



L'assetto funzionale del nodo AlpTransit di Camorino e la previsione del comportamento della sovrastruttura ferroviaria

The functional layout of the AlpTransit Node of Camorino and the prediction of the railway superstructure behavior

Dott. Ing. Matteo-Maria MONTINI^(*), Dott. Ing. Marco CORRADINI^(**)

1. Introduzione

La Nuova Ferrovia Transalpina (NFTA) è parte del generale grande progetto svizzero di realizzazione del potenziamento infrastrutturale della linea dorsale Basilea-Chiasso che consente, in territorio svizzero, il collegamento ferroviario più diretto tra Germania e Italia.

Tale progetto comprende numerosi interventi di adeguamento e di nuova realizzazione infrastrutturale, al quale appartengono la Galleria di base del San Gottardo (≈57,0 km) e la Galleria di base del Ceneri (≈15,4 km), terza galleria ferroviaria svizzera per lunghezza dopo quelle di base del San Gottardo e del Lötschberg (≈34,5 km).

Dal punto di vista funzionale la Galleria di base del Ceneri è una galleria ferroviaria a due canne a binario singolo. Il tracciato, percorribile dai treni passeggeri alla velocità di 250 km/h e dai treni merci alla velocità di 160 km/h, si estende dal portale nord di Vigana (presso Bellinzona) al portale sud di Vezia (presso Lugano) connettendosi alla rete ferroviaria esistente rispettivamente alle linee LE630 e LE600 in prossimità della stazione di Giubiasco (sfruttando i numerosi manufatti realizzati nel Nodo di Camorino) e alla linea LE600 in località Vezia (mediante un bivio a raso posto ≈2 km a nord dalla stazione di Lugano).

Il tracciato della Galleria di base del Ceneri è implementabile su entrambi i lati (fig. 1): nello specifico, a nord è progettato il collegamento con la Galleria di base del San Gottardo, parzialmente a cielo aperto e parzialmente in sotterraneo, mentre a sud è in corso di valutazione (dalla diramazione sotterranea di Sarè) il suo proseguimento in direzione della stazione di Chiasso [1].

1. Introduction

The New Railway Link through the Alps (NRLA) is part of the big general Swiss project of infrastructural upgrading for the Basle-Chiasso dorsal line, permitting a more direct railway connection between Germany and Italy on Swiss territory. Such project includes numerous adjustments and the building of new infrastructures. To these must be included the Gotthard Base Tunnel (57,0 km) and the Ceneri Base Tunnel (15.4 km), which is the third Swiss railway tunnel in length after those of Gotthard and Lötschberg Base Tunnel (34.5 km). From a functional viewpoint, the Ceneri Base Tunnel is an underground infrastructure consisting of two single-track tunnels. The railway track layout, open to passenger trains travelling at 250 km/h and to freight trains travelling at 160 km/h, runs from the Northern portal of Vigana (District of Bellinzona) to the Southern portal of Vezia (District of Lugano); then it connects to the existing railway network, respectively line LE630 and LE600, near the station of Giubiasco (exploiting the numerous support facilities constructed at the Node of Camorino), and to line LE600 at Vezia (via a grade-level crossing 2 km North of the Lugano station).

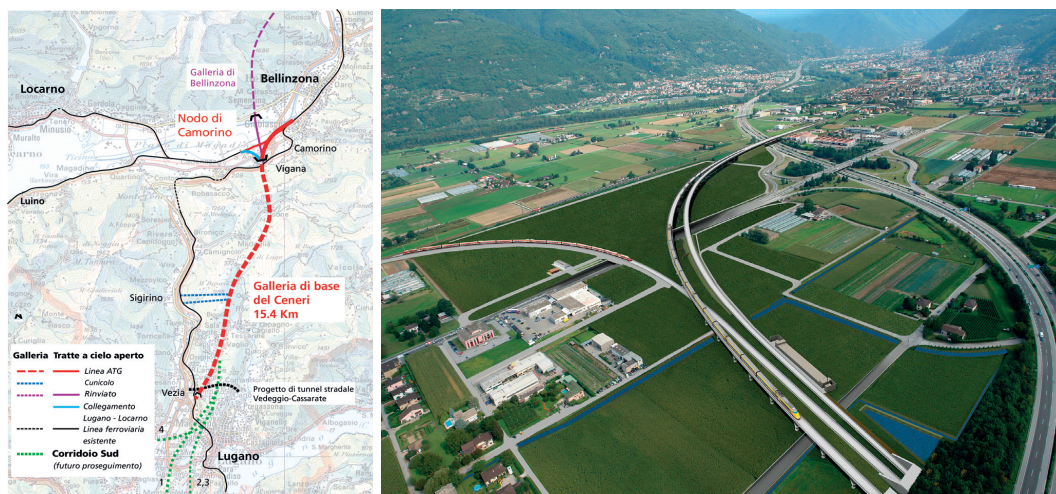
The Ceneri Base Tunnel track layout is implementable on both sides (fig. 1), more specifically: there is a planned connection to the North – partially open-air and partially underground – with the Gotthard Base Tunnel; while, towards the South, its continuation (via tunnel) to the station of Chiasso is being assessed from the Sarè underground caverns [1].

^(*) Coordinatore Progetti AlpTransit - Ferrovie Federali Svizzere SA, Divisione Infrastruttura.

^(**) Capoprogetto Tecnica Ferroviaria Galleria di base del Ceneri - AlpTransit San Gottardo SA.

^(*) AlpTransit Project Coordinator - Swiss Federal Railways Ltd, Infrastructure Division.

^(**) Railway Technology Project Manager Ceneri Base Tunnel - AlpTransit Gotthard Ltd.



(Fonte – Source: ATG)

Fig. 1 - A sinistra, planimetria indicante: in rosso tratteggiato, il tracciato della tratta della Galleria di base del Ceneri; in rosso continuo, le tratte di accesso all'aperto (Nodo di Vezia e di Camorino); in viola, gli interventi posticipati; in verde tratteggiato, le ipotesi, in fase di approfondimento, sul proseguimento verso Chiasso. A destra, il rendering del Nodo di Camorino.

Fig. 1 - Left, the planimetry shows: red dotted line, the track layout of the Ceneri Base Tunnel; continuous red line, open access (Vezia and Camorino nodes); violet, postponed interventions; green (dotted), hypotheses for continuation towards Chiasso, momentarily under analysis. Right: rendering of the Node of Camorino.

Il Nodo di Camorino, descritto nel par. 2, garantisce l'accesso al portale nord della Galleria di base del Ceneri e costituirà uno dei punti fondamentali del sistema ferroviario svizzero, sia a livello cantonale che federale, in quanto permetterà un aumento della capacità della rete e dell'offerta di trasporto [2].

I principali vantaggi degli interventi infrastrutturali previsti nell'ambito della realizzazione della Nuova Ferrovia Transalpina saranno rappresentati da [1]:

- un incremento, nelle nuove tratte, della potenzialità della linea nel trasporto delle merci (260 treni/giorno) che si sommerà all'attuale potenzialità della linea esistente (140-160 treni/giorno);
- un incremento, nelle nuove tratte ed in relazione alle limitazioni meccaniche del materiale rotabile, della velocità dei treni passeggeri (fino a 250 km/h) e merci (fino a 160 km/h) con relativa armonizzazione delle tracce;
- una riduzione della distanza complessiva tra Basilea e Chiasso pari a ≈40 km;
- una riduzione complessiva dei tempi di percorrenza tra punti di origine e destinazione dei treni posti l'uno a nord e l'altro a sud rispetto alle nuove tratte e viceversa;
- una riduzione della quota massima raggiunta dalla linea ferroviaria, che sarà pari a ≈500,0 m (contro gli attuali ≈1000,0 m);
- una riduzione della pendenza massima dal 26,0‰ al 12,0‰ che consentirà l'utilizzo di un solo locomotore

The Node of Camorino, as described in par. 2, guarantees the access from North to the Ceneri Base Tunnel and it is one of the main point for the Swiss railway system, both at Canton and Federal level, permitting an increase in network capacity and, as a consequence, in the transport offer [2].

Overall, the main advantages of the planned infrastructural interventions for the construction of the New Railway Link through the Alps are represented by [1]:

- an increase, in the new railway lines and regarding the freight transport potentiality (260 trains/daily), which will sum to the current potentiality of the existing line (140-160 trains/daily);
- an increase, in the new tracks, in passenger train speed (250 km/h) and freight trains speed (160 km/h) and a related harmonization of the convoy scheduling;
- a reduction in overall distance, equal to ≈40 km, between Basle and Chiasso;
- an overall reduction in travel time between points of origin and destination seated respectively in North and South, and vice versa;
- a reduction of the maximum quota reached by the railway line, equal to ≈500,0 m (against the current ≈1000,0 m);
- a reduction of the maximum gradient from 26,0‰ to 12,0‰, permitting the use of a single engine even for

anche per i treni merci con composizioni fino a 750,0 m (lunghezza del modulo dei posti di incrocio/precedenza previsto sulla direttrice Basilea-Chiasso) e peso lordo standard di $\approx 2'000$ t;

- il passaggio di carri del tipo "autostrada viaggiante" con sagoma limite cinematica tale da consentire il trasporto sui treni di autoarticolati con altezza netta fino a 4,0 m (la NFTA è infatti parte del progetto svizzero "Corridoio 4 m");
- l'installazione del sistema di segnalamento europeo ETCS di livello 2 che renderà il nuovo asse interoperabile per le imprese di trasporto ferroviario;
- la gestione centralizzata e computerizzata di tutti gli impianti della nuova linea in modo da rendere il sistema ancor più efficiente, funzionale, flessibile e caratterizzato da un alto livello di servizio e di prestazioni.

freight trains up to 750 m (length of modules for crossing/precedence on the Basle-Chiasso line) and standard weight of $\approx 2'000$ t;

- the transit of "Autostrada viaggiante" type wagons to permit the transport of articulated trucks characterized by a net height up to 4 m (the NRLA is a part of the Swiss project "4-Meter Corridor");
- the installation of the European signaling system ETCS level 2 enabling interoperability of the new axis for railway transport companies;
- the central computerized management of all installations in the new line enabling more efficiency, functionality, flexibility, all characterized by a high level of service and performance.

2. Il Nodo di Camorino

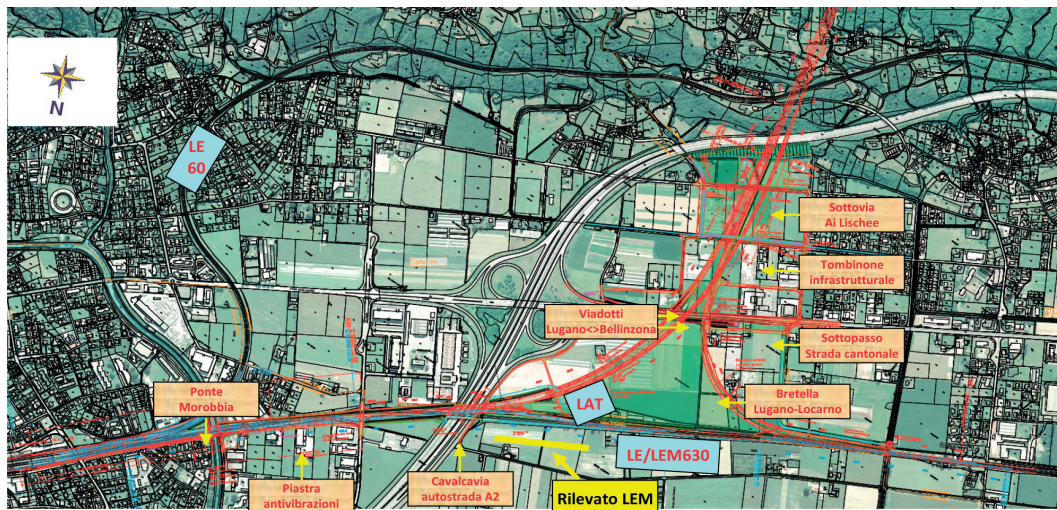
2.1. L'assetto funzionale del nodo

Dal punto di vista funzionale il Nodo di Camorino può essere schematizzato in una rete a forma triangolare (fig. 2) che permette ai treni provenienti dalla Galleria di base del Ceneri, dunque da Lugano, di proseguire verso est (Bellinzona) oppure verso ovest (Locarno) e viceversa.

2. The Node of Camorino

2.1. The functional layout of the node

From a functional point of view, the Node of Camorino can be schematized by a triangular-shaped network (fig. 2) that allows trains coming from the Ceneri Base Tunnel, i.e. from Lugano, to continue East (Bellinzona) or West (Locarno) or vice versa. The East-West connection through line LE630 Bellinzona-Locarno remains. Track layout speed



(Fonte – Source: ATG)

Fig. 2 – Planimetria generale del Nodo di Camorino. Il ramo sud-ovest del Nodo rappresenta un'importantissima implementazione della rete ferroviaria esistente poiché permette di realizzare un collegamento diretto tra Lugano e Locarno. La disposizione dei binari all'uscita del portale nord e la progettazione di tutti i nuovi manufatti sono tali da poter accogliere il futuro prolungamento della linea di base attraverso il piano di Magadino fino al collegamento con la Galleria di base del San Gottardo (Fase 2 AlpTransit – Orizzonte 2030).

Fig. 2 – General planimetry of the Node of Camorino. The South-West branch of the node represents an important railway network implementation, as it enables a direct connection between Lugano and Locarno. The track layout at the Northern portal, and the planning of all new services, are projected in order to accommodate the future lengthening of the base line through the Magadino area to the Gotthard Base Tunnel (2nd AlpTransit stage– Horizon 2030).

Permane il collegamento est-ovest per mezzo della linea LE630 Bellinzona-Locarno. La velocità di tracciato è differente sui tre rami del nodo: da 250 km/h, all'interno della Galleria di base del Ceneri, si riduce a 140 km/h in prossimità del portale nord (inizio del Nodo di Camorino). Sul ramo sud-est (collegamento a doppio binario Lugano-Bellinzona e viceversa) il limite di 140 km/h permane fino alla stazione di Giubiasco, dove il nuovo tracciato si riconnette alla rete ferroviaria esistente (linea LE600) con limite a 90 km/h. Sul ramo sud-ovest (collegamento a singolo binario Lugano-Locarno e viceversa) la velocità è limitata a 80 km/h fino alla fermata di S. Antonino. Qui il nuovo tracciato si riconnette alla rete ferroviaria esistente (linea LE630), che costituisce il ramo est-ovest del nodo, con limite pari a 90 km/h.

2.2. Adeguamento della rete ferroviaria esistente

L'ingresso nella stazione di Giubiasco dei due nuovi binari provenienti dalla Galleria di base del Ceneri ha comportato la modifica, per circa 2 km, della linea LE630: dal km 154,100 al km 155,950 la linea è stata spostata verso nord per una distanza sino a circa 10,0 m.

Ciò ha comportato numerosi e delicati lavori di adeguamento e completo rifacimento dei manufatti esistenti, tra cui l'allargamento del sottopasso di via Ticino (nella stazione di Giubiasco), la demolizione e ricostruzione del ponte sul fiume Morobbia, la demolizione e ricostruzione del sottovia di via Mondari, la demolizione e ricostruzione del cavalcavia sull'autostrada A2 e l'adattamento di tutti i rilevati compresi tra queste opere d'arte [2].

2.3. Principali interventi infrastrutturali nel nodo

Sulla base di quanto esposto nel par. 2.2, i principali interventi infrastrutturali nel Nodo di Camorino sono [2]:

- il viadotto Lugano-Bellinzona;
- il viadotto Bellinzona-Lugano;
- il sottovia Ai Lischee;
- il tombinone infrastrutturale Alla Bolla;
- il sottopasso Strada cantonale;
- il cavalcavia A2;
- il ponte Morobbia;
- la piastra antivibrazioni.

2.3.1. Il viadotto Lugano-Bellinzona

Il viadotto ha una lunghezza complessiva di 1'010,0 m e si colloca ad un'altezza di $\approx 10,0$ m sopra il livello del terreno, tale da garantire, inferiormente, una luce minima di $\approx 7,0$ m.

Dal punto di vista strutturale, il viadotto è suddiviso in settori della lunghezza di $\approx 130,0 \div 150,0$ m a 3 campate ciascuno (con sezione trasversale scatolare in conglomerato cementizio armato precompresso) e pile inclinate.

is different on the three branches of the node: from 250 km/h inside the Ceneri Base Tunnel, it decreases to 140 km/h near the North portal (beginning of the Node of Camorino). On the South-East branch (double track connection Lugano-Bellinzona and vice versa) the limit of 140 km/h remains as far as the Giubiasco station, where the new track layout reconnects to the existing railway network (line LE600) with a 90 km/h speed limit. On the South-West branch (single track connection Lugano-Locarno and vice versa) the speed is limited to 80 km/h as far as the S. Antonino stop. Here the new track layout reconnects to the existing railway network (line LE630) constituting the East-West branch of the node, with a speed limit to 90 km/h.

2.2. Adjustment to the existing railway network

Entrance at Giubiasco station of the two new tracks coming from the Ceneri Base Tunnel involved modifications, of about 2 km, on line LE630: from km 154,100 to km 155,950 the line was actually moved North to $\approx 10,0$ m. This involved numerous adjustments and a complete overhaul of existing structures, among which the widening of the via Ticino underpass (in the Giubiasco station), the demolition and reconstruction of the bridge over the Morobbia river, the demolition and reconstruction of the via Mondari underpass, the demolition and reconstruction of the overpass on the A2 motorway and the adaptation to all other existing civil infrastructures [2].

2.3. Main infrastructural interventions on the node

According to all that mentioned in par. 2.2, the main infrastructural interventions on the Node of Camorino are [2]:

- Lugano-Bellinzona viaduct;
- Bellinzona-Lugano viaduct;
- Ai Lischee underpass;
- Alla Bolla infrastructural canal;
- Strada cantonale underpass;
- A2 overpass;
- Morobbia bridge;
- anti-vibration plate.

2.3.1. Lugano-Bellinzona viaduct

The viaduct has an overall length of 1'010,0 m and is situated at $\approx 10,0$ m above the earth level, so as to guarantee a minimum light of $\approx 7,0$ m.

From the structural viewpoint, the viaduct is subdivided into sectors with lengths of $\approx 130,0 \div 150,0$ m each one characterized by 3 spans (with transversal box-shaped section in pre-stressed concrete) and inclined piers. The length of the central span, different from the adjoining ones, is of $\approx 46,0$ m, while the piers were given a "V" shape to optimize structural behavior during the absorption of train acceleration and braking (the inclina-

La lunghezza della campata centrale, differente da quelle contigue, è di $\approx 46,0$ m. Alle pile è stata conferita la forma a "V" per ottimizzare il comportamento strutturale in fase di assorbimento delle forze di accelerazione e frenatura dei treni: l'inclinazione delle pile permette di ottimizzare il loro comportamento strutturale nel caso di applicazione di azioni prevalentemente orizzontali.

Il settore centrale, con una campata di 61,0 m, permette lo scavalco del tracciato della linea AlpTransit, della stazione del Piano di Magadino (Fase 2 AlpTransit), e della linea ferroviaria Locarno-Lugano.

La suddivisione dell'intero manufatto in settori consecutivi, caratterizzati da lunghezze relativamente ridotte, ha permesso l'eliminazione degli apparecchi di dilatazione dei binari. I settori sono separati fra loro da giunti di dilatazione che permettono le deformazioni longitudinali del manufatto.

2.3.2. Il viadotto Bellinzona-Lugano

La scelta di sostenere il binario Bellinzona-Lugano con un viadotto di 440,0 m, e non con un rilevato, è scaturita dalla richiesta del Canton Ticino di garantire la massima mobilità al di sotto degli impianti ferroviari nell'area del Nodo di Camorino, interessata dalla prevista stazione del Piano di Magadino.

Analogamente a quanto descritto nel par. 2.1, il viadotto è stato suddiviso in settori della lunghezza massima di $\approx 100,0$ m sostenuti da pile a "V". Le pile di transizione tra un settore e l'altro permettono di disporre il giunto di dilatazione dell'impalcato e degli appoggi nel rispetto degli stretti limiti di deformazione e rotazione delle campate terminali e di accedere ai manufatti per i controlli e i lavori di manutenzione.

2.3.3. Il sottovia Ai Liscsee

La realizzazione degli accessi alla Galleria di base del Ceneri comporta la correzione altimetrica di via Ai Liscsee con la costruzione di un sottovia nel rilevato della nuova linea.

Il manufatto ha una lunghezza di $\approx 215,0$ m e, lato sud, è predisposto un passaggio, sopraelevato rispetto al piano stradale, per la percorrenza pedonale e ciclabile. La zona sottostante tale pista ciclabile è utilizzabile come cunicolo tecnico.

Il sottovia Ai Liscsee si trova in un'area in cui sono stati previsti cedimenti elevati, pertanto, al fine di dissipare anticipatamente tali assestamenti, è stato realizzato un rilevato di precarico.

2.3.4. Il tombinone infrastrutturale Alla Bolla

Il manufatto in questione (approssimativamente lungo 46,0 m e largo al massimo 11,0 m) permette alle linee ferroviarie di attraversare il canale Alla Bolla, di ripristinare il collegamento est-ovest di varie infrastrutture e, infine, di realizzare parte del corridoio ecologico con il canale Alla Bolla e il riale Paiardi.

tion allows to optimize the structural behavior of the piers in case of application of predominantly horizontal actions).

The central sector, with a 61,0 m long span, overpasses the AlpTransit railway line, the station of the Magadino area (2nd stage AlpTransit) and the Locarno-Lugano railway line.

Subdivision of the whole structure into consecutive sectors, characterized by relatively reduced lengths, enables the elimination of track expansion devices. Sectors are separated by expansion joints enabling longitudinal deformations of structures.

2.3.2. Bellinzona-Lugano viaduct

The choice to support the Bellinzona-Lugano track with a 440,0 m long viaduct, instead of an embankment, originated from the Canton Ticino request to guarantee maximum mobility under the railway installations of the Node of Camorino, involved in the planned station of the Magadino area.

Similarly to that described in par. 2.1, the viaduct was subdivided in sectors with maximum length of $\approx 100,0$ m supported by "V" piers. The transition piers between sectors enables the arrangement of the dilation joint and supports, respecting limits of deformation and rotation of terminal spans, and the access to structures for maintenance works and checks.

2.3.3. Ai Liscsee underpass

The construction of accesses to the Ceneri Base Tunnel involves an altimeter correction of via Ai Liscsee with the construction of an underpass in the embankment of the new railway line.

The structure is $\approx 215,0$ m long and, on the South side, there is a passage way over the road for pedestrian and cyclist use. The area under the bicycle path is also used as a technical tunnel.

The Ai Liscsee underpass is in an area with high settlement predicted; therefore, in order to eliminate such possible risks, a preloading embankment has been realized.

2.3.4. Alla Bolla infrastructural canal

The structure (approximately 46,0 m long and max. 11,0 m wide at the most) permits railway lines to cross the Alla Bolla canal, to restore East-West connection of various infrastructures and finally to realize the ecological passage with the Alla Bolla canal the Paiardi river.

The section is made up of two units, the first of which is occupied by the Alla Bolla canal (max. height: 2,5 m - max. width: 7,0 m) and the latter with telecommunication infrastructures, electricity and water conveyances (max. height: 3,0 m - max. width: 2,5 m).

From a structural point of view, it is a frame in reinforced concrete closed with a foundation slab. The struc-

La sezione è a due vani, di cui il primo è occupato dal canale Alla Bolla (altezza utile: 2,5 m - larghezza utile: 7,0 m) e il secondo dalle infrastrutture per le telecomunicazioni, il trasporto di elettricità e di acqua (altezza utile: 3,0 m - larghezza utile: 2,5 m).

Dal punto di vista strutturale si tratta di un telaio in conglomerato cementizio armato chiuso con platea di fondazione. Il manufatto risulta ubicato parzialmente in falda: la sua realizzazione ha richiesto l'esecuzione di uno scavo sostenuto da una struttura di palancole e, sul fondo, di un tampone di calcestruzzo gettato in acqua.

Il canale tecnico è attrezzato con impianto d'illuminazione, pompa di drenaggio, pozzi d'entrata verticali alle estremità e prese di ventilazione.

2.3.5. Il sottopasso Strada Cantonale

Il sottopasso permette l'incrocio della strada cantonale Giubiasco-Cadenazzo con le nuove linee AlpTransit e i previsti raccordi con la futura stazione del Piano di Magadino, come pure il passaggio delle nuove strade comunali che affiancano gli impianti ferroviari e garantiscono i collegamenti locali da un lato all'altro della strada cantonale.

Il sottopasso ha una lunghezza complessiva di $\approx 405,0$ m: di questi, $\approx 76,0$ m sono a cassone chiuso, $\approx 155,0$ m sul lato est e $\approx 173,0$ m sul lato ovest sono su rampe a sezione aperta. L'altezza utile minima del sottopasso è di 5,1 m.

Il manufatto è provvisto di doppie corsie in entrambi i sensi di marcia e di banchine centrali e laterali.

Il sostegno centrale del tratto chiuso è garantito da pilastri inclinati di circa 45° rispetto alla verticale, formanti una struttura a traliccio che favorisce una maggiore apertura alla luce del manufatto.

All'entrata ovest del sottopasso è prevista una stazione di pompaggio per le acque meteoriche e di infiltrazione.

Nella fase esecutiva, un tampone in *jet grouting*, posto ai piedi delle palancole utilizzate nella fase di costruzione ed avente uno spessore massimo pari a $\approx 2,5$ m, ha assicurato l'impermeabilità e ha garantito la resistenza alla sottospinta idraulica; tramite opportuni ancoraggi tale prestazione verrà garantita anche nella fase di esercizio.

2.3.6. Il cavalcavia A2

Il tracciato della linea AlpTransit procede, da Giubiasco verso l'autostrada A2, parallelamente a quello della tratta Bellinzona-Locarno. Ad ovest dell'autostrada A2 i binari si allontanano dalla linea storica e procedono verso il portale nord della Galleria di base del Ceneri. L'attraversamento dell'autostrada avviene su un nuovo manufatto a quattro binari, il cavalcavia A2.

La lunghezza complessiva del manufatto è di $\approx 105,0$ m mentre la sua larghezza varia dai 24,0 m ai 28,0 m e risulta orientato di sbieco rispetto all'autostrada: l'angolo planimetrico tra i rispettivi assi è pari a $\approx 53^\circ$.

ture is partly located on a groundwater; its construction necessitated excavation with a supporting sheet wall retaining structure with a concrete buffered base.

The technical canal is equipped with illumination installations, drainage pump, vertical entrances (at either ends) and ventilation inlets.

2.3.5. Strada cantonale underpass

The underpass enables the Giubiasco-Cadenazzo road to intersect with the new AlpTransit railway lines and the planned junctions with the future Magadino area station, together with the thoroughfare of the new roads that pass alongside the railway installations and guarantee local connections.

The underpass has a total length of $\approx 405,0$ m: of these, $\approx 76,0$ m are with a closed section, $\approx 155,0$ m on the East side and $\approx 173,0$ m on the West side are on open-section ramps. Minimum height of the underpass is 5,10 m.

The structure has double lanes in both directions and central and side quays.

The central support of the closed stretch is guaranteed with pillars inclined at $\approx 45^\circ$ with respect to the vertical line. The framework promoting a wider opening for light within the structure.

At the West underpass entrance, a pumping station for rainwater and infiltrations is arranged.

During the execution phase, a jet grouting buffer with a max. thickness of $\approx 2,5$ m at the base of the sheet retaining wall assures impermeability and guarantee resistance to hydraulic pressure: through anchors, such performance will also be guaranteed during the operational phase.

2.3.6. A2 Overpass

The AlpTransit railway line runs from Giubiasco to the A2 motorway parallel to the Bellinzona-Locarno existing railway line. West of the A2 motorway, the tracks separate from the existing line and proceed toward the Northern portal of the Ceneri Base Tunnel. Crossing the motorway is done on a new four track structure, the A2 overpass.

The total length of the structure is $\approx 105,0$ m, while its width varies from 24,0 m to 28,0 m and results at an angle with respect to the motorway: the planimetric angle between the axes is equal to $\approx 53^\circ$. It is a structure in reinforced concrete made up of two frames of three spans (with the tracks of the existing railway line on the North frame, those of the AlpTransit railway lines on the South frame) separated by a continuous longitudinal dilation joint. Such frames are longitudinally pre-stressed in manner to prevent cracking during service.

From a geotechnical point of view, the soil involved during the works was locally treated with jet grouting works at the shoulder supporting walls and, in particular, under the new piers. The jet grouting columns, characterized by different angles, reach a depth of $\approx 5,0$ m.

Strutturalmente, si tratta di un manufatto in conglomerato cementizio armato costituito da due impalcanti (con i binari della linea storica sull'impalcato nord, quelli delle linee AlpTransit sull'impalcato sud), a tre campate, separati da un giunto di dilatazione longitudinale continuo. Tali impalcanti sono precompressi longitudinalmente con un grado tale da impedire la fessurazione allo stato di servizio.

Dal punto di vista geotecnico, il terreno interessato dai lavori è stato localmente trattato con interventi di *jet grouting* in corrispondenza delle pareti di spalla e, in maniera più cospicua, sotto le nuove pile. Le colonne di *jet grouting*, ad inclinazione variabile, raggiungono una profondità di $\approx 5,0$ m sotto il piano di fondazione.

Gli impalcanti sono collegati alle pile e alle spalle tramite specifici apparecchi di appoggio: sulle pile, essi sono fissi in direzione longitudinale in modo da realizzare un sistema statico a telaio che consente di assorbire le forze di accelerazione e frenatura del traffico ferroviario.

In ragione della lunghezza dell'impalcato, non si rendono necessari i giunti di dilatazione per i binari.

2.3.7. Il ponte Morobbia

Il nuovo ponte, sull'omonimo fiume Morobbia, è stato concepito come una struttura a telaio in conglomerato cementizio precompresso sia longitudinalmente (impalcato) che verticalmente (spalle) con un'unica luce di $\approx 40,0$ m. Un giunto di dilatazione longitudinale separa simmetricamente la metà nord (linea esistente) dalla metà sud (linea AlpTransit).

2.3.8. La piastra antivibrazioni

La piastra antivibrazioni si sviluppa dal km 157,750 fino al sottopasso Monda delle Bolle. Essa è realizzata in conglomerato cementizio armato sulla quale è posato un materassino antivibrazioni di $\approx 0,02$ m di spessore. La piastra viene eseguita in due elementi separati, uno sotto la linea esistente e l'altro sotto la linea AlpTransit, collegati solo a metà della loro lunghezza dove trovano ubicazione gli scambi per la comunicazione tra le due linee.

Le misure caratteristiche dell'elemento sono:

- lunghezza: $\approx 300,0$ m
- larghezza: 8,5 m e 9,9 m
- spessore: 0,3 m;
- pendenza trasversale: 3,0% (a tetto)

La massicciata viene posata direttamente sul materassino antivibrazioni.

2.4. Strategia di connessione alla rete esistente

Il requisito fondamentale posto alla base della realizzazione degli interventi di adeguamento infrastrutturale del Nodo di Camorino è che la realizzazione di tali interventi di genio civile e tecnica ferroviaria avvenga arrecando il minor disturbo possibile alla circolazione ferroviaria.

The frames are connected to the piers and the shoulders through specific leaning devices: on the piers, they are fixed in longitudinal direction, in order to obtain a static frame system which allows force absorption during acceleration and braking of railway traffic.

Regarding frame length, dilation joints for rails is not necessary.

2.3.7. Morobbia bridge

The new bridge, over the Morobbia river, consists of a frame in pre-stressed reinforced concrete, both longitudinally (frame) and vertically (shoulder walls), with a span $\approx 40,0$ m long. A longitudinal dilation joint separates the Northern half (existing railway line) from the Southern half (AlpTransit railway line).

2.3.8. The anti-vibration plate

The anti-vibration plate seats between km 157,750 and the Monda delle Bolle underpass. It is constructed in reinforced concrete on which is placed an anti-vibration mattress of $\approx 0,02$ m in thickness. The plate is made of two separate elements, one under the existing line and the other under the AlpTransit line, and they are connected only at halfway of the length where the points for the communication between the two railway lines are arranged.

Characteristic measures are:

- length: $\approx 300,0$ m
- width: 8,5 m and 9,9 m
- thickness: 0,3 m;
- transv. sloping: 3,0% (double slope)

The ballast is direct positioned on the anti-vibration mattress.

2.4. Connection strategy to the existing railway network

The fundamental requisite for infrastructural updating of the Node of Camorino is the minimization of the interferences with the railway operations. Excluding the shifting of the Northern frame of the A2 overpass (during a planned interruption of 41 hrs of LE630 railway line) all the works are executed concurrently with railway operations.

Analysing traffic data, it can be observed that the Giubiasco-Bellinzona railway stretch has a train daily average of 372, and is one of the heaviest traffic lines of the Swiss railway network.

Based on this information, and in order to carry out infrastructural updating described in paragraph 2.3 while guaranteeing at the same time those demands of required services, preliminary updating interventions in order to increase and reinforce functionality on block sections of the existing railway network have been done. Such objective was reached by creating supplementary network communication with re-routing points at 80 km/h (equal to the track layout speed on the railway lines at issue) so that the

ria. Con la sola esclusione della traslazione dell'impalcato nord del cavalcavia A2 (che ha previsto un'interruzione di 41 ore della linea LE630), tutti i lavori vengono svolti in concomitanza all'esercizio ferroviario.

Analizzando i dati di traffico si osserva che il tratto ferroviario Giubiasco-Bellinzona, con una media di 372 treni al giorno, è uno dei tratti più sollecitati di tutta la rete ferroviaria svizzera.

Sulla base di questo dato, per poter eseguire gli interventi di adeguamento infrastrutturale descritti nel par. 2.3 e garantire contemporaneamente le esigenze di esercizio richieste, sono stati eseguiti degli interventi preliminari di adeguamento della rete ferroviaria esistente al fine di incrementare e potenziare la funzionalità delle sezioni di blocco. Tale obiettivo è stato raggiunto creando delle comunicazioni di rete supplementari, con scambi percorribili in deviated a 80 km/h (pari alla velocità di tracciato delle linee ferroviarie nei tratti in oggetto), in modo da ridurre la lunghezza delle tratte soggette a circolazione a binario unico. Nello specifico, la circolazione a singolo binario, in dipendenza dalle tratte parziali di volta in volta oggetto di lavorazione, interessa settori inferiori a 2000 m e comporta dunque minime ripercussioni sull'esercizio ferroviario.

In aggiunta a questi accorgimenti preliminari sono state studiate delle fasi esecutive che prevedono la realizzazione dei nuovi manufatti e delle nuove opere d'arte della linea AlpTransit in affiancamento alla linea LE630 esistente. Con parziali e progressivi spostamenti provvisori della linea LE630 esistente sui manufatti della linea AlpTransit nel frattempo realizzati si possono costruire i manufatti sulla sede ferroviaria della linea LEM630 (M=modificata) definitiva.

Si descrivono nel seguito i principali interventi di genio civile e di tecnica ferroviaria correlati alle fasi funzionali di progetto studiate [3]. Le figg. da 3 a 12, rap-

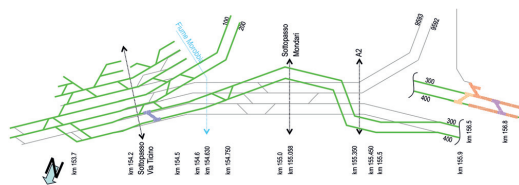


Fig. 3 - Fase 1a: posa delle nuove comunicazioni sulla linea LE630 con adeguamento delle corrispondenti sezioni di blocco. Costruzione del manufatto sud del ponte Morobbia, spostamento di via Gerre e costruzione del muro di sostegno del rilevato ferroviario. Costruzione della metà nord del sottovia di via Mondari e costruzione dei rilevati lato nord tra il ponte Morobbia e il cavalcavia A2. Costruzione rilevato sud a ovest del cavalcavia A2.
Fig. 3 - Step 1a: laying new communications on LE630 line with updating of corresponding block sections. Construction of Southern structure of Morobbia bridge, movement of via Gerre and construction of supporting wall for railway embankment. Construction of Northern half of via Mondari underpass and North side embankments between Morobbia bridge and A2 overpass. Construction of A2 overpass South to West embankment.

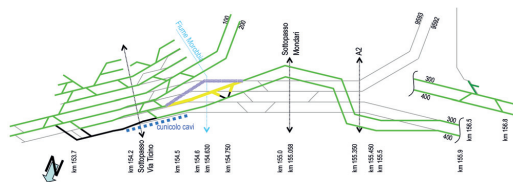


Fig. 4 - Fase 1b Morobbia: spostamento provvisorio del binario 300 LE630 sulla nuova metà sud.
Fig. 4 - Step 1b Morobbia: temporary movement of track 300 LE630 to the new Southern half.

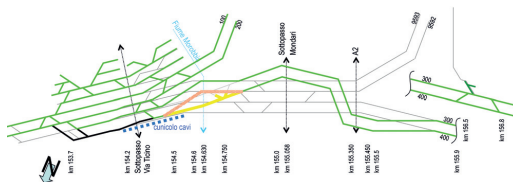


Fig. 5 - Fase 1c Morobbia: spostamento provvisorio del binario 400 LE630 su nuova metà ponte sud fiume Morobbia.
Fig. 5 - Step 1c Morobbia: temporary movement of track 400 LE630 to the new half of the south bridge.

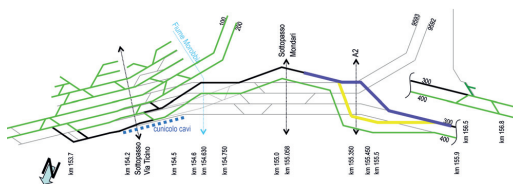


Fig. 6 - Fasi zona A2: costruzione spalle, pile lato nord ed impalcato nord in posizione provvisoria sud del nuovo cavalcavia A2 e realizzazione di tutte le infrastrutture ad esso connesse quali camere cavi, attraversamenti e bauletti cavi. Fase 1b A2: spostamento provvisorio del binario 300 LE630 sul nuovo impalcato nord.
Fig. 6 - Steps in A2 area: construction of shoulders, Northern side piers and Northern frame in temporary position South of the new A2 overpass and all connecting infrastructures, such as crossings, rooms and cabinets for cables. Step 1b A2: Temporary movement of track 300 LE630 to the new Northern frame.

length of such stretches operated in single track circulation was reduced. More specifically, single track traffic, occasionally subject to works, involves line sectors inferior to 2'000 m and minor repercussions on railway traffic are caused.

Apart from these preliminary observations, specific execution stages for the construction of the new structures for the AlpTransit railway line alongside the existing line LE630 have been studied. With partial, progressive and temporary movements of the existing railway line LE630 on the structures done in the meantime for the AlpTransit project, the structures for the railway line LEM630 (M=modified) can be executed.

In figg. 3-12 are described the main civil engineering

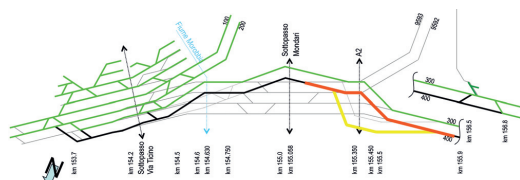


Fig. 7 - Fase 1c A2: spostamento provvisorio del binario 400 LE630 sul nuovo impalcato nord.

Fig. 7 - Step 1c A2: temporary movement of track 400 LE630 to the new Northern frame.

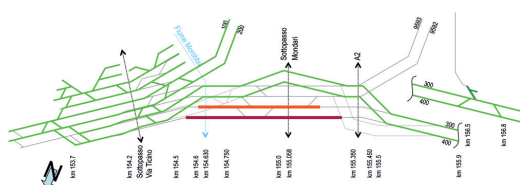


Fig. 8 - Fase 2a: demolizione del ponte esistente e costruzione del nuovo ponte nord Morobbia. Realizzazione delle infrastrutture sul rilevato tra il ponte Morobbia ed il cavalcavia A2, costruzione della piastra antivibratori in conglomerato cementizio armato tra il ponte Morobbia ed il sottovia di via Mondari, demolizione ponte A2 esistente, completamento spalla est e pile lato sud del nuovo cavalcavia A2. Costruzione fuori esercizio della nuova tratta LEM630 su sede definitiva dal manufatto ponte nord fiume Morobbia al nuovo cavalcavia A2.

Fig. 8 - Step 2a: demolition of the existing bridge and construction of the new Northern Morobbia bridge. Construction of infrastructures on embankment between Morobbia bridge and A2 overpass; construction of anti-vibration plate in conglomerate reinforced cement between Morobbia bridge and via Mondari underpass; demolition of the existing A2 bridge; completion of Eastern shoulder and Southern side piers of the new A2 overpass. Construction with no railway operation of the new LEM630 track on planned area, from Northern bridge structure of the Morobbia river to the new A2 overpass.

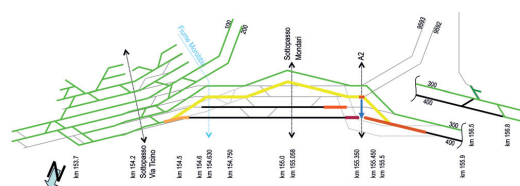


Fig. 9-10 - Fasi 2b-2c: interruzione totale di 41 ore della LEM630 provvisoria per permettere la traslazione dell'impalcato nord dalla posizione provvisoria sud a quella definitiva lato nord, la migrazione di tutti i cavi di segnalamento e di telecomunicazione, la connessione est-ovest del nuovo binario 400 LEM630 definitiva (fase 2b), la connessione est-ovest del nuovo binario 300 della LEM630 definitiva (fase 2c), la dismissione e la demolizione di entrambi i vecchi binari delle LE630 e LEM630 provvisoria dal ponte Morobbia al rilevato ovest del cavalcavia A2.

Fig. 9-10 - Steps 2b-2c: total 41hr interruption of the temporary LEM630 to allow the shifting of the Northern frame from the temporary Southern position to the permanent Northern side, the migration of all signalling and telecommunication cables, the East-West connection of the new track 400 of the permanent LEM630 (step 2b), the East-West connection of the new track 300 of the permanent LEM630 (step 2c), the stoppage and the demolition of both old tracks of LE630 and temporary LEM630 from Morobbia bridge to the Western embankment of A2 overpass.

works and railway technique related to the studied execution stages [3]. The figures represent in a schematic way, those works pertaining to railway engineering. Notwithstanding functional solutions under plan, and considering the intersection of the LE630 and AlpTransit railway lines with the existing railway line at the railway overpass on the A2 motorway (Chiasso-Basle), the completion and activation of step 2 will only come about through a total and continual 41 hr interruption of train circulation. In addition, during that time, the new Northern frame already in use for operations on the temporary LEM630 will be shifted $\approx 14,6$ m to its definite position.

On a whole, the project will terminate with the installation of the Giubiasco station command/control apparatus, the selective triplication of the Giubiasco-Bellinzona railway line and the construction of the new South area of the Giubiasco station, which will enable the AlpTransit railway line to connect to LE600 railway line. To be followed with the completion of the AlpTransit project from the West end embankment of the new A2 overpass to the Ceneri Base Tunnel and, through this, to the connection of LE600 to Vezia (Lugano).

The activation of the AlpTransit railway line in the Ceneri Base Tunnel is planned with the December 2019 Timetable change.

2.5. Case study: embankment LEM630/Cattori

2.5.1. The project and the execution

The execution stages regarding the Node of Camorino track plan necessitated that some project elements, in particular some civil engineering structures, considering the restricted time available for the activation of each execution stage, must be carried out in such a manner to be functional available without requiring further necessary adjustments both at temporary stage level and at permanent ones.

presentano in modo schematico gli interventi di tecnica ferroviaria. Nonostante le soluzioni progettate, in considerazione dell'intersezione della linea AlpTransit con la linea LE630 in corrispondenza del ponte ferroviario esistente sull'autostrada A2 (Chiasso-Basilea), il completamento e l'attivazione della Fase 2 sono potuti avvenire solamente con l'interruzione totale e continua di 41 h della circolazione, durante la quale, peraltro, il nuovo impalcato nord già utilizzato per l'esercizio della LEM630 provvisoria, è stato traslato di ≈ 14.6 m nella sua posizione definitiva.

Il progetto, nel suo insieme, si completa con l'esecuzione del nuovo apparato di comando e controllo della stazione di Giubiasco, il triplicamento selettivo della tratta Giubiasco-Bellinzona e la realizzazione della nuova testata sud della stazione di Giubiasco che permetterà di connettere la linea AlpTransit alla linea LE600. Inoltre, si procederà al completamento della linea AlpTransit dal rilevato posto ad ovest del nuovo cavalcavia A2 alla Galleria di base del Ceneri e, attraverso questa, alla connessione alla linea LE600 a Vezia (Lugano).

La messa in esercizio della linea AlpTransit nella Galleria di base del Ceneri è prevista con il cambio d'orario del dicembre 2019.

2.5. Caso particolare: il rilevato LEM630/Cattori

2.5.1. Il progetto e la realizzazione

La realizzazione per fasi del piano dei binari nel Nodo di Camorino ha imposto che alcuni elementi del progetto, e in particolare alcune opere di genio civile, in considerazione dei ristretti tempi a disposizione per l'attivazione di ogni fase esecutiva, sia necessario eseguirli in modo tale che essi siano utilizzabili senza successive rilevanti modifiche sia per le fasi provvisorie che per quella definitiva.

È questo il caso del nuovo rilevato LEM/Cattori, posizionato sul lato ovest del cavalcavia A2 [2]. Esso sostituisce e amplia il rilevato ferroviario esistente, rispetto al quale si colloca più a sud, e consente il passaggio sul nuovo cavalcavia A2 sia dei treni della linea LEM630 definitiva (tramite il ramo LEM) sia dei treni provenienti dalla Galleria di base del Ceneri (tramite il ramo Cattori).

Le dimensioni del rilevato sono importanti e, nel dettaglio:

- lunghezza $\approx 220,0$ m
- altezza $\approx 8,0$ m
- larghezza max 50,0 m (alla base)
- superficie $\approx 11'000$ m²
- volume $\approx 70'000$ m³

La Fase 1 – Cavalcavia A2 corrisponde all'attivazione della linea LEM630 in posizione provvisoria dal

This is the case of the new LEM/Cattori embankment, to be found on the West side of the A2 overpass [2]. It substitutes and enlarges the pre-existing embankment, respect to which the is further South positioned, and allows the passage over the new A2 overpass of both trains on the permanent LEM630 railway line (through the LEM branch) and those trains coming from the Ceneri Base Tunnel (through the Cattori branch).

Dimensions of the embankment are important, here-with detailed:

- lenght $\approx 220,0$ m
- height $\approx 8,0$ m
- width max 50,0 m (at the base)
- surface $\approx 11'000$ m²
- volume $\approx 70'000$ m³

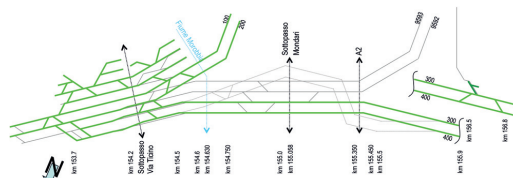


Fig. 11 - Fase 3: realizzazione dell'impalcato sud del nuovo cavalcavia A2. Demolizione del sottovia esistente di via Mondari e costruzione del nuovo manufatto sud. Completamento lato sud di tutti i rilevati e delle corrispondenti infrastrutture (dal nuovo manufatto ponte sud Morobbia al nuovo cavalcavia A2). Posa fuori esercizio dei binari della linea AlpTransit dal manufatto ponte sud Morobbia al nuovo cavalcavia A2.

Fig. 11 - Step 3: construction of the Southern frame of the new A2 overpass. Demolition of the existing via Mondari underpass and construction of the new Southern structure. Southern side completion of all frames and corresponding infrastructures (from the new South Morobbia bridge structure to the new A2 overpass). Laying with no railway operation of the AlpTransit line from Southern Morobbia bridge structure to new A2 overpass.

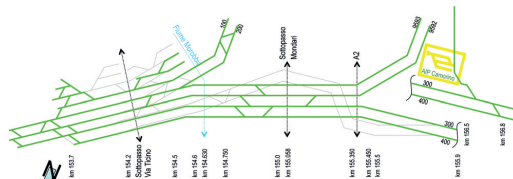


Fig. 12 - Configurazione definitiva del Nodo di Camorino dopo la connessione della linea AlpTransit con il nuovo impianto della stazione di Giubiasco, la posa delle comunicazioni tra la LAT e la LEM630, la connessione con i binari provenienti dalla Galleria di base del Ceneri e la realizzazione della bretella Lugano-Locarno (dicembre 2019).

Fig. 12 - Definitive configuration of Node of Camorino after connection of the AlpTransit line with new Giubiasco station installations; Laying of communications between LAT and LEM630; Connection with tracks coming from Ceneri Base Tunnel and construction of Lugano-Locarno link (December 2019).

km 155,200 al km 155,955 mentre la Fase 2 corrisponde all'attivazione della linea LEM630 definitiva dal km 154,550 al km 155,955. La durata della permanenza della linea LEM630 in posizione provvisoria è stata di circa un anno.

Considerata la geometria del tracciato nella Fase 1 – Cavalcavia A2, a sua volta determinata dalla posizione della linea LE630 e della necessità di attivare la Fase 2 utilizzando un'interruzione totale massima di 41 h per non condizionare eccessivamente l'esercizio ferroviario, si è dovuto realizzare il ramo LEM del rilevato da subito definitivo e tale da soddisfare le principali esigenze di entrambe le Fasi 1 e 2 di tecnica ferroviaria. Poiché non era possibile dal punto di vista progettuale soddisfare tutti i requisiti per entrambe le fasi, si è ovviamente deciso di dare maggiore importanza alle esigenze richieste dal tracciato finale della linea LEM630 definitiva.

Considerata dunque la larghezza richiesta per il rilevato, la pendenza trasversale del 5,0% per il deflusso delle acque, la forma a doppia falda della piattaforma ferroviaria e la richiesta di avere il colmo in asse ai binari della linea LEM630 definitiva, è risultato che, per la linea LEM630 provvisoria (ed in particolare per il binario 300 più svantaggiato), si sono avuti spessori di pietrisco al di sotto della traversa (in corrispondenza della rotaia più bassa) di ≈ 1 m per un'estensione planimetrica di $\approx 100,0$ m a partire dalla spalla ovest del nuovo Cavalcavia A2. L'andamento degli spessori di massicciata per il binario 400 differiscono minimamente da quelli indicati nella fig. 13.

Procedendo verso ovest, ovvero verso il ricongiungimento con la LE630, tale spessore va progressivamente decrescendo pur permanendo sempre superiore al valore nominale previsto dal regolamento ferroviario delle Ferrovie Federali Svizzere (0,35 m).

Non è stato possibile correggere la posizione altimetrica del tracciato dei binari della linea LEM630 provvisoria in quanto, per potersi raccordare alla nuova quota dell'estradosso del nuovo cavalcavia A2 e tenuto conto della pendenza massima ammessa per la livelletta (15,0‰), sarebbe stato necessario allontanare a ovest il punto di innesto sulla linea LE630, condizionando peraltro la fermata di Sant'Antonino.

2.5.2. Documentazione fotografica

Si riportano di seguito (figg. 14-34) le immagini più rappresentative dei lavori di attivazione delle fasi 1b-1c A2 in corrispondenza del rilevato LEM/Cattori.

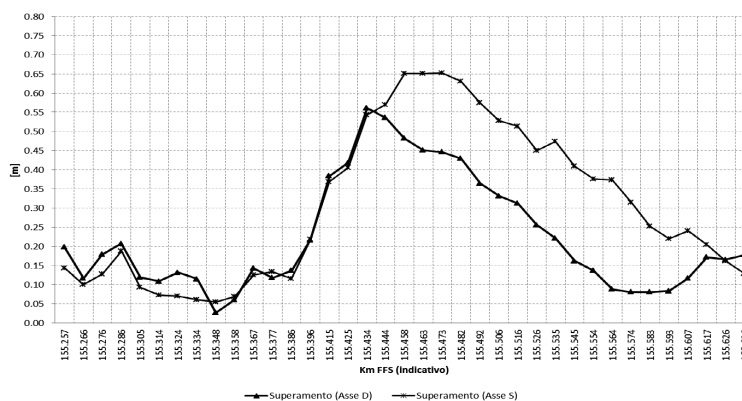


Fig. 13 - Binario 300 – Linea LEM630: superamento (per asse rotaia) dello spessore di pietrisco regolamentare (0,35 m).

Fig. 13 - Track 300 – LEM630 line: non-compliance (per rail axis) with the prescribed road metal thickness (0,35 m).

Step 1 – Overpass A2 corresponds with the activation of LEM630 railway line in temporary position from km 155,200 to km 155,955; Step 2 corresponds with the activation of the permanent LEM630 railway line from km 154,550 to km 155,955. The duration of the LEM630 railway line in its temporary position is expected to be for a year.

Considering the geometry of the track layout in Step 1 – Overpass A2, which was conditioned by the position of the LE630 railway line, and the necessity to activate step 2 through a 41 hrs interruption, so as not to excessively influence railway operations, the LEM branch of the embankment had to be constructed immediately as a permanent and such as to satisfy the main demands of both Steps 1 and 2 of railway methods and techniques. According to the project, it was impossible to satisfy all requisites for both steps. Therefore it was decided to give major importance to the demands requested for the final track layout of the permanent LEM630 railway line.

Therefore, considering the required embankment width, the 5% transversal slope for the water flow, the double slope shape of the railway substructure and the request to have the crown in the same axis of the permanent LEM630 railway line, the results showed that in temporary LEM630 railway line (and in particular for its most disadvantaged track – track 300) the ballast has a thickness underneath the sleepers (referred to the lowest rail) of $\approx 1,0$ m for a planimetric expansion of $\approx 100,0$ m, starting from the West shoulder of the new A2 overpass (fig. 13).

The trend of ballast thicknesses for track 400 shows a minimal difference from those indicated in fig. 13.

Proceeding westwards, that is, towards the junction area with LE630 railway line, such thickness progressively



Fig. 14 - km 155,700 - Rilevato LEM prima dell'inizio delle fasi 1b-1c A2.
 Fig. 14 - km 155,700 - LEM embankment before the beginning of steps 1b-1c of the A2.



Fig. 15 - km 155,750 - Zona di sovrapposizione tra il tracciato modificato e quello esistente.
 Fig. 15 - km 155,750 - Overlapping area between the modified track layout and the already existing one.



Fig. 16 - km 155,600, lato bin. 300 LEM630 provvisoria - Primo strato di massiciata che viene stesa in spessori di circa 0,3 m ad ogni posa. Ogni strato viene vibro-compattato.
 Fig. 16 - km 155,600, track 300 side, temporary LEM630 - First ballast layer spread (0,3 m thickness each layer). Each layer is vibro-compacted.



Fig. 17 - km 155,850, lato bin. 300 LEM630 definitiva - Ritenuta ghiaia definitiva con lastre prefabbricate in calcestruzzo.
 Fig. 17 - km 155,850, track 300 side, permanent LEM630 - Permanent ballast retainment with prefabricated concrete slabs.



Fig. 18 - km 155,850, lato bin. 400 LEM630 definitiva - Ritenuta ghiaia definitiva con lastre prefabbricate in calcestruzzo disposte su due livelli come conseguenza della sopraelevazione del binario.
 Fig. 18 - km 155,850, track 400 side, permanent LEM630 - Permanent ballast retainment with prefabricated concrete slabs placed on two levels consequential to railway track lifting.



Fig. 19 - km 155,750, LEM630 definitiva - Costruzione della sovrastruttura ferroviaria del binario 300.
 Fig. 19 - km 155,750, permanent LEM630 - Construction of the railway superstructure on track 300.



Fig. 20 - Esecuzione Fase 1b A2 - Asportazione della vecchia massiciata del binario 300.
Fig. 20 - Execution step 1b A2 - Removal of old ballast on track 300.



Fig. 21 - Esecuzione Fase 1b A2 - Rincalzatura del binario 300 LEM630 provvisoria.
Fig. 21 - Execution step 1b A2 - Topping up of track 300 temporary LEM630.



Fig. 22 - Esecuzione Fase 1b A2 - Messa in esercizio del binario 300 LEM630 provvisoria. La circolazione dei treni avviene con restrizione di velocità a 50 km/h.
Fig. 22 - Execution step 1b A2 - Start-up of track 300 temporary LEM630. Train traffic is subject to speed limit 50km/h.



Fig. 23 - Esecuzione Fase 1b A2 - A sinistra, il nuovo binario 300 LEM630 provvisoria. A destra, il binario 400 LE630.
Fig. 23 - Execution step 1b A2 - On the left, the new track 300 temporary LEM630. On the right, track 400 LE630.



Fig. 24 - km 155,650, LEM630 provvisoria - Attività preparatorie per la connessione del binario 400 LEM630 provv./def. (in primo piano) al binario 400 Linea LE630 (a destra).
Fig. 24 - km 155,650, temporary LEM630 - Preparatory activities for the connection with track 400 temp./perm. LEM630 (foreground) to track 400 of LE630 line (on the right).



Fig. 25 - Esecuzione Fase 1c A2 - Mediante l'utilizzo di una gru ferroviaria inizia l'asportazione del binario 400 LE630.
Fig. 25 - Execution step 1c A2 - Through use of railway crane, track 400 LE630 is removed.



Fig. 26 - Esecuzione Fase 1c A2 – Asportazione della massicciata del binario 400 LE630 per realizzare l'innalzamento del rilevato.
Fig. 26 - Execution step 1c A2 - Removal of track 400 LE630 railway ballast in order to carry out the embankment elevation.



Fig. 27 - Esecuzione Fase 1c A2 – La piattaforma ferroviaria del binario 400 LE630 è stata scoperta e addensata con compattatore.
Fig. 27 - Execution step 1c A2 - The railway substructure of track 400 LE630 has been uncovered and compacted.



Fig. 28 - Esecuzione Fase 1c A2 – Prima rincalzatura che consentirà l'innalzamento del binario 400 LEM630 provvisoria alla quota di progetto.
Fig. 28 - Execution step 1c A2 – First topping up permitting the elevation of track 400 temporary LEM630 according to the project quota.



Fig. 29 - Esecuzione Fase 1c A2 – Vista del binario 400 LEM630 provvisoria in quota definitiva, spazzolato e completato a regola d'arte.
Fig. 29 - Execution step 1c A2 – View of track 400, temporary LEM630, in the definitive elevation, perfectly brushed and completed.



Fig. 30 - Rilevato LEM (km 155,650, lato binario 400 LEM630 provvisoria) – Vista della sezione trasversale completa.
Fig. 30 - LEM embankment (km 155,650, side of track 400 temporary LEM630) – View of the completed transversal section.



Fig. 31 - Rilevato LEM (km 155,800, lato binario 400 LEM630 definitiva) – Vista della sezione trasversale completa nella zona dove il tracciato modificato si innesta su quello storico.
Fig. 31 - LEM Embankment (km 155,800, side of track 400, permanent LEM630) - View of the completed transversal section in area where the modified track layout links with the existing one.



Fig. 32 - Rilevato LEM (km 155,700, lato binario 300 LEM630 provvisoria) - E' stata rimossa la ritenuta ghiaia con tavole di legno ed è stata costruita a regola d'arte la banchina.

Fig. 32 - LEM Embankment (km 155,700, side of track 300, temporary LEM630) - The wooden ballast retainment were removed and replaced with a perfect embankment.

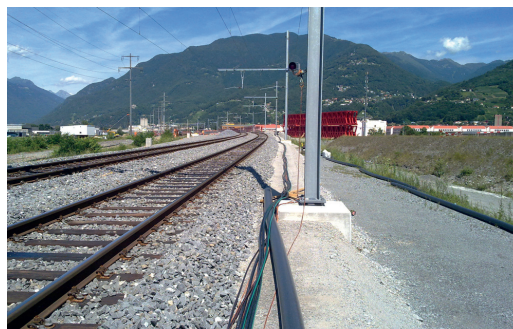


Fig. 33 - Rilevato LEM (km 155,650, lato binario 300 LEM630 provvisoria) - Posizione ancora provvisoria sia dei cavi di segnalamento e telecomunicazione, sia della struttura della linea di contatto.

Fig. 33 - LEM Embankment (km 155,650, side of track 300, temporary LEM630) - Temporary positioning of both signalling and telecommunication cables, and of contact line structure.



Fig. 34 - Vista aerea della linea LEM630 provvisoria in corrispondenza dell'attraversamento dell'autostrada A2.
Fig. 34 - Aerial view of the provisional line LEM630, at the crossing of the A2 motorway.

3. La previsione del comportamento della sovrastruttura ferroviaria

3.1. Sicurezza dell'esercizio ferroviario

L'aspetto centrale nella valutazione dell'economia, delle prestazioni, ma soprattutto, della sicurezza di un'infrastruttura ferroviaria è la funzionalità: i singoli elementi che compongono l'infrastruttura devono essere principalmente caratterizzati da una elevata regolarità geometrica, da un elevato grado di sicurezza e di affidabilità [4].

I fondi stanziati per le operazioni di manutenzione, i danni economici e biologici derivanti da problemi di funzionalità possono essere di grande impatto [5].

decreases, although remaining superior to nominal foreseen values in Swiss Federal Railways law (0,35 m).

It was not possible to correct the altimetric position of the temporary LEM630 track layout, because, in order to link up with the new main section of the A2 overpass and taking into account the maximum gradient permitted (15 ‰), it would have been necessary to move the connection point with LEM630 westwards thus conditioning the Sant'Antonino stop.

2.5.2. Photographic documentation

Herewith are the most representative images (figg. 14-34) of start-up works for Steps 1b-1c A2 in correspondence with LEM/Cattori embankment.

Il profilo irregolare del piano di rotolamento della sovrastruttura ferroviaria, causato principalmente dalle deformazioni permanenti nella massicciata e nel sottofondo, è oggi la principale causa, se non l'unica, di malfunzionamenti strutturali di un'infrastruttura ferroviaria [6].

Dunque, per le citate ragioni di sicurezza ed economia di gestione, è imperativo comprendere e controllare rispettivamente l'evoluzione e lo stato della geometria della sovrastruttura ferroviaria.

Come illustrato nel par. 2.5, la specificità del progetto di tecnica ferroviaria ha posto incertezze in merito al cedimento che poteva realizzarsi per i binari della linea LEM630: infatti, le quote dei piani stradali definitivi hanno imposto l'esecuzione di massicciate provvisorie con spessori superiori a quelli previsti dal regolamento delle Ferrovie Federali Svizzere [7] [8].

Dovendo garantire la sicurezza della circolazione si è reso necessario uno studio teorico approfondito del problema e l'adozione di specifiche misure di restrizione di esercizio e di monitoraggio della sovrastruttura ferroviaria.

3.2. Analisi del cedimento della sovrastruttura ferroviaria

3.2.1. Evoluzione del cedimento: aspetti generali

Processi come l'idratazione, la dissoluzione e l'ossidazione cambiano le proprietà meccaniche dei materiali che costituiscono la massicciata ed il corpo stradale: la massicciata ferroviaria, inoltre, per effetto dei carichi di traffico è soggetta ad un processo di disgregazione.

Le proprietà meccaniche della massicciata e del piano di regolamento sono dunque legate ai carichi applicati ed alle condizioni climatiche [9].

La fig. 35 fornisce una rappresentazione qualitativa della risposta globale della sovrastruttura ferroviaria sotto l'effetto dei carichi di traffico [10], proponendo l'andamento del cedimento del piano di rotolamento in funzione del tempo $t = N \cdot T$ con N il numero di cicli di carico e T l'intervallo tra due applicazioni consecutive.

In un istante di tempo $t \in [NT, (N+1)T]$, il valore totale

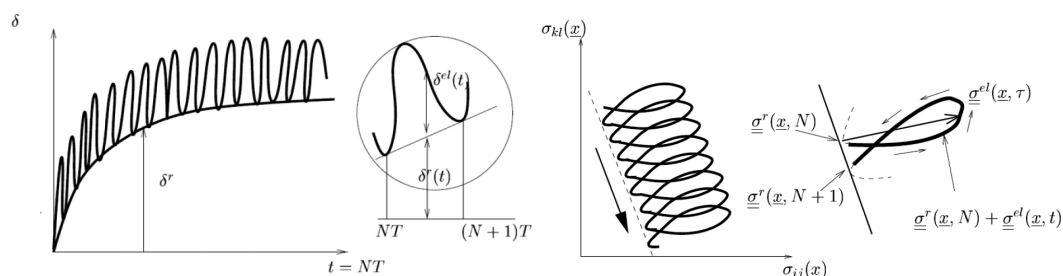


Fig. 35 - A sinistra, evoluzione del cedimento della sovrastruttura ferroviaria nel tempo (funzione dei carichi di traffico). A destra, decomposizione dello stato tensionale nello spazio delle tensioni.

Fig. 35 - Left, evolution of railway superstructure settlement over time (related to traffic loads). Right, decomposition of stress.

3. Prediction of the railway superstructure behaviour

3.1. Railway operational safety

The central feature in assessment of financial, performances and, above all, safety aspects of a railway infrastructure is functionality: the single elements that compose the infrastructure must be mainly characterized by high quality geometrical uniformity, high safety and reliability [4].

Funds allocated for maintenance, economic and biological damages deriving from functionality problems can be greatly significant [5].

An irregular profile in the running surface of the railway superstructure, caused mainly by permanent deformations in ballasts and substrata, is today the main cause, if not the only, for structural malfunctioning of a railway infrastructure [6].

Therefore, for the mentioned reasons regarding safety and economic management, it is imperative to understand and control respectively both the geometrical evolution and state of the railway superstructure.

As illustrated in par. 2.5, the specificity of the railway engineering project highlighted uncertainties regarding a settlement of the tracks on LEM630 railway line: quotas for permanent road surfaces dictated the construction of temporary ballasts with thicknesses superior to those foreseen by the Swiss Federal Railway laws [7] [8].

Having to guarantee railway safety, a theoretical study of the problem and the adoption of specific operational restriction measures and monitoring of railway superstructures were necessary.

3.2. Analysis of railway infrastructural settlement

3.2.1. Evolution of settlement: general aspects

Processes such as hydration, dissolution and oxidation change the mechanical properties of materials that compose the ballast and the substructure: moreover, the railway ballast, because of traffic loads, is subject to a disintegration process.

del cedimento $\delta(t)$ osservato può essere decomposto come segue:

$$\delta(t) = \delta_e(t) + \delta_r(t)$$

con:

- $\delta_e(t)$ la deflessione elastica recuperabile allo scarico;
- $\delta_r(t)$ la deflessione residua.

Analizzando la fig. 35 si osserva facilmente che:

$$\delta_r((N+1)T) - \delta_r(NT) \ll \text{Max}(\delta_e(t), t=[NT, (N+1)T])$$

La deflessione elastica è dunque una funzione della variabile *tempo rapido* τ all'interno del ciclo di carico mentre il cedimento residuo è una funzione della *variabile lenta* N . L'analoga osservazione può essere fatta per le variabili spostamento, deformazione o tensione. Con l'obiettivo di descrivere quantitativamente il comportamento qualitativamente sopra indicato, sono stati sviluppati differenti esperimenti e modelli di calcolo relativi alla valutazione del comportamento della sovrastruttura ferroviaria per la determinazione dell'entità dei cedimenti del piano di rotolamento indotti dall'applicazione dei carichi di traffico.

La decomposizione dello stato tensionale nello spazio delle tensioni è ben illustrata nella fig. 35: la curva è costituita da un incatenamento di cappi che rappresentano i cicli di tensione elastica che si formano con il progredire dell'applicazione dei cicli di carico.

3.2.2. Analisi del cedimento: studi condotti

Numerose ricerche sperimentali sono state condotte al fine di indagare e prevedere il comportamento a lungo termine della sovrastruttura ferroviaria [10]: alcune di queste sono state condotte in laboratorio, riproducendo porzioni di sovrastruttura sottoposte (attraverso macchine idrauliche) a carichi ciclici, altre sono consistite in un rilevamento in-situ dei cedimenti che si producevano.

In letteratura sono dunque disponibili numerosi modelli sviluppati per la previsione del cedimento dell'infrastruttura ferroviaria. Alcuni di questi modelli sono descritti sinteticamente nella tabella 1.

Le leggi di cedimento proposte nella tabella 1 sono leggi di natura empirica a carattere non lineare. Per ovviare al carattere empirico delle formulazioni proposte sono stati realizzati studi specifici adottando apparecchiature di indagine quali apparati triassiali.

Da tali sperimentazioni sono stati proposti differenti modelli, alcuni dei quali sono descritti sinteticamente nella tabella 2 [11].

Come osservato in [11], il principale difetto di queste formulazioni è quello di non considerare l'effetto combinato del numero di cicli applicati e dell'entità dello stato tensionale.

In questa direzione, allo scopo di indagare sul comportamento delle deformazioni permanenti nei materiali granulari sciolti impiegati nella costituzione della sovra-

The mechanical properties relating to the ballast and to the road plan soil are therefore related to applied loads and climatic conditions [9].

*Fig. 35 presents a qualitative representation of the global response of the railway superstructure under the effect of traffic loads [10], proposing the settlement of the running surface with respect to time $t=N*T$, with N being the number of load cycles and T the split-time between the two consecutive applications.*

In an instant of time $t \in [NT, (N+1)T]$, the total settlement value $\delta(t)$ observed may be decomposed as follows:

$$\delta(t) = \delta_e(t) + \delta_r(t)$$

with:

- $\delta_e(t)$ elastic deflection recoverable in unloading;
- $\delta_r(t)$ residual deflection.

Analysing fig. 35 it can be easily seen that:

$$\delta_r((N+1)T) - \delta_r(NT) \ll \text{Max}(\delta_e(t), t=[NT, (N+1)T])$$

Therefore the elastic deflection is a function of the rapid time τ variable within the load cycle, while residual settlement is a function of the slow variable N . The same observation can be made for variables of displacement, deformation or stress. At the aim to define quantitatively the qualitatively behaviour described, and in order to determine the residual status of the running surface caused by the application of traffic loads, different experiments and numerical models for the behaviour evaluation of railway superstructure were developed.

The decomposition of the state of stress in the stresses space is well illustrated in fig. 35: the curve is made up of a chaining loops that represent the cycles of elastic stress formed by the advance of the application of load cycles.

3.2.2. Analysis of the settlement: conducted studies

Numerous experimental studies have been conducted to investigate and predict long-term behaviour of railway superstructure [10]: some of these have been conducted

TABELLA 1 – TABLE 1
PRINCIPALI MODELLI EMPIRICI DI PREVISIONE DEL CEDIMENTO

MAIN EMPIRICAL MODELS FOR SETTLEMENT PREDICTIONS

Riferimenti References	Modello proposto Proposed Models
Modello Balsan Balsan Model	$\delta = A + [B * N^{0.2}]$
Modello Micoballast Micoballast Model	$d\delta/dN = 4,8 * 10^{-7} * d_v^{2.51}$
Modello BETTER BETTER Model	$d\delta_{11/1}/dN = 7 * 10^{-6} * d_{11/1}^{1.13}$ $d\delta_{v,1/1}/dN = 2,1 * 10^{-6} * d_{v,1/1}^{1.17}$
Studio Indraratna Indraratna Studio	$\delta = \alpha + \beta \log N$
Modello Shenton Shenton Model	$\delta = [K_1 * N^{0.2}] + [K_2 * N]$

struttura ferroviaria, GIDEL, HORNYCH e CHAUVIN [11] propongono una metodologia di indagine basata sui risultati di analisi condotte utilizzando apparati triassiali in grado di applicare i carichi in modo ciclico. Essi giungono a formulare specifiche leggi di cedimento del tipo:

$$\epsilon_1^p(N)=f(N)*g(p_{max},q_{max})$$

Tale formulazione è stata utilizzata nel presente studio per il calcolo del cedimento della sovrastruttura ferroviaria.

3.2.3. Analisi del cedimento: studio agli elementi finiti

Si è proceduto, in una prima fase, alla definizione della geometria del modello di studio: basandosi sulle coordinate dei punti monitorati e delle sezioni prodotte per il controllo dell'esecuzione del rilevato ferroviario è stata ricostruita la geometria dell'infrastruttura ferroviaria. Le figg. 36-39 mostrano alcuni passaggi del processo.

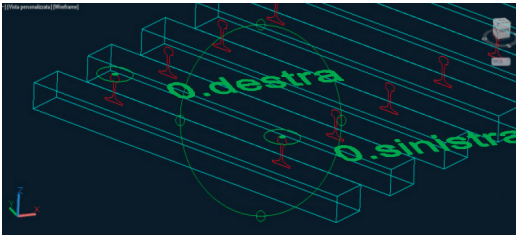


Fig. 36 - Posizionamento delle traverse a partire dalle coordinate dei dati monitorati.
Fig. 36 - Placement of sleepers starting from coordinates of monitored data.

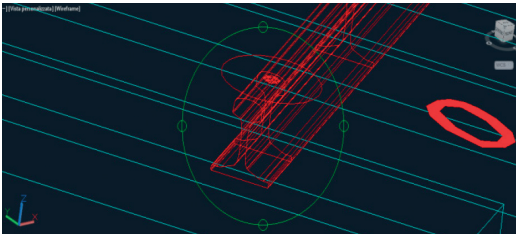


Fig. 37 - Costruzione del profilo delle rotaie.
Fig. 37 - Profile reconstruction of rails.

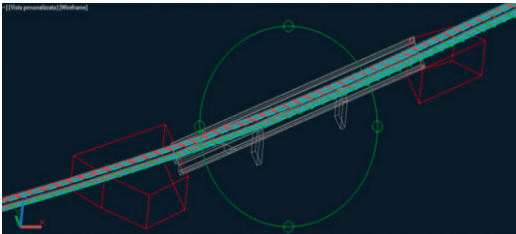


Fig. 38 - Costruzione del cavalcavia A2 e delle spalle.
Fig. 38 - Construction of A2 overpass.

TABELLA 2 – TABLE 2
PRINCIPALI MODELLI SPERIMENTALI DI PREVISIONE DEL CEDIMENTO
MAIN EXPERIMENTAL MODELS INVOLVING SETTLEMENT PREDICTIONS

Riferimenti References	Modello proposto Proposed Models
Barksdale	$\epsilon_1^p(N)=a+b*\log N$
Paute	$\epsilon_1^p(N)=A_0*\frac{\sqrt{N}}{\sqrt{N_0+D}}*\epsilon_1^p(100)$
Sweere	$\log[\epsilon_1^p(N)]=a+b*\log N$
Hornych	$\epsilon_1^p(N)=A*[1-(\frac{N}{100})^B]+\epsilon_1^p(100)$
Hyde	$\epsilon_1^p(N)=a*\frac{b}{\sigma_3}$
Shenton	$\epsilon_1^p(N)=K*(\frac{q_{max}}{\sigma_3})^\alpha$
Lekarp	$\frac{\epsilon_1^p(N_{ref})}{(L/p_0)}=a(\frac{q}{p})_{max}^b$

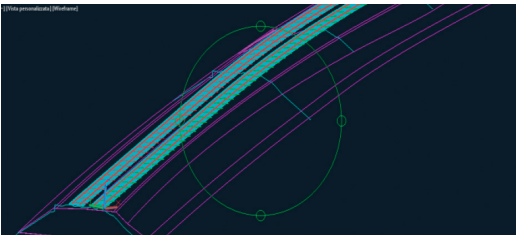


Fig. 39 - Costruzione del rilevato ferroviario a partire dalle sezioni disponibili (in ciano).
Fig. 39 - Construction of railway embankment starting from available sections (in cyan blue).

in laboratory, reproducing sections of superstructure subjected to cyclic loads (by hydraulic machinery); others were developed by an in-situ investigation of settlements.

Technical literature provides with numerous models developed for the prediction of railway settlement. Some of these models are synthetically described in table 1.

Settlement laws proposed in table 1 are non-linear empirical laws. To solve the empirical nature of proposed formulae, specific studies using 3-axial survey devices were used.

After experiments, different models were suggested, some of which have been synthetically described in table 2 [11].

As observed in [11], the main defect of these formulae is the non-consideration of the combined effect of the number of applied cycles and the state of stress.

To investigate on the behaviour of permanent deformations in dissolved granular materials used in the construction of railway superstructures, GIDEL, HORNYCH and CHAUVIN [11] proposed a survey method based on results from analyses conducted using 3-axial devices able to apply

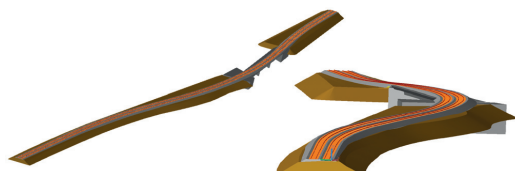


Fig. 40 - Ricostruzione CAD 3D dell'infrastruttura ferroviaria.
Fig. 40 - 3D CAD reconstruction of railway infrastructure.

TABELLA 3 – TABLE 3

DATI MECCANICI ASSEGNATI AI MATERIALI DEL MODELLO MidasGTS

TECHNICAL DATA ASSIGNED TO MATERIALS IN MidasGTS MODEL

Materiale Material	E [MPa]	ν [-]	γ [kN/m ³]
Terreno Earth	30,0	0,4	18,0
Ghiaia Gravel	250,0	0,3	18,0
Calcestruzzo Concrete	$4,0 \cdot 10^4$	0,2	25,0

È stato dunque possibile ricostruire fedelmente il settore di infrastruttura ferroviaria sottoposto a monitoraggio (cfr. par. 3.3.2): la fig. 40 mostra il risultato della ricostruzione dell'infrastruttura ferroviaria tra il km 155,120 ed il km 155,910.

La valutazione del cedimento della sovrastruttura ferroviaria è stata condotta applicando la formulazione proposta da GIDEL, HORNYCH e CHAUVIN (cfr. [11]). La conoscenza dello stato tensionale che si produce, per effetto dei carichi di traffico, in seno ai diversi strati componenti la sovrastruttura ferroviaria è stata raggiunta utilizzando il software ad elementi finiti MidasGTS.

Il modello geometrico creato è stato importato nel software di calcolo: la fig. 41 mostra il modello geometrico già acquisito.

I dati meccanici attribuiti ai materiali utilizzati sono riportati nella tabella 3.

I carichi applicati sono stati valutati sulla base dei dati reali di traffico (cfr. par. 3.4) e sono stati opportunamente amplificati secondo [14] per tenere conto dei moti anomali dei veicoli ferroviari.

I risultati forniti dalla simulazione agli elementi finiti (fig. 42) sono i dati di input per applicare la formulazione di GIDEL, HORNYCH e CHAUVIN (cfr. [11]).

La valutazione del cedimento è stata dunque condotta come descritto di seguito:

cyclically loads. They conclude with special formulae for settlement, such as:

$$\epsilon_p(N) = f(N) * g(p_{max}, q_{max})$$

Such formula was used for the calculation of the settlement railway superstructure.

3.2.3. Analysis of settlement: finite element study

During a first stage, the geometry of the model was defined: based on the coordinates of monitored points and transversal sections produced for the quality check of the railway embankment, the railway infrastructure geometry was reconstructed. The following figg. 36-39 show some phases of the process.

Therefore it was possible to correctly reconstruct the sector of the railway infrastructure under monitoring (cf. par. 3.3.2): fig. 40 shows the result of the railway infrastructural reconstruction between km 155,120 and km 155,910.

Evaluation of railway settlement was conducted by applying formulae suggested by GIDEL, HORNYCH, and CHAUVIN (cf. [11]). Knowledge of the state of stress produced by traffic loads, within the different strata forming the railway superstructure was reached by utilizing MidasGTS finite elements software.

The geometrical model herewith created, was introduced in the calculation software: fig. 41 shows the already established geometrical model.

Technical data regarding utilized materials have been listed in the following table 3.

Loads applied were evaluated according to real traffic data (cf. par. 3.4) and were opportunely amplified according to [14].

Results supplied by the finite elements simulation (fig.

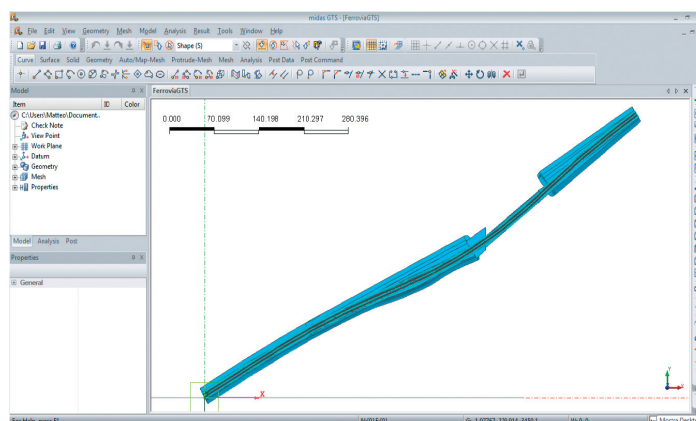


Fig. 41 - Modello dell'infrastruttura ferroviaria importata nel software MidasGTS (formato ACIS).

Fig. 41 - Railway model introduced in Midas GTS software (ACIS format).

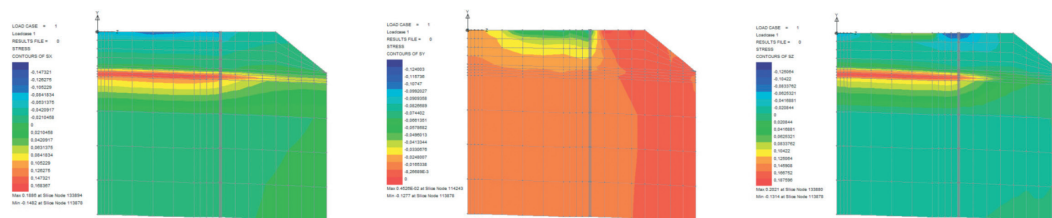


Fig. 42 - Estratto degli stati tensionali in alcune sezioni della sovrastruttura ferroviaria in studio.
Fig. 42 - An extract of the stress states in railway superstructure sections.

- individuazione delle sezioni: nel presente studio si è scelto di valutare il cedimento permanente nelle sezioni sottoposte realmente a monitoraggio (ogni 4,8 m);
- massicciata e suolo sono stati divisi ciascuno in 5 strati equipotenti;
- è stato individuato lo stato tensionale relativo ai nodi posti in mezziera di ciascuno strato (ad eccezione degli strati terminali per i quali lo stato tensionale è riferito ad un nodo posto sul bordo dello strato stesso);
- è stato valutato il numero di assi transitati considerando i dati reali traffico;
- è stato valutato per ogni strato, in relazione al numero di assi transitati ed al loro peso, il cedimento prodotto;
- infine, sono state costruite le curve di riferimento dei cedimenti (cfr. [11]).

La previsione del cedimento della sovrastruttura ferroviaria è presentata nel par. 3.5.

3.3. Restrizioni dell'esercizio e monitoraggio della sovrastruttura ferroviaria

Come indicato nel par. 3.1, al fine di garantire la sicurezza della circolazione ferroviaria, sono state adottate specifiche misure restrittive dell'esercizio ed è stato allestito un piano di monitoraggio secondo i regolamenti in vigore presso le Ferrovie Federali Svizzere [12].

3.3.1. Restrizione della velocità di esercizio

Sul tratto di linea LEM630 provvisoria in studio, la velocità massima dei convogli ferroviari, sia passeggeri che merci, è stata limitata.

Nello specifico, sul binario 300 è stata imposta, in fase di apertura all'esercizio (72 h), una velocità massima pari a 50 km/h: durante tale fase è stata mantenuta, oltre al monitoraggio strumentale, anche una sorveglianza visiva giornaliera.

In base ai dati geometrici rilevati (fig. 43), non è stato rilevato un comportamento anomalo della sovrastruttura ferroviaria ed è stato dunque deciso di innalzare il limite di velocità a 80 km/h. Il binario 400, sulla base dell'esperienza nel frattempo acquisita, è stato direttamente aperto all'esercizio con limite di velocità a 80 km/h.

42) are input data utilized to apply GIDEL, HORNYCH and CHAUVIN formulae [11].

Evaluation of settlement was therefore conducted as follows:

- identification of sections: in this study it was chosen to evaluate the permanent settlement in sections really subjected to monitoring (every 4,8 m);
- ballast and earth layer were each divided into 5 equivalent strata;
- the state of stress relative to nodes placed on the middle line of each stratum was identified (with the exception of terminal strata for which the state of stress refers to a node placed on the edge of the same stratum);
- the number of axes in comparison to real traffic was evaluated;
- evaluation of the settlement resulting from, and in relation to, the number of trafficked axes and their weight;
- finally, settlement curves (cf. [09]) were created.

The prediction for railway superstructure settlement is set out in paragraph 3.5.

3.3. Operational restrictions and monitoring of railway superstructure.

As indicated in par. 3.1, in order to guarantee railway traffic safety, specific restrictive measures in operations were used, and a monitoring plan according to present Swiss Federal Railway laws was developed [10].

3.3.1. Restriction on operational velocity

On the temporary LEM630 railway line the maximum speed, for both passenger and freight, was limited.

More specifically, on track 300, during the start-up phase (72 hrs), a maximum speed of 50 km/h was imposed: there was also visual daily surveillance, other than instrumental monitoring during such phase.

Based on geometrical observations (fig. 43 – paragraph 3.4) there was no abnormal behaviour in the railway superstructure and it was therefore decided to increase the speed limit to 80 km/h. According to experience gained

TABELLA 4 – TABLE 4

MONITORAGGIO DELLA SOVRASTRUTTURA FERROVIARIA:

VALORI DI SOGLIA

MONITORING OF RAILWAY SUPERSTRUCTURE: THRESHOLD VALUES

Elemento Element	Valori limite Limit Values	Soglia d'attenzione Attention Threshold	Soglia d'intervento Intervention Threshold	Soglia d'intervento immediato Immediate Intervention Threshold
Binario Track	Sghembo Track twist	2,5 ‰	3,5 ‰	4,0 ‰
	Freccia verticale Vertical Arrow	0,009 m	0,012 m	0,016 m
	Freccia orizzontale Horizontal arrow	0,009 m	0,012 m	0,014 m

Tale limite ha avuto carattere permanente per tutta la durata di esercizio dei binari della linea LEM630 provvisoria.

3.3.2. Monitoraggio della sovrastruttura ferroviaria

È stato predisposto un piano di monitoraggio [13] per la sorveglianza dei binari 300 e 400 dal km 155,120 al km 155,910, per una lunghezza complessiva di 790,0 m.

La geometria della sovrastruttura è stata rilevata monitorando, con l'utilizzo di una stadia di precisione provvista di prismi, 164 sezioni su ciascun binario (ogni 4,8 m). Le misurazioni, previste durante tutto il periodo d'esercizio dei binari provvisori, sono state eseguite con un tacheometro di precisione (Leica TS30) operante su una rete di punti fissi posti sui plinti di fondazione dei pali, e sui pali stessi, della linea di contatto.

Per quanto riguarda la frequenza delle misurazioni, la

The geometry of the superstructure was detected by measurements by a precision prism stadia on 164 sections on each track (every 4,8 m). The measurements, hypothesized for the whole temporary track operational period, were carried out with a precision tachometer (Leica TS30) working on a network of fixed points placed on foundation plinths of the contact line poles, and on the poles themselves.

Regarding the frequency, measurement 0 was planned the day after the start-up of operations on the temporary LEM630 railway line. Following this, 2 measurements/weekly during the first 2 weeks of operations were planned.

Frequency of successive measurements was based upon the behaviour of the railway infrastructure. The measurements dates are clearly indicated in the diagrams in par. 3.4.2.

With reference to reliability in the monitored data, here-

with track 300, track 400 was opened for operations with a speed limit of 80 km/h.

Such speed limit involving the LEM630 railway line is permanent for the whole length of the railway operations on the temporary track layout.

3.3.2. Railway superstructure monitoring.

A monitoring plan [13] has been arranged for the surveillance of tracks 300 and 400, from km 155,120 to km 155,910, for a total length of 790,0 m.

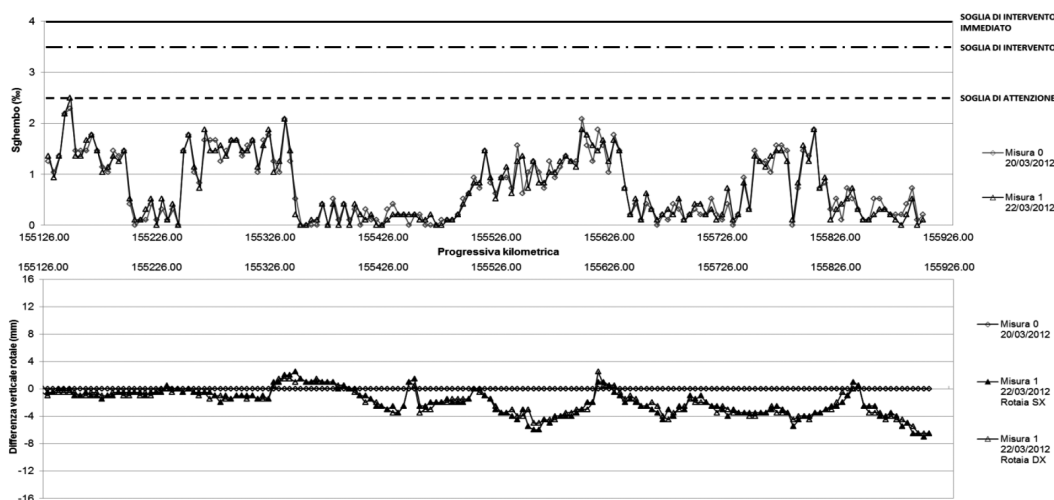


Fig. 43 - Dati di monitoraggio LEM630 (bin. 300): sghembo (su base 4,8 m) e cedimento verticale delle rotaie nelle prime 72 h di esercizio.
Fig. 43 - Monitoring data of LEM630 (track 300): track twist (on 4,8 m base) and vertical settlement of rails during the first 72 hrs of operation.

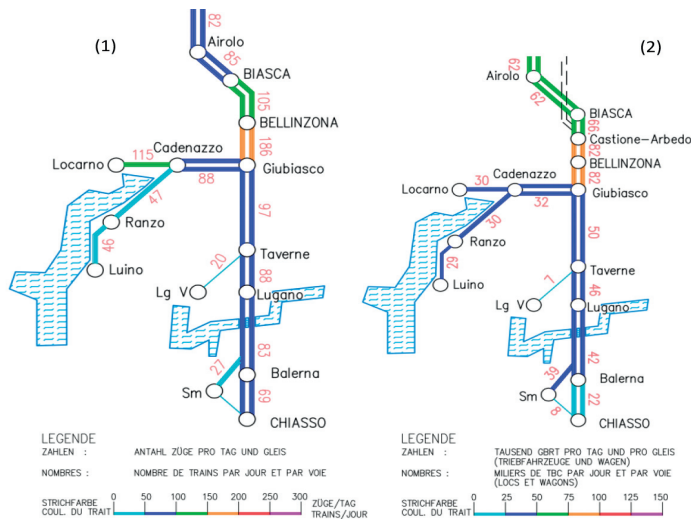


Fig. 44 - Dati di traffico per il Cantone Ticino: treni giornalieri medi per senso di marcia (1) e tonnellate medie di traffico giornaliero per senso di marcia (2) (dati su base annuale - (1) al 2010 / (2) al 2011).

Fig. 44 - Traffic data for the Canton Ticino area: average daily trains according to direction (1) and average daily tonnage of daily traffic according to direction (2) (Annually based data - (1) from 2010 / (2) to 2011).

misura 0 è stata pianificata il giorno seguente la messa in esercizio dei binari della linea LEM630 provvisoria. Successivamente sono state previste 2 misure/settimana per le prime 2 settimane di esercizio.

La frequenza delle misure successive è stata valutata in base al comportamento dell'infrastruttura ferroviaria. Le date reali di misurazione sono chiaramente indicate nei grafici riportati nel par. 3.4.2.

Con riferimento all'attendibilità dei dati monitorati, si riportano di seguito le tolleranze garantite:

- quota punti: $\pm 0,001$ m;
- posizione punti: $\pm 0,001-0,002$ m.

Nell'ambito dell'interpretazione dei dati di monitoraggio, è di fondamentale importanza definire i valori di soglia per le grandezze monitorate. Tali valori, per le grandezze d'interesse, sono riportate nella tabella 4.

3.4. Dati di traffico, analisi dei dati di monitoraggio, confronto e validazione del modello ad elementi finiti

Una corretta interpretazione dei dati di monitoraggio può essere condotta solamente confrontando tali dati con quelli relativi al traffico ferroviario. Dopo aver discusso i dati di traffico, verranno proposti i dati di monitoraggio acquisiti ed infine si proporrà, al fine della validazione del modello ad elementi finiti, un confronto tra la previ-

with is stated the guaranteed tolerances:

- point quota: $\pm 0,001$ m;
- point position: $\pm 0,001-0,002$ m.

When interpreting monitoring data, it is of fundamental importance to define threshold values related to each of the monitored quantities: such values are listed in table 4.

3.4. Traffic data, analysis of monitoring data, comparison and validation of the finite element model

A correct interpretation of the monitoring data may be only conducted by comparing these data with related railway traffic data. After having discussed traffic data, the established monitoring data will be submitted, and finally, for the validation of the finite element model, a comparison between the numerical prediction of railway settlement and the real situation will be submitted.

3.4.1 Traffic data

Fig. 44 synthetically shows the average daily railway traffic data in the Canton Ticino area: data relating to the average daily number of trains and the average daily tonnage in transit are reported.

3.4.2 Analysis of monitoring data

3.4.2.1. Initial stage of operations

The first analysis of monitoring data concerns the set-

TABELLA 5 - TABLE 5

DATI DI TRAFFICO PER IL BINARIO 300 DELLA LINEA LEM630 IN STUDIO NELLE PRIME 72 H DI ESERCIZIO
TRAFFIC DATA FOR TRACK 300 OF LEM630 LINE SUBJECT TO STUDY DURING THE FIRST 72HRS OF OPERATIONS

Categoria convoglio Wagon category	Numero di convogli Númer of wagons	Mg Totali Total Mg
Interregionali Inter-regional	14	6'703
Regionali Regional	54	9'434
Merci Goods	16	18'649
Trattori Traction engines	2	72
Locomotori Locomotives	3	419
Treni vuoti Empty trains	1	252

sione numerica di cedimento dell'infrastruttura ferroviaria e quella effettivamente realizzatasi.

3.4.1. Dati di traffico

La fig. 44 mostra sinteticamente i dati giornalieri medi del traffico ferroviario nel Canton Ticino: sono riportati i dati relativi al numero giornaliero medio di treni e le tonnellate medie giornaliere transitate.

3.4.2. Analisi dei dati di monitoraggio

3.4.2.1. Fase di apertura all'esercizio

La prima analisi dei dati di monitoraggio riguarda il cedimento realizzatosi nelle prime 72 h di esercizio. I dati di traffico relativi a tale periodo di esercizio, e per il solo binario 300, sono riportati nella tabella 5. Il comportamento della sovrastruttura ferroviaria per tale intervallo temporale è riportato nella fig. 43.

La modifica dell'allineamento plano-altimetrico risulta essere pressoché nulla, con cedimenti del piano del ferro ovunque $<0,006$ m.

Dall'analisi del grafico di fig. 43 emerge chiaramente che dal km $\approx 155,126$ al km $\approx 155,426$ (dunque con spessori di massicciata non elevati – cfr. fig. 13) il cedimento avvenuto è del tutto irrilevante e non si sono manifestati particolari difetti di sghebo. Dal km $\approx 155,426$ al km $\approx 155,826$ (con spessori di massicciata più importanti – cfr. fig. 13) l'entità dei cedimenti è superiore (fino a $0,006$ m) ma, comunque, tale da non richiedere interventi correttivi. Anche in questo settore non si hanno particolari difetti di sghebo.

3.4.2.2. Fase di esercizio

La seconda analisi riguarda il cedimento avvenuto nel periodo Marzo 2012-Luglio 2012 (dati di traffico riportati nella tabella 6 e complessivi per entrambi i binari 300 e 400). Il comportamento della sovrastruttura ferroviaria per tale intervallo temporale è riportato nelle figg. 45-50.

La modifica dell'allineamento plano-altimetrico risulta essere più importante sul lungo termine, con cedimenti del piano del ferro fino a $\approx 0,012$ m.

Dall'analisi dei grafici delle figg. 46-47 e 49-50 emerge chiaramente che (analogamente a quanto indicato nell'analisi della fase di apertura all'esercizio) i cedimenti maggiori sono concentrati nei settori con gli spessori più importanti di massicciata (cfr. fig. 13), ovvero dal km $\approx 155,420$ al km $\approx 155,650$. Nello specifico, in tale settore, per il binario 300 i cedimenti massimi monitorati sono di $\approx 0,012$ m e, sebbene non si siano manifestati difetti di sghebo, hanno richiesto un intervento di rincalzatura. Successivamente a tale intervento, i cedimenti hanno continuato ad evolvere con una velocità analoga a quella monitorata prima dell'intervento di rincalzatura. Lo sghebo non ha invece avuto evoluzioni significative.

tlement occurred during the first 72 hrs of operations. Traffic data relative to such period of operations, and exclusively pertaining to track 300, are reported in table 5 underneath. Behaviour of the railway superstructure for such time range is reported in fig. 43.

The modification in the plano-altimetric alignment is almost non-existent, with $<0,006$ m settlements.

From an analysis of the graph in fig. 43, it can be clearly seen that from km $\approx 155,126$ to km $\approx 155,426$ (i.e. with non-elevated ballast thicknesses – cf. fig. 13) the occurred settlement is irrelevant and there were not any notable twist defects. From km $\approx 155,426$ to km $\approx 155,826$ (with more influential ballast thicknesses – cf. fig. 13), the gravity of settlement is superior (up to 6 mm); nonetheless, it is not so severe to require corrective interventions. Even in this sector, no particular twist defects were to be noted.

3.4.2.2. Operative stage

The second analysis concerns the settlement occurred during the March - July 2012 period (reported traffic data in table 6 and includes both tracks 300 and 400). The railway superstructure behaviour for such time range is reported in figg. 45-50.

The modification to the plano-altimetric alignment seems to be more incisive on a long-term basis, presenting iron surface settlements up to $\approx 0,012$ m.

From the analysis of graphs in figg. 46-47 and 49-50 it is clearly seen that (similarly to that indicated during the opening phase of operations) major settlements were concentrated in sectors with more significant ballast thicknesses, i.e. from km $\approx 155,240$ to km $\approx 155,650$ (with more significant thicknesses – cf. fig. 13). More specifically, in the track 300 sector, the maximum settlements monitored were $\approx 0,012$ m and, even if there were no resulting twist defects, a topping-up intervention was necessary. Following such intervention, settlements continued to take place with a ve-

TABELLA 6 – TABLE 6

DATI DI TRAFFICO PER IL TRATTO DI INFRASTRUTTURA IN STUDIO NEL PERIODO MARZO 2012-LUGLIO 2012
TRAFFIC DATA FOR THE INFRASTRUCTURAL SECTION SUBJECT TO STUDY DURING MARCH-JULY 2012 PERIOD

Categoria convoglio Wagon category	Numero di convogli Numer of wagons	Mg Totali Total Mg
Interregionali Inter-regional	4'239	1'788'452
Regionali Regional	15'079	2'440'866
Merci Goods	4'362	5'130'899
Trattori Traction engines	121	22'807
Locomotori Locomotives	908	116'510
Treni vuoti Empty trains	87	16'609

3.5. Confronto e validazione del modello FEM

Le figg. 51-56 presentano la previsione numerica del comportamento del binario nel tratto di interesse (cfr. par. 3.4) nei medesimi istanti temporali dell'attività di monitoraggio.

Come emerge dal confronto con la geometria del binario rilevata, il modello FEM permette una stima rappresentativa del cedimento. Gli scostamenti dei valori previsti da quelli riscontrati sono inferiori al 20%. Si rileva una tendenza del modello a sottostimare i cedimenti in fase iniziale (fino a $\approx 10'000$ assi - ≈ 96 h di esercizio) mentre si ha una sovrastima sul lungo termine, comunque inferiore al 20%.

Il cedimento dell'infrastruttura ferroviaria monitorato,

locity similar to the one monitored before the topping-up intervention. There were no significant changes to the twist effects or situations.

3.5. Comparison and validation of FEM model

Figures 51-56 present the numerical prediction for the behaviour of the track section (cf. par. 3.4) during the exact temporal instants of monitoring activity.

From comparison with the registered geometry of the track, the FEM model enables a representative estimation of settlement. Deviations of predicted values from actual ones are 20% inferior. The model has a tendency to underestimate settlements in the initial stage (to $\approx 10'000$ axes - ≈ 96

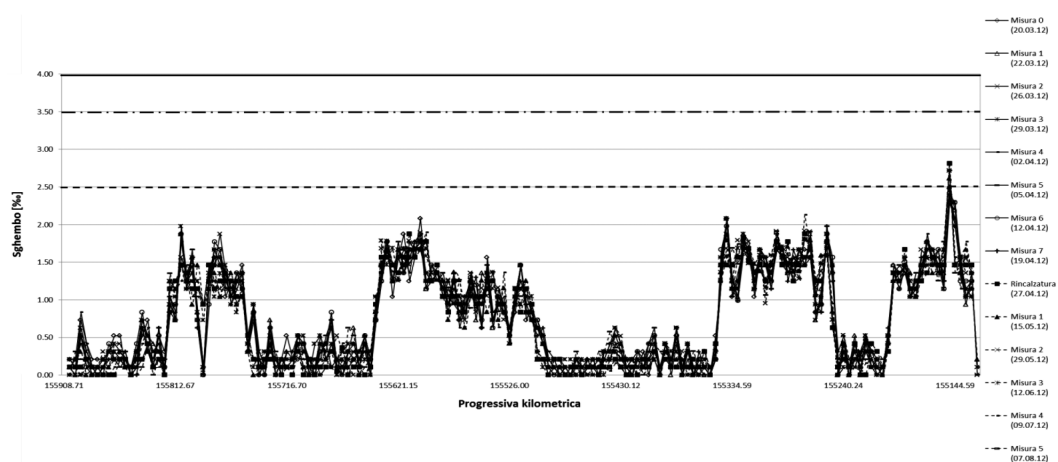


Fig. 45 - Dati di monitoraggio LEM630 (bin. 300): sghembo (su base 4,8 m) nel periodo Marzo 2012-Luglio 2012.
Fig. 45 - LEM630 (track 300) monitoring data: twist track (on 4,8 m base) during the March-July 2012 period.

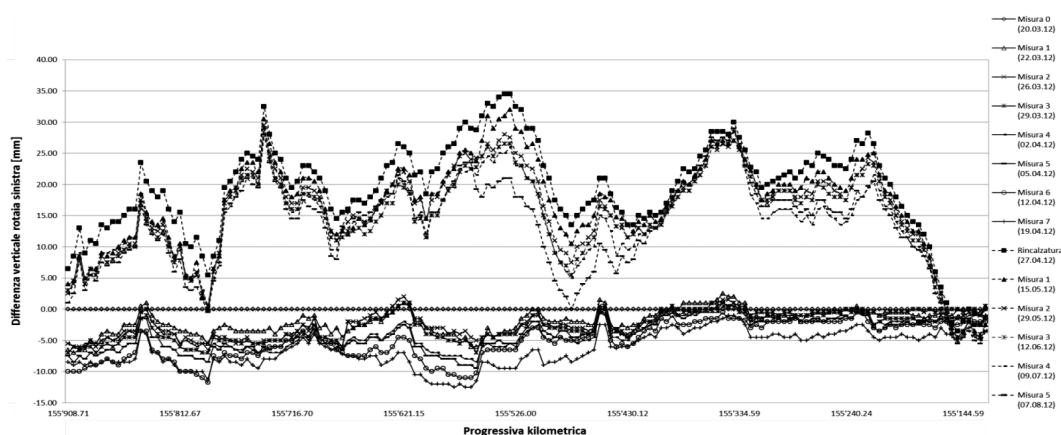


Fig. 46 - Dati di monitoraggio LEM630 (bin. 300): cedimento verticale rotaia sinistra nel periodo Marzo 2012-Luglio 2012.
Fig. 46 - LEM630 (track 300) monitoring data: vertical settlement of the left rail during the March-July 2012 period.

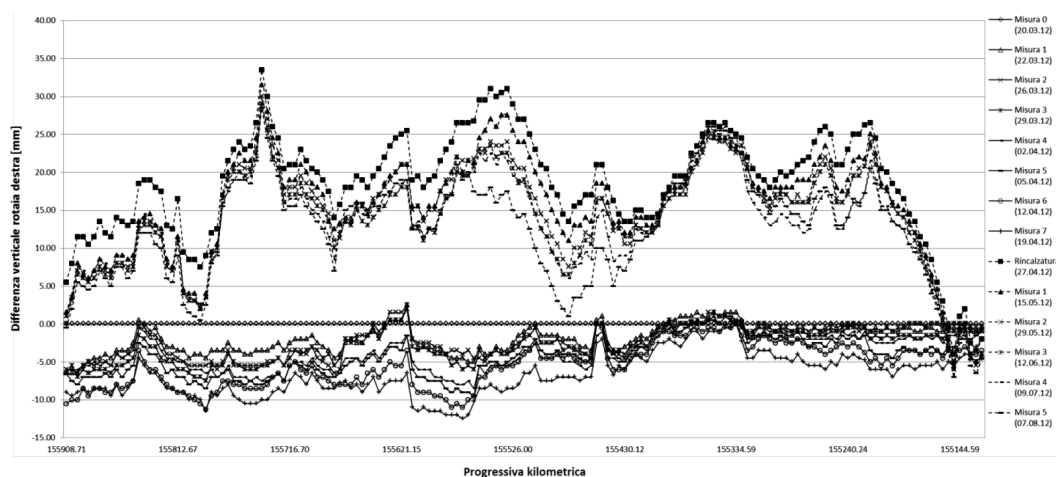


Fig. 47 - Dati di monitoraggio LEM630 (bin. 300): cedimento verticale rotaia destra nel periodo Marzo 2012-Luglio 2012.
Figure 47 LEM630 (track 300) monitoring data: vertical settlement of the right rail during the March-July 2012 period.

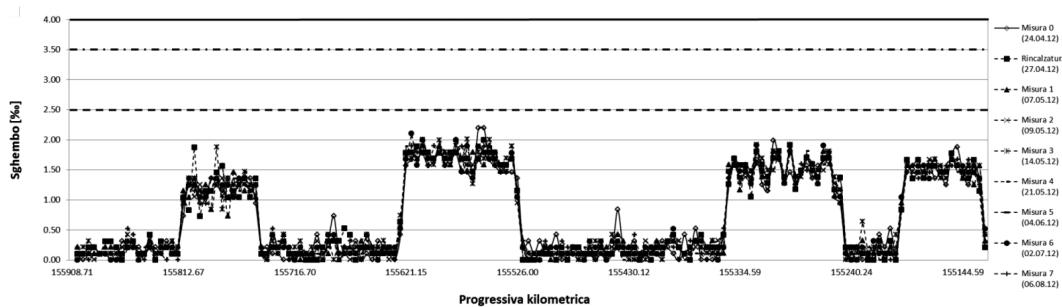


Fig. 48 - Dati di monitoraggio LEM630 (bin. 400): sghembo (su base 4,8 m) nel periodo Aprile 2012-Luglio 2012.
Figure 48 LEM630 (track 400) monitoring data: twist track (on 4,8 m base) during the April-July 2012 period.

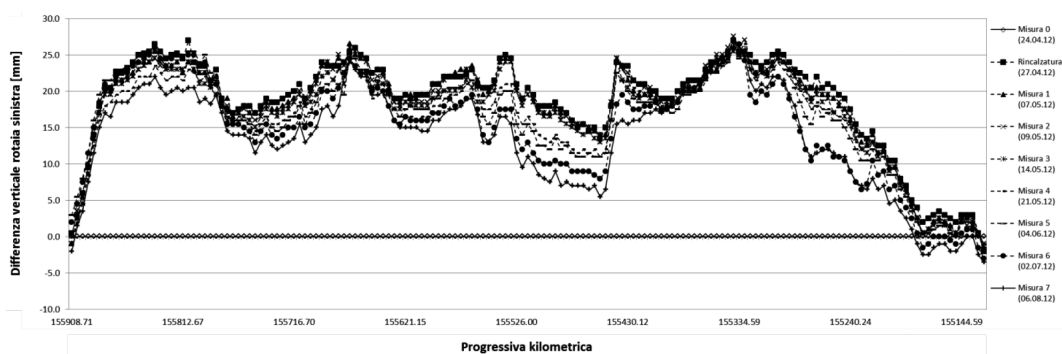


Fig. 49 - Dati di monitoraggio LEM630 (bin. 400): cedimento verticale rotaia sinistra nel periodo Aprile 2012-Luglio 2012.
Figure 49 LEM630 (track 400) monitoring data: vertical settlement of the left rail during the April-July 2012 period.

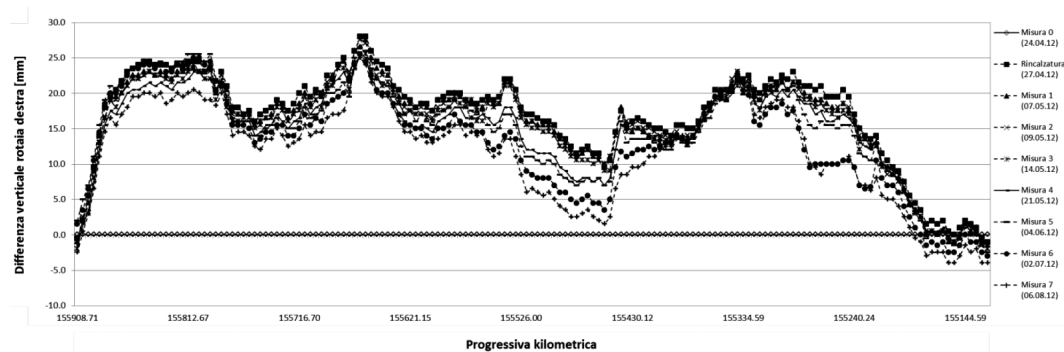


Fig. 50 - Dati di monitoraggio LEM630 (bin. 400): cedimento verticale rotaia destra nel periodo Aprile 2012-Luglio 2012.
Figure 50 LEM630 (track 400) monitoring data: vertical settlement of the right rail during the April-July 2012 period.

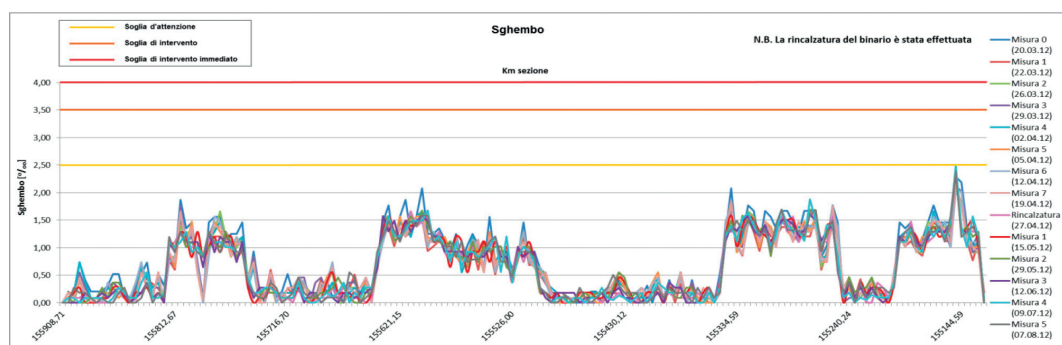


Fig. 51 - Previsione FEM LEM630 (bin. 300): sghembo su base 4,8 m.
Fig. 51 - FEM prediction for track 300, LEM 630: twist track on 4.8m base.

come è emerso da rilievi volti a misurare il comportamento del rilevato, è concentrato esclusivamente nella massicciata: i cedimenti del rilevato sono infatti inferiori ai 0,002 m, nulli nella maggior parte dei punti monitorati.

4. Conclusioni

Allo scopo di evitare ripercussioni significative sulla puntualità e sull'efficienza dell'esercizio ferroviario, la progettazione delle opere del Nodo di Camorino ha comportato una complessa gestione delle fasi esecutive. In alcune situazioni questo ha imposto un confronto delicato con i regolamenti ferroviari vigenti e la conseguente necessità di compromesso per le soluzioni progettuali. È questo il caso degli spessori di massicciata presenti sul rilevato della linea esistente modificata Giubiasco-Locarno. Per questo motivo prima dell'apertura della linea all'esercizio ferroviario è stato pianificato un accurato processo di valutazione del comportamento della sovrastruttura ferroviaria accompagnato da un'attività di monitoraggio tarata sulla reale risposta della sovrastruttura.

hrs of operations), while there is an overestimation during the long term, however this is inferior to 20%.

As detected during studies carried out to measure the embankment behaviour, settlement of the monitored railway superstructure is totally concentrated on the ballast: actually, embankment settlements are inferior to 0,002 m, zero in most monitored points.

4. Conclusions

With the intent to avoid significant repercussions regarding punctuality and efficiency of railway operations, the planning of the Node of Camorino works has involved a complex management of executive activities. In some situations, a serious confrontation with the applicable regulations was necessary, resulting in the consequential necessity to find compromises for planned solutions. This is the case of the ballast thicknesses present on the embankment of the modified Giubiasco-Locarno line. For this reason, before the opening of the railway operations, it was necessary to plan an accurate

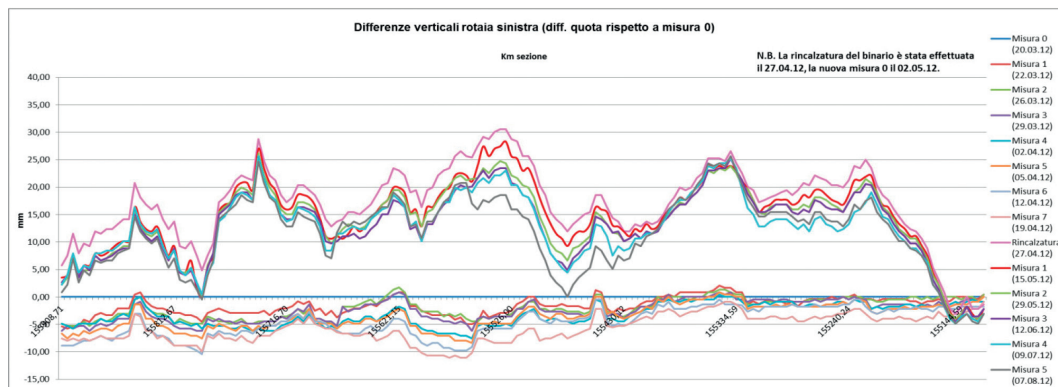


Fig. 52 - Previsione FEM LEM630 (bin. 300): cedimento verticale rotaia sinistra.
Fig. 52 - FEM prediction for track 300, LEM 630: vertical settlement of left rail.

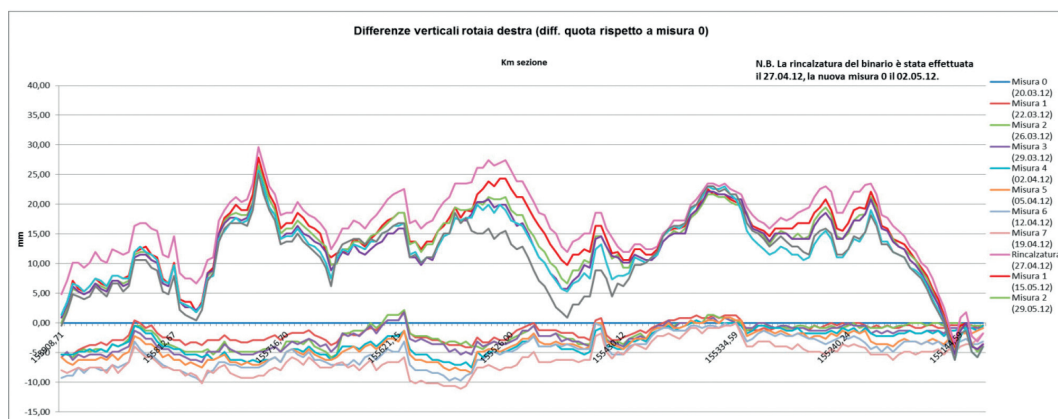


Fig. 53 - Previsione FEM LEM630 (bin. 300): cedimento verticale rotaia destra.
Fig. 53 - FEM prediction for track 300, LEM 630: vertical settlement of right rail.

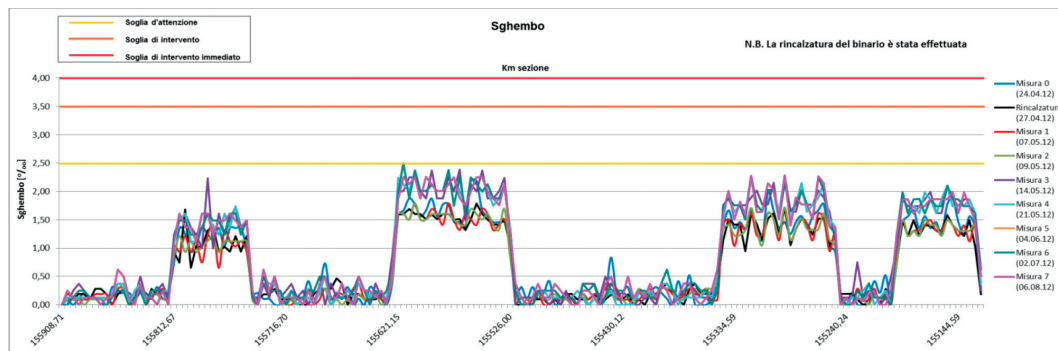


Fig. 54 - Previsione FEM LEM630 (bin. 400): sghebo su base 4,8 m.
Fig. 54 - FEM prediction for track 400, LEM630: twist track on 4.8 m base.

Precedentemente all'apertura all'esercizio dei binari, i risultati del modello di calcolo elaborato hanno permesso di stimare il comportamento della sovrastruttura ferroviaria in modo rappresentativo (come emerge dal confronto con i dati di monitoraggio). La sicurezza ferroviaria è stata dunque garantita tramite una duplice verifica, sia teorica sia strumentale. Inoltre, la previsione dei cedimenti ha permesso di pianificare in modo mirato le operazioni di rinalzatura permettendo dunque un'ottimizzazione dei costi di gestione.

La modalità di gestione delle fasi esecutive 1b-1c A2 per il Nodo di Camorino possono dunque essere assunte quali valido riferimento per la definizione delle attività di accompagnamento di cantieri complessi con speciale riguardo alla sicurezza dell'esercizio ferroviario e l'economia di gestione.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano le Ferrovie Federali Svizzere SA e la società AlpTransit San Gottardo SA per la gentile concessione di pubblicazione delle informazioni progettuali. Si ringrazia inoltre la Società CSPfea per la gentile concessione della licenza di MidasGTS.

evaluation process of the railway superstructure behaviour, accompanied by a monitoring activity planned according to the real superstructure response.

Precedent to the opening of track operations, the results of the elaborated calculus model enabled a sample estimation of railway superstructure behaviour (as has emerged during the comparison with monitoring data). Therefore, railway safety was guaranteed through a double check, both theoretical and with instrumental. Moreover, the settlement prediction allowed to plan in a targeted manner the operations of topping thereby allowing optimization of the management costs.

The management methods of the A2 1b-1c executive stages at the Node of Camorino may therefore be considered as a valid reference for the definition of complementary activities on complex work-sites, with special note given to the safety of railway operations.

Acknowledgements

The authors thank the Swiss Federal Railway Ltd and the AlpTransit San Gotthard Ltd for granting permission to publish project information, and CSPfea for the permit to use MidasGTS.

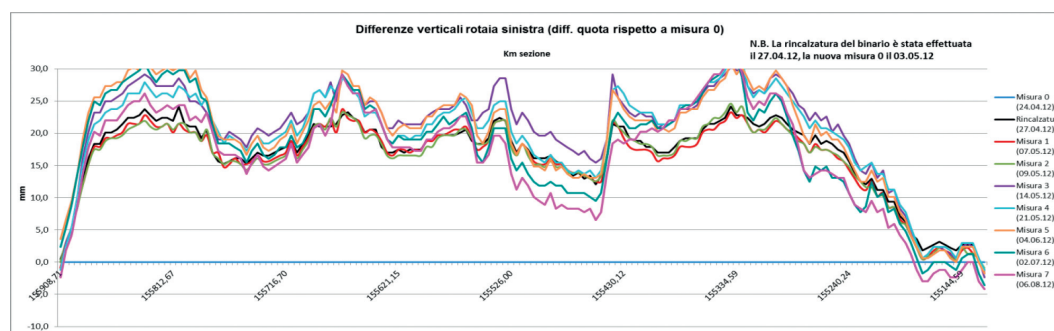


Fig. 55 - Previsione FEM LEM630 (bin. 400): cedimento verticale rotaia sinistra.
Fig. 55 - FEM prediction for track 400, LEM 630: vertical settlement of left rail.

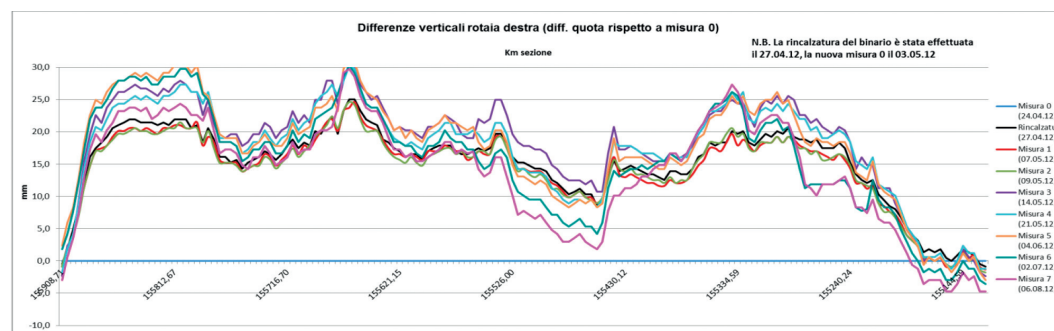


Fig. 56 - Previsione FEM LEM630 (bin. 400): cedimento verticale rotaia destra.
Fig. 56 - FEM prediction for track 400, LEM630: vertical settlement of right rail.

BIBLIOGRAFIA - REFECENCES

- [1] AlpTransit San Gottardo SA, *"La galleria più lunga del mondo: il futuro inizia"*, Ed. Rolf E. Jeker, 2004.
- [2] Consorzio Ingegneri Piano di Magadino, *"Progetto Definitivo Nodo di Camorino"*, 2005.
- [3] AlpTransit San Gottardo SA, *"Progetto definitivo di tecnica ferroviaria - Piano delle fasi"*, 2010.
- [4] BARWELL F.T., *"Problemi di supporto, guide e propulsione posto dai sistemi di trasporto a grande velocità"*, Bulletin de l'Association International du Congrès des Chemins de Fer, 1/68.
- [5] ZOETEMAN A., ESVELD C., *"Evaluating Track Structures: Life Cycle Cost Analysis as a structural approach"*, TU Delft.
- [6] POPP K., *"System Dynamics and Long-Term Behavior of Railway Vehicles, Track and Subgrade"*, Springer 2002.
- [7] Ferrovie Federali Svizzere, *"Prontuario del binario – Scartamento normale"*, Manuale D RTE 22040, 2009.
- [8] Ferrovie Federali Svizzere, *"Bahnbrücken mit Schotterbett auf Normalspurstrecken"*, W-AM 01/02, 2002.
- [9] LOPEZ PITA A., *"Contributo alla conoscenza del fenomeno di degradazione del binario"*, Ingegneria ferroviaria, 2/81.
- [10] ABDELKRIM M., *"Analyse par le calcul des structures du comportement cyclique à long terme des infrastructure de transport"*, Thèse de Docteur, ENPC, 2004.
- [11] GIDEL G., HORNYCH P., CHAUVIN J.J., *"A new approach for investigating the permanent deformation behavior of unbound granular material using the repeated load triaxial apparatus"*, Bulletin des Laboratoires des Points et Chaussées. July-August 2003, 4359, Pagg. 5-21.
- [12] Ferrovie Federali Svizzere, *"Monitoraggio degli impianti di tecnica ferroviaria su cantieri situati in prossimità dei binari"*, Regolamento I-50009, 2011.
- [13] Ferrovie Federali Svizzere, *"Concetto di monitoraggio - Impianti di tecnica ferroviaria – ATG Galleria di base del Ceneri - Nodo di Camorino - Binario provvisorio 300/400"*, 2012.
- [14] EISENMANN J., LEYKAUF G., *"Le sovrastrutture per linee AV, specifiche, costruzione, dimensionamento, comportamento"*, Eisenbahningenieur, 9/88.