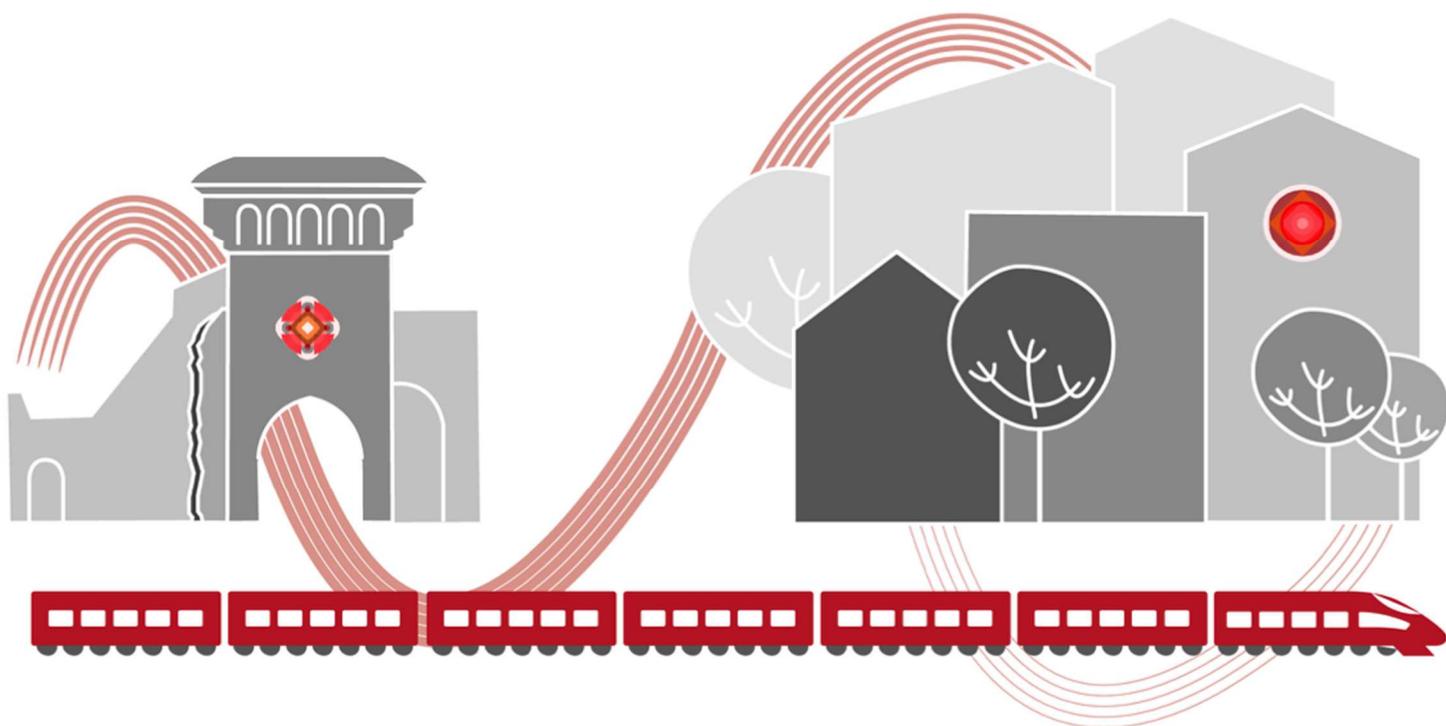




FERROVIE EMILIA ROMAGNA

**Linea SFM2 Bologna-Portomaggiore: adeguamento della progettazione definitiva e coordinamento per sicurezza in fase di progettazione per la realizzazione del completamento dell'interramento della tratta urbana di Bologna della Linea SFM2 Bologna-Portomaggiore e Redazione del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica relativo al raddoppio del binario tra la fermata di Bologna-Via Larga e la stazione di Budrio (CIG 754332765C).**

## PROGETTO DEFINITIVO



**STUDI E INDAGINI**

**RILIEVI TOPOGRAFICI**

**RELAZIONE TECNICA**

CARTELLA N° 2.2

FER\_BP\_D\_T0 RIL\_GEN\_R\_001\_0

**GEODATA**  
ENGINEERING

**NET** ENGINEERING

**SITECO**  
ENGINEERING  
COMPANY

DATA	CODICE RELAZIONE		REV.
31/10/2019	FER BP D T0	RIL GEN R 001	0

AGGIORNAMENTI						
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	Emissione finale	31/10/19	Anna Burchi	Alessandro Frasconi	Andrea Burchi	Vincenza Floria

<u>Responsabile del progetto e dell'integrazione fra le prestazioni specialistiche:</u>  <b>Ing. Vincenza Floria</b> Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino, n. 8042 (Firmato digitalmente)	<u>Il Progettista:</u>  <b>Ing. Andrea Burchi</b> Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bologna, n. 7927/A (Firmato digitalmente)	<u>Il Responsabile Unico del Procedimento:</u>  <b>Ing. Fabrizio Maccari</b> (Firmato digitalmente)
---	---	--

## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	3
2	METODOLOGIA .....	3
3	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA PER IL RILIEVO PLANOALTIMETRICO .....	4
4	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA PER IL RILIEVO MMS .....	4
5	INSTALLAZIONE DEL MMS .....	6
6	INQUADRAMENTO .....	8
6.1	PLANIMETRICO .....	8
6.2	ALTIMETRICO .....	8
7	RILIEVO AEROFOTOGRAMMETRICO .....	9
8	CONFRONTO TRA RILIEVO DI BASE E NUOVO RILIEVO.....	9
9	RILIEVO DELLA LINEA BOLOGNA-PORTOMAGGIORE CON MMS .....	11
10	GEOREFERENZIAZIONE DEL RILIEVO MMS .....	11
11	CONTROL POINTS MMS .....	13
12	ALLINEAMENTO DEL RILIEVO ALLE PROGRESSIVE CHILOMETRICHE DELLA LINEA .....	16
13	GESTIONE DATI MOBILE MAPPING (IMMAGINI SFERICHE E POINT CLOUDS).....	17
14	RESTITUZIONE DELLE ROTAIE E DELLA LIVELLETTA FERROVIARIA .....	22
15	SEZIONI TRASVERSALI.....	25

## 1 INTRODUZIONE

Per l'adeguamento della progettazione definitiva per la realizzazione del completamento dell'interramento della tratta urbana di Bologna della linea ferroviaria SFM2 Bologna-Portomaggiore (parte esterna al sedime ferroviario), si è ritenuto congruo procedere con l'impegno di più tecniche di rilievo al fine di adeguare la base cartografica del progetto di base ormai obsoleta.

Si è optato, quindi, per una combinazione di più tecniche quali:

- rilievo topografico con Total Station e GPS Base+Rover per operazioni d'inquadrimento planoaltimetrico ed integrazione puntuale;
- rilievo aerofotogrammetrico con drone per l'acquisizione massiva del contesto;
- rilievo MMS per la parte del sedime ferroviario attraverso sistema di Laser Scanner di tipo mobile.

## 2 METODOLOGIA

Nella parte urbana Extra sedime ferroviario, si è ritenuto opportuno procedere con:

- attività d'inquadrimento topografico valide per vincolare tutti i rilievi ad un unico sistema di riferimento plano-altimetrico;
- rilievo massivo rapido – realizzato con drone leggero inoffensivo - con cui confrontare il vecchio rilievo di base del progetto definitivo per i tratti T01 e T02;
- misure puntuali con funzione di vincolo topografico fotogrammetrico e per MMS oltre a fungere da verifica plano-altimetrica con il vecchio rilievo;
- restituzione aerofotogrammetrica;
- confronto ed aggiornamento planimetrico ed altimetrico delle primitive grafiche del rilievo di base.

### **3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA PER IL RILIEVO PLANOALTIMETRICO**

Per il rilievo planoaltimetrico dei vertici è stato utilizzato un Gps Trimble R6 collegato ad una base Gps Trimble mod. R8s.

Il calcolo delle baseline e della calibrazione verticale è stato eseguito con Trimble Business Centre.

Per la ripresa fotogrammetrica è stato impiegato un drone da 0,3 kg con fotocamera da 20 megapixel, mentre per l'elaborazione dei fotogrammi è stato utilizzato il sw. Agisoft Metashape Professional.

### **4 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA PER IL RILIEVO MMS**

Il rilievo della linea in oggetto è stato effettuato con il Mobile Mapping Road-Scanner 4 dotato della seguente strumentazione:

Ricevitore Trimble Zephyr GNSS/GLONASS a doppia frequenza per il tracciamento satellitare della posizione.

Piattaforma Inerziale iXblue di altissima accuratezza in grado di fornire l'orientamento del sistema ad alta frequenza (100 hz);

2 laser scanner Faro serie S ad alta risoluzione;

Camera sferica Ladybug 5.



**Fig. 1: Mobile Mapping Road-Scanner**

## 5 INSTALLAZIONE DEL MMS

Il Sistema di rilevamento del MMS è stato installato su un mezzo di servizio adibito a gru mediante un supporto realizzato in loco sul cestello della gru, come illustrato nelle seguenti immagini:



*Installazione del MMS Road-Scanner sull'autoscala*



*Rilievo MMS Road-Scanner sulla linea ferroviaria*

In questa specifica installazione non è stato collegato l'odometro in quanto non strettamente necessario considerando le condizioni generali di ricezione GNSS e la qualità intrinseca della piattaforma inerziale.

L'alimentazione al MMS è stata fornita attraverso un generatore montato sullo stesso cestello in cui è stato installato il sistema. Il controllo del RoadScanner durante le missioni di acquisizione e il monitoraggio di tutti i sensori è stato effettuato dalla cabina del locomotore mediante un Laptop collegato via ethernet al pc interno del sistema.

## 6 INQUADRAMENTO

L'inquadramento è stato realizzato a partire dall'istituzione di circa 10 punti omogeneamente distribuiti lungo i tratti di interesse T01 e T02, determinati topograficamente senza soluzione di continuità tra i 2 tratti T01 e T02, attraverso una rilevazione GPS in modalità statico-rapida di 15 minuti a partire da caposaldi Regionali riferiti al Sistema Nazionale Gauss-Boaga fuso Ovest, con quota ortometrica desunta mediante i grigliati IGM di tipo GK2 elaborati in post-processing.

### 6.1 PLANIMETRICO

Il calcolo delle coordinate x-y dei punti è stato eseguito con l'impiego di una stazione base a doppia frequenza G.P.S. Trimble R8s, abbinata al ricevitore rover Trimble R6 e con l'utilizzo dei grigliati della zona forniti dall'IGM.

I punti sono stati materializzati con vite in acciaio con rondella.

Il criterio di scelta del luogo di materializzazione dei punti è stato determinato principalmente dal grado di rintracciabilità nel tempo e dallo stato urbanizzazione dei luoghi al fine di garantire una copertura radio omogenea sui tratti d'interesse T01 e T02.

Per i calcoli sono stati utilizzati i seguenti software:

- a) Software di calcolo per Gps: Trimble Business Centre;
- b) Calcolo delle coordinate Gauss Boaga: Verto 2k.

La georeferenziazione GPS di un sito stabilisce la relazione esistente tra punti WGS 84 e le posizioni in una griglia per una mappa locale, Gauss-Boaga Monte Mario Ovest nel nostro caso.

Le coordinate determinate con strumentazione GPS sono assolute ossia riferite ad un geoide internazionale WGS84 (Latitudine, Longitudine, Quota ellissoidica), mentre le coordinate Gauss sono state determinate mediante l'elaborazione con software Verto 2k dell'IGM secondo delle griglie appositamente fornite dallo stesso.

Per i risultati delle elaborazioni si rimanda al libretto delle misure ed all'elaborato delle monografie dei capisaldi.

### 6.2 ALTIMETRICO

Analizzando la tratta in questione non sono stati individuati, lungo questa, capisaldi altimetrici IGM o Regionali eseguendo una calibrazione altimetrica, vincolata per il calcolo delle quote sui restanti capisaldi.

## **7 RILIEVO AEROFOTOGRAMMETRICO**

Per la parte fotogrammetrica si è optato per l'impiego di un drone inoffensivo del peso di 0,3 kg secondo le attuali norme ENAC per gli scenari non critici, realizzando circa 8 missioni di volo ad una altezza variabile di circa 50-70 metri dal terreno a copertura di una fascia a cavallo del sedime di circa 100 metri, per un totale di circa 1900 scatti fotografici incrociati, eseguiti nel febbraio 2019, con una sovrapposizione aerofotogrammetrica di circa il 70% con camera di ripresa posta a 70° al fine di poter garantire una ricostruzione tridimensionale accurata anche in un contesto urbano con palazzi di notevole altezza.

## **8 CONFRONTO TRA RILIEVO DI BASE E NUOVO RILIEVO**

Il confronto tra il nuovo rilievo ed il rilievo di base del progetto definitivo posto a base di gara hanno evidenziato due diverse tipologie di differenze:

- 1) differenze morfologiche dettate dal cambiamento dello stato dei luoghi;
- 2) differenze topografiche dettate scostamenti altimetrici tra il T01 ed il T02.

Le differenze morfologiche sostanziali riguardano soprattutto il tratto urbano del T01, dettate da modifiche su larghezze stradali, marciapiedi, parcheggi e rampe disabili, mentre sul T02 alla notevole presenza di nuova viabilità e nuove urbanizzazioni.

Le differenze topografiche, invece, sono riassumibili in uno scostamento rigido di quasi 7,50 metri sud-ovest costante dei due tratti T01 e T02 rispetto al sistema Gauss-Boaga ed alla CTR 2013 del comune di Bologna, evidenziando però un delta altimetrico diverso con il nuovo rilievo:

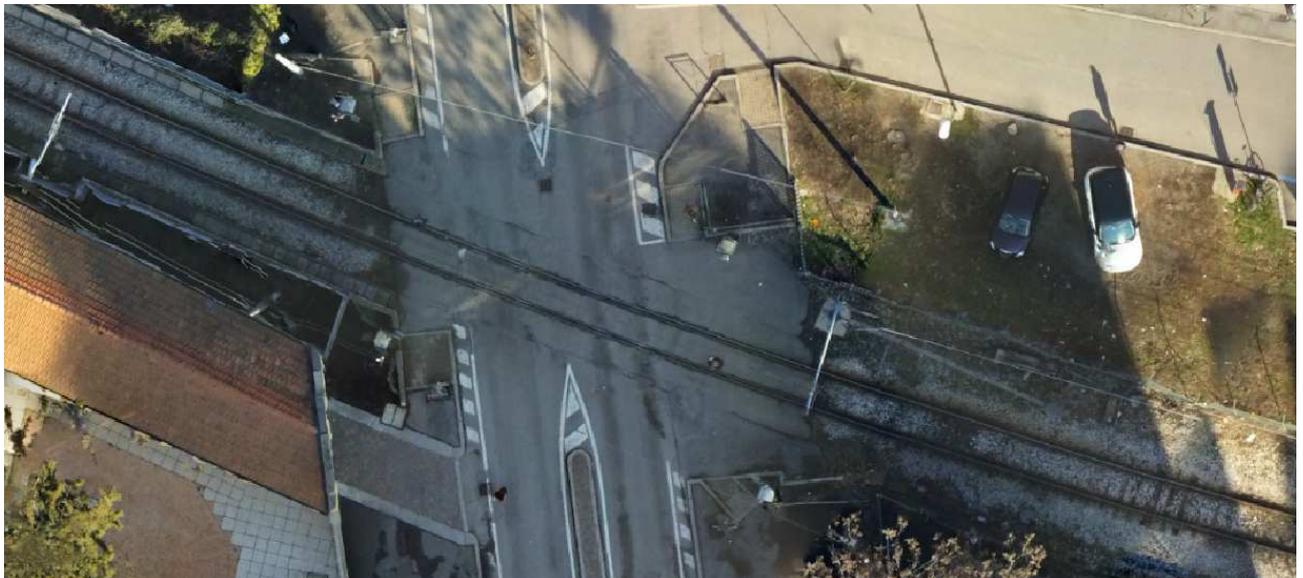
- delta quote sul T02 costante di circa 30 cm;
- delta quote sul T01 non costante ma variabile tra 17 e 23 cm;

Tali differenze sono state riscontrate nei punti in cui si presume che lo stato dei luoghi non sia cambiato nel tempo. Purtroppo le ampie modifiche sul T01 non hanno consentito di avere elementi sufficienti per comprendere la motivazione di tali differenze non costanti, per cui, per garantire un'altimetria congrua tra T01 e T02 ogni elemento del rilievo posto a base di gara è stato aggiornato, derivando l'altimetria dal Modello digitale altimetrico 3D derivante dal volo aerofotogrammetrico di dettaglio, integrando, ovviamente, quegli elementi poco visibili o non ben rappresentati attraverso misure puntuali eseguite con GPS e Stazione totale.

Le tolleranze altimetriche del rilievo aerofotogrammetrico sono dell'ordine di 3-5 cm, mentre quelle planimetriche si attestano nell'ordine di 1-2 cm, rispetto alle misure puntuali realizzate in prossimità del sedime ferroviario sia nel T01 sia nel T02.



*Immagine della nuvola di punti 3D che descrive il modello DSM in corrispondenza dell'uscita del tratto di ferrovia interrato nel T01.*



*Estratto dell'orto-mosaico in corrispondenza di un attraversamento urbano sul T01.*

## 9 RILIEVO DELLA LINEA BOLOGNA-PORTOMAGGIORE CON MMS

Il rilievo è stato effettuato domenica 24 febbraio. Durante i giorni feriali infatti il traffico schedato sulla linea non permette di poter gestire un rilievo MMS senza intralciare i convogli regolarmente circolanti.

A partire dalla stazione di Bologna Roveri, dove è stato installato il MMS, sono stati rilevati i due tratti della linea:

Roveri – Zanolini

Roveri – Portomaggiore

Il tratto Zanolini è finalizzato alla progettazione di adeguamento della linea, in particolare nelle sezioni T01-T02 e da Zanolini a Via Larga. Essa pertanto è stata rilevata a velocità ridotta (circa 20 Km/h), con alcune soste a seguito dell'attraversamento dei sottopassi e in generale di zone d'ombra del GPS. Il tratto di ritorno (da Zanolini a Roveri) è stato percorso a velocità più sostenuta (circa 30 Km/h) e senza interruzioni, lasciando comunque il sistema in acquisizione.

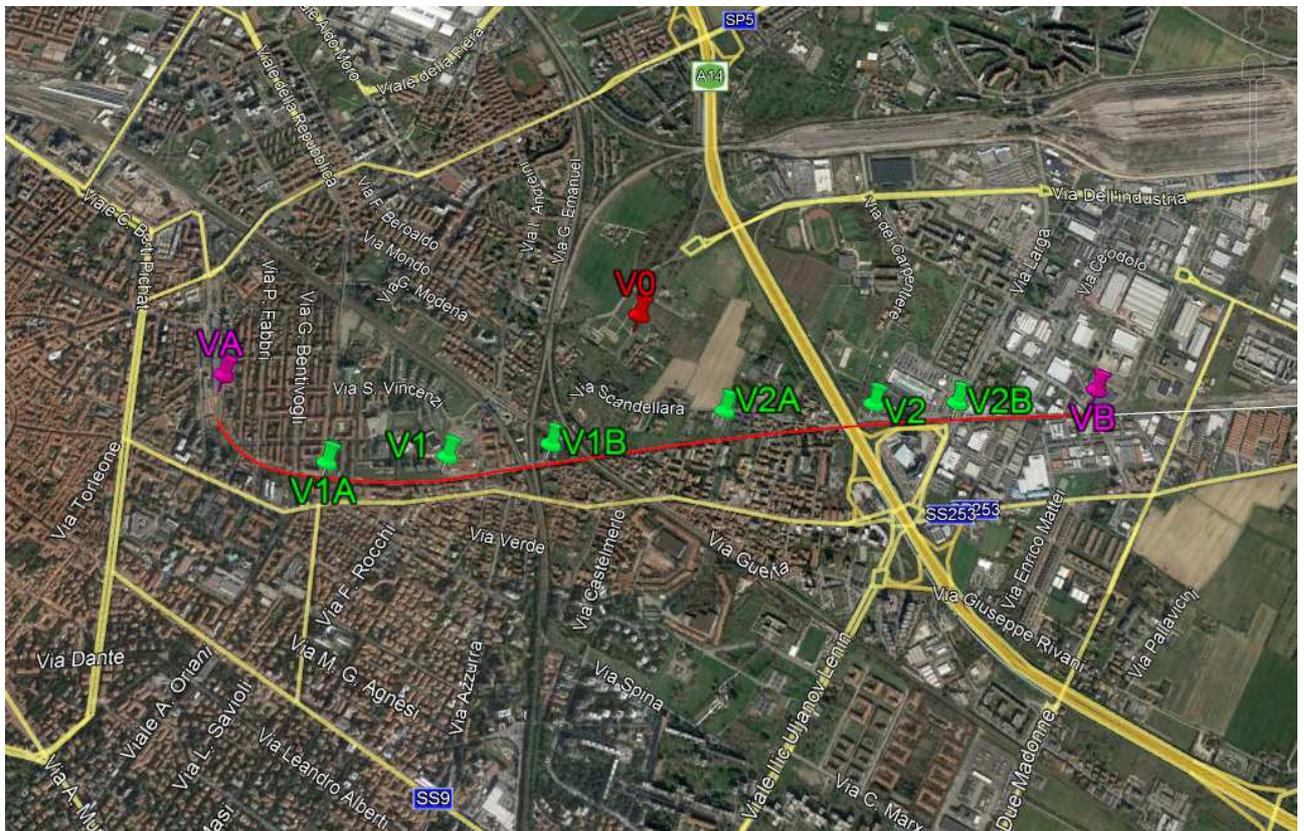
Il rilievo è quindi proseguito fino all'ingresso della stazione di Portomaggiore ad una velocità media di 30Km/h, con alcune pause tecniche per lasciar strada ai convogli circolanti in base agli orari di linea. Di norma le stazioni sono a doppio binario, pertanto è stato rilevato un binario durante il tragitto in direzione Portomaggiore, e il secondo binario nel tragitto di rientro. In generale il tratto Roveri-Portomaggiore non presenta problematiche di ricezione satellitare, pertanto non sono state necessarie soste dedicate all'allineamento del sistema con i satelliti.

## 10 GEOREFERENZIAZIONE DEL RILIEVO MMS

Preliminarmente al rilievo MMS, come indicato nella metodologia proposta in offerta, è stato eseguito il rilievo di una rete di vertici da utilizzare per l'inquadramento del rilievo MMS stesso, e in generale di tutti gli altri rilievi topografici finalizzati alla progettazione e realizzazione dell'adeguamento della linea nei tratti T01-T02 e da Zanolini a Via Larga.

In totale sono stati materializzati 9 capisaldi denominati: V0, V1, V1A, V1B, V2, V2A, V2B, VA, VB

La loro posizione è evidenziata nella seguente mappa:



### Vertici di inquadramento topografico

Le coordinate sono state calcolate anche nel sistema di riferimento Roma40 con quota ortometrica ottenuta utilizzando i grigliati IGM (.gr2)

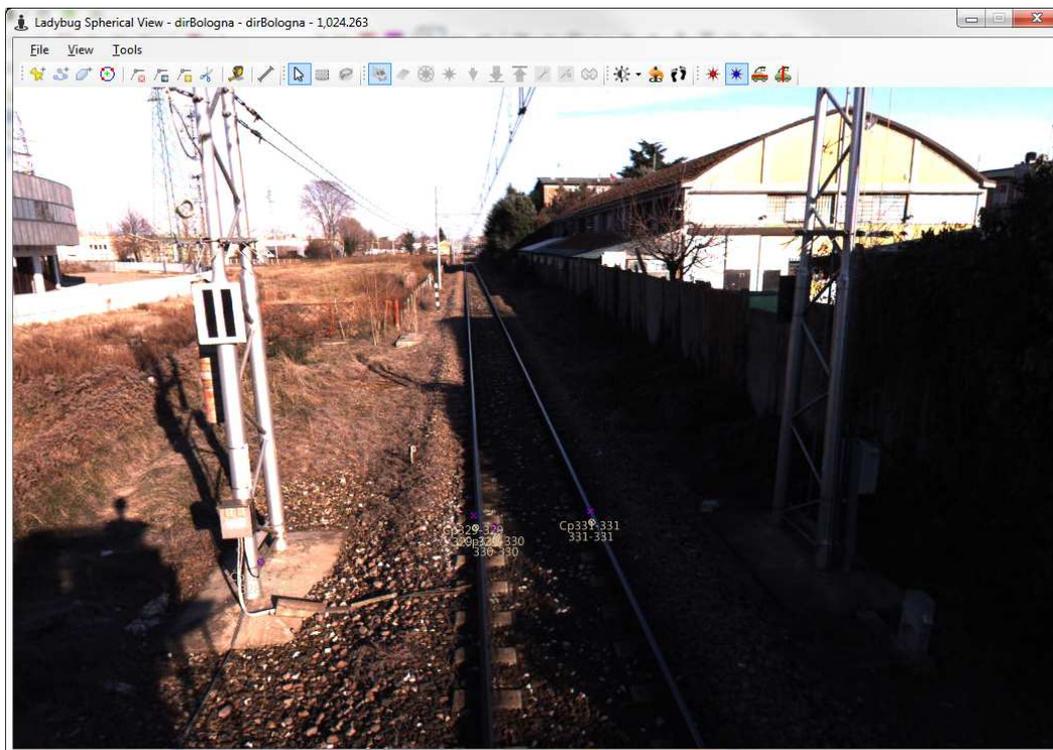
Contestualmente al rilievo MMS è stata posizionata una basestation GNSS sul vertice V2A baricentrico alla tratta oggetto di progettazione con acquisizione a 1sec. I dati di tale basestation sono stati utilizzati nella fase di post-elaborazione del rilievo MMS per la correzione differenziale del rilievo (GNSS+IMU). L'output del post-processing MMS è dunque la traiettoria georiferita del rilievo sulla base delle coordinate Roma40 del vertice V2A, con quota ortometrica derivante dai grigliati IGM.

## 11 CONTROL POINTS MMS

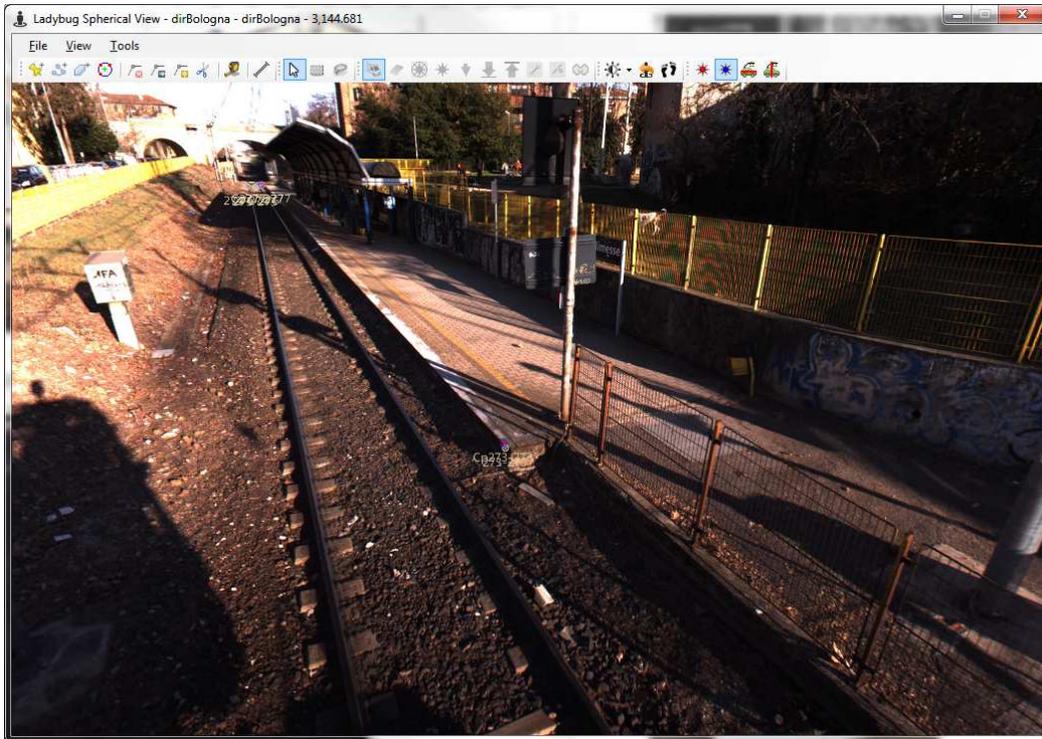
Nella tratta oggetto di progettazione (T01-T02 e via Larga) le accuratezze richieste impongono una verifica delle traiettorie ottenute dal post-processing del rilievo MMS mediante control points acquisiti con modalità tradizionale (fast-static o total station). In fase di sopralluogo si è optato per adottare come control points elementi fisici riconoscibili sul tracciato, piuttosto che posizionare target a scacchi in quanto pongono notevoli complicazioni logistiche per il loro posizionamento oltre a non fornire adeguate garanzie sulla stabilità e visibilità.

Su tale tracciato sono quindi stati rilevati diversi punti di controllo, alcuni sulle traversine e sui binari finalizzati alla sola verifica in quota del rilievo, altri sulle banchine delle stazioni o tombini in prossimità della linea per una verifica plano-altimetrica.

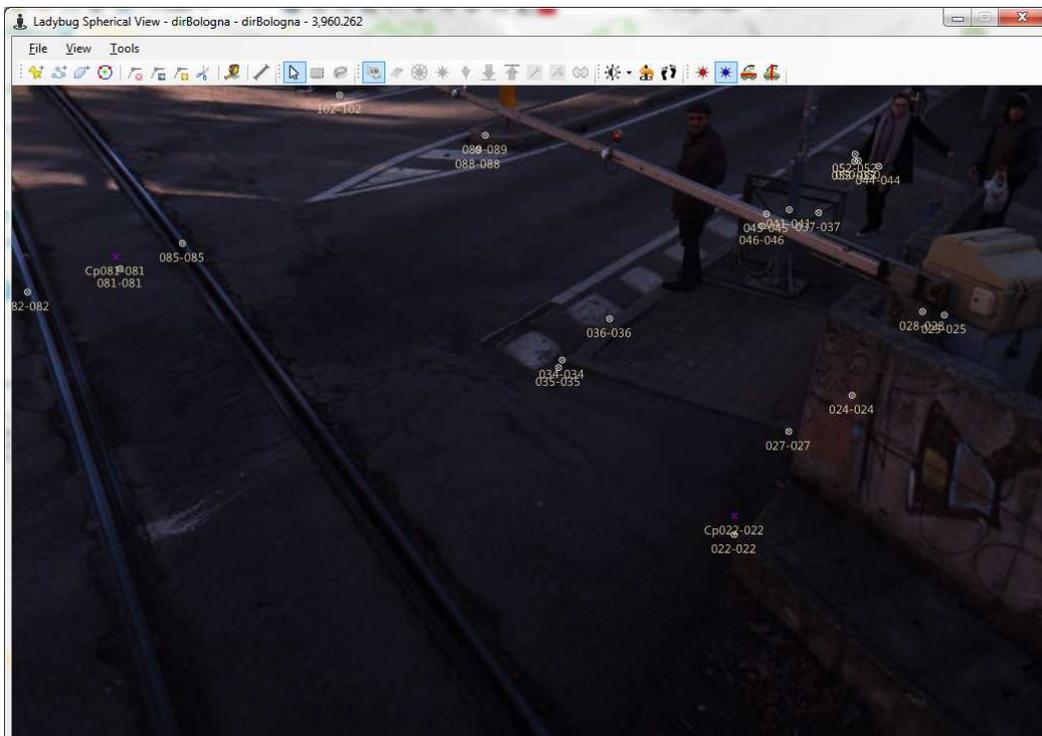
Di seguito alcune immagini dei control points utilizzati.



*Control points altimetrici – su binari e traversine*

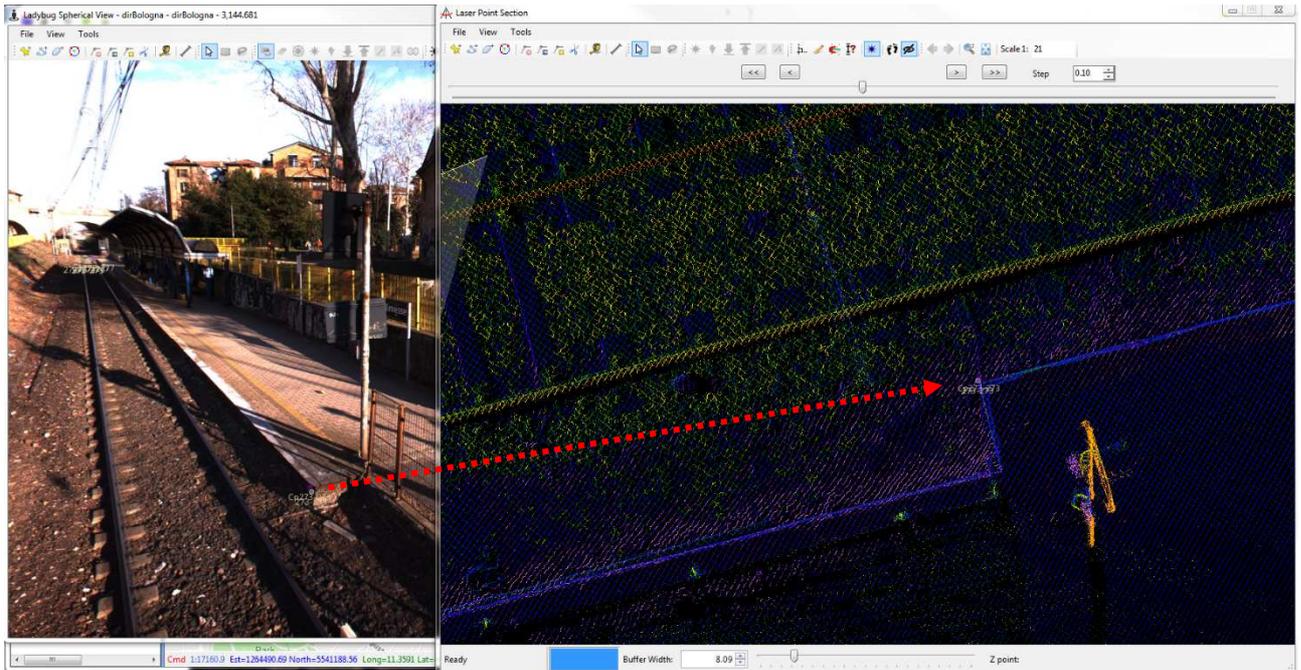


*Control points 3D – sugli spigoli delle banchine di stazione*



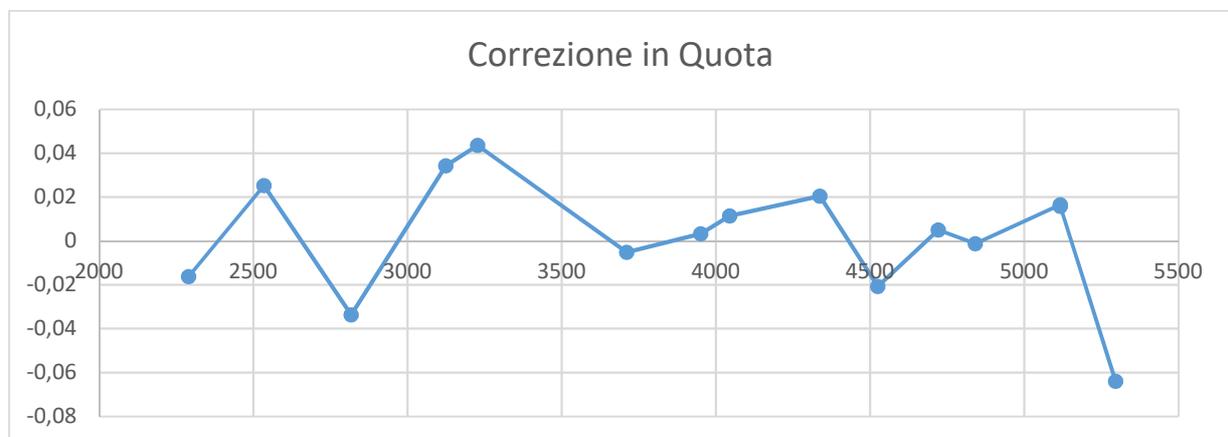
*Control points 3D – su marciapiedi e spigoli in corrispondenza di passaggi a livello*

Complessivamente sono stati rilevati oltre 100 control points, grazie alla metodologia adottata di scegliere punti già materializzati sul terreno anziché posizionare i classici target topografici a scacchi. Per le verifiche di accuratezza del rilievo MMS sono stati selezionati solamente quelli nitidamente riconoscibili sulla nuvola di punti e basandosi su una distribuzione omogenea nello sviluppo della linea.



Collimazione dei control points 3D sulla nuvola di punti

Gli scostamenti individuati tra le coordinate di tali control points e della nuvola sono di pochissimi cm in planimetria, mentre leggermente superiori in altimetria (in linea con la metodologia di rilievo GPS). Considerando le accuratezze richieste, non sono state apportate correzioni planimetriche alla traiettoria, ma solamente altimetriche secondo il grafico di seguito riportato:



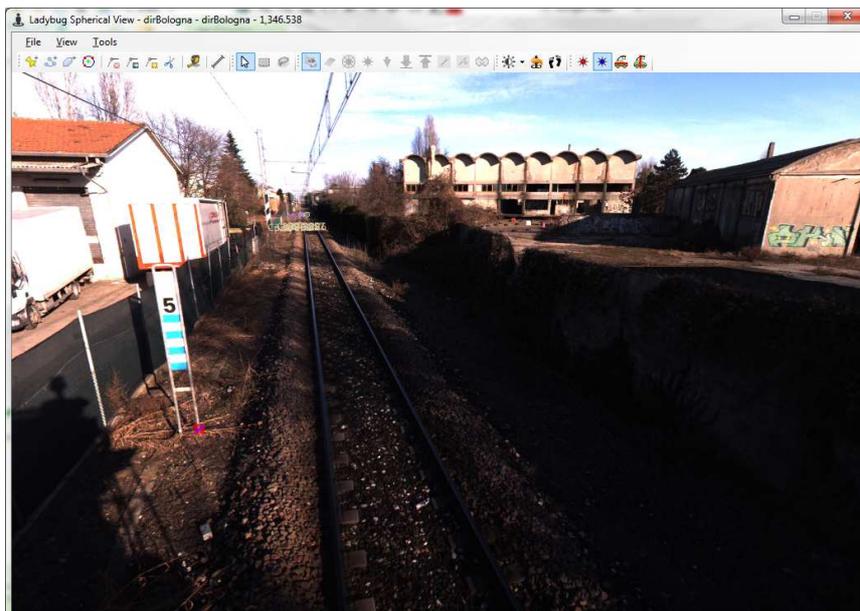
### *Scostamenti altimetrici misurati mediante i control points*

Come risulta dal grafico, il 90% della traiettoria è all'interno di 3cm di scostamento prima dell'introduzione della correzione con i CPs.

Le traiettorie GNSS, e conseguentemente tutti i dati Lidar e le immagini sferiche, vengono allineate ai CPs mediante l'introduzione dei vincoli rappresentati appunto dal grafico in figura.

## **12 ALLINEAMENTO DEL RILIEVO ALLE PROGRESSIVE CHILOMETRICHE DELLA LINEA**

Il fase di post-elaborazione si è provveduto ad individuare e acquisire le posizione dei cartelli chilometrici presenti sulla linea mediante le immagini della Ladybug e i dati laser.



### *Individuazione e censimento dei cippi chilometrici*

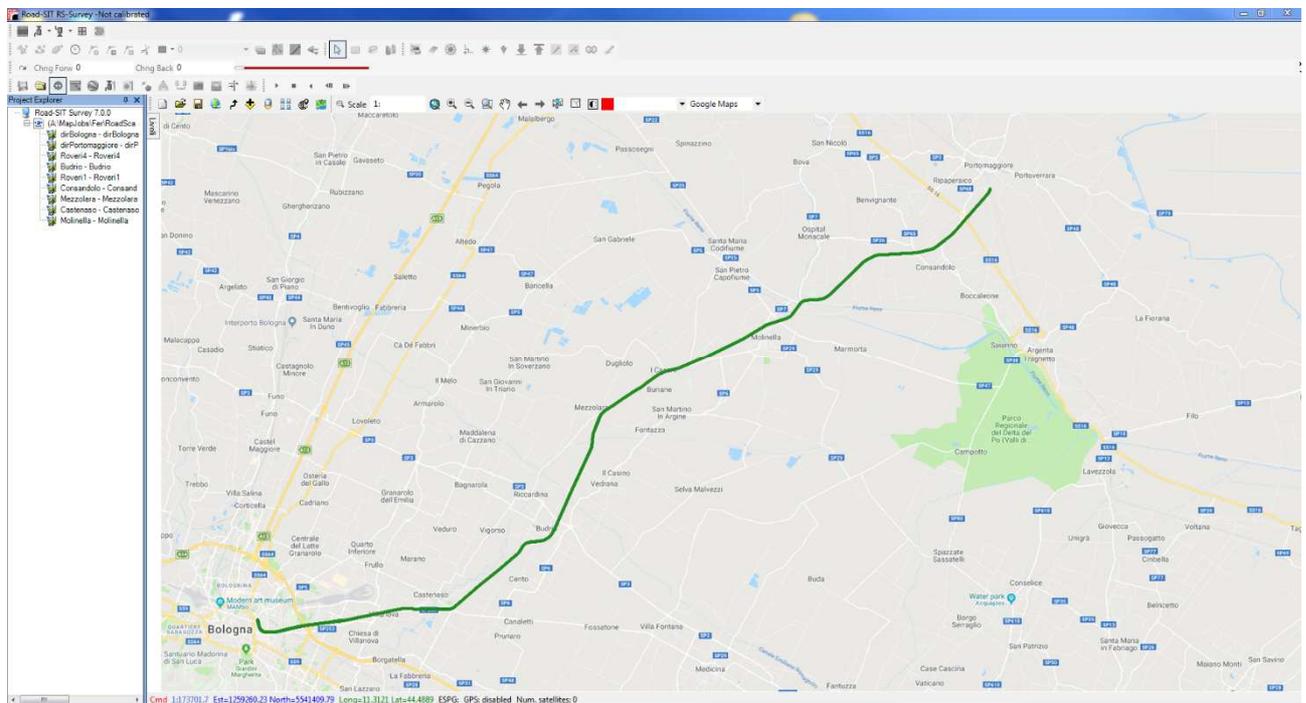
Il rilievo di entrambi tratti (Roveri-Zanolini, Roveri-Portomaggiore) è quindi stato allineato ai riferimenti chilometrici mediante l'associazione delle distanze di rilievo con le progr. indicate sui cartelli e verificate con i passaggi a livello (PL).

Conseguentemente è possibile consultare le immagini ed i dati laser direttamente digitando la progressiva di riferimento sulla linea, indipendentemente dall'effettivo punto di inizio del rilievo mobile mapping e dal verso di percorrenza (lungo la linea di ritorno le distanze vengono rilevate in senso opposto a quelle dei cartelli chilometrici).

## 13 GESTIONE DATI MOBILE MAPPING (IMMAGINI SFERICHE E POINT CLOUDS)

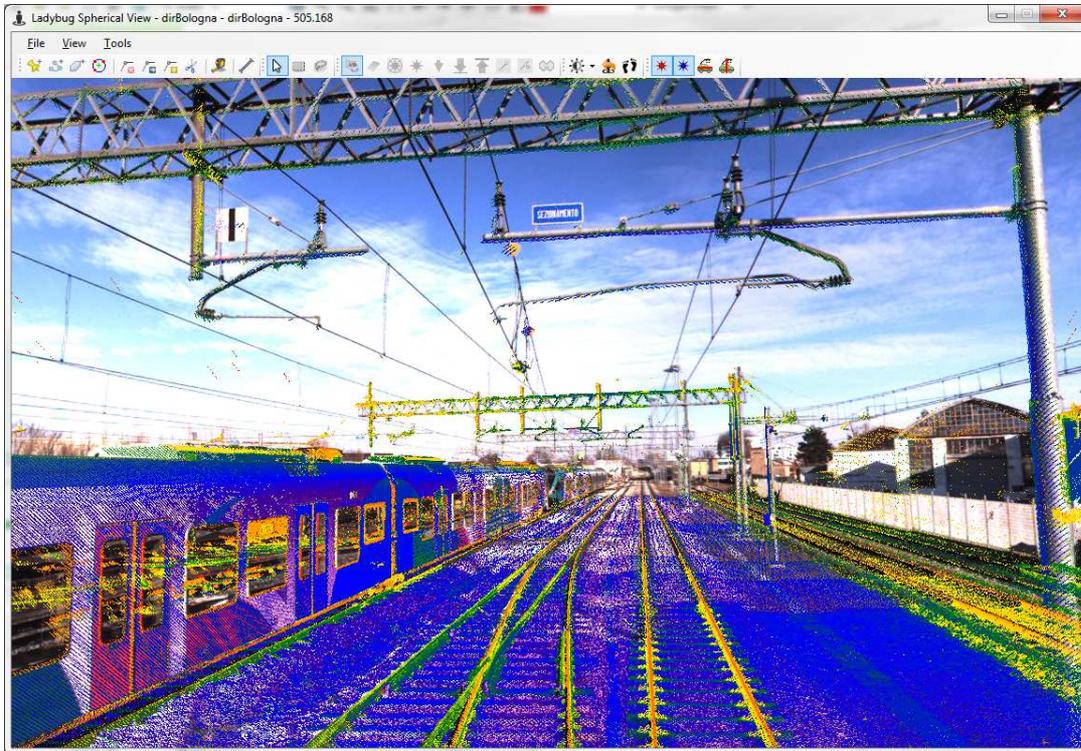
I dati del rilievo MMS sono gestiti con l'applicativo RoadSIT-Survey, per la gestione della correzione con i control points, la consultazione delle immagini sferiche della Ladybug, le visualizzazioni delle nuvole di punti ad alta densità e l'estrazione dati, in particolare delle sezioni trasversali.

Le seguenti immagini mostrano alcuni screenshot dell'applicazione focalizzate alla consultazione dei dati e l'estrazione delle informazioni di particolare interesse:

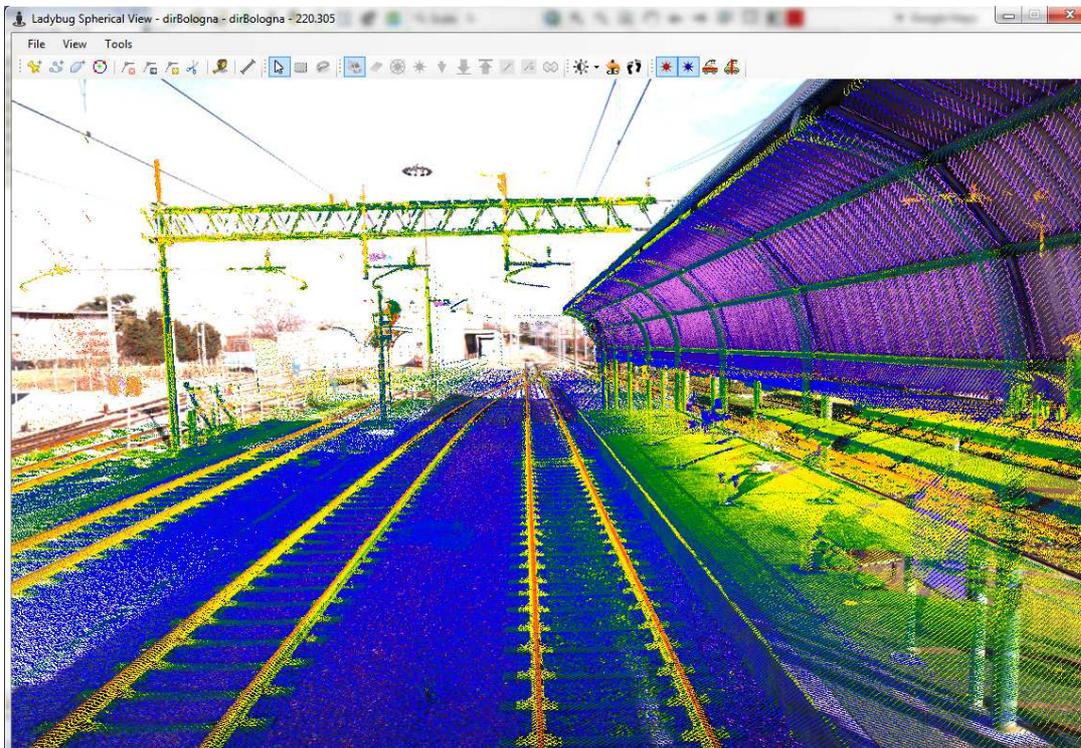


*gestione del rilievo RoadScanner con l'applicativo RS-Survey*

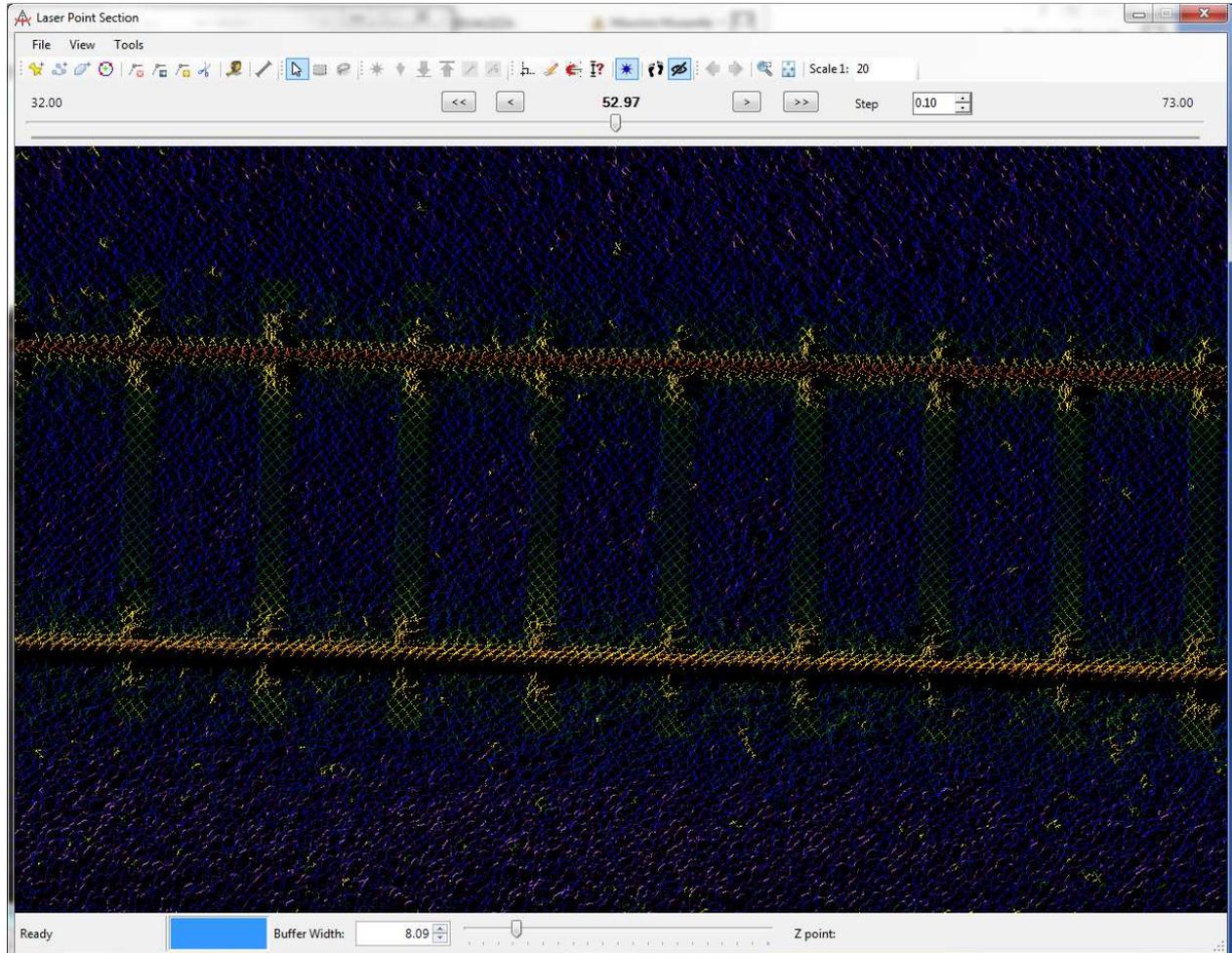
La finestra cartografica permette di individuare immediatamente la posizione di interesse in planimetria e caricare i corrispondenti dati mediante un click nel punto prescelto.



*sovrapposizione della nuvola di punti alle immagini sferiche della Ladybug*

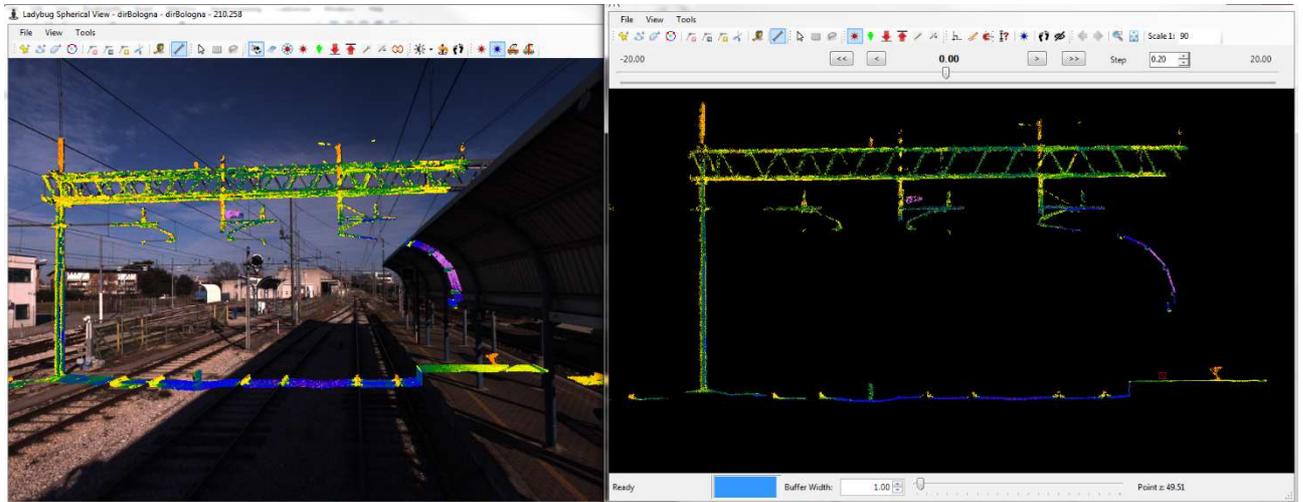


*sovrapposizione della nuvola di punti alle immagini sferiche della Ladybug*

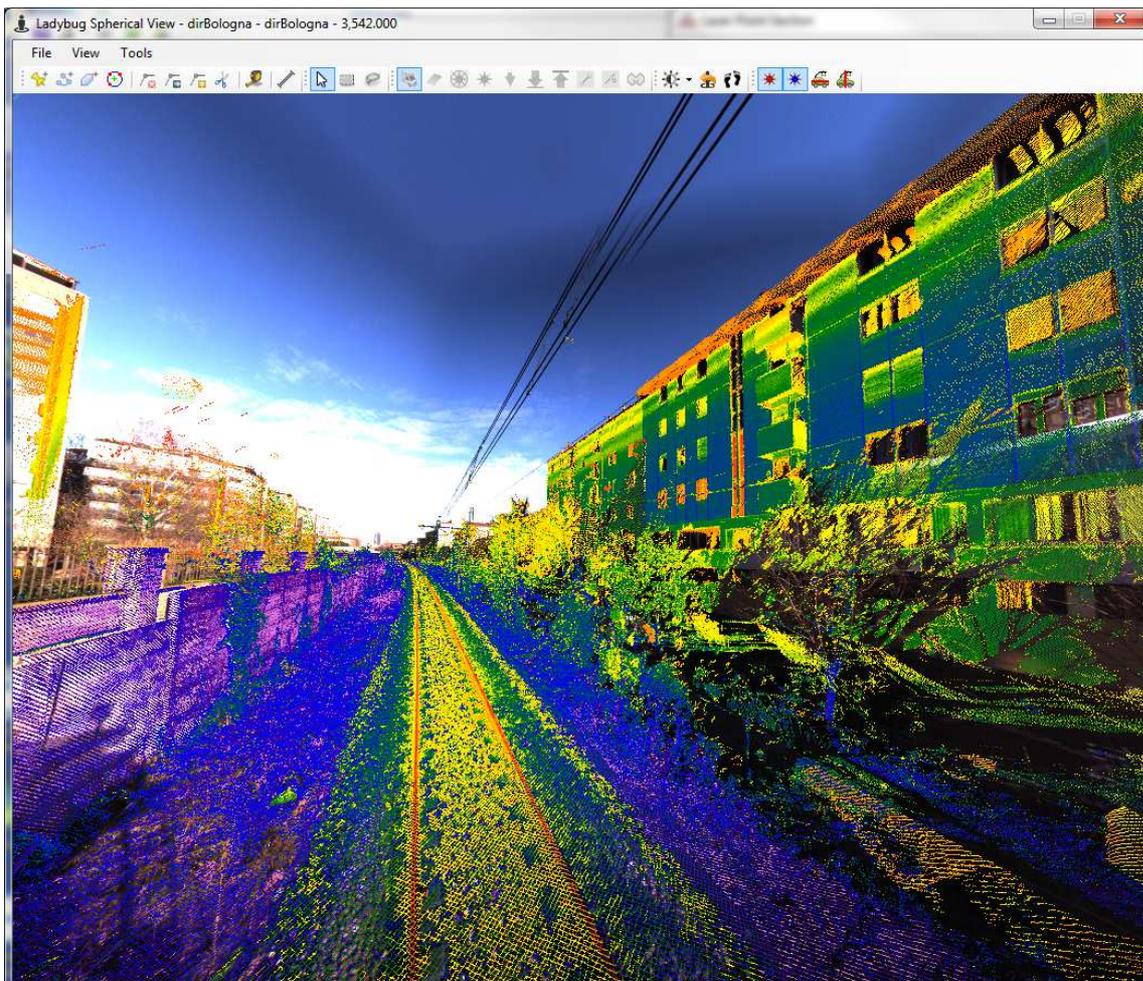


*Top-view della nuvola di punti*

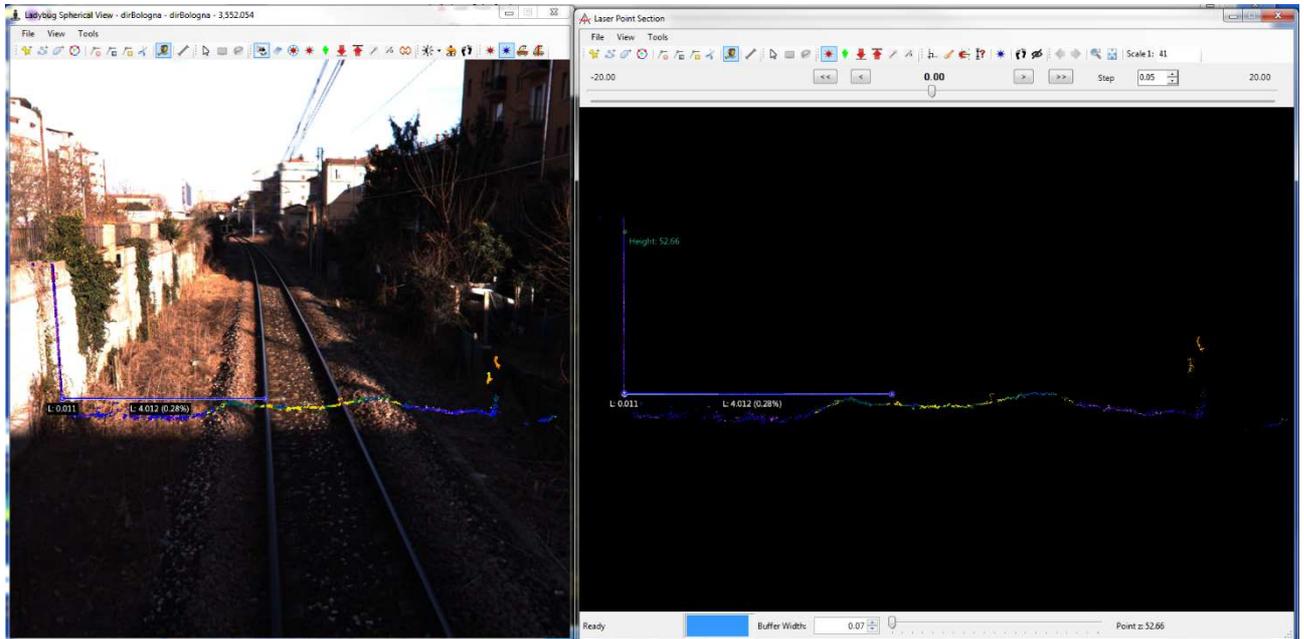
La densità dei punti acquisiti permette di individuare e rilevare con coordinate geo-riferite qualsiasi dettaglio della linea. Le nuvole di punti non sono limitate alla sede ferroviaria, ma si estendono a tutti gli oggetti presenti nel piano di visibilità dei laser, che di fatto oltrepassa le recinzioni fino ad arrivare ai palazzi circostanti l'infrastruttura.



*Estrazione di sezioni trasversali in corrispondenza di tralicci e pensiline*

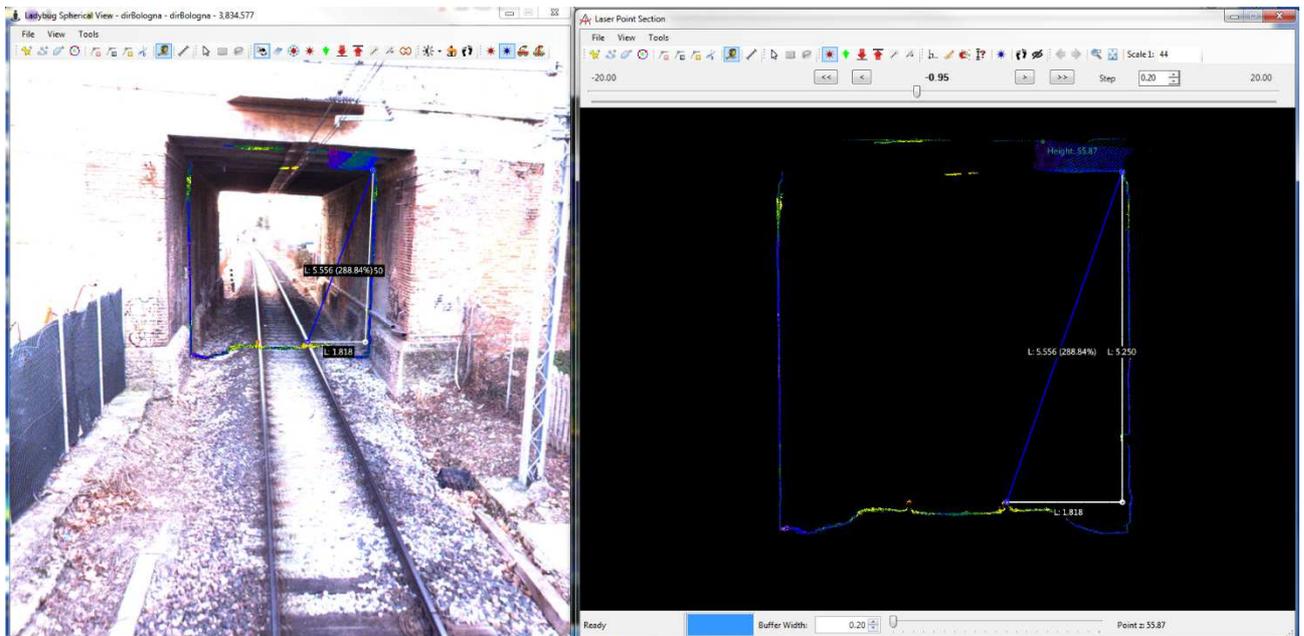


*: Copertura delle nuvole di punti sugli edifici esterni alla recinzione*

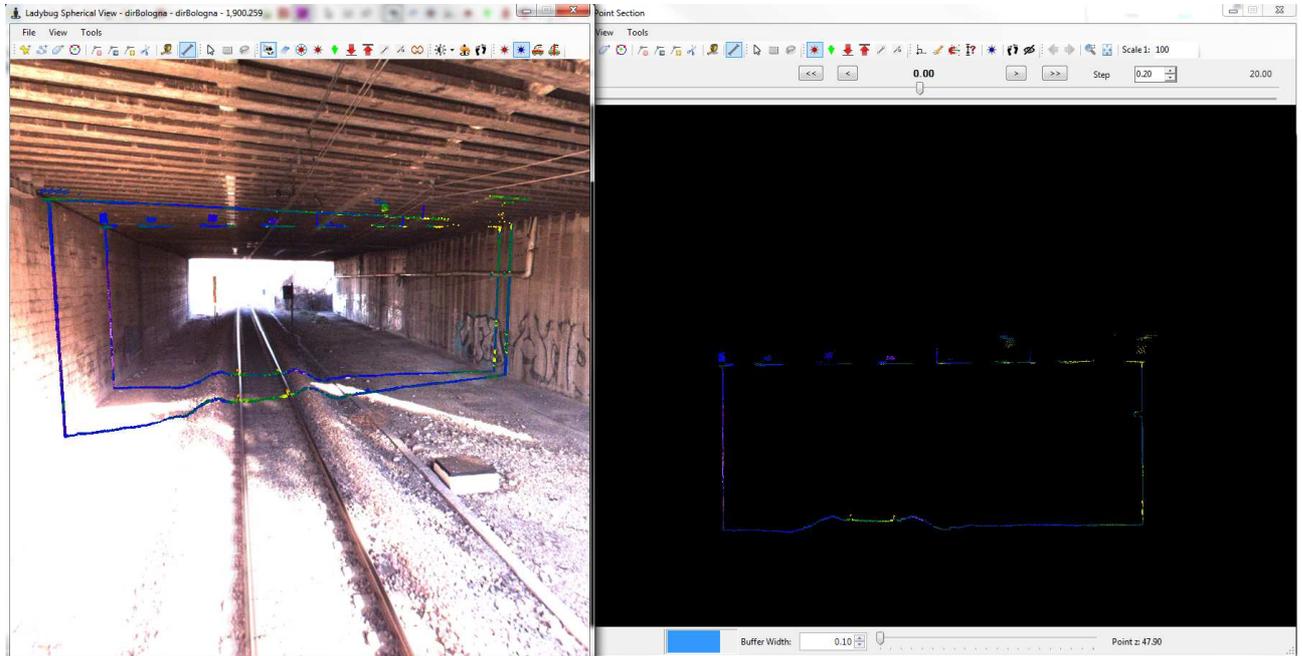


*Estrazione di sezioni trasversali e misurazione degli elementi caratteristici*

L'immagine evidenzia la misura della distanza della recinzione rispetto al binario. Analogamente si possono misurare le altezze delle recisioni, tralici ed i franchi per le verifiche di percorribilità.



*Sezioni trasversali in corrispondenza di un sottopasso e misurazione di altezza e distanze*

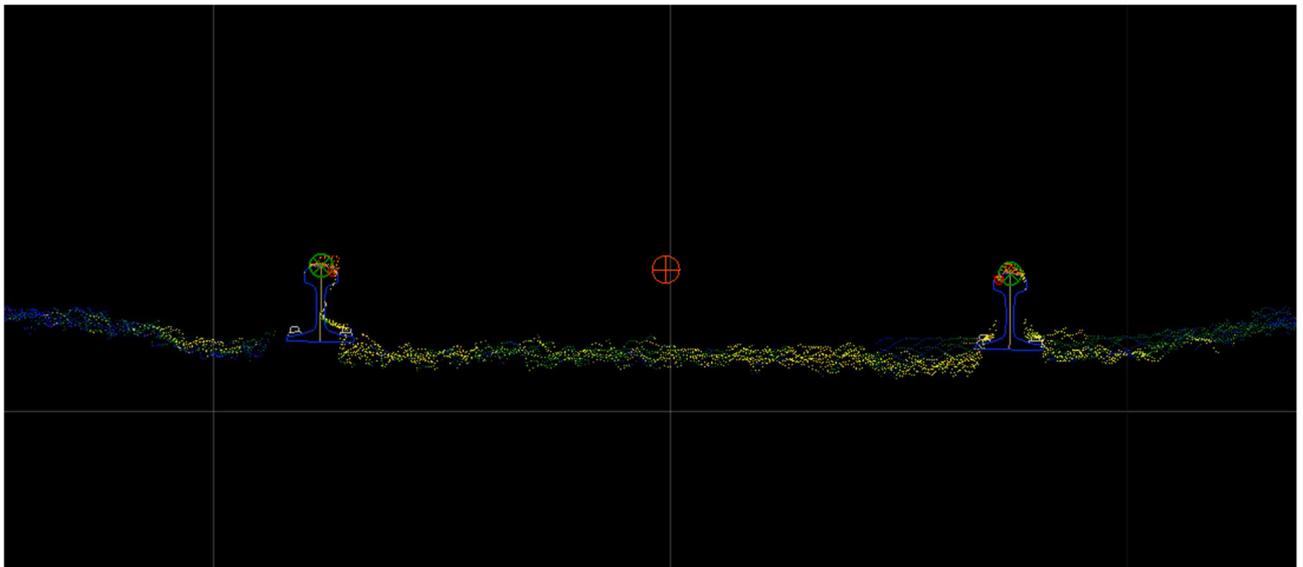


*Sezioni verticali in corrispondenza del cavalcavia autostradale*

Le due sezioni rappresentate nell'immagine sono orientate rispettivamente parallelamente alla direzione di posa delle travi e ortogonalmente alla linea ferroviaria.

## 14 RESTITUZIONE DELLE ROTAIE E DELLA LIVELLETTA FERROVIARIA

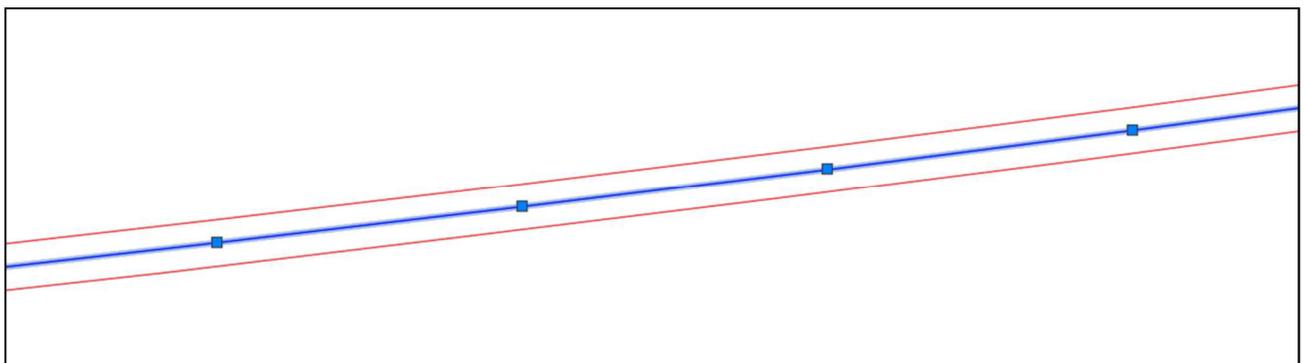
L'individuazione delle rotaie sulle nuvole di punti è stata effettuata mediante procedura automatica con il modulo software Rail-SIT specializzato nell'analisi dei dati MMS su ferrovia. Tale procedura crea delle sezioni trasversali ogni 25 cm lungo il tracciato e localizza i binari nella nuvola con un best-fitting dei punti sulla testa del fungo disegnata con i parametri teorici della linea.



*Riconoscimento automatico della posizione dei binari sulla nuvola*

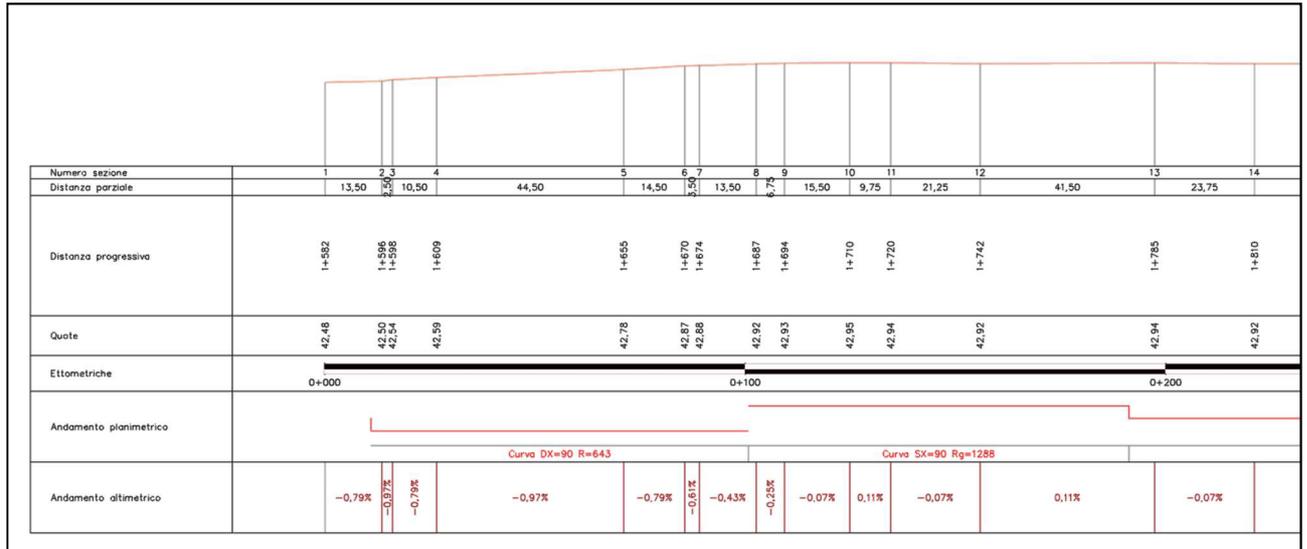
I binari rappresentati in blu in figura vengono posizionati dal tool automatico di analisi delle nuvole. Il punto di applicazione è individuato dalla croce verde, mentre quella rossa è ottenuta dalla posizione media dei binari.

I punti così ottenuti per ogni sezione di 25 cm vengono collegati creando una polilinea tridimensionale. Come ultimo passaggio, la polilinea viene semplificata lasciando solamente i vertici significativi (altrimenti la polilinea risulterebbe inutilmente pesante da trattare essendo composta da 4.000 vertici per km). L'immagine seguente esemplifica le polilinee dei binari (in rosso) ed il relativo asse (in blu):



*Polilinee 3D dei binari*

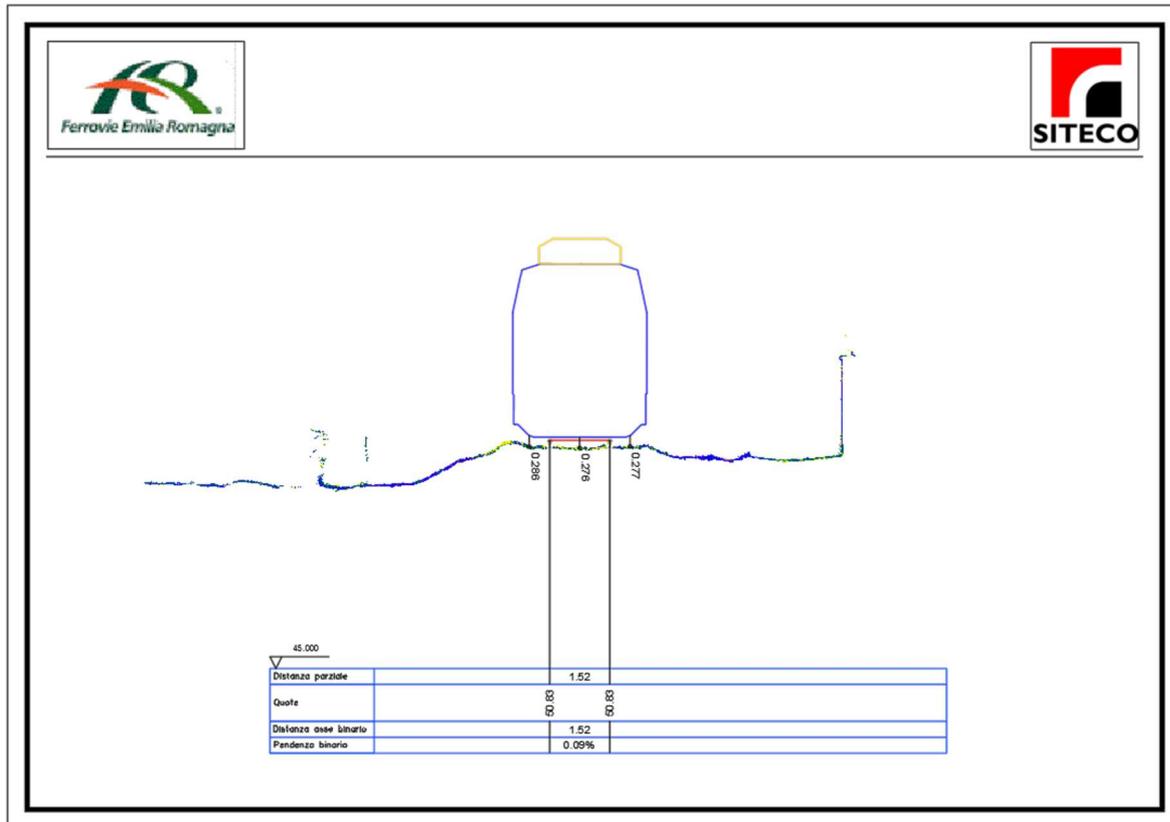
Lo sviluppo lineare dell'asse in blu sul piano verticale consente di creare la livelletta ferroviaria. Rail-SIT produce un file cad dettaglio con tutte le distanze e quote caratteristiche del profilo verticale e relative fincature, come illustrato in figura:



*Livellotta ferroviaria*

## 15 SEZIONI TRASVERSALI

Rail-SIT genera inoltre le sezioni trasversali al passo impostato, o su chilometriche rappresentative e specifici punti di interesse. L'output viene effettuato su cad utilizzando un modello preimpostato con i loghi ed il cartiglio personalizzato, come nella seguente immagine esemplificativa:



Sezione trasversale