category according to RFI instructions. About 600.000 m³ of such ballast were stored in the Mugello yard (CAR1) while the remaining part was stored in two areas in the vicinity of the San Ruffillo branching line and the Laurinziano Viaduct.

The connection of the permanent-way yard to the Faentina railway line (fig. 8) guaranteed even the link with the RFI network. The permanent-way materials on railway wagons (rails, points, etc) and the permanent-way machines running exclusively on rails were then able to access the HS line for the construction activities.

5. Topographic framing on "absolute base"

All the structures and even the permanent-way have been framed in a single geodetic network, measured with GPS devices, composed of a main network whose bases have a length ranging from 10 to 35 km and a secondary network, rigidly connected to the main one, whose bases have a length lower than 5 km.

Starting from the outer network a progressive thickening has been carried out in order to create a reference system of outer stations whose reciprocal distance is lower than 250 m, for the stations of the short side traverse, and comprised between 400 m and 600 m for the stations of the long side traverse.

Starting from the traverse stations the co-ordinates x, y, z of the so-called fixed points have been determined by

transitanti esclusivamente su binario e necessari alle attività di costruzione.

5. Inquadramento topografico su "base assoluta"

Tutte le opere previste, quindi anche l'armamento, sono state inquadrate in un'unica rete geodetica misurata con apparati GPS, costituita da una rete principale le cui basi hanno una lunghezza compresa tra 10 e 35 km ed una rete secondaria rigidamente collegata alla rete principale le cui basi hanno una lunghezza inferiore ai 5 km.

A partire dalla rete esterna, si è proceduto ad un progressivo raffittimento al fine di creare un sistema di vertici di riferimento esterni la cui mutua distanza fosse contenuta entro i 250 m, per i vertici della poligonale a lati corti, e contenuta tra 400 m e 600 m, per i vertici della poligonale a lati lunghi.

Dai vertici delle poligonali, attraverso operazioni topografiche di precisione, si è provveduto al rilievo delle coordinate x, y, z dei cosiddetti "punti fissi", materializzati lungo il tracciato con un passo pari a quello dei pali/sospensioni TE (tra i 40 ed i 60 m), mediante dei perni cilindrici in acciaio inossidabile. Le coordinate dei punti fissi hanno costituito l'elemento di riferimento per il posizionamento del binario su "base assoluta", in quanto tutte le operazioni di alzamento e livellamento del binario descritte nel seguito sono state precedute da un rilievo della posizione, rispetto ai "punti fissi", dell'asse del binario stesso e ad un confronto tra la posizione dell'asse "rilevata" e la posizione dell'asse di progetto "ottimizzata".

Infatti, preliminarmente alla stesa del primo strato di ballast, si è proceduto ad un rilievo piano altimetrico della sede ferroviaria e ad una successiva rielaborazione dell'asse del tracciato ("Ottimizzazione piano altimetrica"), al fine di tenere in conto l'effettiva posizione delle opere così come realizzate.

L'andamento del tracciato "ottimizzato" è stato successivamente materializzato sul terreno, costituendo così la base di partenza per le operazioni di costruzione del binario.

6. Posa del primo strato di pietrisco

Come previsto dal Capitolato di costruzione "Armamento per linee ad alta velocità", la prima operazione eseguita è stata la posa del primo strato di pietrisco sulla piattaforma ferroviaria dello spessore di 25 cm, successivamente compattato mediante un rullo vibrante gommato con almeno quattro passate del rullo stesso.

Interessante è stata la modalità di trasporto e scarico del ballast all'interno delle gallerie: l'accesso dei camion "trasportanti" il pietrisco è avvenuto dal cantiere del Mugello in direzione Nord all'interno della Galleria Fiorenzuola fino a ridosso del Camerone di San Pellegrino, dove ancora si stavano ultimando le lavorazioni alla sede.

means of precision topographic operations; these fixed points were then materialized along the line layout, by means of stainless steel cylindrical pivots, with the same space step of the Electric Traction masts/suspensions (between 40 and 60 m). The co-ordinates of the fixed points represented the reference elements for the track positioning on "absolute base" as all the activities of track raising and leveling, hereafter described, were preceded by a position survey of the track's center line with respect to the fixed points and by a comparison between the "surveyed" position and the "optimized" design position.

Indeed before laying the first ballast layer a planimetric-altimetric survey of the railway bed has been done followed by a re-processing of the layout center line ("planimetric-altimetric optimization"), aiming to take into consideration the actual position of the structures.

The "optimized" layout profile has been subsequently materialized on the ground thus representing the starting point for the track construction works.



Fig. 9 - Galleria Fiorenzuola. Formazione primo strato di ballast. Piattaforma girevole. *Fiorenzuola Tunnel. Formation of the first ballast layer. Movable turntable.*

6. Laying of the first ballast layer

According to the Specifications for the Construction of the "High Speed permanent way" the first activity executed was the laying of a first ballast layer of 25 cm of thickness on the track formation; such ballast layer was subsequently compacted by a tired vibrating roller with at least four passes of the roller itself.

The modalities of ballast transportation and unloading inside the tunnels were even interesting: the trucks for the ballast transportation accessed the railway line from the Mugello yard, moving northward inside the tunnel of Fiorenzuola till the North mouth of the tunnel itself in the San Pellegrino area where some activities concerning the track formation were still in progress.



Fig. 10 - Motor grader utilizzato per la distribuzione del primo strato di pietrisco. *Motor grader utilized for the distribution of the first ballast layer.*

Per i camion, perciò, l'unica via d'uscita dopo aver scaricato il ballast, era fare inversione ed uscire dallo stesso punto in cui erano entrati in galleria. Poiché gli spazi a disposizione non permettevano l'inversione dei mezzi e comunque sarebbe stato impensabile percorrere a retromarcia l'intera estesa (circa 20 km), è stata utilizzata una piattaforma mobile e girevole a 360° che veniva, di volta in volta, posizionata a circa 300-400 m dalla zona di scarico: il camion carico di ballast arrivava, in normale senso di marcia, in corrispondenza della piattaforma, saliva su di essa, veniva ruotato di 180° (fig. 9) e percorreva a retromarcia al massimo 400 m fino alla zona di scarico.

Il ballast, una volta scaricato dal camion, veniva distribuito mediante l'utilizzo di un motor grader (fig. 10) e poi



Fig. 11 - Galleria Firenzezuola. Formazione primo strato di ballast. Camion carico in retromarcia (sx) e camion scarico in normale senso di marcia (dx). *Firenzezuola Tunnel. Formation of the first ballast layer. Loaded truck in reverse running (left) and unloaded truck in normal running mode (right).*

Therefore, the only exit way for the trucks after unloading the ballast was to reverse and exit the tunnel from the same entrance point. As the available spaces didn't allow the U-turn of the trucks and it would have been anyway unthinkable to run in reverse the whole line section (about 20 km) a movable turntable (360°) was used and positioned from time to time at a distance of about 300-400 m from the unloading area: the ballast loaded truck approached the turntable in the normal running mode and mounted on it; after turning the turntable of 180° (fig.9) the truck run in reverse a maximum extension of 400 m till the unloading area.

Following to the unloading from the truck, the ballast was distributed by means of a motor grader (fig. 10) and subsequently compacted as above described. The unloaded truck could then run again the line section till reaching the supplying yard, ready for a new working cycle (figg. 11 and 12).

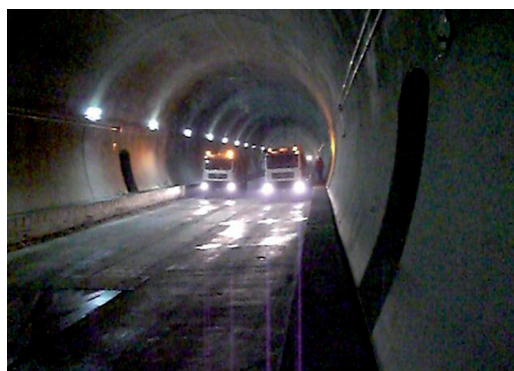


Fig. 12 - Galleria Firenzezuola. Formazione primo strato di ballast. Camion carico in retromarcia (sx) e camion scarico in normale senso di marcia (dx). *Firenzezuola Tunnel. Formation of the first ballast layer. Loaded truck in reverse running (left) and unloaded truck in normal running mode (right).*

The first ballast layer of the other tunnels of this HS line section was laid according to similar modalities, always using the turntable where the contour conditions imposed such choice. On the contrary the utilization of the turntable was not possible, for evident dimension reasons, inside the tunnels of the San Ruffillo Up and Down branching lines: the ballast required for the formation of the first layer was then transported by trucks that accessed the line from both entrances of the branching line tunnels, running in reverse a maximum extension of half the overall length of the branching lines (fig. 13)

7. Ballast washing

An aspect to underline is that all the ballast, both the first layer and the following ones, was accurately washed

successivamente compattato come sopra descritto. Il camion scarico poteva così ripercorrere in normale senso di marcia la tratta fino al cantiere di approvvigionamento, pronto per iniziare un nuovo ciclo di lavoro. (figg. 11 e 12).

Con modalità analoghe, è stato steso il primo strato di pietrisco su tutte le altre gallerie della tratta AV, sempre utilizzando la piattaforma girevole, laddove le condizioni al contorno lo rendevano necessario.

All'interno delle interconnessioni pari e dispari di San Ruffillo, invece, trattandosi di gallerie a semplice binario, non è stato possibile impiegare la piattaforma girevole per evidenti ragioni di ingombro: il ballast necessario alla formazione del primo strato è stato trasportato sempre via camion accedendo, però, da entrambi gli imbocchi delle gallerie di interconnessione, percorrendole in retromarcia per un'estesa al massimo pari alla metà della loro lunghezza complessiva (fig. 13).

7. Il lavaggio del pietrisco

Un aspetto da evidenziare è che tutto il pietrisco, sia quello utilizzato per la formazione del primo strato sia quello utilizzato per gli alzamenti successivi, prima del suo trasporto in linea, è stato sottoposto ad accurato lavaggio.

Tutto ciò per limitare quanto più possibile l'introduzione nelle lunghe gallerie di linea delle polveri che, oltre quelle tollerate dalle specifiche capitolari in fase di fornitura, si erano venute a depositare sul ballast durante il periodo intercorso tra lo stoccaggio in cantiere ed il suo effettivo utilizzo per la costruzione dell'armamento.

Infatti, le condizioni di fornitura del ballast a nuovo ammettono, entro certi limiti, la presenza di particelle fini (passanti al setaccio $\Phi = 0,063$ mm) ed aggregati fini (passanti al setaccio $\Phi = 0,5$ mm) nella misura rispettivamente dello 0,5% e dello 0,6% in massa del campione sottoposto a prova.



Fig. 13 - Galleria Interconnessione San Ruffillo. Primo strato di pietrisco. *San Ruffillo branching line tunnel. First ballast layer.*



Fig. 14 - Bagnatura del ballast prima della posa del primo strato. *Ballast washing before the laying of the first layer.*

before its transportation along the line for the subsequent laying activity.

Such washing phase was carried out to limit as much as possible the introduction of dusty materials inside the long tunnels. In this regard it has to be observed that besides the dust content permitted by the supply specifications some more dust had deposited on the ballast during the time period going from the storage phase in the yard and its actual utilization for the permanent way construction.

Indeed the supplying conditions concerning new ballast permit, within specified limits, the presence of fines (Sieve size $\Phi = 0,063$ mm) and fine particles (Sieve size $\Phi = 0,5$ mm) in the measure of 0,5% and respectively 0,6% of the mass of the sample under test. The ballast for the formation of the first layer had been preventively washed directly in the storage banks, before its loading, by means of localized sprout sprayers in the loading areas of the trucks (figg. 14 and 15).

A washing plant (figg. 16 and 17) was mounted, in the vicinity of the storage and loading yard, to wash the remaining ballast to be used for track completion; it was composed of a pipe system mounted on a portal under which the loaded hopper wagons run.

The operation was carried out by gravity water fall from a nozzle positioned at the center of the portal itself with a spout breaking system aiming to guarantee a "rain" distribution all over the loading surface. A specific permanence time (not lower than 10 minutes) under the washing portal was set for each hopper of the convoy in such a way that the water filtering out from the lower holes of the hoppers became clear.

8. Progresses of the construction yard for the permanent way laying

The program for the construction of the permanent

Relativamente al ballast da utilizzare per la formazione del primo strato, si è proceduto ad un lavaggio preventivo direttamente sui cumuli di stoccaggio, prima del carico, mediante irrigatore a getto localizzato nella zona di carico dei camion. (figg. 14 e 15).

Per il ballast da impiegare nelle ricariche per gli alzamenti, è stato realizzato, in prossimità del cantiere di stoccaggio e carico, un impianto di lavaggio (figg. 16 e 17) costituito da un sistema di tubazioni montate su un portale al di sotto del quale transitavano i carri tramoggia appena caricati.

L'operazione è avvenuta per caduta d'acqua a gravità da una bocca posta al centro del portale stesso, con un sistema di rottura del getto per garantirne la distribuzione "a pioggia" sull'intera superficie del carico.

Per ciascuna tramoggia del convoglio, è stato previsto un tempo di permanenza al di sotto del portale di lavaggio tale che l'acqua filtrante dalle aperture inferiori dei carri si chiarificasse e comunque per non meno di 10 minuti.



Fig. 15 - Bagnatura del ballast prima della posa del primo strato.
Ballast washing before the laying of the first layer.

8. Gli avanzamenti del cantiere di posa dell'armamento

Il programma di realizzazione dell'armamento è stato redatto in stretta correlazione con il programma di ultimazione delle opere civili e soprattutto con quello di costruzione degli impianti tecnologici, per i quali determinate attività sono eseguibili quasi esclusivamente con mezzi ferroviari.

Per far fronte a ciò, emergeva che l'attività di costruzione della cosiddetta "strada ferrata", ovvero della posa in opera sul primo strato di pietrisco delle traverse e delle rotaie, attività che di norma riveste maggiore complessità in termini di tempistica di realizzazione (fig. 18), dovevano garantire un avanzamento medio del cantiere di circa 2 km di singolo binario al giorno. Nel paragrafo suc-



Fig. 16 - Cantiere CAR1. Impianto di lavaggio ballast. *Construction yard CAR1. Ballast washing plant.*

way was defined in close correlation with the civil work completion program and in particular with the technological plant installation program taking even into account that many technological activities could be carried out almost exclusively by means of railway vehicles. It revealed then necessary that the activity of construction of the so-called "railway track", that is the laying, on the first ballast layer, of sleepers and rails, usually a particularly complicated activity in terms of construction times (fig.18), guaranteed an average progress of the yard of about 2 km of single track per day. The following paragraph illustrates the organization of the permanent way yard as designed to respect the planned times.

9. Laying of sleepers and rails

The laying of tracks and points has been executed by the Consortium ICAV.



Fig. 17 - Cantiere CAR1. Impianto di lavaggio ballast. *Construction yard CAR1. Ballast washing plant.*

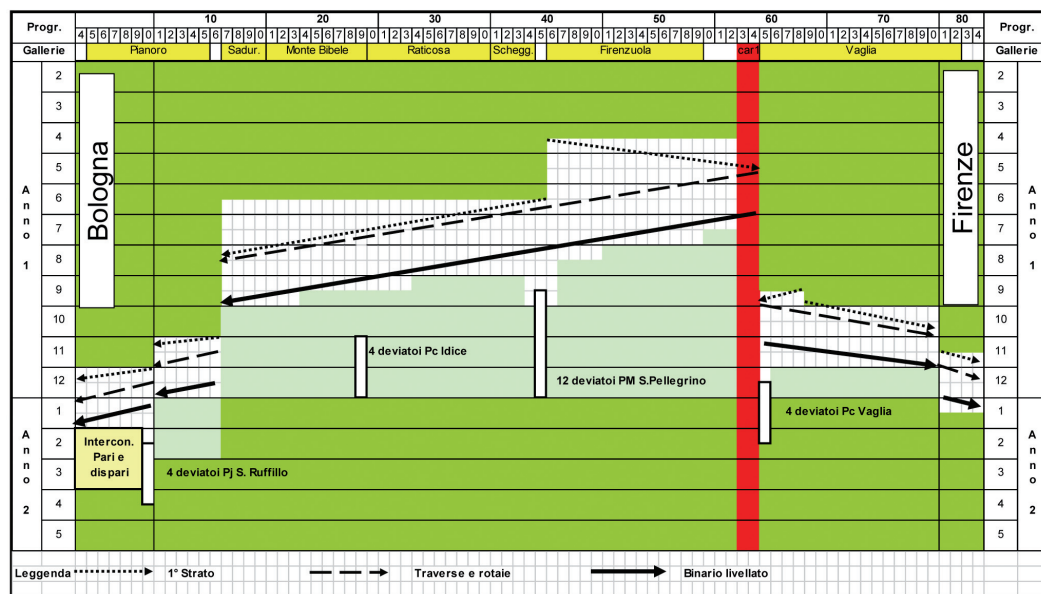


Fig. 18 - Diagramma spazio-tempo delle attività di costruzione dell'armamento sulla tratta Bologna-Firenze. Space-time diagram of the permanent-way construction activities in the High Speed Line Bologna-Florence.

cessivo viene descritta l'organizzazione del cantiere di posa dell'armamento al fine di rispettare le tempistiche previste nel programma.

9. Posa delle traverse e delle rotaie

La posa del binario e degli scambi è stata realizzata dal Consorzio ICAV.

Una volta terminata la formazione del primo strato di pietrisco nella Galleria Firenzuola, si è proceduto alla posa delle traverse e delle rotaie nella galleria medesima, sempre partendo dal cantiere di armamento CAR1 del Mugello, avanzando in direzione Nord.

Durante le operazioni di stesa del binario, il cantiere di posa del primo strato ha continuato la sua produzione, avanzando anch'esso verso Nord nelle Gallerie Scheggianico, Raticosa, Monte Bibele e Sadurano in modo da dare continuità alla formazione del primo strato e permettere all'avanzante cantiere di stesa del binario, una volta terminate le lavorazioni nella Galleria Firenzuola, di proseguire senza interruzioni fino circa alla progr. 10+500 (ovvero circa 50 km distante dalla sua base logistica).

L'esigenza di garantire gli avanzamenti richiesti dal programma nella realizzazione del binario, ha reso necessaria la costruzione "in parallelo" dei binari pari e dispari, con la contemporanea presenza, quindi, in galleria di due cantieri di armamento lungo la stessa linea.

Once completed the formation of the first ballast layer in the Firenzuola tunnel, sleepers and rails were laid in the same tunnel always starting from the permanent way yard (CAR1) in the Mugello area and moving northward.

During the track laying activities the yard for the laying of the first ballast layer has continued its production and has progressed Northward in the tunnels of Scheggianico, Raticosa, Monte Bibele and Sadurano in such a way to give continuity to the formation of the first layer and to allow the track laying yard, once completed the works in the Firenzuola Tunnel, to progress without any interruption up to about the kilometric point 10+500 (that is about 50 km far from its logistic base).

The need to guarantee the working progresses set by the track construction program imposed to work "in parallel" for the construction of both the Up track and the Down track thus determining the contemporary presence of two permanent way yards in tunnel along the same line.

It was then necessary, for dimension reasons, to stagger the two track laying yards and to split the relevant working sections inside the tunnel by means of installation, behind the laying trains, of suitable groups for the aspiration of the smokes and the dust emitted by the said trains during the working cycles; smokes and dust were then directed at the shoulders of the yard and conveyed outside by means of the closest transversal access tunnel: it was then guaranteed that the "second" yard following



Fig. 19 - Posa del binario. Particolare sfilamento rotaie. *Track laying. Detail of the extraction of the rails.*

È stato, pertanto, necessario sfalsare i due cantieri di posa, per ragioni di ingombro, e parzializzare le rispettive sezioni di lavoro all'interno della galleria, predisponendo, in coda ai treni di posa, dei gruppi di aspirazione dei fumi e delle polveri emessi dal treno durante il ciclo di lavoro, in modo da indirizzare i medesimi alle spalle del cantiere e convogliarli all'esterno, attraverso la più vicina finestra: si è garantito, così, che il "secondo" cantiere di lavoro in coda al "primo" non fosse coinvolto dalle emissioni sopra dette.

Riguardo le modalità realizzative del binario, è stato utilizzato, per la quasi totalità della linea, il treno di posa: si tratta di una macchina di armamento derivata dal comune treno di rinnovamento utilizzato per la manutenzione della rete ferroviaria in esercizio, opportunamente modificato in testa mediante l'inserimento di un carrello, il quale poggia direttamente sul pietrisco attraverso una coppia di cingoli.

Con questo metodo di posa, vengono dapprima posizionate le rotaie attraverso un apposito sistema di scarico che provvede a sfilarle dai carri pianale sui quali sono trasportate lungo linea ed a depositarle sul primo strato di pietrisco (fig. 19), con interasse tale da permettere il successivo passaggio del treno di posa e comunque non inferiore ai 3 m.

Il treno di posa trasporta dietro di sé, su carri pianale, le traverse, del tipo RFI 260 con sistema di attacco elastico per linee ad Alta Velocità premontato su di esse, nella giusta quantità necessaria all'avanzamento previsto per il singolo turno di lavoro.

Il treno, avanzando, provvede a collocare di fronte a sé, attraverso un sistema a nastro trasportatore controllato da calcolatore, le traverse sul primo strato, posizionandole direttamente allo spartito previsto di 60 cm, all'interno della coppia di rotaie preliminarmente stese sul pietrisco.

Il sistema a nastro trasportatore è alimentato, a sua

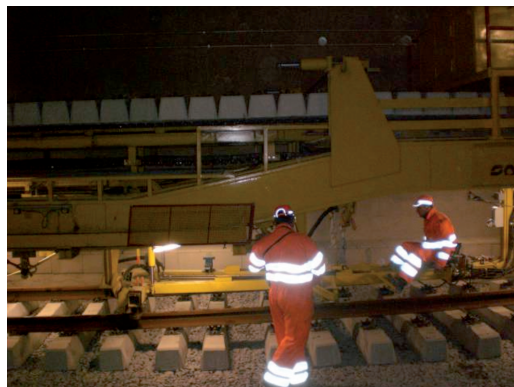


Fig. 20 - Posa del binario. Posizionamento rotaie e controllo spartito traverse. *Track laying. Positioning of the rails and control of the sleeper spacing.*

the first one were not involved by the above described emissions.

As far as the construction modalities are concerned we can say that almost all the permanent way of the line was carried out by means of the laying train: it is a permanent way machine derived from the common renewal train that is used for the maintenance of the railway network in operation; its head has been properly modified by installing a carriage that directly runs on the ballast by means of a couple of belts.

According to such laying method the rails are positioned by means of a suitable unloading system that takes the rails out of the flat wagons on which they are transported along the line and deposits them on the first ballast layer (fig.19) at a reciprocal distance that is able to guarantee the subsequent passage of the laying train and is anyway not lower than 3 m.

The laying train transports on flat wagons even the sleepers that are necessary for the progress of the single working cycle. The sleepers used are of type RFI 260 with pre-mounted elastic fastening system for High Speed lines.

While the train progresses the sleepers are positioned on the first ballast layer, just before the train, by means of a computer controlled conveyor belt system. The sleepers are positioned according to a space distance of 60 cm within the two rails previously laid on the ballast. The conveyor belt is in turn fed by a movable shuttle portal that takes the sleepers from the flat wagons at the back. Subsequently the train raises the rails that had been previously unloaded beside the first ballast layer and it positions them on the sleepers: in such a way the laying train can progress and move over the track that constructs step by step (fig. 20).

An aspect to underline is relevant to the laying of the special sleepers RFI 260 CdB.

volta, da un portale mobile a navetta, il quale preleva le traverse dai carri pianali retrostanti.

Successivamente, il treno solleva le rotaie, in precedenza scaricate a lato sul primo strato di pietrisco e le posiziona sulle traverse stesse: in questo modo, il treno di posa può avanzare muovendosi sul binario che man mano costruisce sotto di sé (fig. 20).

Un aspetto da porre in evidenza è relativo alla posa delle traverse speciali RFI 260 CdB.

Tali traverse, del tutto simili alle normali traverse di linea in termini di materiali, forma, dimensioni e prestazioni (fig. 21) hanno la particolarità di essere appositamente attrezzate per contenere i dispositivi di compensazione del Circuito di Binario ad audiofrequenza.

Per far sì che il loro posizionamento avvenisse in automatico durante il ciclo di lavoro del treno di posa ed in corrispondenza delle corrette progressive previste dal piano di posa, i carri traverse di alimentazione del treno di lavoro venivano caricati, prima dell'inizio di ciascun turno, facendo in modo che le traverse CdB si trovasse nella giusta posizione così che, una volta scaricate dal nastro trasportatore sul primo strato di pietrisco, sarebbero ricadute esattamente dove previsto progettualmente.

Successivamente alla posa delle traverse e delle rotaie, si è provveduto alla saldatura in opera delle barre elementari di rotaie da 108 mediante il procedimento elettrico a scintillio, a costituire così il binario continuo, in attesa di regolazione.

10. Alzamenti successivi

Il raggiungimento della quota definitiva del piano del ferro ottimizzato è stata ottenuta attraverso tre successivi alzamenti del binario, rispettivamente di 5 cm i primi due e di 2 cm l'ultimo alzamento. Ogni alzamento è stato preceduto da:

- rilievo della posizione dell'asse del binario su base assoluta, mediante carrellino di misura e stazione totale automatizzata. Confrontando i rilievi ottenuti con i valori di progetto costruttivo, è stato possibile desumere gli elementi di correzione plano-altimetrici da apportare con la macchina livellatrice;
- scarico dai carri tramoggia del pietrisco necessario al singolo alzamento (fig. 22).

Tutti gli alzamenti sono stati realizzati mediante macchina rinalzatrice, livellatrice ed allineatrice operante in automatico sulla scorta degli elementi di correzione plano-altimetrica in precedenza rilevati su base assoluta con il carrellino di misura.

A valle di ogni alzamento, è stata eseguita una compattazione della massicciata con macchina stabilizzatrice dinamica operante con frequenza tra 35 e 42 Hz e con le modalità operative in uso presso RFI.



Fig. 21 - Traversa RFI 260 CdB. *Sleeper RFI 260 CdB.*

Such sleepers are similar to the normal line ones in terms of materials, shape, dimensions and performances (fig. 21) but they have the peculiarity to be arranged to contain the compensation devices of the audio-frequency track circuits.

In order to carry out an automatic and precise positioning (according to the laying plan) of these special sleepers during the working cycle of the laying train, the sleeper wagons feeding the work train were loaded, before the beginning of each working cycle, in such a way that the Track Circuit sleepers were already in the right position and could be then correctly positioned, once unloaded on the first ballast layer, according to the design schemes.

Following to the laying of sleepers and rails, the 108 m elementary rail bars were welded on site by means of the flash butt welding technique thus forming the continuous track to be later de - stressed.

10. Track lifting, leveling and aligning

The final level of the optimized upper surface of the rails has been achieved by means of three subsequent track raising phases. The first two phases raised the track of 5 cm while the last raising amounted to 2 cm. Each lifting phase was preceded by:

- a survey of the position of the track centre on absolute base by means of measuring carriage and automated station. A comparison between the achieved results and the construction design values allowed to determine the planimetric-altimetric correction elements to implement by means of the leveling machine.
- the unloading from the hoppers of the ballast that is necessary for a single raising (fig. 22).

All the raising phases have been carried out by an automatic tamping, leveling and aligning machine. Such



Fig. 22 - PM di San Pellegrino. Scarico del ballast dai carri tramoggia. PM di San Pellegrino. Ballast unloading from the hopper wagons.

Durante queste fasi si è anche provveduto alla realizzazione della sopraelevazione delle curve, fino a 5 cm durante il primo alzamento e fino al valore di progetto durante il secondo alzamento.

11. Posa dei deviatori

Tutti i deviatori ricadenti sui binari di corsa, rigorosamente del tipo con cuore a punta mobile e conformi alle più recenti innovazioni tecnologiche ad essi apportate in fase di omologazione sono stati montati in opera, seguendo le prescrizioni capitolari e le specifiche costruttive AV.

Anche per i deviatori, per il fatto che si trovavano all'interno di lunghe gallerie, è stato necessario adottare preventivi accorgimenti al fine di rendere agevole la loro posa in opera; infatti, particolare cura è stata prestata nel caricare i singoli componenti di ciascun deviatore sui carri pianale esattamente nell'ordine in cui dovevano essere scaricati e, soprattutto, nel corretto verso di posa.

Tali accorgimenti, seppur già di norma adottati nelle usuali operazioni di costruzione e varo di deviatori all'aperto, hanno assunto particolare rilievo in galleria poiché una eventuale operazione di inversione di uno qualsiasi dei componenti del deviatore (telaio aghi, intermedie, cuore, etc.) sarebbe stata alquanto problematica da effettuare ed avrebbe comportato, in alcuni casi, la necessità di trasportare di nuovo all'aperto il carro con i componenti del deviatore per procedere all'inversione dei/dei componenti non correttamente caricati.

Per facilitare ciò, ogni deviatore è pervenuto presso il cantiere di armamento del Mugello già caricato sui carri secondo l'ordine ed il verso di posa prestabilito ed è stato, quindi, sufficiente verificare, prima dell'invio in linea, che il carro fosse indirizzato nel verso corretto ed

machine operates according to the planimetric and altimetric correction elements previously recorded on absolute base by the measuring carriage.

A ballast compacting action was carried out, following each single raising phase, by a dynamic stabilizing machine operating in a frequency range between 35 and 42 Hz according to the operational modalities adopted by RFI.

The track cant in curve has been even carried out during these phases, up to 5 cm during the first raising phase and up to the design value during the second raising phase.

11. Laying of the points

All the points along the main tracks are strictly movable frog points matching the most recent technological innovations introduced during the homologation phase. They have been mounted on site respecting the specification requirements and the HS construction specifications.

Preventive measures were even necessary to make easy the on-site laying of the points inside the long tunnels; a particular care was indeed paid in loading the single components of each point on the flat wagons exactly respecting the order according to which they had to be unloaded and in particular their laying direction.

Such solutions, even though already adopted in the usual construction of outdoor points, gained a particular importance for the installations inside the tunnels as all the possible inversion operations concerning any point component (switching device, intermediate rails, frog, etc.) would have been very complicated and would have obliged in some cases to transport back the wagons outside the tunnel and proceed to the inversion of the point components not correctly loaded.

In order to make easier such process each single point



Fig. 23 - Deviatore S60U/1200/0,040 c.p.m. in fase di costruzione. Particolare zona del cuore. Movable frog point of type S60U/1200/0,040 under construction. Detail of the frog.

eventualmente procedere alla sua inversione in sede di cantiere; inoltre, ogni componente del deviatoio presentava alle sue estremità dei numeri progressivi evidenziati a vernice che ne facilitavano l'individuazione e la posa in successione (fig. 23).

12. Opere di finitura

Prima dell'esecuzione dei controlli finali, i binari e gli scambi della linea hanno subito tutte le rimanenti lavorazioni di finitura che brevemente si riassumono:

- profilatura della massicciata, per conferire alla sezione del binario le dimensioni tipiche delle sezioni tipologiche standard dell'Alta Velocità;
- spazzolatura, per eliminare dall'estradosso delle traverse e dagli organi d'attacco tutti i residui di ballast originatisi durante le fasi di costruzione;
- regolazione del binario continuo in Lunga Rotaia Saldata, laddove le caratteristiche della linea lo hanno reso necessario, in conformità alle vigenti istruzioni RFI. Tale operazione di regolazione è stata effettuata nelle sole zone della tratta che si trovavano al di fuori delle gallerie e nei primi 75 m circa di binario a partire dagli imbocchi delle gallerie stesse;
- abbassamento di circa 2 cm con compattazione della quota del ballast tra una traversa e la successiva, per un'estensione di circa 2 m in asse binario, compresa la svanatura della zona sottorotaia, per contrastare gli effetti aerodinamici sul ballast connessi all'alta velocità dei treni. I dispositivi utilizzati consistono in:
 - un gruppo "compattatore" realizzato a mezzo di due piatti vibranti, operanti nello stesso campo di frequenze di norma utilizzato nelle operazioni

arrivedo al permanent way yard of Mugello already loaded on the wagons according to a pre-established order and laying direction; it was then sufficient to verify, before accessing the line, the correct orientation of the wagon and eventually to proceed to its inversion directly on site; moreover progressive numbers were painted at the ends of each single point component thus making easy its detection and its subsequent laying (fig.23).

12. Finishing works

All the remaining finishing works regarding tracks and points were carried out before the execution of the final control tests; these works are here briefly summarized:

- Ballast profiling aiming to shape the track sections according to the characteristic dimensions of the High Speed typological sections;
- Ballast brushing aiming to eliminate from the sleeper extrados all the ballast residuals accumulated during the construction phases;
- Rail de – stressing (Long Welded Rails), where required by the line characteristics according to the RFI regulations in force. Such track adjustment activity was carried out exclusively in the outdoor sections and in the first 75 m of the tunnels starting from the mouths of the tunnels;
- Compacting and lowering of about 2 cm of the ballast height between two subsequent sleepers, for an extension of about 2 m with respect to the centre line of the track, included the areas under the rails, aiming to reduce the aerodynamic effects, on the ballast, connected to the high speed of the trains. The used devices are composed of:
 - a "compacting" group equipped with two vibrating



Fig. 24 - Abbassamento della quota del ballast. *Lowering of the ballast height.*



Fig. 25 - Svanatura del pietrisco nella zona sottorotaia. *Removal of ballast from the areas under the rails.*

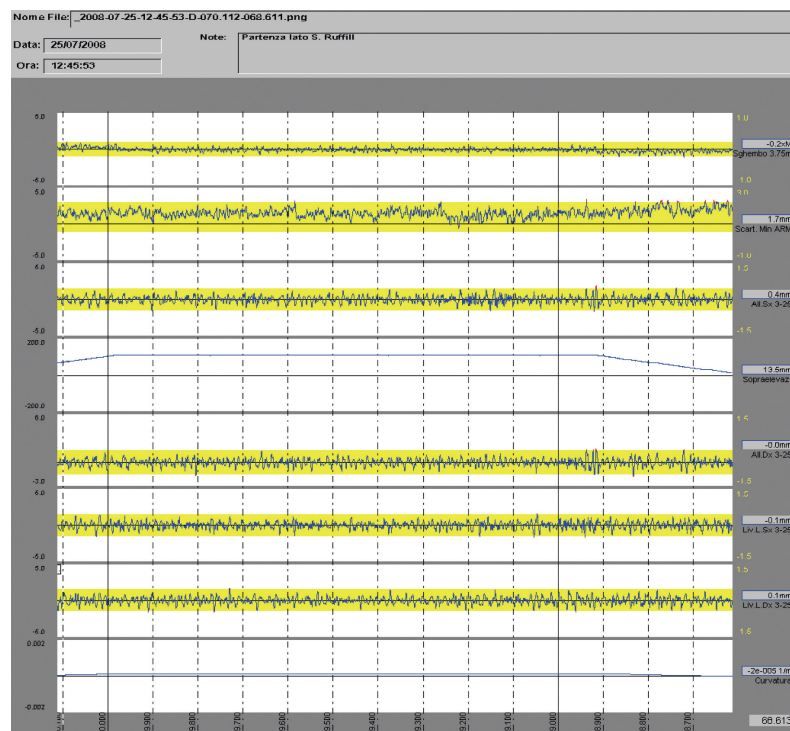


Fig. 26 - Verifica delle tolleranze di costruzione della geometria del binario con il Treno Archimede. Verification of the track geometry construction tolerances with the Archimede Train.

di stabilizzazione dinamica della massicciata, montato su un normale caricatore strada-rotaia, il quale provvede ad abbassare la quota del ballast, compresa tra le due rotaie, tra una traversa e la successiva ed a vibro - compattare tale zona. (fig. 24);

- un gruppo “svanatore”, costituito da due elementi metallici montati su un carrellino ed azionati meccanicamente, i quali provvedono ad asportare il ballast nella zona sotto le due rotaie (fig. 25).
- Molatura preventiva del binario e degli scambi.

13. Controlli finali

Al termine delle operazioni di costruzione, il binario e gli scambi sono stati oggetto di rigorosi controlli di geometria interna, per verificare la rispondenza delle tolleranze stabilite dai Capitolati di Costruzione AV e dalle direttive RFI “Standard di qualità geometrica del binario per velocità fino a 300 km/h” (fig. 26).

Il rilievo dei parametri geometrici del binario è stato svolto con l'ausilio del treno diagnostico di Rete Ferro-

plates operating in the same frequency range that is normally used in the ballast dynamic stabilization activities; such group is mounted on a normal road-rail loader and it has the duty to lower the ballast area comprised between the two rails and two subsequent sleepers and to vibrate and compact such area (fig. 24);

- a “svanatore” group composed of two mechanically driven metallic elements, mounted on a carriage, whose function is to remove a certain amount of ballast from the areas under the rails (fig. 25).

Preventive grinding of rails and points.

13. Final verifications

At the end of the construction phase both tracks and points were submitted to rigorous internal geometry tests aiming to verify the respect of the tolerances required by the HS Construction Specifications and by the RFI Directive “Standard di qualità geometrica del binario per velocità fino a 300 km/h” (fig. 26).

The survey of the track geometrical parameters was carried out with the help of the diagnostic train “Archimede” of Rete Ferroviaria Italiana. It was then possible to measure continuously the following quantities in a loaded track condition:

- Track gauge;
- Longitudinal level (right rail and left rail);
- Alignment (right rail and left rail);
- Cross level;
- Twist

and to compare them with the nominal values and the construction tolerances set by the reference documents thus immediately detecting the possible exceeding of the admitted tolerances and then intervening to bring the values within the limits.

It has to be finally noted that a speed of 362 km/h was reached in the Borgo Rinzelli tunnel. Such top speed was reached by the train Y1, during the final part of the

viaria Italiana "Archimede". È stato possibile, pertanto, rilevare in continuo ed a binario carico le seguenti grandezze:

- scartamento;
- livello longitudinale (rotaie dx e sx);
- allineamento (rotaie dx e sx);
- livello trasversale;
- sghebbio,

e confrontarle con i valori nominali e le tolleranze di costruzione stabilite dai documenti di riferimento, così da individuare eventuali superi delle tolleranze ammesse ed intervenire per riportare i valori entro i limiti.

È infine da segnalare che al termine delle corse eseguite con il treno prova Y1, durante le fasi di test "Montée en Vitesse", nella galleria Borgo Rinzelli è stata raggiunta la velocità di 362 km/h, record italiano sulla nostra rete e record mondiale "indoor"!! (fig. 27).

14. Conclusioni

Le attività nell'articolo descritte, mediante le quali si è realizzato l'armamento sulla linea ad Alta Velocità tra Firenze e Bologna e le successioni logico-operative del processo produttivo, pressoché interamente sviluppato in ambiente difficile e ristretto (gallerie e viadotti), aggiungono ulteriori esperienze al background di Ingegneria del binario formatosi presso Italferr/RFI con la realizzazione del sistema Alta Velocità.

A conclusione di tale attività è emerso che con una attenta pianificazione delle lavorazioni, una precisa gestione operativa dei cantieri ed una piena affidabilità dei macchinari e con l'adozione di semplici ma efficaci accorgimenti, nonostante le oggettive difficoltà, è stata garantita una produzione media di singolo binario finito, dove per finito è da intendersi quel binario sul quale sono state effettuate tutte le lavorazioni previste dal Capitolato di Costruzione, paragonabile a quella ottenuta sulle altre linee AV allo scoperto, (circa 650-700 m di binario finito al giorno).

"Montée en Vitesse" tests and it represents the Italian record on the RFI network and the indoor world record !! (fig.27).

14. Conclusions

The present paper has described the activities implemented for the construction of the permanent way of the High Speed Line Bologna-Florence and the logical-operational sequences of the production process that was developed almost completely in a difficult and restricted environment (tunnels and viaducts). Such activities enrich the track engineering experience background that has been forming inside Italferr/RFI with the construction of the High Speed system.

Such activity shown that a careful planning of the works, a precise operation management of the construction yards, a high reliability of the machines and the adoption of simple but efficient measures allowed to guarantee, despite the objective difficulties, an average production of finite single track that can be compared with the production achieved in the other outdoor HS lines (about 650-700 m of complete track per day), where the meaning of complete single track is related to the completion of all the working activities concerning the track and required by the construction specification.



Fig. 27 - Snapshot con la velocità di punta di 362 km/h raggiunta nella corsa prova con il treno Y1 il 3 febbraio 2009. Snapshot with the maximum speed of 362 km/h reached by an Y1-type train during the test run of February 3rd 2009.