

POLITECNICO DI TORINO

COLLEGIO DI INGEGNERIA INFORMATICA,
DEL CINEMA E MECCATRONICA
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica

Tesi di Laurea Magistrale

Automatizzazione dei servizi relativi alla manutenzione della vegetazione lungo una linea ferroviaria



Relatore
Prof. Paolo Garza

Candidato
Dejan Pontida

Supervisore aziendale
We Plus
Andrea Machetta

Ottobre 2020

Indice

1	Introduzione	1
2	Presentazione delle aziende	3
2.1	We Plus	3
2.2	Geosintesi	5
3	Sviluppo Ferroviario e gestione della vegetazione lungo i binari	6
3.1	Le origini della ferrovia	6
3.2	Le prime ferrovie in Italia	8
3.3	La nascita delle prime locomotive elettriche	10
3.4	L'alta velocità	11
3.5	Struttura di una linea ferroviaria	12
3.6	I pericoli dovuti alla vegetazione	14
3.7	Le specie vegetative	15
3.7.1	Flora di sostituzione	16
3.8	Tecniche di intervento	17
3.8.1	Interventi meccanici	19
3.8.2	Interventi chimici	20
3.8.3	Interventi agronomici	20
3.8.4	Tattamento delle infestanti con soli interventi meccanici: analisi dei risultati e dell'efficacia	21
3.8.5	Tattamento delle infestanti con soli interventi meccanici: impatto economico	23
3.9	Interventi meccanici e chimici e loro criticità	25
3.9.1	I rischi ambientali e per la salute umana dovuti ai prodotti fitosanitari	27
4	RailLandscape	28
4.1	Presentazione del progetto	28
4.1.1	Panoramica totale del progetto	30
4.1.2	Le problematiche	31

5	Strumenti, framework e tecnologie utilizzate	34
5.1	Strumenti tecnologici e ferroviari	34
5.2	Database: Microsoft SQL Server e Hikari	36
5.3	REST e HTTP	37
5.4	Spring Boot	38
5.5	Angular	39
5.6	Flutter	40
5.7	Sistemi GIS (Geographic Information System)	42
6	Soluzione proposta	44
6.1	Il sistema	44
6.2	Rappresentazione grafica di una linea ferroviaria	53
6.3	Creazione di un template di base	55
6.4	Pianificazione di un intervento	57
6.5	Acquisizione ed elaborazione delle immagini acquisite on board . . .	59
7	Conclusioni e sviluppi futuri	63
	Bibliografia	65

Abstract

The development of transport and rail network is a continuously growing area, consequently there is the need to obtain infrastructures that can guarantee reliability and safety. One of the key issues is the growth of greenery along the rail tracks.

Geosintesi is a leading company in the vegetation control services focused in eco-sustainability and innovation that aims at qualitative research and cutting-edge technological development.

Their *RailLandscape* project, is a tool for the management of the perceived landscape and the rail infrastructure; the goal of the system is to provide a complete service of monitoring and greenery containment by guaranteeing a network that preserves a high quality level.

The management of vegetation along and around railway lines is organized in a new IT platform, based on the processing of multiple data acquired with high-level tools (laser scanners, thermal imaging cameras, video cameras, etc.) installed on specific locomotives. The objective is to obtain an appropriate and cost-effective implementation plan for limiting the growth of greenery and detecting the suitable herbicides to be used. The system offers the possibility to achieve an efficient strategy for handling in a more precise way the various activities to be carried out. Furthermore it provides the capability to identify the occurrence of dangerous phenomena such as rail track deformation and the covering of signalling equipment.

Moreover, the maintenance process includes the acquisition of data through mobile devices, smartphone or tablet, by a technician that can check whether the vegetation is introducing or will introduce in the near future, a risk for the infrastructure.

This operating mode, will allow to work in a more efficient way by detecting constantly the different problems that may be present along the rail tracks and by identifying the targeted interventions to be performed in order to maintain a high quality standard for the infrastructure.

Capitolo 1

Introduzione

Lo sviluppo dei trasporti è in continua espansione e con essa anche quella relativa alle reti ferroviarie. Da ciò deriva la necessità di ottenere linee ferroviarie che possano garantire affidabilità e sicurezza.

In tale direzione è orientata *Geosintesi*, azienda leader nei servizi di controllo della vegetazione anche in ambito ferroviario e focalizzata principalmente sulla cura del rispetto dell'ambiente, puntando sull'eco-sostenibilità e sull'innovazione finalizzata alla ricerca qualitativa e allo sviluppo tecnologico d'avanguardia.

Il loro progetto *RailLandscape* è uno strumento di gestione del paesaggio percepito e strutturale delle infrastrutture ferroviarie; il fine del sistema è quello di fornire un servizio completo di monitoraggio e contenimento della crescita della vegetazione presente lungo le infrastrutture. La gestione della vegetazione presente lungo le linee ferroviarie e nelle loro pertinenze, viene organizzata in una nuova ed apposita piattaforma informatica basata sull'elaborazione dei molteplici dati acquisiti con strumentazioni di alto livello (Laser-scanner, termo-camere, videocamere, ecc.) installate su apposite locomotive. Attraverso l'elaborazione di tali dati inseriti, sarà possibile definire i programmi esecutivi più opportuni ed economicamente più vantaggiosi; l'uso dei prodotti da utilizzare per eliminare o limitare lo sviluppo della vegetazione infestante nonché definire e prevenire lo sviluppo vegetativo stabilendo le priorità e il periodo degli interventi di taglio e le altre prestazioni connesse. Il sistema prevede un nuovo approccio manutentivo consentendo di programmare in modo più puntuale le varie attività da eseguire sul patrimonio vegetativo al fine di prevenire il verificarsi di pericolose interferenze dovute, sia a problemi di deformazione della piattaforma con disallineamento dei binari determinati dagli apparati radicali che di copertura degli impianti di segnalamento.

L'obiettivo preposto è quello di fornire un servizio globale gestito dal sistema integrato che possa fornire funzionalità di editing e consultazione dei dati anche tramite dispositivi mobili, fornendo la possibilità di effettuare consultazioni o inserimento di dati acquisiti in fase esecutiva, tramite smartphone o tablet. Tale

modalità operativa permetterà di intervenire sulla linea in maniera puntuale, rendendo il sistema di manutenzione e gestione della vegetazione infestante sempre più efficiente, permettendo il raggiungimento e mantenimento dello standard qualitativo fissato per quell'infrastruttura e di studiare e valutare eventuali interventi di sistemazione e recupero paesaggistico ambientale.

Capitolo 2

Presentazione delle aziende

2.1 We Plus

Questa tesi di laurea ha lo scopo di descrivere il mio lavoro svolto durante lo stage dal 16/09/2019 al 16/12/2019 presso l'azienda We Plus, la quale mi ha permesso di partecipare attivamente ad un progetto commissionatogli dall'azienda Geosintesi.



We Plus S.p.A. è un'azienda fondata nel 2009 che opera nello scenario della consulenza informatica. Occupandosi di Consulenza IT e System Integration offre servizi di supporto per la progettazione e lo sviluppo di soluzioni software (su misura, Cloud, IoT, mobile, etc.), consulenza, training e formazione. We Plus è specializzata nella progettazione ed implementazioni di servizi per le aziende B2C (Business to Consumer) e B2B (Business-to-business).

La holding We Plus controlla tre società:

- *Particle*, nata nel 2018 come l'evoluzione di We Plus (che diventa Holding del gruppo nello stesso anno), è un'azienda che collabora principalmente con i maggiori System Integrator del mercato IT italiano. Particle ha una componente tecnologica eterogenea ma a forte direzione Java Oracle, che ne compone più del 50% del fatturato. Essa possiede 2 sedi, una a Torino ed una a Milano, nelle quali lavorano circa 50 dipendenti.
- *ASC Consulting* con la pluriennale esperienza dei propri consulenti in ambito Enterprise Resource Planning (ERP, ovvero pianificazione delle risorse d'impresa), si pone quale partner qualificato a soddisfare esigenze inerenti all'implementazione, la customizzazione ed il mantenimento dei principali sistemi ERP, quali ad esempio SAP e Microsoft Dynamics AX. In uno scenario caratterizzato da una crescente globalizzazione e un regime reale di concorrenza, il management d'impresa deve essere in grado di prendere decisioni velocemente e deve poter disporre di tutte le informazioni necessarie in tempi rapidissimi.

Per questo motivo l'impresa deve essere dotata di un sistema informativo in grado di rendere disponibili le informazioni in tempo reale e che abbatta le barriere che esistono tra le diverse funzioni aziendali. Lo scopo di ASC è ricercare e fornire ai clienti la massima efficienza in ogni fase dei processi aziendali e dell'integrazione interfunzionale, i quali sono possibili solo tramite l'adozione di un sistema ERP che gioca un ruolo centrale nella generazione del valore d'impresa.

- *Kite* realizza soluzioni innovative il cui valore aggiunto è dato dall'esperienza e dal know-how del suo team, specialista nel rendere ogni richiesta del cliente realizzabile con le tecnologie a disposizione più innovative. Ha infatti al suo interno risorse umane con una conoscenza dinamica del mercato ed in grado di proporre, sviluppare e supportare servizi e strumenti tecnologici per aiutare le imprese a crescere, sia in ambito di progetti Java Oriented, Microsoft Oriented e Data Integration. I settori principali nei quali opera sono quelli industriali (Supply chain, MES), terziario (Banking, Insurance) e R&D (H2020, Industry 4.0, IoT). Kite infine affianca e supporta le aziende nel proprio percorso di sviluppo e cambiamento, accogliendo così le sfide del digital business in un contesto mutato per scenari e tecnologie.

Il mio lavoro durante il tirocinio è stato guidato dal project manager Andrea Marchetta e seguito anche da altri 5 dipendenti dell'azienda. Il nostro compito era quello di realizzare il progetto commissionato da Geosintesi, denominato *RailLandscape*.

2.2 Geosintesi



Geosintesi è una società per azioni, fondata nel 1994 e leader nei servizi di controllo della vegetazione anche in ambiente ferroviario, un ambito in cui offrono soluzioni innovative orientate principalmente al rispetto dell'ambiente, puntando sull'eco-sostenibilità e sulla ricerca di nuove tecnologie all'avanguardia.

Le attività principali dell'azienda sono: la manutenzione delle opere in verde, in particolar modo delle infrastrutture; il controllo e l'eliminazione delle specie infestanti al fine di garantire una sicura circolazione ferroviaria e stradale; la creazione del verde sia nelle aree ferroviarie e stradali che urbane, al fine di curarne l'aspetto ambientale.

I principali settori in cui opera l'azienda sono ferroviario, stradale, autostradale e per la difesa dell'ambiente ove svolge numerose attività quali: controllo della vegetazione infestante su infrastrutture di trasporto di energia e di comunicazione tramite trattamenti di disinfestazione e igniritardanti¹; imbiancatura delle rotaie per ridurre il rialzo termico dei binari e connessi trattamenti di sanificazione delle pertinenze; creazione e manutenzione del verde pubblico d'arredo urbano e di mitigazione ambientale; consolidamento di terreni e pendici in frana tramite opere d'ingegneria ambientale e opere di abbattimento dell'inquinamento acustico.

Il controllo della vegetazione è il "core business aziendale". Tramite l'esperienza maturata e le collaborazioni di figure professionali di alto profilo quali ingegneri, agronomi e ricercatori, Geosintesi ha avviato un modello di controllo dello sviluppo vegetativo basato sull'utilizzo di sistemi combinati di trattamenti con prodotti fitosanitari e interventi meccanici/manuali finalizzati all'eliminazione delle infestanti, riducendo così gli effetti negativi dei prodotti sull'ambiente.

¹Composto chimico o miscela di composti utilizzati per ridurre l'infiammabilità di un materiale o ritardare la propagazione della fiamma lungo la sua superficie. [1]

Capitolo 3

Sviluppo Ferroviario e gestione della vegetazione lungo i binari

3.1 Le origini della ferrovia

Il trasporto su rotaia è stata la prima forma di trasporto terrestre di massa fino allo sviluppo dell'automobile agli inizi del XX secolo ricoprendo una posizione di monopolio in tale settore.

Le ferrovie sono nate nelle miniere inglesi perfezionando il primitivo sistema di trasporto del minerale, in atto sin dal 17° secolo, basato su carrelli spinti da uomini o trainati da cavalli sopra guide parallele di ferro.

Nel 1804 Richard Trevithick utilizzò per la prima volta una rudimentale locomotiva a vapore per trainare dei carrelli nella miniera di Merthyr Tydfil, in Inghilterra. Tuttavia la prima locomotiva a vapore veramente efficace e moderna fu realizzata dall'ingegnere inglese George Stephenson, c.d. il padre delle ferrovie a vapore britanniche, che realizzò anche per primo una ferrovia nel 1825. Fu la Stockton & Darlington Railway (S&DR), una società ferroviaria attiva dal 1825 al 1863, ad incaricare George Stephenson per la realizzazione di una ferrovia in grado di collegare le miniere di carbone di Shildon con le città di Darlington e Stockton-on-Tees. La ferrovia fu inaugurata il 27 settembre 1825, facendo diventare la S&DR la prima società al mondo a realizzarne una. Si notò sin da subito che il trasporto del carbone per l'imbarco sulle navi potesse essere un affare lucroso e per tale motivo la linea fu presto estesa, collegando Stockton a Haverton Hill e Middlesbrough.

George Stephenson fu anche il primo a realizzare una ferrovia che avesse un servizio diverso da quello commerciale: quello per i viaggiatori, inaugurata il 15 settembre 1830. Le due stazioni erano la Liverpool Road di Manchester e la Hedge

Hill di Liverpool e la prima locomotiva a percorrerne i binari fu la Rocket, un'innovativa locomotiva a vapore, realizzata dallo stesso Stephenson. La linea fu pensata inizialmente per il solo trasporto delle merci dal porto di Liverpool (il più grande porto marittimo delle isole britanniche) a Manchester; tuttavia il suo successo fu talmente rapido che dopo solo un anno dalla sua apertura il volume del traffico passeggeri aveva superato quello del traffico merci.

Nel 1850 al mondo erano stati realizzati 38.600 km di rete ferroviaria, un valore che nei successivi 20 anni aumenterà fino a 210.000 km, grazie all'impiego di capitali, al perfezionarsi della tecnica e all'unione di molte piccole imprese in possenti organismi per gestire reti sempre più estese.

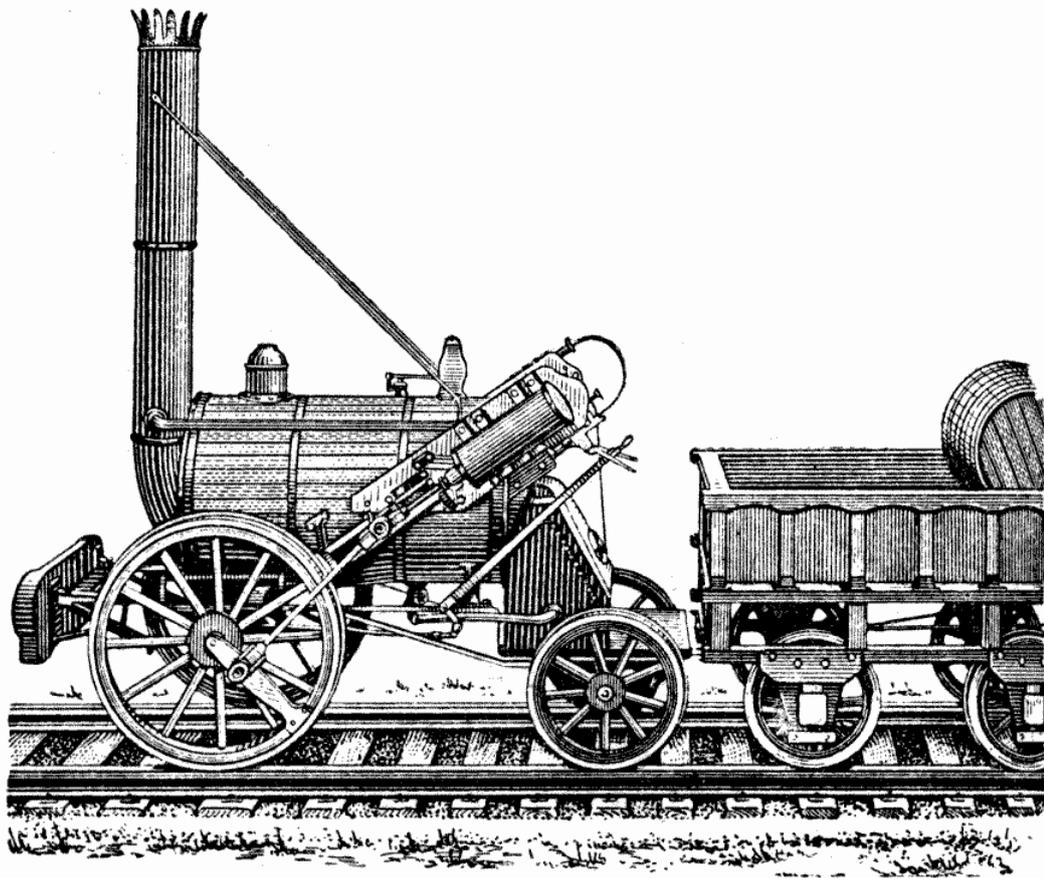


Figura 3.1: Rappresentazione della locomotiva Rocket [2]

3.2 Le prime ferrovie in Italia

L'inaugurazione della Stockton-Darlington nel 1825 diede una grande spinta allo sviluppo ferroviario in tutta Europa, mostrando sin da subito di essere un formidabile mezzo di trasporto al servizio sia dell'industria e del commercio sia delle persone. A differenza di altri stati europei come il Regno Unito o la Francia, in Italia diversi fattori ne frenarono lo sviluppo. L'orografia della penisola complicava infatti molto la progettazione delle ferrovie, la divisione politica e la presenza di tanti regni sul territorio peninsulare non consentivano la realizzazione di un'unica rete ferroviaria e la politica estera influenzava lo sviluppo tecnologico seguendo interessi diversi da quelli delle popolazioni italiane.

La prima linea ferroviaria costruita nella penisola italiana fu la Napoli-Portici, nel territorio all'epoca appartenente al regno delle Due Sicilie. Fu commissionata da re Ferdinando II delle Due Sicilie e il progetto fu affidato all'ingegnere francese Armand Joseph Bayard de la Vingtrie nel 1836.

L'inaugurazione avvenne il 3 ottobre 1839 con partenza da Portici: il tratto era a doppio binario e aveva la lunghezza di 7.25 chilometri mentre la prima locomotiva della storia italiana si chiamava *Vesuvio* e raggiunse la velocità di 50 km/h, trainando 7 carrozze per un peso complessivo di 46 tonnellate. La linea faceva parte di un progetto più complesso: nell'estate del 1842 veniva infatti inaugurato il tratto diramato fino a Castellammare e due anni dopo, nel 1844, la prosecuzione per Pompei, Angri, Pagani e Nocera Inferiore.

Nel 1837 nei regni del nord della penisola, iniziarono i lavori per realizzare quella che ancora oggi è considerata una delle più importanti linee ferroviarie italiane: la Ferrovia Ferdinandea ovvero l'attuale Milano-Venezia. La linea venne realizzata per tratte e la prima ad essere completata fu la Padova-Marghera, inaugurata il 12 dicembre 1842.

Nei primi mesi del 1846 furono completati il ponte sulla Laguna di Venezia e le tratte Vicenza-Padova e Milano-Treviglio. A causa della Prima guerra di indipendenza i lavori subirono dei rallentamenti ma, con l'inaugurazione del tronco diretto Rovato-Treviglio, avvenuta il 5 marzo 1878, la ferrovia fu terminata e assunse l'attuale fisionomia.

La frammentazione della penisola italiana, dovuta alla presenza di vari Stati, determinò la realizzazione di piccole reti ferroviarie distinte tra loro che, anche dopo la proclamazione del Regno d'Italia, fu difficile da unificare in un'unica rete ferroviaria nazionale.

Nel 1850 l'intera penisola contava 371 km di linee. Gli stati con più chilometri di ferrovie erano il Granducato di Toscana con 119, il Lombardo-Veneto con 115 seguito dal Regno sardo con 91.

Nove anni dopo furono 1758 i chilometri di linee realizzate, distribuite soprattutto al nord della penisola: 803 km in Piemonte, 298 km in Veneto, 256 km in

Toscana, 202 km in Lombardia, 101 km nello Stato Pontificio e 98 km nel Regno delle Due Sicilie.

Nel 1861 il Regno d'Italia appena costituito possedeva poco più di 2000 km di rete ferroviaria, di cui solo il 18% era di sua proprietà e solo il 25% sotto la sua gestione, il restante 75% era affidato ad una ventina di società private, alcune delle quali a capitale prevalentemente straniero.

Nel 1870 la rete ferroviaria italiana era di circa 6000 km e si iniziarono i primi allacciamenti con le reti estere ma solo il 1° luglio 1905 lo stato riscattò le reti delle società private, assumendo la gestione di 10557 km di linee, denominandola rete delle "Ferrovie dello Stato".

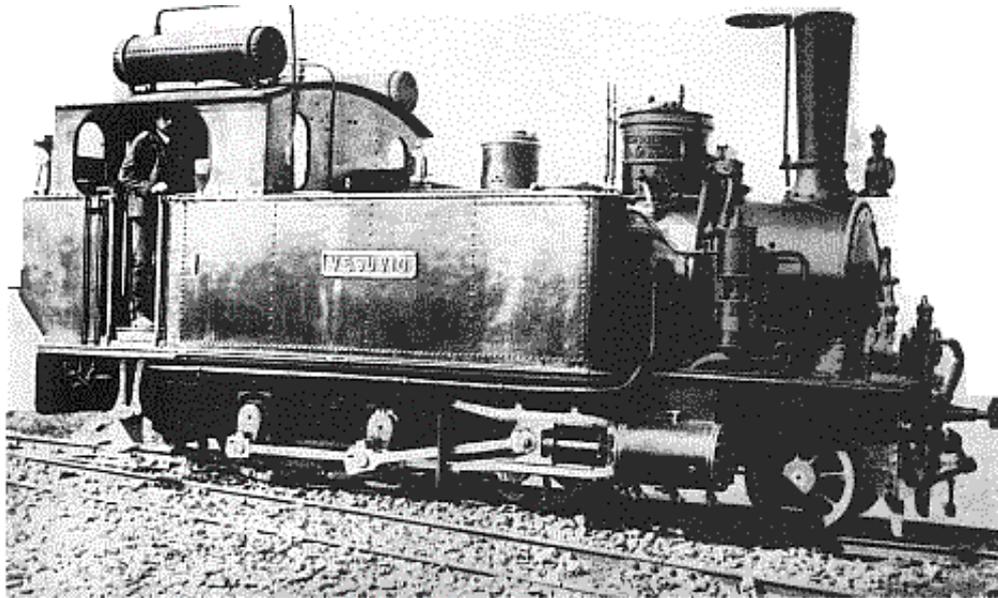


Figura 3.2: Rappresentazione della Vesuvio, prima locomotiva in Italia [3]

3.3 La nascita delle prime locomotive elettriche

La prima locomotiva elettrica venne realizzata da Werner von Siemens, nel 1879. Essa utilizzava energia elettrica a corrente continua a bassa tensione, sviluppando dunque una potenza piuttosto modesta, a causa dei primitivi materiali di isolamento disponibili. Per tale motivo il sistema venne sviluppato soprattutto per il settore tranviario e per le ferrovie di brevi estensioni. Nel 1881 fu lo stesso Werner von Siemens a realizzare la prima linea tranviaria elettrica a Lichterfelde, a Berlino.

Tuttavia la prima locomotiva ferroviaria a trazione elettrica vera e propria, in grado di sostituire pienamente quella a vapore, fu quella a corrente alternata trifase a 3600 volt, la E.430 (inizialmente denominata RA 34). Venne costruita nel 1902 per conto della società italiana Rete Adriatica da due società, all'epoca tra le poche ed avanzate fabbriche del mondo nel settore elettrico ferroviario: *Officine di costruzioni ferroviarie ungheresi Ganz*, per quanto discerne la parte elettrica e la *Reale Fabbrica di Macchine di Stato Ungherese* per la parte meccanica. Ciò nonostante, fino ai primi decenni del XX secolo, l'uso di locomotive elettriche era riservato essenzialmente per le tratte con lunghe gallerie e con forti rampe, dove la trazione a vapore presentava i suoi limiti.

Dopo qualche anno e con il perfezionamento di nuove tecniche si iniziò a realizzare locomotive elettriche a corrente continua che, rispetto alle locomotive a trazione trifase, necessitavano di linee elettriche di alimentazione meno complesse e garantivano una maggiore versatilità del motore. Le prime locomotive elettriche a corrente continua a 3000 V nacquero intorno al 1915 negli USA. Tuttavia la nascita della prima ferrovia ad essere elettrificata con un sistema di alimentazione a corrente continua ad alta tensione (4000 V) avvenne in Italia, il 6 ottobre 1920 sulla Torino-Ceres.

Negli anni 60 l'orientamento generale di tutte le nuove linee europee ad alta velocità era quello di passare ad un sistema a corrente alternata monofase a 25000 V. Tale decisione tuttavia generò una serie di problemi di mobilità delle locomotive anche all'interno delle stesse reti nazionali, complicandone la costruzione per renderle adatte a circolare sia sulle tradizionali linee a corrente continua che su quelle a corrente alternata. Nacquero dunque le locomotive bicorrente con trasformatori e raddrizzatori a bordo in grado di funzionare sia sotto rete elettrica a corrente alternata monofase a 25 kV che a corrente continua a 3000 V.

3.4 L'alta velocità

La definizione di alta velocità è stata soggetta a cambiamenti nel corso degli anni dovuti ai progressi tecnologici e alla continua crescita della velocità raggiunta dalle locomotive.

L'*ETR 212* e lo *Shinkansen Serie 0* furono i primi treni ad alta velocità utilizzati rispettivamente in Italia e Giappone: il primo, nel 1939, quando ancora la maggior parte dei treni erano condotti dalle locomotive a vapore, viaggiò tra Firenze e Milano alla media di 176 km/h stabilendo un primato mondiale; il secondo fu il primo treno ad alta velocità giapponese e a quel tempo il più veloce al mondo. Inaugurato il 1° ottobre 1964 (pochi giorni prima l'inizio dei giochi olimpici di Tokyo) collegava la capitale nipponica con Osaka ed era in grado di viaggiare a 220-230 km/h; con una riduzione del tempo di percorrenza di 2.5 ore.

Il 24 febbraio 1977 venne inaugurata la prima tratta della "Direttissima Roma-Firenze", completata nel 1992, viaggiando oltre i 250 km/h diventò la prima linea veloce europea e la prima a collegare due grandi città senza stazioni intermedie. Il successo del trasporto rapido portò ad allargare il target di clientela offrendo servizi di livello più economico. In tal senso il pendolarismo costituì presto una buona parte del traffico passeggeri, in particolar modo in Francia e Giappone.

La *UIC*, *Union Internationale des Chemins de fer* (l'istituto internazionale che fissa gli standard per il trasporto ferroviario), definisce ad alta velocità una linea ferroviaria su cui è possibile viaggiare ad una velocità media pari o superiore ai 250 km/h. Quando si parla di AV (Alta Velocità) non ci si riferisce più alla sola locomotiva, bensì all'insieme costituito da treni, binari, linee di alimentazione, tecnologie di comunicazione, segnalazione, gestione traffico, stazioni ecc.

Le linee idonee all'alta velocità si dividono in due famiglie: linee adatte alla circolazione promiscua di convogli ad alta velocità e tradizionali (ad esempio la "Direttissima" Firenze-Roma) e linee riservate alla circolazione di treni ad alta velocità (linee TGV in Francia, "Shinkansen" in Giappone). Le velocità maggiori vengono raggiunte su linee ferroviarie specificamente costruite che si distinguono dalle tradizionali per le caratteristiche dell'infrastruttura: geometria del tracciato (caratterizzato da curve di ampio raggio), tecnologia di posa dell'armamento, linea aerea di alimentazione oltre ai sistemi di controllo e sicurezza della marcia.

La crescita esponenziale del trasporto stradale a discapito di quello ferroviario, registrata a partire dagli anni 80, ha sottolineato il bisogno di rinnovare il sistema ferroviario e di offrire un servizio più economico, confortevole e rapido. La modalità ferroviaria rispetto a quella stradale potenzialmente presenta infatti minori costi esterni dovuti a danni derivanti da ogni tipo di inquinamento, da incidenti e da fenomeni di congestione.

L'alta velocità nasce proprio per consentire al trasporto su rotaia di riguadagnare una quota del traffico passeggeri che, nel corso degli ultimi decenni, era migrata verso i trasporti aerei e automobilistici.



Figura 3.3: Treno ad alta velocità [4]

3.5 Struttura di una linea ferroviaria

L'infrastruttura ferroviaria è costituita da un insieme di elementi:

- *rotaia*: costituisce il supporto e la guida della locomotiva; la sua parte superiore sulla quale si muovono le ruote viene detta superficie di rotolamento
- *binario*: l'insieme delle due rotaie
- *traversa*: può essere realizzata in legno, acciaio o cemento e su di esse vengono fissate le rotaie
- *organi di attacco*: sono le giunture con cui è possibile fissare le rotaie alle traverse
- *armamento ferroviario*: l'insieme delle rotaie, delle traverse e degli organi di attacco
- *ballast o massicciata*: pietrisco naturale o realizzato dalla frantumazione delle rocce sul quale poggiano le traverse e che permette di distribuire i carichi verticali, assorbire gli sforzi indotti nel binario dal passaggio dei treni e dalle variazioni di temperatura, che consente il drenaggio delle acque meteoriche e conferisce elasticità al binario;
- *sub-ballast*: strato di fondazione, tipicamente realizzate in bitume o cemento, con il quale aumenta la rigidità dell'intera sovrastruttura, garantendo una minore deformabilità e una maggiore durata.

- *piattaforma di posa*: detta anche piattaforma di regolamento, piattaforma di formazione o piattaforma stradale, è il terreno su cui poggia la struttura ferroviaria e viene realizzata con due piani inclinati verso l'esterno per consentire il deflusso dell'acqua.
- *banchine*: parte esterna della piattaforma di posa, destinato al transito pedonale
- *intervia*: distanza tra le parti interne di due rotaie appartenenti a due diversi binari
- *sopralzo*: presente nelle curve ed è un sopraelevamento della rotaia esterna al fine di ridurne l'usura e gli effetti della forza centrifuga

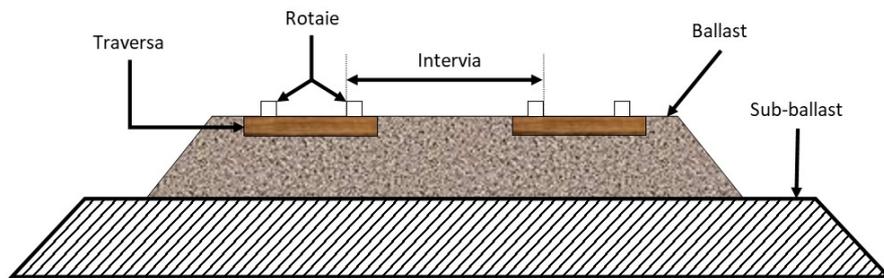


Figura 3.4: Sezione trasversale di un'infrastruttura ferroviaria

3.6 I pericoli dovuti alla vegetazione

Tra i principali mezzi di trasporto nazionali, l'infrastruttura ferroviaria presenta una forte evoluzione nel tempo grazie agli apparati tecnologici che hanno contribuito al miglioramento della qualità dei servizi offerti. I treni sono diventati sempre più veloci e rappresentano un'alternativa valida al trasporto aereo, in particolar modo per le percorrenze di 500-800 km. Per garantire servizi efficaci e velocità elevate è necessario effettuare dei controlli, anche alla vegetazione, perché bisogna:

- garantire la visibilità del segnalamento;
- ridurre sensibilmente il rischio di interruzione della linea per caduta di piante;
- mantenere le condizioni di sicurezza dei sentieri;
- agevolare le ispezioni di opere d'arte (ponti, sottovia, viadotti ad arco, muri di sostegno etc.);
- ridurre il rischio d'incendio;
- migliorare il mantenimento e l'efficienza degli impianti elettrici e di canalizzazione;
- garantire una vita più longeva agli apparati tecnologici;
- ridurre i costi di tutte le attività manutentive di gran lunga più onerose (armamento, impianti elettrici, opere d'arte, ecc.);
- contenere la crescita delle piante allergeniche (Graminacee, Ambrosia, Parietaria, ecc.).

In assenza di controlli potrebbe verificarsi un danneggiamento delle superfici dure che avviene principalmente in conseguenza dell'accrescimento dell'apparato radicale o delle strutture vegetative (rizomi, stoloni, tuberi, bulbi, etc.). I sistemi radicali e gli organi vegetativi esplicano un danno meccanico durante il loro sviluppo in quanto esercitano delle forze sulle strutture dei manufatti che portano alla disgregazione dei materiali meno resistenti (asfalto, intonaci, cementi tra i mattoni di un muro o tra i blocchi di una pavimentazione, etc.).[5]

3.7 Le specie vegetative

Lungo una linea ferroviaria possono essere presenti numerose specie di vegetazione che possono essere catalogate in erbacee, arboree e arbusti.

Le erbacee sono piante basse e con fusto verde e non legnoso, dunque costituite solamente da erbe.

Le piante arbustive a volte vengono chiamate "piante senza tronco". Tale nome non è corretto in quanto all'interno delle specie sono presenti anche arbusti con fusto, seppur di altezza limitata che non superano i 5 metri. Il tronco dunque può essere assente e in tali casi lo sviluppo avviene in larghezza.

Le piante arboree (comunemente denominati alberi) sono caratterizzate da un fusto legnoso (tronco) che si sviluppa in altezza raggiungendo misure differenti in base alla specie d'appartenenza. Dal tronco si diramano i rami i quali, insieme alle foglie, costituiscono la chioma. Tra le specie infestanti di tipo arboreo più diffuse vi sono la robinia e l'ailanto.

La *robinia* è una pianta che può raggiungere i 25 metri di altezza e con una forte attività riproduttiva: i polloni (parte di una pianta sotto forma di ramo) si sviluppano sia dal colletto¹ sia dalle radici. In ambito ferroviario i continui tagli hanno contribuito alla formazione di robinieti molto fitti e di conseguenza lo sviluppo di piante dal diametro ridotto ma di elevata altezza, risultando essere meno resistenti agli agenti atmosferici.

Analizzando il grafico riportato in figura 3.5 si evince come una pianta di robinia di sei anni raggiunga l'altezza di circa 12 m, un diametro di circa 20 cm e una biomassa di 140 kg risultando essere pericolosa in quanto soggetta a caduta.

L'*ailanto* è una specie caratterizzata da una crescita rapida ed è in grado di adattarsi ad ogni tipologia di terreno, perfino nelle crepe dei vecchi muri, e di riprodursi sia per seme sia tramite polline. Ogni anno una pianta di ailanto può produrre fino a 300 mila samare, un frutto secco dotato di un'ala, spargendo una grande quantità di semi. L'ailanto si propaga anche per via vegetativa per mezzo dell'esteso apparato radicale in grado di estendersi fino a 15 metri di distanza dalla pianta madre, generando nuove piante. Infine essa è in grado di secernere sostanze chimiche che impediscono la germinazione e la crescita di altre specie.

¹parte di una pianta compresa fra il fusto e la radice

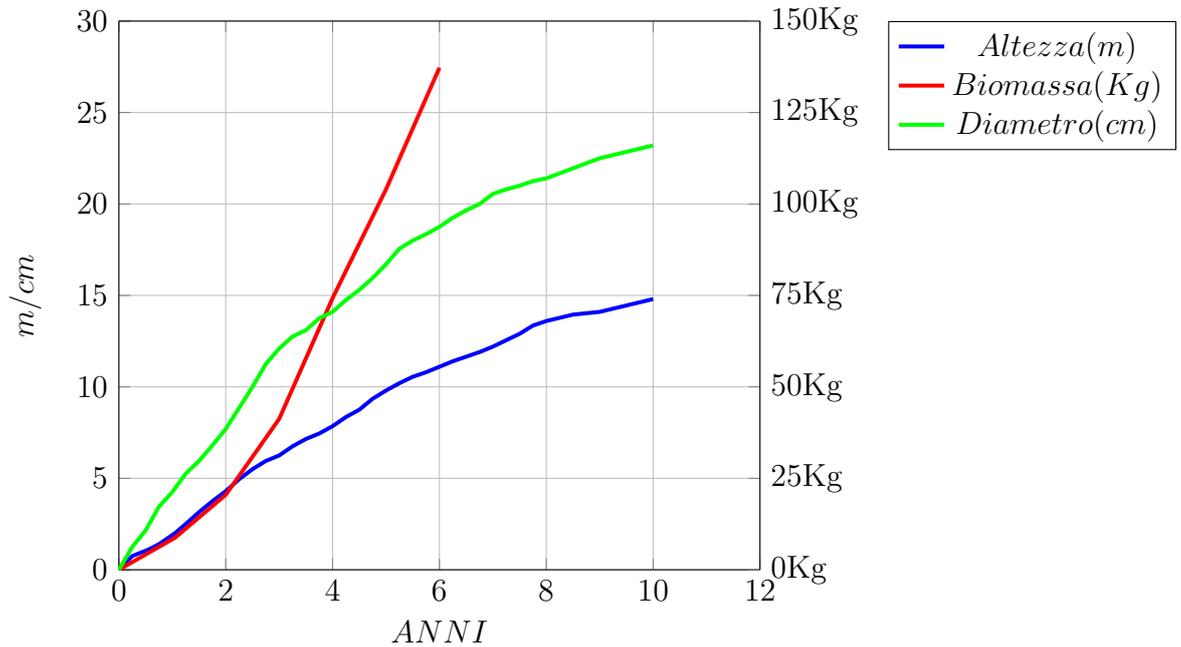


Figura 3.5: Curve di accrescimento della robinia [6]

3.7.1 Flora di sostituzione

La flora di sostituzione è una vegetazione infestante indotta dall'impiego ripetuto degli stessi metodi di controllo chimici e/o meccanici della vegetazione.

Questa tipologia erbacea tende ad occupare il posto lasciato libero da altre piante eliminate con diserbanti o tecniche agronomiche.

In una comunità vegetale è dunque possibile osservare una riduzione delle specie inizialmente molto diffuse e contemporaneamente un aumento, in termini di frequenza ed intensità, di specie prima sporadiche che occupano le aree ecologiche rimaste vuote.

3.8 Tecniche di intervento

Le caratteristiche dell'infrastruttura ferroviaria, la necessità di ridurre quasi totalmente la vegetazione lungo i binari, i treni che viaggiano a velocità sempre più elevate e la presenza di opere d'arte e strumenti tecnologici fanno sì che, nell'ambito ferroviario, siano consentite solo le tecniche evidenziate in figura 3.7. Tra queste il pirodiserbo e il diserbo a vapore, negli anni 90, sembravano essere una valida alternativa al diserbo chimico.

Il *pirodiserbo* è una tecnica basata sull'applicazione di una elevata quantità di calore sulle infestanti, determinandone la distruzione. Il calore può essere generato in diversi modi tra cui elettricità, onde elettromagnetiche, vapore acqueo, raggi infrarossi o fiamma diretta (quest'ultima è attualmente la più diffusa).



Figura 3.6: Pirodiserbo a fiamma diretta. [7]

Il *diserbo a vapore* si basa sull'emissione di calore sotto forma di vapore, il quale genera uno shock termico all'infestante causandone la distruzione delle cellule. Tale tecnica ha il vantaggio di non lasciare residui nocivi e tossici sul terreno.

Negli ultimi anni si è osservato che a causa della bassa velocità del convoglio durante le fasi operative e nella possibilità di attuarli solo lungo il ballast, tali tecniche risultano essere non funzionali in un contesto ferroviario. Inoltre, utilizzando la tecnica del pirodiserbo si potrebbero danneggiare gravemente gli apparati tecnologici presenti lungo le linee e i piazzali, distruggere parti della microfauna e causare incendi con conseguente elevata produzione di CO₂ (anidride carbonica).

Oltre a tali problematiche i risultati che si otterrebbero non sarebbero ottimali: si devitalizzerebbero solo le infestanti emerse ma al tempo stesso si stimolerebbe la germinazione dei semi presenti nei primi strati del suolo.

In conclusione, per garantire un buon risultato sarebbe necessario ripetere numerose volte il trattamento, richiedendo un dispendio economico e di operatori oneroso.

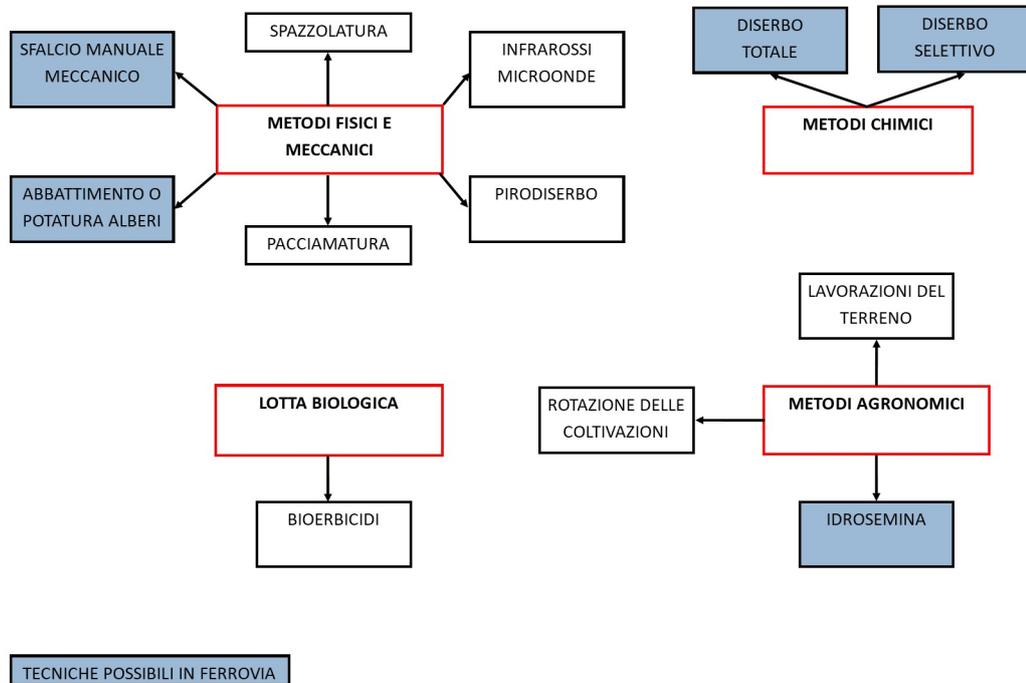


Figura 3.7: Tecniche per il trattamento delle malerbe.

3.8.1 Interventi meccanici

Comprendono lo sfalcio meccanico, lo sfalcio manuale e l'abbattimento o potatura degli alberi.

Lo **sfalcio meccanico** si effettua mediante macchinari dedicati quali motocarrelli ferroviari o mezzi dotati di bracci meccanici che consentono di operare lungo la linea. Recentemente sono stati proposti anche dei mezzi che non necessitano di un conduttore e che possono essere comandati da remoto.

Lo **sfalcio manuale** è utilizzato nelle aree dove per motivi tecnici e/o operativi non è consentito utilizzare dei mezzi meccanici, inoltre, rispetto allo sfalcio meccanico, richiede una maggiore manodopera, un costo più elevato ed un maggior impiego di tempo.

La **potatura** e, nei casi estremi, l'**abbattimento degli alberi** che presentano uno stato di salute degradato e pericolante, sono azioni necessarie al fine di garantire la sicurezza della circolazione ferroviaria, delle tecnologie che la compongono e del personale presente.



Figura 3.8: Sfalcio Meccanico. [8]

3.8.2 Interventi chimici

I metodi chimici si distinguono in diserbo totale e diserbo selettivo.

Con il **diserbo totale** si elimina completamente la presenza di qualunque specie erbacea o arbustiva presente sul terreno trattato distruggendo sia la parte aerea sia le radici delle infestanti.

Il **diserbo selettivo** è un trattamento chimico della vegetazione che impiega erbicidi attivi solo per alcune specie di infestanti e dunque che consente di eliminare solo delle mirate malerbe, lasciando intatto il resto della vegetazione. Tale operazione risulta essere delicata in quanto necessita di una scelta accurata dei prodotti disinfestanti da applicare al fine di ottenere il risultato desiderato senza intaccare lo stato delle essenze utili a garantire la stabilità della scarpata.



Figura 3.9: Diserbo chimico manuale [9].

3.8.3 Interventi agronomici

Gli interventi agronomici garantiscono la riqualifica del territorio e sono costituiti da tecniche di idrosemina e diserbo selettivo.

L'**idrosemina** è una tecnica utilizzata per l'inerbimento di terreni in pendenza e/o quando il terreno non presenta un'alta fertilità. Oltre a salvaguardare il paesaggio ferroviario, l'idrosemina è molto utile per mantenere il terreno stabile, grazie alle radici delle specie germogliate dai semi erogati, riducendo il pericolo frane ed aumentando le capacità drenanti del suolo.

3.8.4 Trattamento delle infestanti con soli interventi meccanici: analisi dei risultati e dell'efficacia

L'analisi effettuata da Giuseppe Acquaro e Ernesto Mancusi riportata nel *"Il controllo della vegetazione in ferrovia – Impatto delle nuove normative europee sull'uso dei diserbanti"* [10] si basa sull'ipotesi di sostituire il diserbo chimico con quello meccanico per gestire la vegetazione lungo una linea ferroviaria. L'uso del solo diserbo meccanico favorisce la successione ecologica/ flora di sostituzione in quanto gli interventi di tagli ripetuti nel tempo eliminano solo la parte epigea mantenendo però le radici, generando così una serie di effetti collaterali quali:

- L'aumento di specie infestanti invasive che richiederanno interventi di taglio sempre più complessi e frequenti
- La deformazione del profilo della sede ferroviaria a causa dello sviluppo delle radici che, nel medio-lungo periodo, non permettono un corretto deflusso delle acque meteoriche
- La vegetazione spontanea, tramite le radici, si espande verso la massicciata fino ad emergere e, a questo punto, il danno sarà già avvenuto e sarà necessario risanare la massicciata.



Figura 3.10: Passaggio di una locomotiva su un tratto affollato da vegetazione infestante. [11]

Il risultato di tale analisi mostra che non è sufficiente gestire la vegetazione solo con metodi meccanici in quanto non è possibile evitare l'inquinamento della massciata, con la conseguente necessità di risanamento della stessa, e non permette di eliminare totalmente le specie infestanti, comportando un elevato numero di interventi annuali al fine di garantire la sicurezza di percorribilità e una corretta visibilità dei segnali.



Figura 3.11: Tratto di linea ferroviaria dopo anni di mancato trattamento chimico e meccanico. [12]

3.8.5 Trattamento delle infestanti con soli interventi meccanici: impatto economico

L'analisi di G. Acquaro ed E. Mancusi si concentra anche sull'aspetto economico del controllo della vegetazione spontanea utilizzando solo metodi meccanici. Per determinare tali valutazioni sono state prese in considerazione la totalità delle linee di *RFI* (Rete Ferroviaria Italiana) al netto delle gallerie e solo le porzioni dei piazzali di stazioni coperte da binari mentre non sono stati considerati i costi dovuti alla potatura e all'abbattimento degli alberi in quanto queste restano invariate tra le due tecniche messe a confronto. I costi sono stati determinati dalle tariffe di riferimento del diserbo chimico, del decespugliamento meccanico e dello sfalcio erba sia lungo la linea che nei piazzali relativi a:

- Linea a doppio binario al netto delle gallerie = 6665 km
- Linea a binario unico al netto delle gallerie = 8592 km
- Superfici dei piazzali coperte da binario = 3450 ha

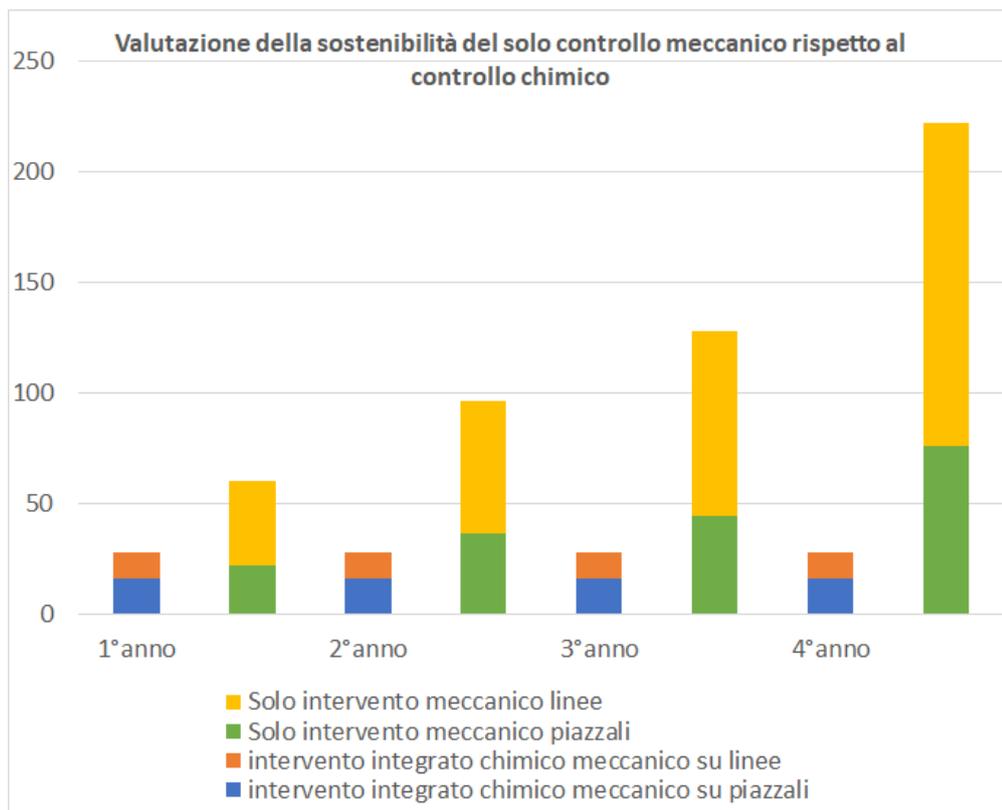


Figura 3.12: Valutazione della sostenibilità del solo controllo meccanico rispetto al controllo chimico.

In figura 3.12 sono riportati i risultati di tale analisi ove il costo totale degli interventi meccanici è ottenuto dalla somma della quota relativa ai piazzali ("P") con la quota relativa alla linea ("L"). Si può evincere che:

- Il costo degli interventi integrati chimico-meccanico rimane pressoché costante nel tempo
- L'intervento meccanico risulta essere molto più costoso e crescente col tempo rispetto a quello chimico in quanto favorisce la successione ecologica. In particolare la manodopera necessaria nei primi due anni è relativamente contenuta in quanto l'attività di taglio viene effettuata su superfici a bassa presenza di vegetazione per l'effetto degli interventi chimici precedenti; successivamente, non essendo più intervenuti con attività di diserbo chimico, questa aumenta esponenzialmente.
- Dal quarto anno la vegetazione infestante comincia ad emergere dal ballast essendosi propagata attraverso il suo apparato ipogeo (radici, rizomi, stoloni, ecc.). In tale situazione i costi risultano essere elevati e non facilmente determinabili al punto che può apparire più conveniente, se non necessario, effettuare un risanamento della massicciata (es. fig 3.11)
- Il solo controllo meccanico nei piazzali ferroviari è economicamente molto rilevante perché anche in tali aree è valido il concetto di successione ecologica e flora di sostituzione.

E' importante specificare che i dati relativi all'intervento integrato chimico-meccanico riportati nel grafico, includono anche i costi del controllo chimico delle infestanti presenti sui muri di sostegno, fino ad un'altezza di 4-5 metri. Tale attività peraltro non è determinata nell'ipotesi del solo controllo meccanico per via delle difficoltà di stima delle superfici interessate. Tuttavia è possibile ipotizzare una tariffa per il controllo meccanico degli arbusti sulle infrastrutture di sostegno compresa tra i 2 e i 12 €/m² (variabile in base alla complessità dell'intervento).

Un ulteriore fattore economico relativo all'attività di taglio deriva dall'elevato numero di operatori necessari all'intervento. Si può affermare che per la gestione della vegetazione con soli mezzi meccanici su una superficie di 3450 ha di piazzali ed in linea per una fascia di 3.5 m/lato, sono necessari 6000/8000 addetti operanti per 6 mesi all'anno. Quest'ultimo dato rende chiara di quanto sia critica la gestione della vegetazione usufruendo solo dei mezzi meccanici. E' infine opportuno ricordare che andrebbero aggiunti anche i costi derivanti da una sensibile riduzione delle infrastrutture disponibili a causa dell'elevata attività manutentiva.

In conclusione si può affermare che non è possibile demandare allo sfalcio meccanico e manuale la maggior parte del controllo della vegetazione presente lungo una linea ferroviaria a causa dei costi elevati, dell'elevata manodopera necessaria, dalle finestre operative molto ristrette e dal rischio di danneggiare gli impianti tecnologici del sentiero.

3.9 Interventi meccanici e chimici e loro criticità

In questa sezione sono riportate delle tecniche innovative in grado di mantenere sotto controllo lo stato della vegetazione lungo la sede ferroviaria, presentate e argomentate da Ernesto Mancusi nella rivista "La gestione del verde in ferrovia – Nuove tecniche per il controllo della vegetazione" del maggio 2005 [6]. Diversi metodi sono stati illustrati in questo studio e rappresentano un'evoluzione del controllo della vegetazione negli ambiti ferroviari con cui è possibile ottenere, rispetto agli anni '90, dei costi di gestione minori nel medio e lungo termine, una riduzione dell'impatto ambientale, un'immagine più gradevole del panorama ferroviario e indici di sicurezza più elevati.

Nelle zone della linea ove si effettuano interventi esclusivamente meccanici, al fine di ridurre i costi e migliorare il risultato, sono necessarie tecniche più raffinate nelle quali gli interventi meccanici vengono integrati con i trattamenti chimici, distinguendo tre pratiche operative che evidenziano l'efficacia di questi ultimi:

1. decespugliamento chimico-meccanico oltre il sentiero che permette ad esempio su un tratto di linea ferroviario lungo 1 Km e per una fascia che si estende di 2.5-3 metri per lato di ottenere un risparmio economico maggiore ai 2 milioni di euro, riducendo le spese dell'80%;
2. decespugliamento chimico-meccanico dei muri di contenimento tramite il quale è possibile ridurre i costi su un ettaro di muro da 25000€ a 2000-3000€;
3. decespugliamento chimico di opere d'arte che migliorerebbe la conservazione dei manufatti facilitando le ispezioni periodiche.

Tali pratiche nel tempo, hanno dimostrato la loro efficacia e la loro funzionalità: nello studio effettuato in questo articolo notiamo come i costi di produzione si siano ridotti e come i trattamenti meccanici siano in confronto più dispendiosi e meno risolutivi. Grazie a queste osservazioni riscontrate nel passato è possibile sviluppare oggi nuove tecniche anche per ciò che concerne i trattamenti chimici, tramite ad esempio tecnologie in grado di individuare e distinguere le differenti tipologie di vegetazione e l'automatizzazione dell'erogazione di diserbanti, come verrà illustrato al capitolo 4. Per adesso ci soffermeremo sulle criticità legate agli interventi di entrambe le tipologie.

La vegetazione spontanea infestante non può essere gestita solo con gli interventi meccanici in quanto continuerà a sviluppare i propri organi sotterranei di riproduzione fino a raggiungere i binari. Interventi di sfalcio o simili colpiscono solo la parte aerea della vegetazione, senza risolvere i problemi di stabilità dei binari generati dalla parte radicale.

Il controllo delle infestanti avviene quasi sempre direttamente dal binario e per tale motivo sono necessarie delle attrezzature "ad hoc":

- Il diserbo chimico lungo le linee è possibile solo negli intervalli temporali consentiti dalla circolazione dei treni. Tale fattore altamente limitante, obbliga l'utilizzo di convogli capaci di erogare diserbante ad una velocità pari o superiore di 30 km/h, garantendo al tempo stesso la sicurezza sanitaria degli operatori e dell'ambiente.
- Il decespugliamento meccanico in linea viene eseguito direttamente dal binario con motocarrelli e mezzi forniti di bracci meccanici o con attrezzature leggere operando dal sentiero. Nel primo caso è possibile intervenire solo quando non vi è alcuna circolazione sui binari per un intervallo sufficientemente ampio. Il secondo caso è più semplice da effettuare ma è caratterizzato da una bassa produttività a causa degli elevati standard di sicurezza nei confronti degli operatori, i quali operano in presenza di treni in circolazione.
- Il taglio lungo linea di piante con fusto medio-alto è uno degli interventi mantentivi più complessi e difficoltosi. Essi avvengono durante la circolazione dei treni e le difficoltà e rischi dipendono dalle dimensioni degli alberi e dalla distanza che vi è tra loro e i binari.
- Gli operatori, o in generale tutto il personale che opera in ferrovia, devono essere formati opportunamente e muniti di abilitazioni specifiche riguardanti la protezione dei cantieri mobili e per la conduzione di carrelli ferroviari.

3.9.1 I rischi ambientali e per la salute umana dovuti ai prodotti fitosanitari

I principi attivi dei prodotti fitosanitari possono costituire un potenziale rischio per la salute degli operatori e sugli organismi che non rappresentano il bersaglio diretto della loro azione (ad es. api) ed alterare negativamente gli ecosistemi.

L'intossicazione accidentale, l'esecuzione di trattamenti senza l'impiego delle opportune precauzioni e la tossicità cronica, cioè legata ad una ripetuta e reiterata esposizione di sostanze attive presenti nei prodotti fitosanitari, costituiscono un pericolo per la salute degli operatori.

Per quanto riguarda la salvaguardia dell'ambiente è necessario conoscere le possibili modalità di diffusione dei prodotti fitosanitari: la deriva che consiste nella diffusione di alcune gocce componenti il getto irrorato sotto forma di particelle sospese nell'aria; la volatilizzazione ovvero la diffusione del prodotto fitosanitario allo stato gassoso attraverso l'atmosfera ed infine il ruscellamento, con il quale si trasferisce il prodotto dall'area trattata ad un corpo idrico e si verifica quando l'intensità dell'apporto idrico (ad es. pioggia) è maggiore della velocità di infiltrazione nel suolo.

I prodotti fitosanitari possono risultare cancerogeni anche per l'uomo: inalare o esporre la cute a questi prodotti può causare problematiche fisiologiche che si riversano sul sistema immunitario, neurologico ed endocrino.

Capitolo 4

RailLandscape

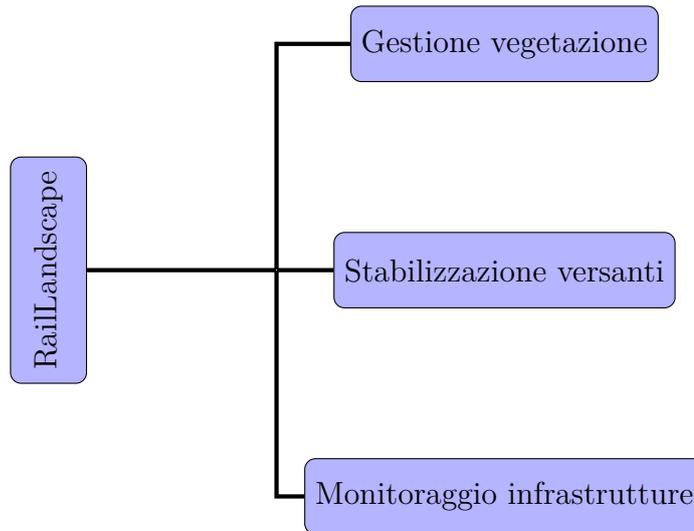
4.1 Presentazione del progetto

RailLandscape è un progetto di Geosintesi che si basa sulla realizzazione di un sistema integrato con il quale sarà possibile gestire la vegetazione e stabilizzare le aree in ambito ferroviario.

Il progetto mira a raggiungere una serie di obiettivi tra i quali:

- Generare modelli/soluzioni/piani di manutenzione attuabili e sostenibili al fine di monitorare continuamente lo stato vegetativo e di ridurre e/o eliminare la vegetazione infestante, mantenendo al sicuro l'attività ferroviaria.
- Stabilizzare le superfici terrene inclinate mediante sistemi biocompatibili.
- Verificare lo stato di deterioramento delle opere d'arte ed individuare laddove si presentano rischi di crollo o altri pericoli.
- Tutelare l'ambiente ferroviario, la salute e la sicurezza dei passeggeri e degli operatori.
- Migliorare la percezione del paesaggio, tutelando la biodiversità endemica, distinguendo le diverse specie vegetali affinché si possa mantenere una flora utile o neutra.
- Raccogliere una grande quantità di dati per poter effettuare delle analisi.

Il paesaggio ferroviario è costituito da fattori visibili e da fattori non visibili. I primi comprendono le infrastrutture ferroviarie, i versanti e la vegetazione; i secondi invece gli edifici situati in vicinanza dei binari e l'ambiente restante (prati, parchi, fiumi, laghi, ecc.).



Gestione della vegetazione

Ad oggi la gestione della vegetazione presso l'infrastruttura ferroviaria si basa principalmente su interventi di diserbo manuale e chimico. Per quest'ultimi vengono erogati mediamente circa 20 litri di erbicidi per un chilometro di rotaia.

RaiLandscape consente attraverso l'elaborazione di dati acquisiti con fotocamere, telecamere IR (infrarossi), laser scanner, etc. di monitorare e gestire la crescita della vegetazione pianificando interventi ordinari e/o straordinari; questi interventi ottimizzati saranno in grado di ridurre l'uso di diserbanti e i costi del lavoro.

Stabilizzazione dei versanti

Grazie ai dati citati precedentemente e alle informazioni acquisite durante i rilevamenti diretti lungo i binari è possibile pianificare interventi di diserbo, eliminando le specie infestanti, e interventi di riqualifica dei versanti, ad esempio con tecniche di idrosemina, che mantengano il terreno stabile riducendo di conseguenza i pericoli di frane e aumentando la capacità drenante del suolo.

Monitoraggio delle infrastrutture

RaiLandscape propone un monitoraggio delle infrastrutture ferroviarie accurata e affidabile, basata sull'analisi dei dati acquisiti tramite telecamere, laser scanner e rilevazioni sul campo. Avendo questo insieme di dati si potranno effettuare ispezioni a distanza, grazie all'utilizzo di modelli 3D e sarà possibile realizzare dei modelli predittivi per il monitoraggio del deterioramento delle infrastrutture e dei pericoli causati da un loro cedimento.

4.1.1 Panoramica totale del progetto

Il progetto RailLandscape mira a realizzare un sistema in grado di rendere automatica la gestione delle infestanti lungo la rete ferroviaria in modo da garantire l'efficacia e la sicurezza dei servizi ferroviari ma con tempo e costi inferiori rispetto a quelli attuali.

Il sistema dovrà processare diverse tipologie di informazioni:

- I vincoli presenti sulle aree di intervento, forniti da enti regionali e nazionali, che rappresentano le aree presso le quali vi sono delle restrizioni sull'utilizzo di diserbanti (la presenza di falde acquifere, parchi protetti, centri abitati, ecc.).
- Un insieme di coordinate con le quali si rappresentano le tratte ferroviarie che, insieme a localizzatori GPS installati sulla locomotiva erogatrice, consentiranno di capire in che punto lungo la tratta si trovi il treno e di conseguenza effettuare l'apposita azione di diserbo.
- Immagini acquisite dalla locomotiva mediante molteplici strumenti quali fotocamere infrarosso, 3D e ad alta definizione, sensori laser scanner ecc. che consentiranno di individuare l'effettiva presenza di vegetazione e di distinguere le varie tipologie di esse al fine di attuare l'azione di diserbo più adatto.

Le immagini acquisite da tali strumenti saranno utilizzate anche per segnalare eventuali anomalie alle opere d'arte che circondano la rete ferroviaria, ovvero confrontando l'immagine acquisita dell'infrastruttura nell'ultimo passaggio con le immagini acquisite nei passaggi precedenti, sarà possibile individuare le differenze strutturali e segnalare la degenerazione di tali opere in modo da consentire le necessarie attività di manutenzione.

Il sistema integrato che verrà installato sulle locomotive dovrà acquisire e memorizzare le immagini relative all'ambiente attorno alla locomotiva lungo la linea ferroviaria e inoltre dovrà essere in grado di individuare la sua posizione lungo la linea attraverso strumenti GPS e i km percorsi in modo da applicare l'azione di diserbo impostata dall'agronomo per quel determinato punto.

Oltre al sistema integrato sarà necessario realizzare un'app-mobile per memorizzare i dati acquisiti durante i rilevamenti sui binari ed una web-app tramite la quale storicizzare ulteriori informazioni nella base dati. La web-app consentirà di creare una rappresentazione grafica delle linee, basata su coordinate geografiche, sulle quali gli agronomi potranno pianificare delle azioni di diserbo. Per programmare un nuovo intervento, l'agronomo avrà a disposizione un template iniziale generato dal sistema al quale potrà apportare le opportune modifiche, salvarlo ed infine schedarlo.

Lo scopo finale di tale sistema è quello di poter consentire un'automatica gestione delle infestanti, riconoscendone la tipologia e la relativa pericolosità al fine

di eliminare o comunque ridurre il più possibile gli eventuali danni che potrebbero causare sia a chi utilizza o lavora presso la rete ferroviaria sia alla struttura meccanica della ferrovia stessa.

4.1.2 Le problematiche

L'obiettivo di questo progetto di tesi è realizzare un sistema informatico in grado di automatizzare la pianificazione di un intervento di diserbaggio.

Per realizzare tale sistema è necessario disporre di alcuni dati: l'insieme di coordinate che geograficamente costituiscono le reti ferroviarie, le aree soggette a restrizioni per quanto riguarda l'utilizzo di diserbanti, c.d. vincoli, e i dati acquisiti dagli operatori durante i rilevamenti.

Acquisizione dati

Per tracciare le linee ferroviarie ci siamo serviti delle mappe di Google che, se da un lato mettono a disposizione informazioni dettagliate riguardanti strade comunali, provinciali, statali ed autostrade, dal altro non presentano la stessa accuratezza per ciò che concerne le infrastrutture ferroviarie.

Dunque nel progetto uno dei primi servizi che è stato implementato ha riguardato la realizzazione grafica delle tratte ferroviarie mediante l'inserimento dei *markers*¹.

Per quanto riguarda i vincoli sul territorio, ogni anno enti regionali e nazionali rilasciano documentazioni *.gis*². L'importazione di tali dati nel sistema avviene grazie a un altro servizio usufruibile mediante una chiamata REST API, che li memorizza nel sistema.

Gli operatori che effettueranno i rilevamenti sul territorio, produrranno una serie di dati riguardanti lo stato del terreno e la varietà di vegetazione presente in prossimità dei binari, i quali verranno digitalizzati e memorizzati mediante un'applicazione mobile al fine di renderli disponibili agli agronomi in fase di pianificazione di intervento.

Per sviluppare un piano per la gestione della vegetazione presente nelle prossimità di una linea ferroviaria è fondamentale che un agronomo, lungo le tratte, discerna le diverse tipologie di vegetazione, adatti le miscele a queste ultime precisando la direzione, il punto di inizio e di fine dell'erogazione, tenendo conto dei vincoli presenti nelle prossimità di tale infrastruttura. Questa pianificazione richiede una considerevole quantità di tempo e un'attenzione meticolosa per realizzarla su un'intera linea.

¹Segnaposti di Google utilizzati per indicare una posizione su una mappa interattiva

²Uno degli standard per la codifica delle informazioni geografiche

La soluzione proposta in questa tesi consiste in un sistema informatico che in automatico elabori e fornisca agli agronomi un template di base sul quale incominciare la loro pianificazione. Il template di base sarà costituito dall'aggregazione di dati geografici raccolti ed elaborati sopra citati: questo permetterà al sistema di mostrare graficamente i vincoli che intersecano la linea o che si trovino in prossimità di essa, attenzionando le diverse tipologie di vincoli, ognuna caratterizzata da un livello di priorità (necessaria per poter decidere come intervenire nel caso in cui un tratto della linea ne intersechi due o più) e una configurazione base degli ugelli e delle miscele. Concludiamo dicendo che da qui nasce il bisogno di realizzare un sistema informatico che consenta di memorizzare tutti questi dati e che sia in grado di metterli a disposizione degli agronomi al fine di poter realizzare un template di pianificazione.

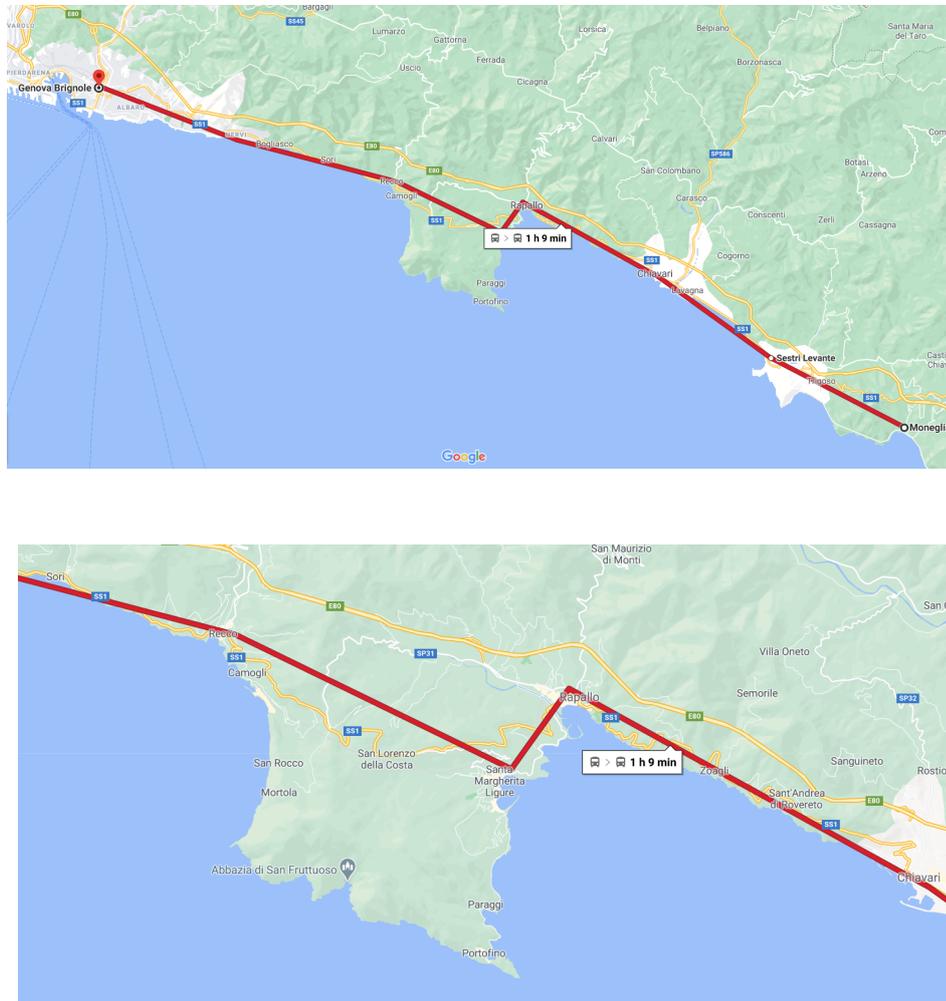


Figura 4.1: Rappresentazione grafica Google Maps linea Genova Brignole-Moneglia.

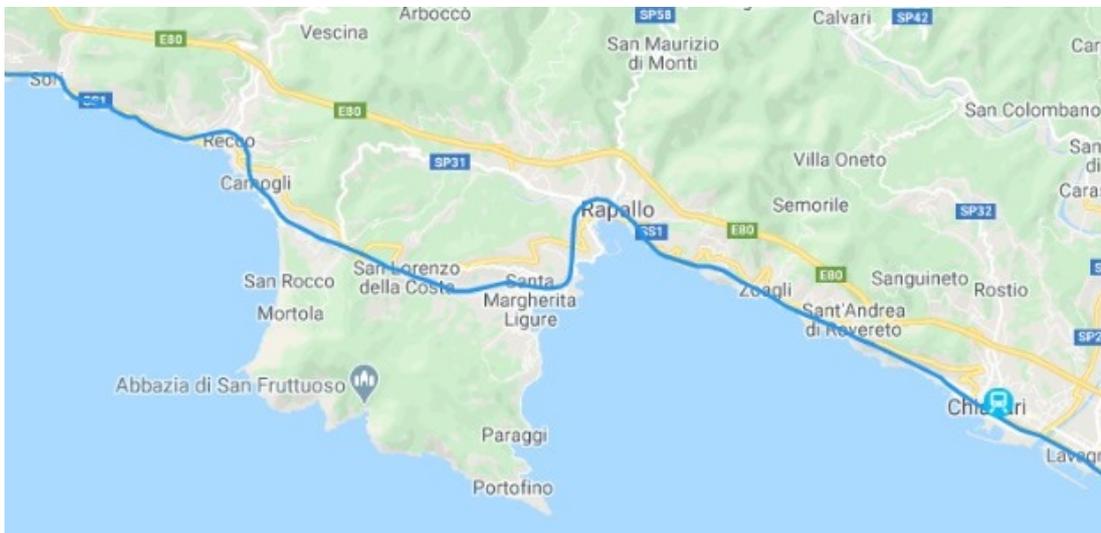
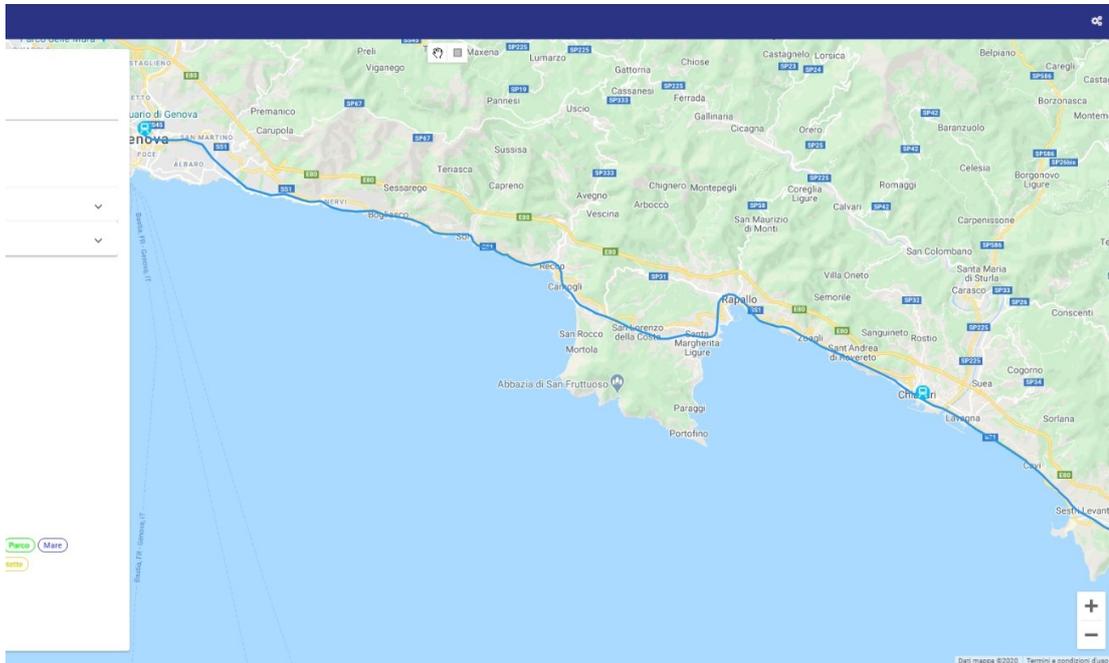


Figura 4.2: Rappresentazione grafica RailLandscape linea Genova Brignole-Moneglia.

Capitolo 5

Strumenti, framework e tecnologie utilizzate

5.1 Strumenti tecnologici e ferroviari

L'elaborato di questa tesi si basa sull'analisi e l'elaborazione di dati acquisiti tramite degli strumenti installati sul treno erogatore quali sensori laser scanner, detti anche laser 3D, che consentono di misurare ad alta velocità e precisione la posizione di migliaia di punti che definiscono gli oggetti circostanti.



Figura 5.1: Laser scanner [13].

Lo strumento emette un raggio laser che, dopo essere rimbalzata sulla superficie di un oggetto, ritorna indietro consentendo di posizionare il punto "colpito" nello spazio tridimensionale, creando la così detta "nuvola di punti". In fase di acquisizione lo strumento calcolerà e memorizzerà per ogni punto la distanza, gli angoli orizzontali e verticali e il valore di riflettanza della superficie colpita, il quale sarà maggiore per gli oggetti con un colore tendente al bianco. Oltre ai laser scanner verranno utilizzate telecamere ad alta risoluzione (4K) e telecamere IR (infrarossi). Queste ultime sono dispositivi che rilevano l'energia a infrarossi (calore) convertendola in un segnale elettronico che verrà digitalizzato al fine di produrre un'immagine a infrarossi. Tali dispositivi, sfruttando lunghezze d'onda più lunghe della luce visibile, permettono di catturare immagini anche in condizioni di totale assenza di luce. Il passaggio della locomotiva consentirà dunque di acquisire tali immagini le quali permetteranno di realizzare dei modelli tridimensionali in grado di replicare il paesaggio, garantendo agli agronomi una ricca documentazione riguardo le varie specie vegetative presenti e permettendo loro di poter programmare i futuri interventi nelle migliori condizioni.



Figura 5.2: Telecamera ad alta risoluzione [14].



Figura 5.3: Locomotiva erogatrice [15].

5.2 Database: Microsoft SQL Server e Hikari

Per lo sviluppo di tale progetto è stato utilizzato **Microsoft SQL Server**, un DBMS (Database Management System) relazionale prodotto da Microsoft. Per realizzare un *DBMS relazionale* (RDBMS) è necessario progettare accuratamente l'organizzazione e la struttura interna dei dati, costituita da tabelle e relazioni. Ogni tipologia di dati da trattare sarà memorizzata all'interno di una tabella, costituita da una colonna per ogni attributo e da una chiave primaria, costituita da una o più colonne, la quale rappresenta una sorta di indice con cui è possibile distinguere univocamente tutte le righe presenti in tabella. Le varie tabelle inoltre possono essere legate logicamente tra loro, mediante delle relazioni: ad esempio un record della tabella A potrà fare riferimento ad uno specifico record della tabella B se al suo interno (interno di A) è presente la chiave primaria di B. Alla base delle operazioni sui DBMS relazioni vi è l'SQL (Structured Query Language), un linguaggio di definizione e manipolazione dati con il quale è possibile effettuare operazioni classificabili in quattro categorie:

- *DDL* (Data Definition Language): comandi SQL con i quali si definisce lo schema della base dati, ovvero il livello esterno (viste), il livello logico (struttura delle tabelle e i vincoli di integrità) e il livello fisico (lo storage delle tabelle e indici)
- *DQL* (Data Query Language): riguardano le operazioni di interrogazione dei dati; consentono quindi di recuperare i dati delle tabelle.
- *DML* (Data Manipulation Language): comandi che si occupano della manipolazione dei dati presenti nel DB, ovvero inserire, modificare e gestire dati memorizzati
- *DCL* (Data Control Language): consentono di gestire e controllare i diritti e le autorizzazioni degli accessi al database

Il back-end implementato in questo progetto accede ed interagisce col database mediante **Hikari**, un framework di pooling di connessioni JDBC (Java DataBase Connectivity) molto leggero e che garantisce alte prestazioni. Si tratta di una cache di connessioni al database, mantenute attive anche dopo il loro utilizzo, in modo da essere riutilizzate per richieste future riducendo così i tempi di accesso al DB.

5.3 REST e HTTP

REST (REpresentational State Transfer) è un paradigma architetturale per i servizi distribuiti. Esso si basa su HTTP (Hypertext Transfer Protocol) ed è un paradigma "stateless", ovvero non prevede il concetto di sessione e la comunicazione tra client e server è basata su richieste indipendenti da quelle effettuate in precedenza in quanto, ognuna di esse, deve includere nelle intestazioni o nel body HTTP tutte le informazioni necessarie al fine di poter richiedere il servizio. Una comunicazione senza stato (stateless) non necessita la sincronizzazione dei dati di sessione con un'applicazione esterna e ciò permette di ottimizzare le prestazioni del Web Service e di semplificarne la progettazione e l'implementazione dei componenti lato server offrendo inoltre la possibilità di scalare il carico di lavoro su più server.

REST consente l'interazione tra client e server per effettuare operazioni CRUD (Create, Read, Update e Delete) tramite i verbi HTTP: GET consente di recuperare una o più risorse, POST permette di crearne una nuova, PUT e DELETE rispettivamente modificano e cancellano una risorsa.

Tutto ciò consente di avere una netta separazione tra client e server: essendo noto ad entrambi il formato e il significato dei messaggi scambiati i loro codici possono essere sviluppati in maniera indipendente.

Il protocollo HTTP consente di conoscere il risultato della richiesta effettuata attraverso gli "status code" quali i 2xx che indicano il successo dell'operazione, i 4xx che indicano un errore da parte del client e quelli 5xx che indicano un errore da parte del server. L'interpretazione di questi codici permette al client di capire se l'operazione richiesta è andata a buon fine ed in certi casi anche il motivo di un eventuale malfunzionamento.

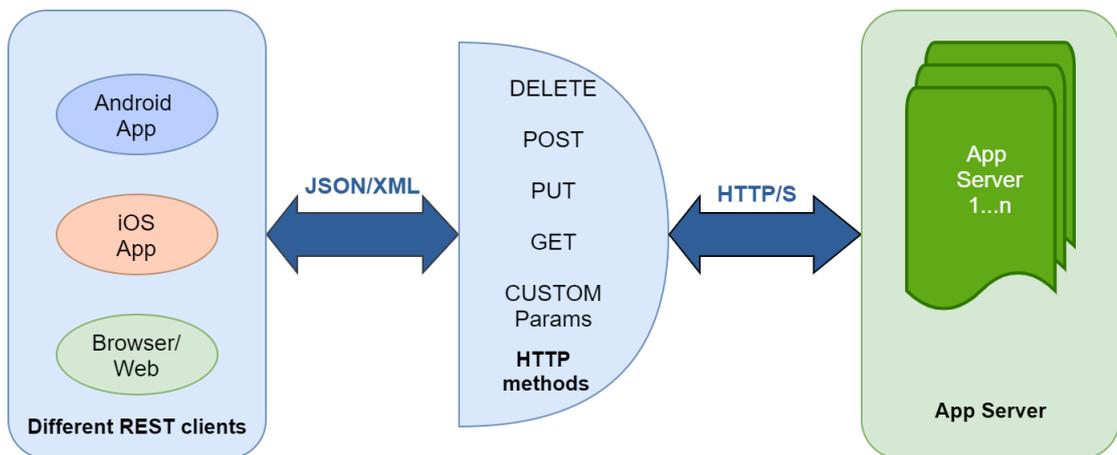


Figura 5.4: Architettura REST

5.4 Spring Boot

Il BE (Back-End) di *Raillandscape* è un'applicazione Java realizzata mediante Spring Boot. Spring Boot è una versione del framework Spring, utilizzato per lo sviluppo di applicazioni su piattaforme Java, utilizza la configurazione automatica per velocizzarne lo sviluppo e per ridurre la complessità legata alla configurazione, offrendo un ulteriore livello di astrazione rispetto all'utilizzo di Spring Framework. Per tale motivo Spring Boot definisce una configurazione base la quale include le linee guida per l'utilizzo del framework e le librerie di terze parti rilevanti, semplificando così l'avvio dei nuovi progetti.

A differenza della "classica" versione di Spring i bean necessari all'applicazione non vengono più configurati manualmente, bensì attraverso una serie di classi che consentono di crearli automaticamente, inoltre la configurazione del progetto e la gestione delle dipendenze è direttamente gestita dal framework, con il risultato di ridurre i tempi necessari per l'implementazione. L'uso di Spring Boot consente inoltre di incorporare applicazioni web server/container quali ad esempio Apache Tomcat e di semplificare la configurazione Maven mediante ai POM (Project Object Models) "Starter".

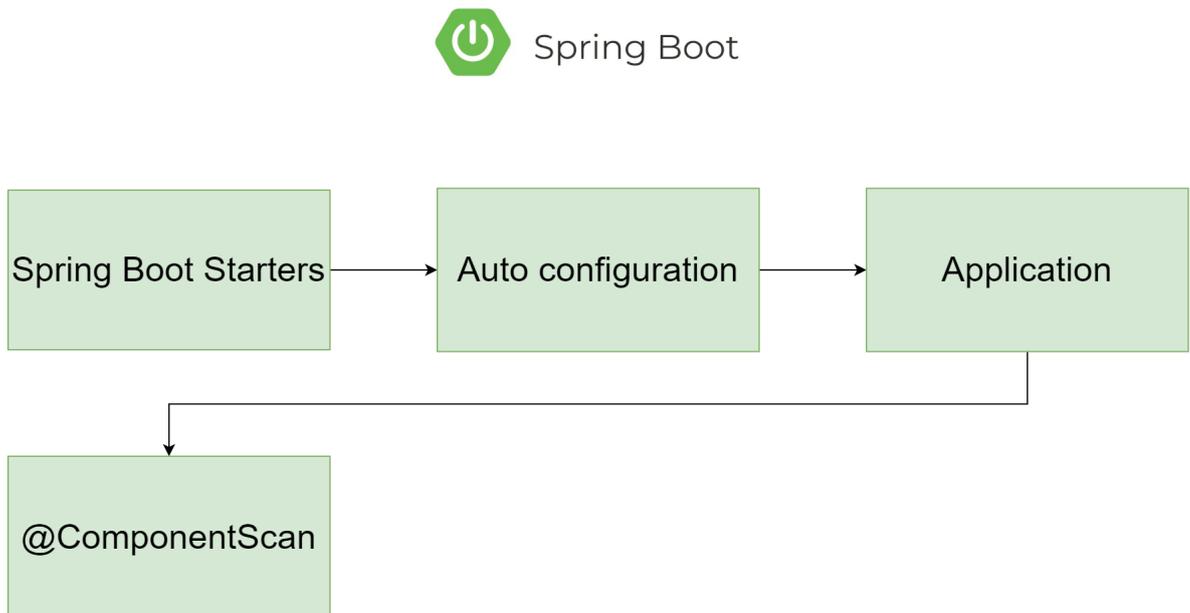


Figura 5.5: Architettura Spring Boot

5.5 Angular

Angular2 (o più semplicemente Angular) è un framework open source rilasciato da Google a partire dal 2016 per lo sviluppo di SPA (Single Page Application) ed è la nuova versione di AngularJS, in cui si è sostituito il linguaggio utilizzato, passando dal JavaScript al TypeScript. Angular consente di realizzare applicazioni strutturate in piccole unità funzionali e grafiche riutilizzabili e componibili dette "componenti", con i quali è possibile eseguire la logica dell'interfaccia utente in un Web browser, comunicando con il server Web tipicamente attraverso API Web, e di creare pagine HTML da visualizzare all'utente.

Uno dei principali vantaggi di Angular rispetto ad altri framework di questa tipologia è la possibilità di introdurre costrutti tipici dei linguaggi ad oggetti, quali ad esempio classi ed interfacce, e l'uso dei tipi di dato, mettendo a disposizione del programmatore un linguaggio più adatto alla costruzione di Web Application robuste e complesse.

Il FE (Front-end) del progetto di tesi offre la possibilità di interagire con le mappe di Google e ciò è stato possibile grazie all'utilizzo del componente AGM (Angular Google Maps), il quale mette a disposizione una serie di direttive (AgmPolyline, AgmMarker, AgmPolygon) e metodi ad esse associate per arricchire la mappa con oggetti geometrici e per interagire con essa.

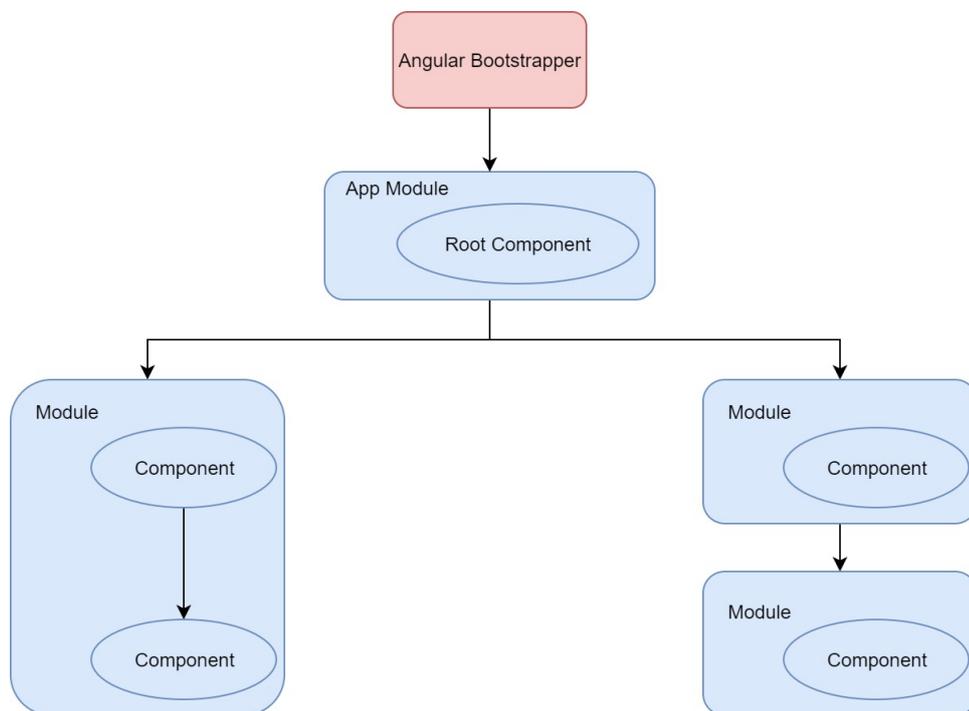


Figura 5.6: Architettura Angular

5.6 Flutter

Flutter è un framework open-source realizzato da Google per lo sviluppo di applicazioni native per iOS e Android (ovvero utilizzando le tecnologie di quest'ultime).

Tale framework è sviluppato in Dart, un linguaggio di programmazione sviluppato da Google al fine di risolvere i problemi di JavaScript legati allo sviluppo di mobile app e web app, offrendo al tempo stesso migliori prestazioni, migliori funzionalità legate alla sicurezza e la possibilità di sviluppare più facilmente strumenti utili alla gestione di progetti di grandi dimensioni. Flutter consente l'interazione tra l'applicazione e il sistema operativo del dispositivo su cui si va ad operare, mettendo a disposizione delle librerie e dei canali di comunicazione per accedere alle API native e ai sensori dei dispositivi (quali ad esempio le fotocamere degli smartphone).

Il principale vantaggio dovuto dall'uso di Flutter sta nel fatto di poter generare applicazioni native per due sistemi operativi scrivendo solo una volta il codice, semplificando così le operazioni di manutenzione e modifiche (senza dover scrivere due volte lo stesso codice).

Tra i componenti di Flutter vi è Flutter Engine, il quale, utilizzando la libreria grafica SKIA Graphics di Google, fornisce supporto per il rendering a basso livello, un processo tramite il quale viene generata un'immagine a partire da una descrizione matematica di una scena tridimensionale. Flutter Engine inoltre si interfaccia con SDK (Software Development Kit) della piattaforma specifica quali Android o iOS. Una delle caratteristiche di questo framework più apprezzate dagli sviluppatori è senza dubbio il così detto "hot-reload" dell'applicazione, cioè la possibilità di iniettare immediatamente all'interno dell'applicazione le modifiche apportate al codice, in modo da visualizzarle all'istante senza dover riavviare l'applicazione.

Flutter è stato utilizzato all'interno del nostro progetto per realizzare una mobile app con cui gli addetti ai rilevamenti lungo le linee ferroviarie potranno memorizzare i dati acquisiti e, mediante un servizio dedicato del BE, potranno memorizzarli nella base dati, rendendoli disponibili agli agronomi in fase di progettazione di un intervento di diserbaggio.

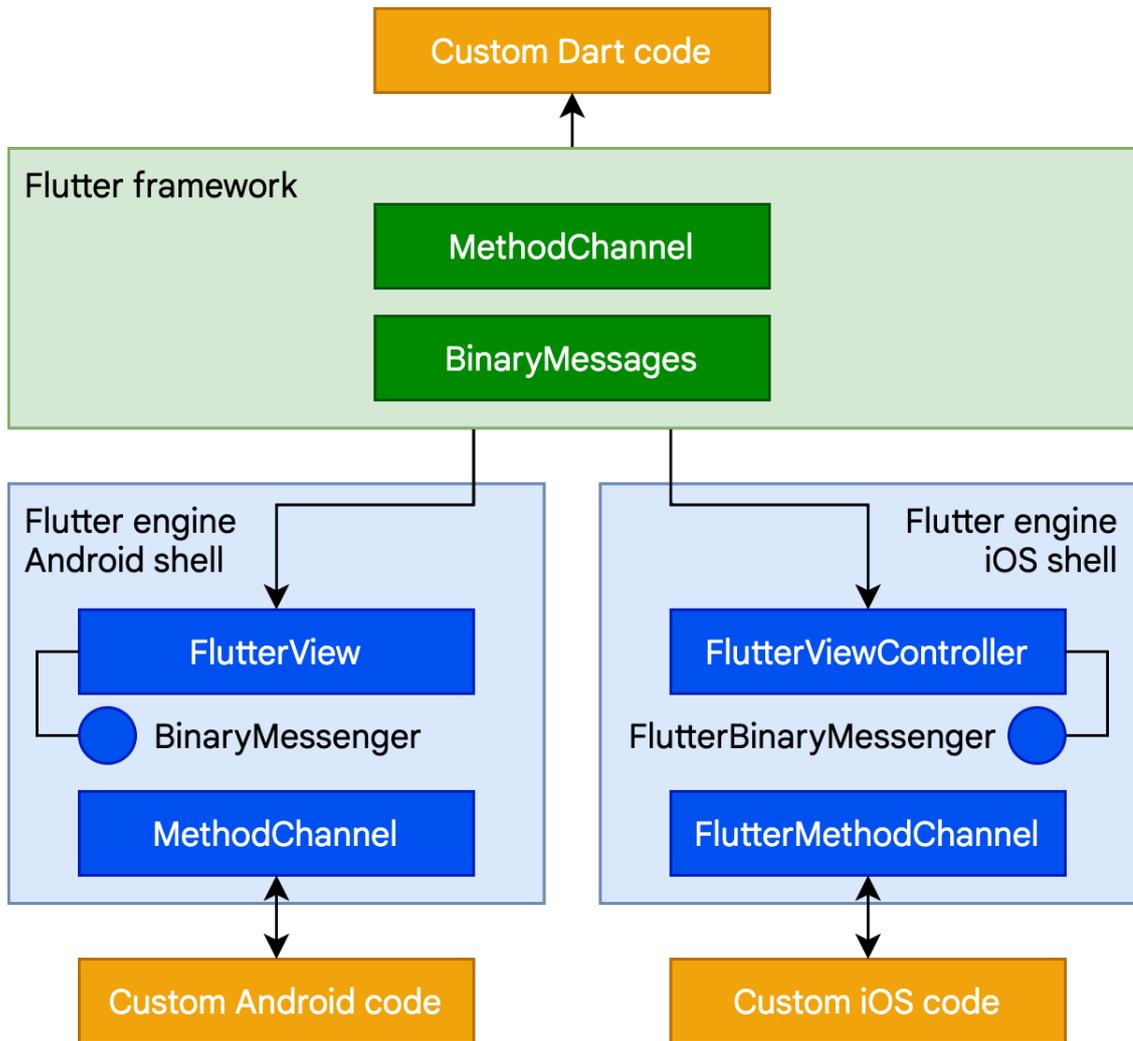


Figura 5.7: Flutter platform channels [16]

5.7 Sistemi GIS (Geographic Information System)

I GIS (acronimo di "Geographic Information System", in Italiano "Sistemi Informativi Geografici") sono un potente insieme di strumenti per raccogliere, archiviare e all'occorrenza richiamare, trasformare e rappresentare dati spaziali provenienti dal mondo reale [10].

L'acquisizione, elaborazione e visualizzazione dei dati geografici sono operazioni fondamentali al fine di automatizzare una pianificazione di diserbaggio. Queste sono state realizzate utilizzando la libreria *AGM* (Angular Google Maps) con la quale è stato possibile far interagire l'utente con le mappe Google. *AGM* mette a disposizione una sequenza di direttive, come ad esempio *AgmPolygon*, *AgmPolyline* e *AgmMarker*, con le quali è possibile rappresentare poligoni, segmenti e punti sulla mappa (fig 5.8). Le direttive si basano su due valori che indicano la latitudine e la longitudine dei punti geo-spaziali.

Durante la prima fase di sviluppo i punti venivano memorizzati come una coppia di valori *Double*. Tale scelta implementativa è apparsa però non ottimale nel momento in cui il FE richiamava il servizio del BE per recuperare i punti delle tratte e dei vincoli al fine di mostrarli sulla mappa. Occorrevano in media una decina di minuti per consentire al servizio di generare l'output e per renderlo visibile sulla mappa. Per ridurre i tempi di accesso al DB, di trasferimento dal BE al FE e di elaborazione lato web-app, si è deciso di storicizzare tali punti non più come valori *Double* ma come oggetti *Geography*. In particolare, per memorizzare vincoli e tratte sono stati utilizzati oggetti diversi: per i primi sono stati utilizzati gli oggetti *Polygon*, mentre per le seconde le *LineString*.

Questa scelta implementativa ha apportato numerosi vantaggi: non occorre più memorizzare in una tabella di dettaglio ogni singola coordinata, ma è possibile realizzare un oggetto *LineString* nella tabella di testata delle tratte, per salvare l'intera sequenza di punti. Inoltre ha ridotto i tempi di elaborazione consentendo di mostrare la tratta sulla mappa in pochi secondi e ha permesso di utilizzare i metodi, di cui si riportano le descrizioni presenti nella documentazione Microsoft[17], offerti dalla classe *Geography* :

- *STIsValid* Restituisce true se un'istanza *geography* è in formato corretto e riconosciuta come oggetto geografico valido in base al relativo tipo OGC (Open Geospatial Consortium). Restituisce false se il formato di un'istanza *geography* non è corretto.
- *STBuffer* Restituisce un oggetto geografico che rappresenta l'unione di tutti i punti la cui distanza da un'istanza *geography* è minore o uguale a un valore specificato.
- *STIntersects* Restituisce 1 se un'istanza *geography* interseca un'altra istanza *geography*. In caso contrario, restituisce 0.

- *STIntersection* Restituisce un oggetto che rappresenta i punti in cui un'istanza geography interseca un'altra istanza geography.

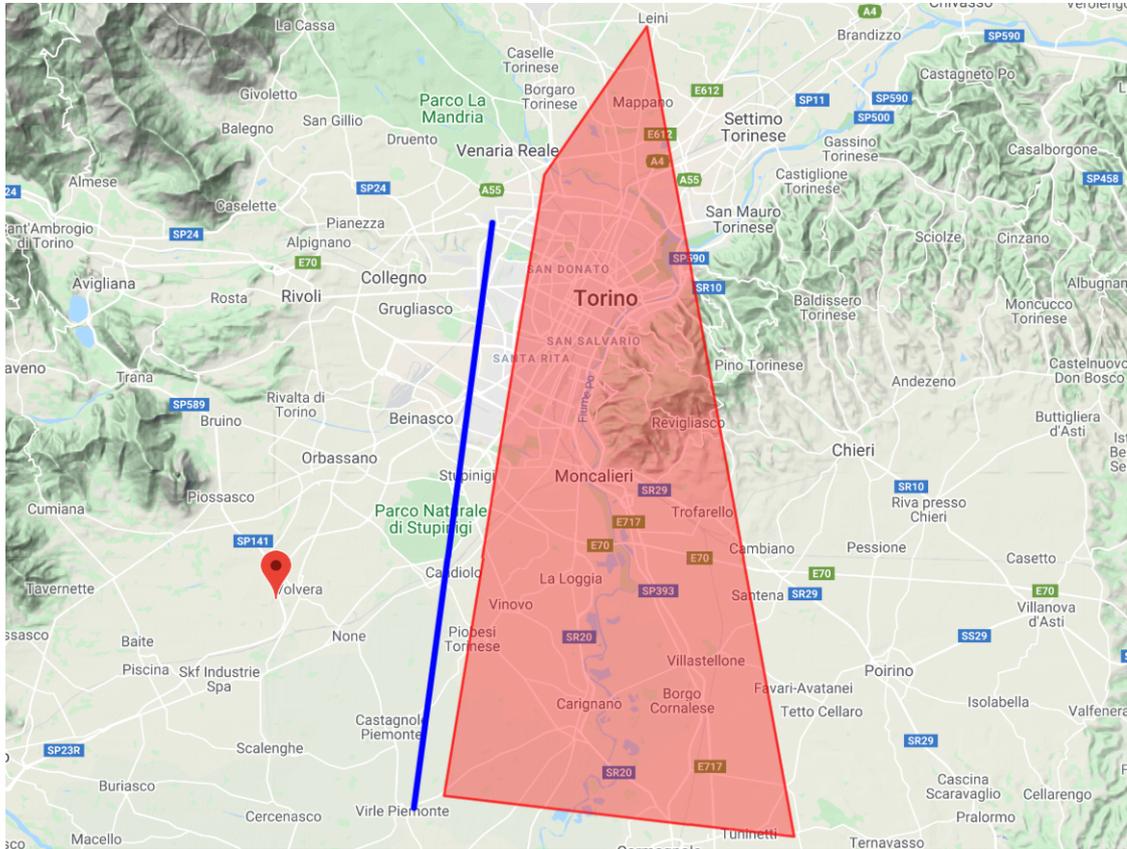


Figura 5.8: Esempio di AgmMarker, AgmPolyline e AgmPolygon

Capitolo 6

Soluzione proposta

6.1 Il sistema

Per la realizzazione del sistema descritto nel capitolo precedente è stato necessario realizzare: un database Microsoft SQL Server, un'applicazione Spring Boot che faccia da server e che mediante Hikari, sia in grado di connettersi al DB; una web-app e un app-mobile.

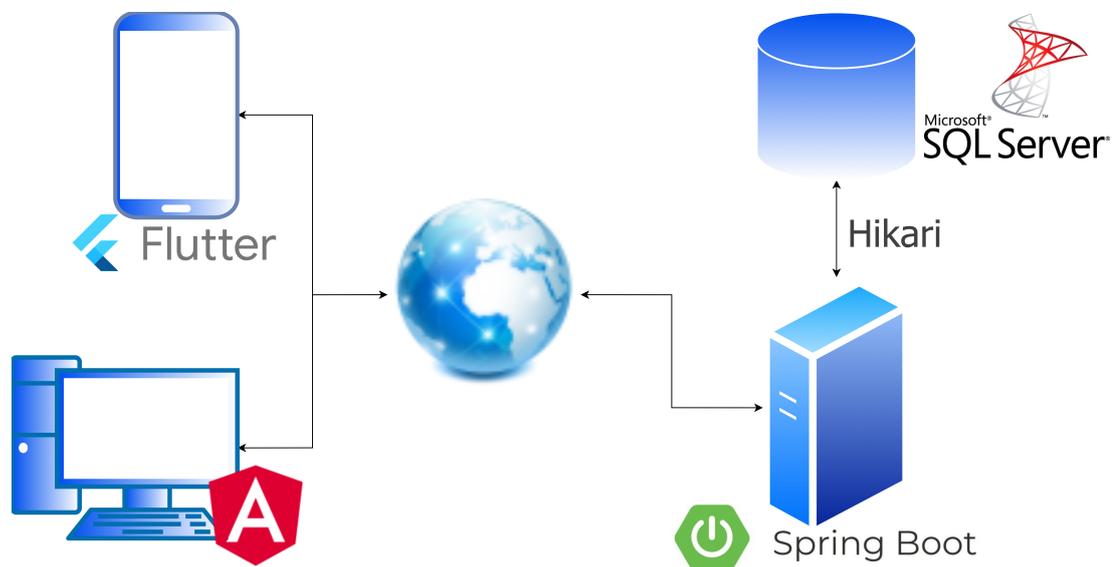


Figura 6.1: Schema a blocchi del sistema realizzato.

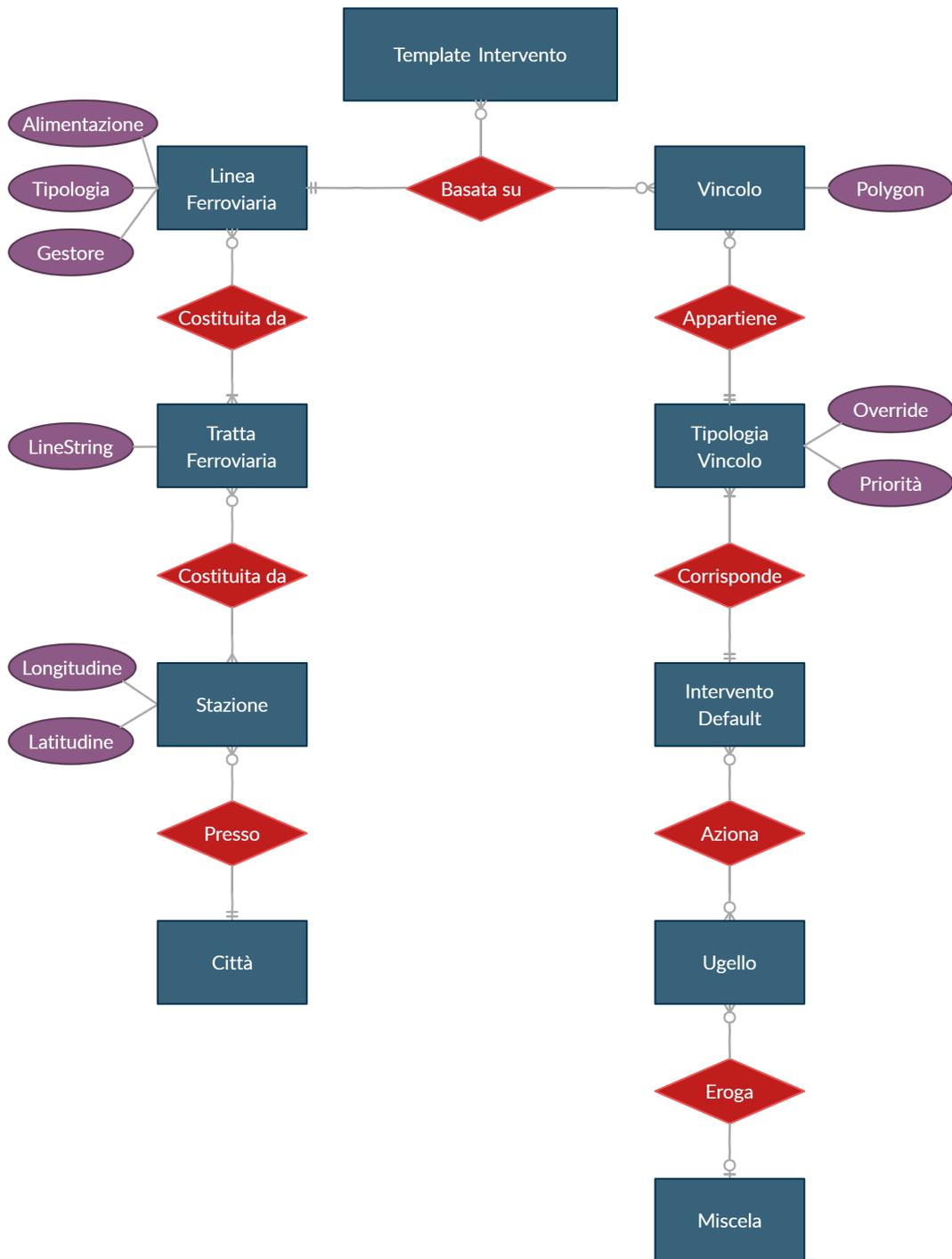
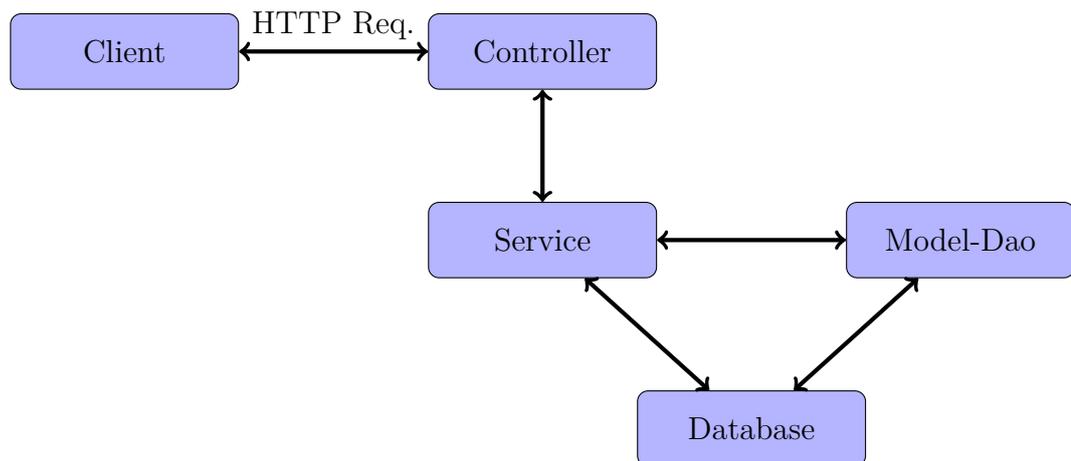


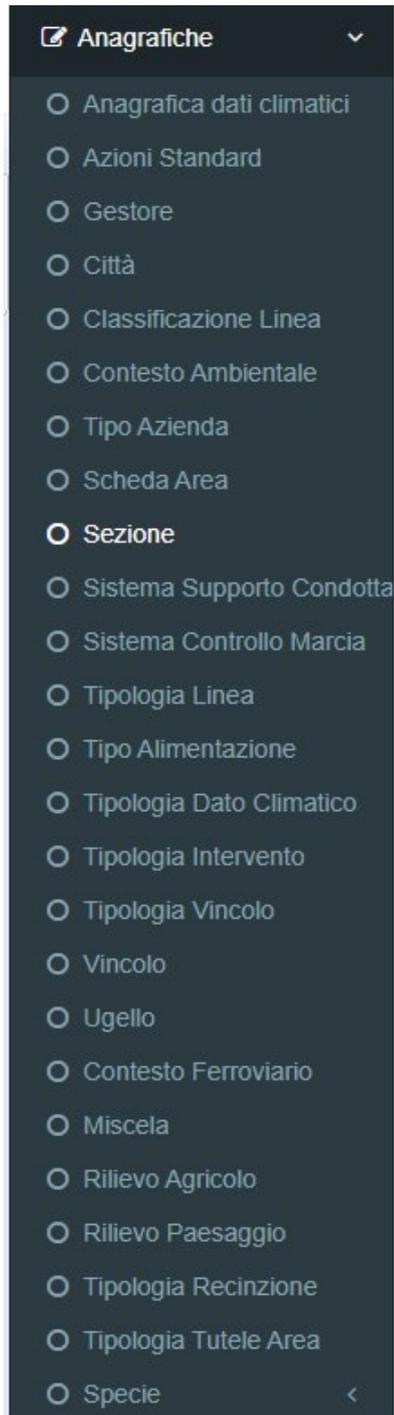
Figura 6.2: Diagramma ER (Entità-Relazione) del sistema.

Il **back-end** è suddiviso in due layer:

- I controller con cui si espongono le chiamate HTTP mediante un set di API (*Application Programming Interface*). Esse vengono invocate direttamente dai client per usufruire delle CRUD (*REST Create, Read, Update e Delete*) implementate nei DAO, definendo i file JSON da restituire.
- I DAO (*Data Access Object*) sono pattern architetturali, che forniscono alcune operazioni specifiche sui dati senza esporre i dettagli del database, mappando le entità storizzate nel DB e le entità utilizzate in Java. Il loro utilizzo consente di separare la parte dell'applicazione che si interfaccia con gli utenti e quella relativa all'elaborazione dei dati acquisiti dal database.

I DTO (*Data Transfer Object*) sono stati realizzati al fine di poter estendere le entità base definite dai modelli (classi Java aventi come attributi i campi presenti nelle varie tabelle), in modo da fornire ai client la combinazione di dati di entità differenti.





Il **front-end** è strutturato in tre tipologie diverse di pagine:

- Le pagine delle *anagrafiche* consentono di visualizzare, inserire, modificare ed eliminare i dati memorizzati nelle tabelle del database richiamando le REST API fornite dal back-end. Mediante tali pagine sarà possibile gestire le varie entità di dato quali ad esempio le tipologie di linee ferroviarie, le stazioni che le costituiscono e i relativi comuni d'appartenenza, i diserbanti utilizzati ecc. Tra queste pagine ne è stata realizzata un'apposita per la gestione delle varie tipologie di vincolo. Queste posseggono diverse proprietà tra cui l'azione di default le quali saranno definite per ogni ugello presente sulla locomotiva: ogni azione stabilirà se settare una specifica miscela o la chiusura dell'ugello. Ciò consente di avere per ogni tipologia di vincolo un set di ugelli e miscele apposito per ogni punto in cui le tratte intersecano i vincoli in questione. Oltre l'azione di default, altre proprietà assegnabili sono la priorità e l'override: la prima sarà utile in fase di creazione di un template, per decidere il tipo di trattamento da effettuare nei punti in cui una tratta intersechi due o più vincoli di tipologie diverse, mentre la seconda è un valore booleano ed indica se l'azione di default può essere modificata dall'agronomo in fase di pianificazione di un intervento.

Le restanti pagine consentono di definire le restanti entità, tra le quali:

- * **Gestore:** azienda che gestisce le infrastrutture lungo la linea e che si occupa della sua manutenzione.
- * **Città:** comune in cui è situata la stazione ferroviaria.
- * **Sistema Supporto Condotta:** un insieme di dispositivi utilizzati nella rete ferroviaria per controllare l'andatura dei treni in relazione alla segnaletica, alla velocità della locomotiva, al grado di frenatura della linea e ad altri eventuali rallentamenti.
- * **Sistema Controllo Marcia:** sistema di sicurezza della marcia della locomotiva. Fornisce il controllo della velocità massima ammessa in relazione ai vincoli imposti dalle caratteristiche dell'infrastruttura, dal segnalamento e dal degrado del treno.
- * **Tipologia Linea:** indica le diverse tipologie di linee e di locomotive che possono utilizzarla (es. alta velocità, treno merci, ecc.).
- * **Tipo Alimentazione:** fonte energetica che permette il moto della locomotiva, quali ad esempio il diesel, l'elettricità o la levitazione magnetica.
- * **Vincolo:** area soggetta a restrizioni nell'uso di diserbanti. In tale pagina, oltre ai dati anagrafici del vincolo (regione di pertinenza, tipologia di vincolo ecc.), è possibile creare e/o modificare la sua rappresentazione grafica, aggiungendo o spostando i marker, modificando di conseguenza l'area che essi occupano.

- La seconda tipologia di pagine sono quelle relative alla *realizzazione delle linee ferroviarie* e delle tratte che le costituiscono. Prima di poter rappresentare graficamente una linea occorre definirne le tratte e le stazioni che la compongono. Per creare una linea l'utente non dovrà far altro che selezionare una stazione alla volta dall'elenco riportante tutte le stazioni memorizzate nel DB e trascinarla all'interno del box relativo all'apposita tratta in cui desidera inserirla. Una volta associato le stazioni alle apposite tratte sarà possibile arricchire la linea con tutte le informazioni anagrafiche come ad esempio il gestore della linea, la sua tipologia e come viene alimentata, ed infine salvarla. La rappresentazione grafica appena creata risulterà imprecisa: inizialmente si presenterà solo come una sequenza di segmenti tra due stazioni successive, senza ulteriori dettagli che poi verranno aggiunti dall'utente (come si vedrà al capitolo 6.2) e che renderà la rappresentazione più fedele al percorso reale. Terminata la fase di rappresentazione grafica della linea sarà possibile elaborare un template di base per le pianificazioni di intervento sulla linea stessa. Tale processo è descritto al capitolo 6.3.

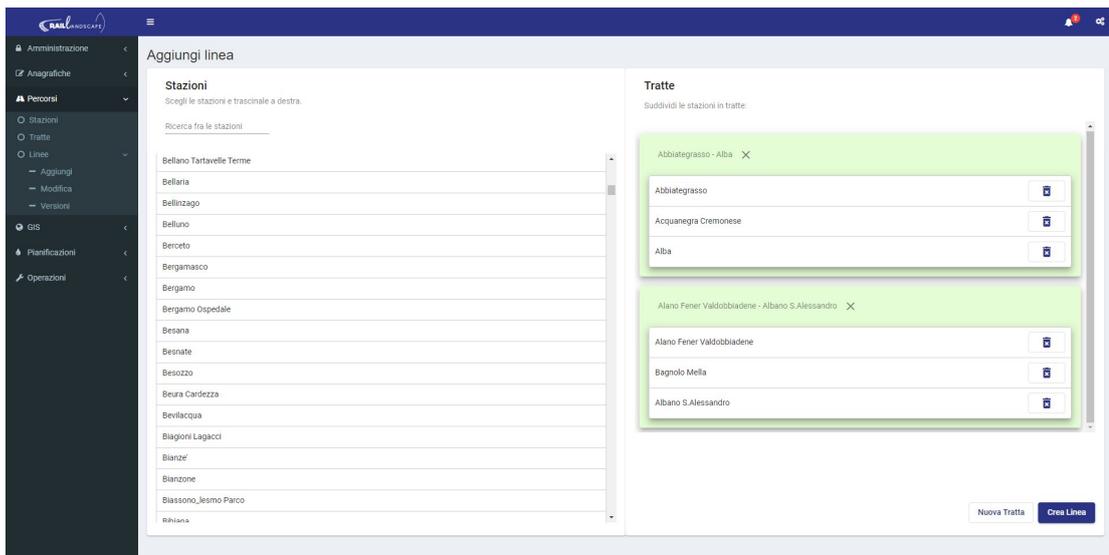


Figura 6.3: Pagina per la creazione di una nuova linea ferroviaria.

- La terza tipologia di pagine riguarda la pianificazione di un intervento di disinserimento, che consente di modificare un template appena generato o uno già esistente. L'agronomo dovrà selezionare una linea dall'elenco di quelle che possiedono un template: la mappa mostrerà i vincoli, i chunk, gli eventuali rilevamenti effettuati in prossimità dei binari ed infine, sulla destra, un riepilogo dei chunk e per ognuno dei quali viene riportato, il set ugello-miscela. I vincoli visualizzati sulla mappa sono caratterizzati da colorazioni differenti per le varie tipologie e verranno rappresentati sia quelli che intersecano la tratta sia quelli che rientrano in un raggio di 200 metri da essa. I chunk sono segmenti lunghi 10 metri che compongono la tratta, i quali verranno contrassegnati da un colore in base all'erogazione che viene settata. I rilevamenti sono rappresentati da un'icona cliccabile con cui è possibile aprire una mat-card e vedere le informazioni acquisite dagli operatori durante i sopralluoghi effettuati ed eventualmente le fotografie scattate sul luogo.

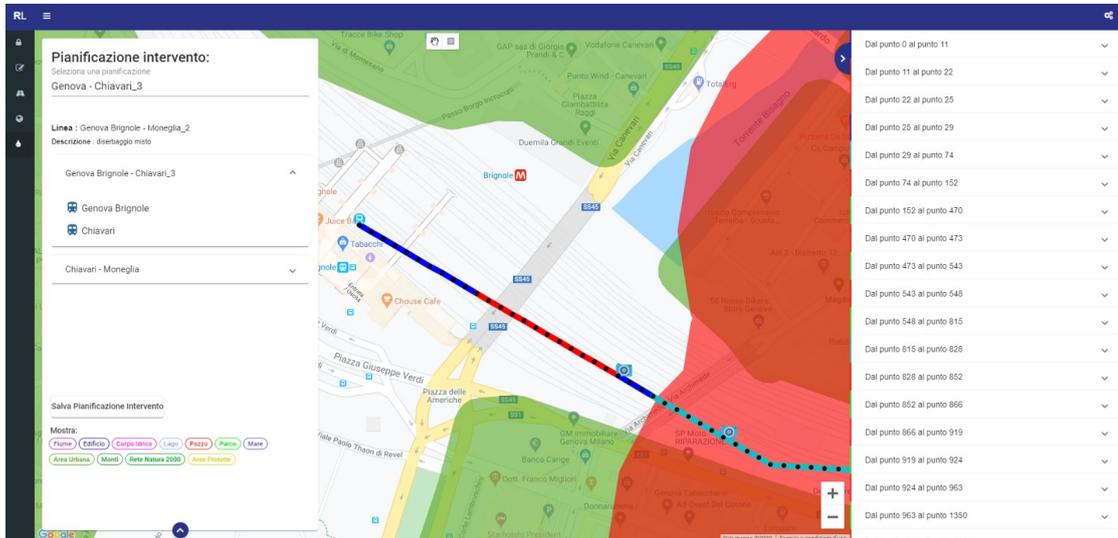


Figura 6.4: Pagina per pianificare un intervento

L'**app-mobile** realizzata in Flutter consentirà agli operatori di scaricare sul proprio device l'elenco delle schede rilievo assegnatogli dagli agronomi e di memorizzare in locale le informazioni raccolte durante i rilevamenti. Su ogni scheda rilievo saranno riportate le coordinate del punto ove effettuare l'analisi e una serie di sezioni, che riportano informazioni quali ad esempio gli interventi e i rilevamenti effettuati in passato su quell'area, le varie tipologie vegetative presenti, gli interventi da effettuare, la caratterizzazione del suolo e i loro rispettivi grafici. Inoltre ognuna delle sezioni è costituita da nove sottosezioni, una per ogni area della strada ferrata: due recinzioni, due extra-camminamenti, due camminamenti, due ballast e un'intervia.

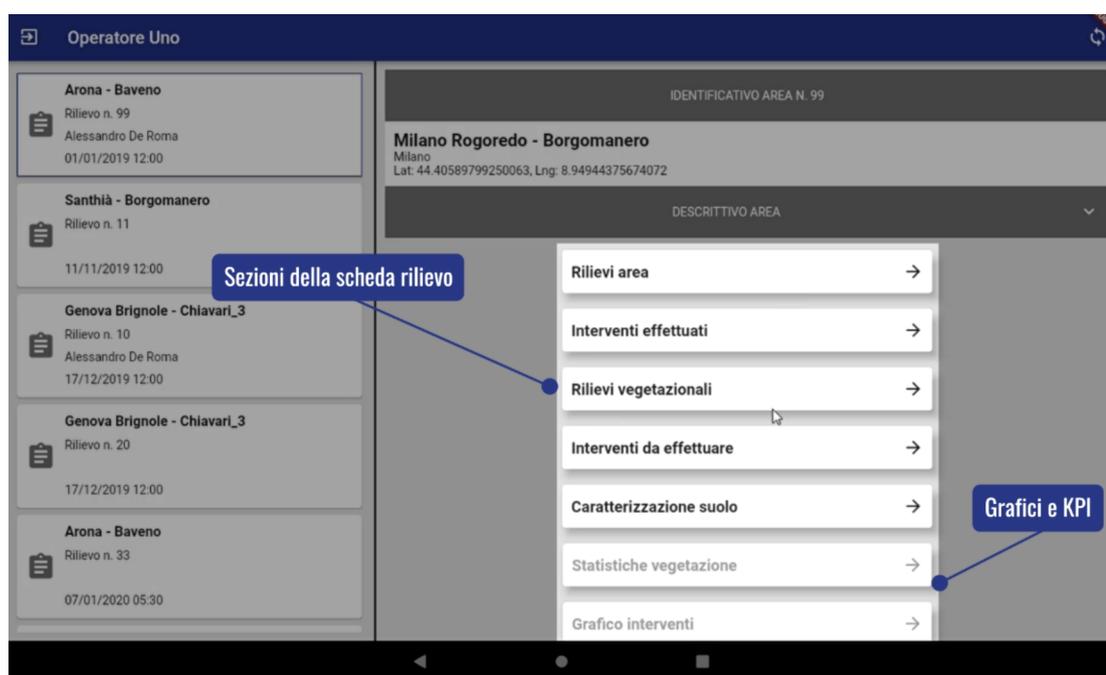


Figura 6.5: Sezioni disponibili nell'app-mobile

Nella sezione “Rilievi area” l'operatore potrà riportare per ognuna delle aree sopracitate le informazioni in merito alle dimensioni, l'eventuale presenza di rifiuti, segnalare di aver prelevato un campione del terreno e potrà scattare delle foto da allegare alla scheda rilievo.

“Rilievi vegetazionali” è la sezione attraverso la quale vengono riportate le tipologie delle vegetazioni presenti, in particolare se si tratta di una specie infestate o meno, la quantità in percentuale dell'area che esse occupano, la loro altezza, il carattere e la forma biologica.

La sezione “Interventi effettuati” consente di avere a disposizione dell'operatore un registro degli interventi già effettuati su l'area analizzata, in modo da poter comprendere meglio l'evoluzione delle infestanti e del resto della vegetazione.

“Interventi da effettuare” riporta per ogni sottosezione una sequenza di diversi tipi di trattamenti da dover compiere in quel tratto.

L’ultima sezione, “caratterizzazione del suolo”, elenca tutte le proprietà che caratterizzano il terreno come l’umidità, il PH, gli elementi che la compongono (sabbia fine, sabbia grossa, argilla ecc.) e la quantità di composti chimici quali (glifosate, AMPA, flazasulfuron ecc.).

Una volta terminato il rilievo, l’operatore salverà sul proprio dispositivo la scheda compilata e successivamente mediante un’operazione di sincronizzazione, sarà memorizzata nel DB e resa disponibile agli agronomi per le future pianificazioni.

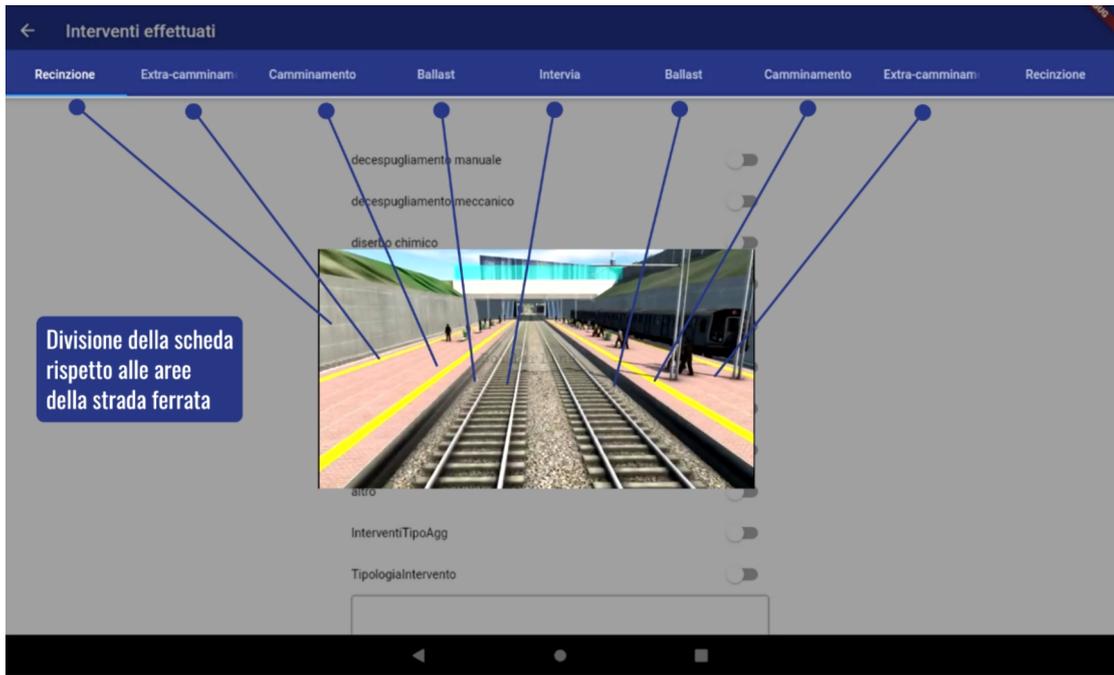


Figura 6.6: Suddivisione strada ferrata

6.2 Rappresentazione grafica di una linea ferroviaria

Come precedentemente descritto nel capitolo 6.1, è possibile definire nel sistema una nuova linea ferroviaria mediante l'apposita pagina dell'anagrafica. Quando viene creata una linea questa risulta imprecisa perché costituita da una sequenza di segmenti tra due stazioni successive.

La rappresentazione grafica di una linea ferroviaria è resa possibile mediante la libreria *AGM* (Angular Google Map) con la quale, conoscendo le coordinate geografiche delle stazioni, è possibile posizionare i marker di queste ultime sulla mappa e realizzare le polyline che li collegano.

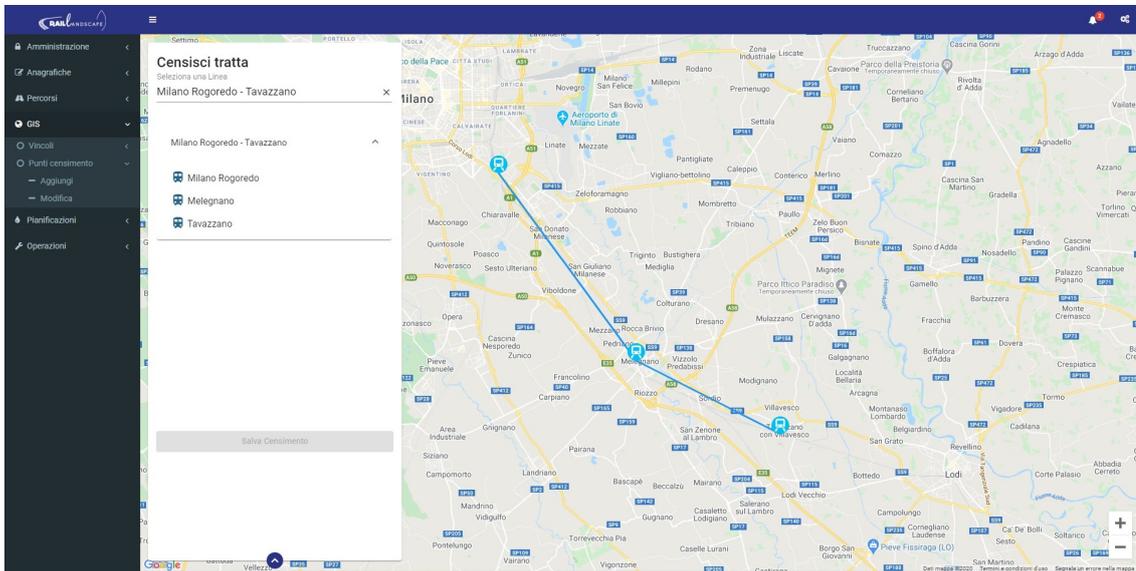


Figura 6.7: Esempio di una linea appena creata.

La figura 6.7 rappresenta un esempio grafico di una linea appena definita ed è possibile osservare come la linea *Milano Rogoredo - Tavazzano* sia composta da una sola tratta la quale a sua volta comprenda 3 stazioni. Adesso è necessario rendere accurato il più possibile la rappresentazione della linea in modo da poter riprodurre fedelmente l'andamento dei binari. Grazie alla libreria *AGM* è possibile interagire con gli elementi della mappa e, in particolare, con le polyline: cliccando su di esse è possibile aggiungere un nuovo marker nel punto selezionato, dividendo il segmento in due più piccoli. A questo punto è possibile collocare il nuovo marker nella posizione corretta al fine di far combaciare la polyline ai binari della ferrovia presenti sulla mappa Google (figura 6.8). Ripetendo tale operazione più volte e su tutte le tratte si ottiene una linea fedele e realistica (in figura 6.9 è possibile visionare un esempio).

Nel caso in cui però la nuova linea creata sia formata da una o più tratte definite precedentemente per altre linee, essa apparirà precisa e dettagliata solo lungo tali tratte e sarà composta da un unico segmento nelle tratte restanti.

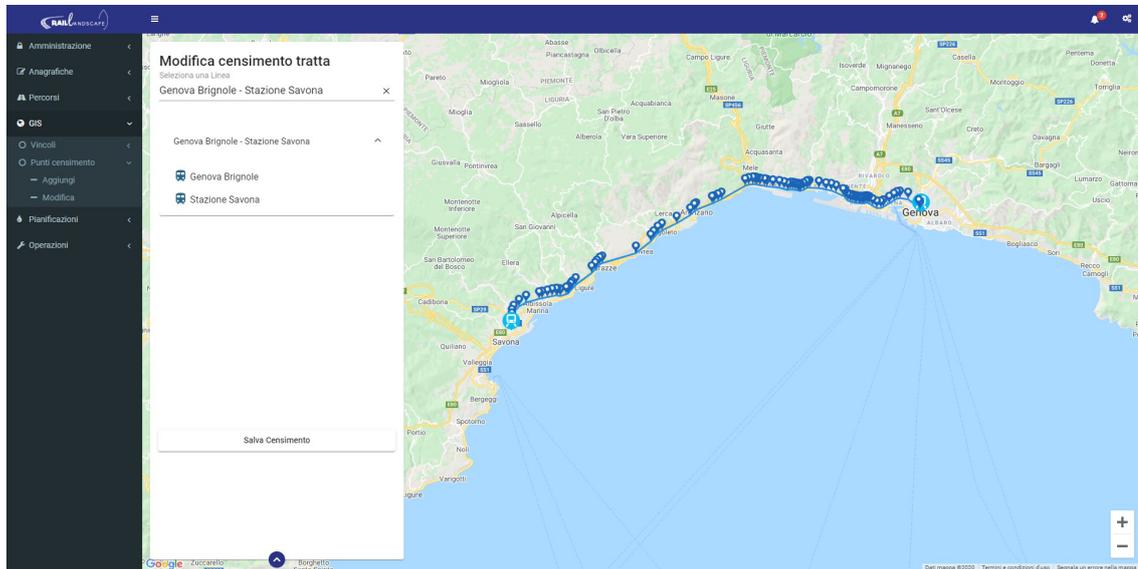


Figura 6.8: Linea in fase d'inserimento dei marker.

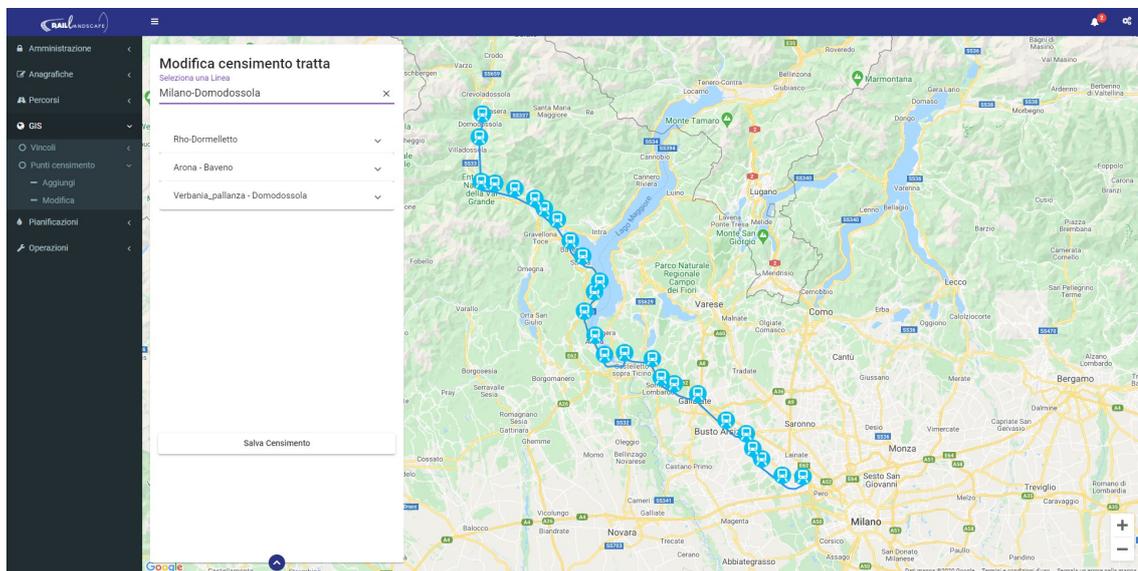


Figura 6.9: Rappresentazione finale di una linea.

6.3 Creazione di un template di base

Dopo aver ultimato l'operazione precedentemente descritta e memorizzati nel database i vincoli come oggetti "polygon" della classe Geography, è possibile elaborare un template di default per la pianificazione di un intervento di diserbaggio sulla linea. Mediante una REST API si avvia una "stored procedure"¹ la quale, utilizza i metodi STBuffer e STIntersection per suddividere ogni tratta della linea in polyline lunghe 10 metri, dette chunk, memorizzate nel DB come oggetti LineString (precedentemente descritti nel capitolo 5.7). Inoltre la stored procedure, sfruttando gli indici spaziali², seleziona per ogni tratta i vincoli che la intersecano e per ciascuno dei suoi chunk ricerca tale intersezione tramite il metodo STIntersects. Quest'ultimo riceve dunque come parametri di input due oggetti Geography: una LineString e un Polygon che rappresentano rispettivamente un chunk e un vincolo. Il metodo restituisce 1 se vi è un'intersezione, altrimenti 0: nel primo caso viene applicato sul chunk l'azione di default definita per la tipologia del vincolo intersecato, mentre nel secondo non si effettua alcuna modifica all'azione già settata. Nel caso in cui un chunk dovesse intersecare due o più vincoli di tipologie diverse verrà settata l'azione della tipologia vincolo con priorità maggiore. Al termine della stored procedure si ottiene una linea costituita da una sequenza di chunk ai quali è stato applicato un set di ugelli-miscele. Come è possibile vedere nelle figure 6.10 e 6.11, i chunk, su cui vi sono delle restrizioni sull'erogazione di miscele, sono rappresentati con una colorazione verde mentre quelle prive di limitazioni in rosso. Tale colorazione potrà a sua volta essere modificata dall'utente, distinguendo le diverse azioni settate sui chunk.

¹Una stored procedure in SQL Server è un gruppo di una o più istruzioni Transact-SQL oppure un riferimento a un metodo CLR (Common Runtime Language) di Microsoft .NET Framework. [18]

²Un indice spaziale è un tipo di indice esteso che consente di indicizzare una colonna spaziale. Una colonna spaziale è una colonna della tabella che contiene dati spaziali, ad esempio geometry o geography. [19]

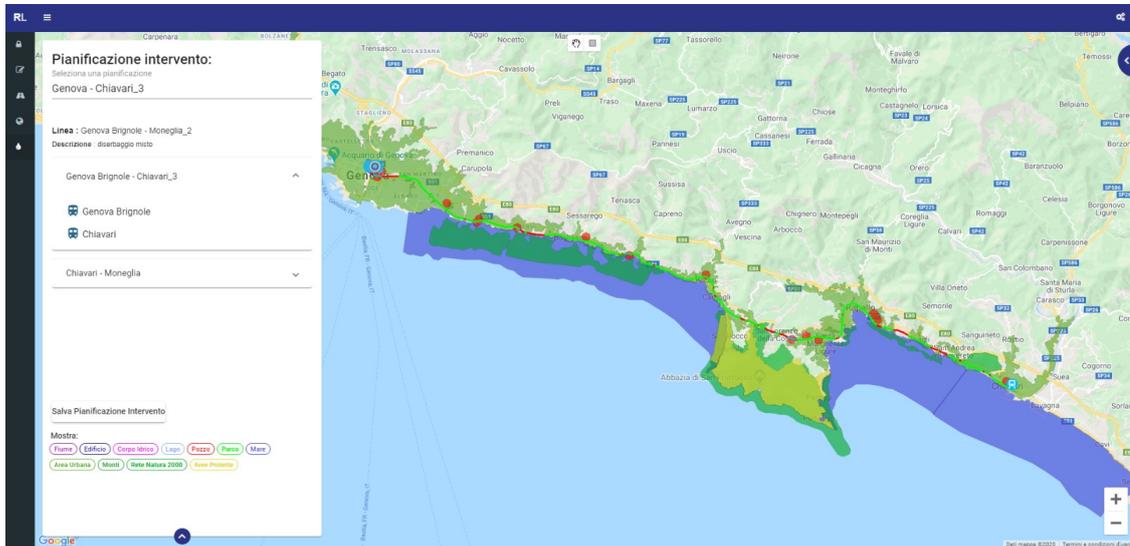


Figura 6.10: Linea selezionata per una nuova pianificazione.

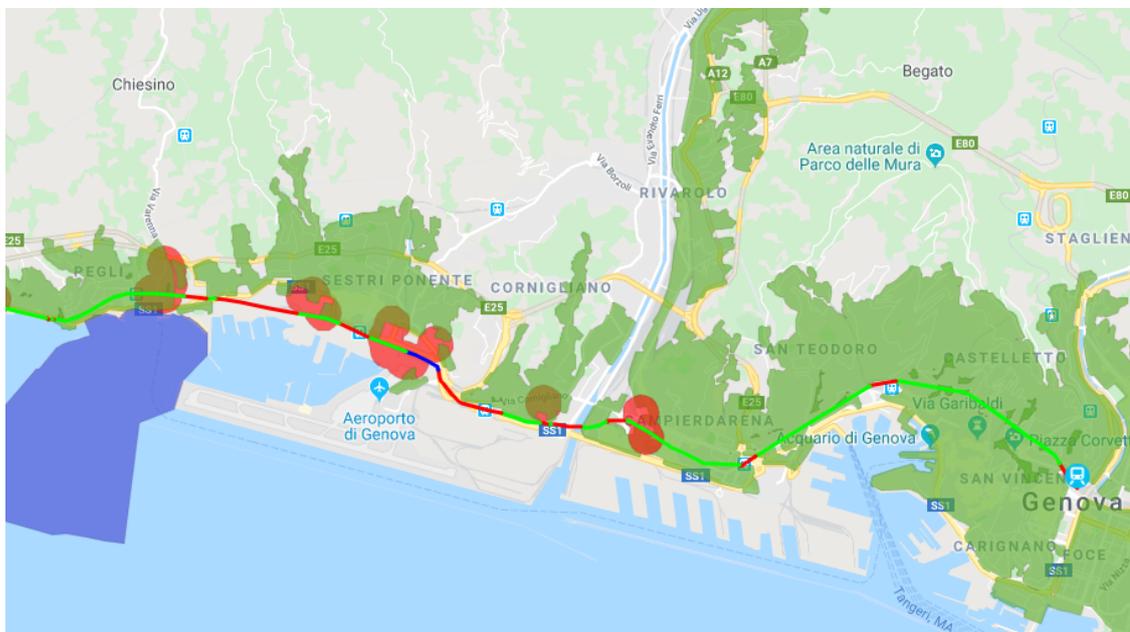


Figura 6.11: Dettaglio dei un template.

6.4 Pianificazione di un intervento

La pianificazione di un nuovo intervento di diserbaggio è gestita tramite un pagina dedicata della web-app, tramite la quale è possibile selezionare la linea di cui si desidera arricchire il template base descritto nel paragrafo precedente oppure una già utilizzato per pianificazioni passate. La mappa mostra: una sequenza di chunk, un insieme di poligoni con il quale vengono raffigurate le aree soggette a restrizioni che intersecano o che distano meno di 200 metri dai binari, contrassegnati da colori distinti in base alla loro tipologia ed infine delle icone cliccabili con cui è possibile visualizzare i dati raccolti dagli operatori durante i loro rilevamenti.

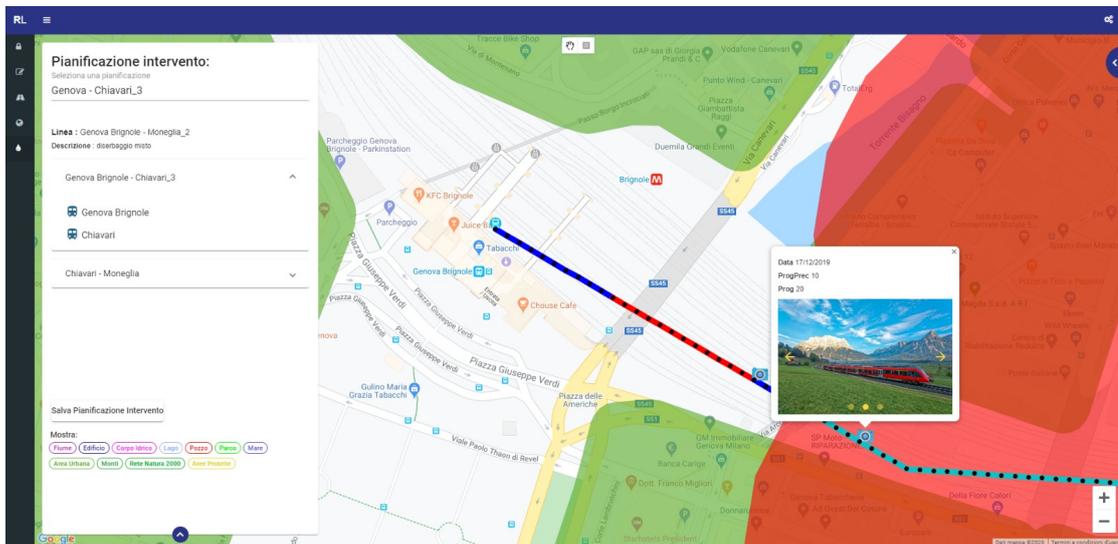


Figura 6.12: Dettaglio di una pianificazione di intervento.

Oltre alla mappa, la pagina contiene altre due aree: la prima si trova sulla sinistra e riporta le informazioni basilari della linea selezionata e in particolare della tratta che si sta visualizzando, la seconda è un riassunto dei chunk raggruppati in base al tipo di intervento definito su di essi. L'agronomo, selezionando un insieme di chunk, può osservare la configurazione definita su di essi e decidere se modificarla chiudendo gli ugelli o aprendoli specificando la miscela da utilizzare. Terminata la pianificazione il template è pronto per l'ultima fase, quella di scheduling, in cui si definisce la data di inizio e fine validità.

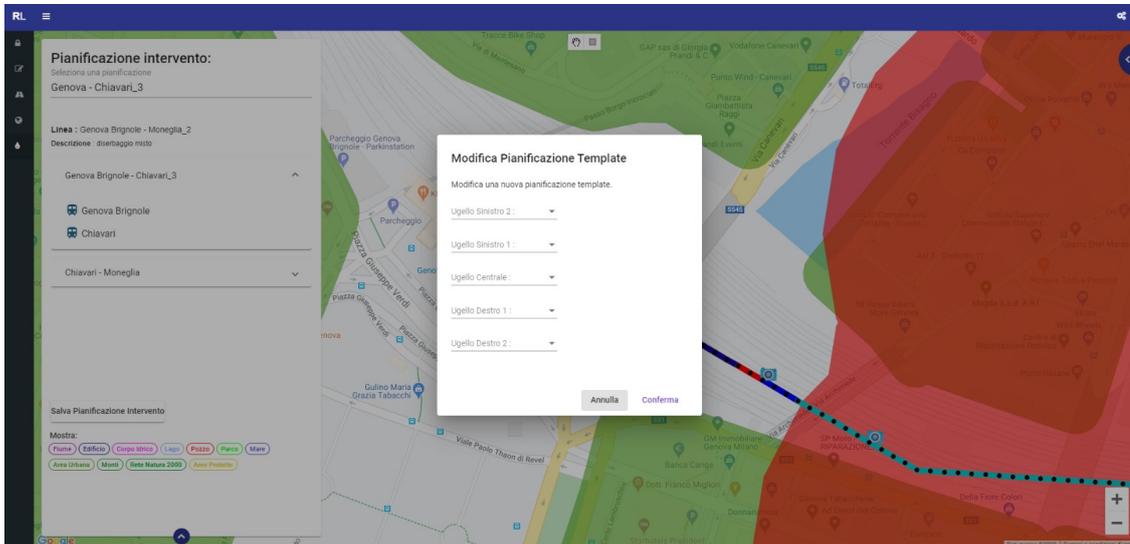


Figura 6.13: Settaggio delle miscele per ogni ugello.

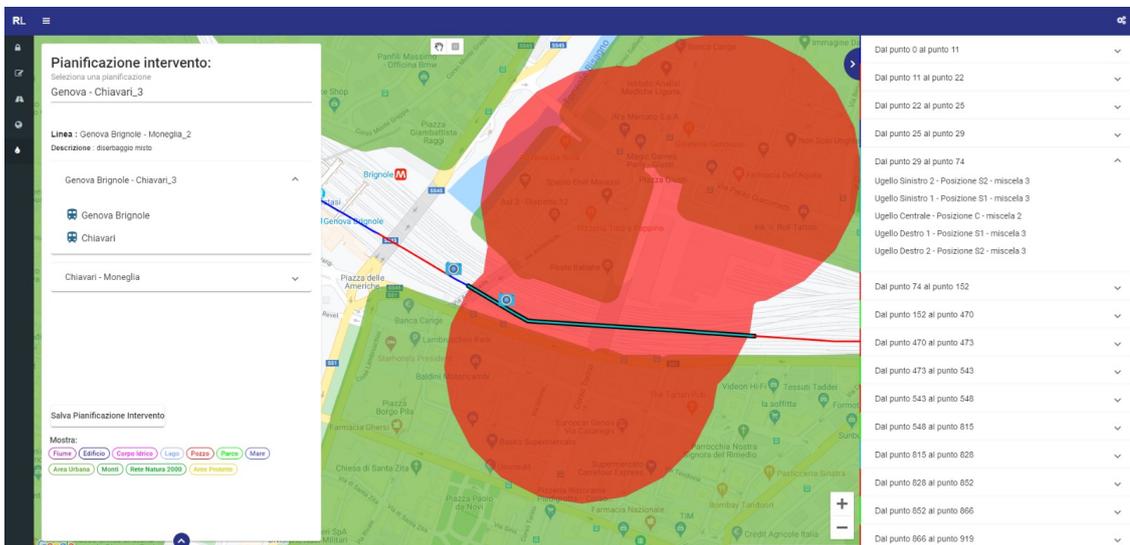


Figura 6.14: Dettaglio dei chunk selezionati.

6.5 Acquisizione ed elaborazione delle immagini acquisite on board

La fase di acquisizioni di immagini è una tra le più importanti dell'intero progetto, poiché tramite un programma che cattura le immagini dall'esterno della locomotiva, il sistema integrato sarà in grado di distinguere le diverse piante, scegliere autonomamente l'opportuno diserbante e in che direzione erogarlo.

Questa fase, pur essendo ancora iniziale, è stata affrontata. E' stata realizzata un'apposita libreria open source per osservare lo streaming riprodotto da una telecamera di tipo Flir, installata su un treno, in grado di catturare 30 frames al secondo alla risoluzione di 4K.

La libreria è stata scritta in Kotlin e C e il funzionamento consiste nel leggere lo streaming della telecamera attraverso le librerie di flycapture; durante la lettura vengono aperti più thread che gestiscono i vari frame della fotocamera ognuno dei quali viene analizzato da opencv tramite le sue Core lib. Opencv dividerà l'immagine in 9 quadrati (fig 6.15), scarnerà i 3 centrali e cercherà delle tonalità di verde, definite precedentemente dagli agronomi, consentendo al sistema di individuare le differenti tipologie di vegetazione. Quando vengono trovate immagini contenenti delle potenziali piante, viene scritto un log e viene inviato un segnale ad un software plc collegato alla macchina sulla quale è installata la libreria (ad oggi viene scritto un file su una macchina per avvisare l'utente). Tale macchina ha un sistema operativo linux, alimentato via POE (Power over Ethernet) situata in un'apposita area del treno.

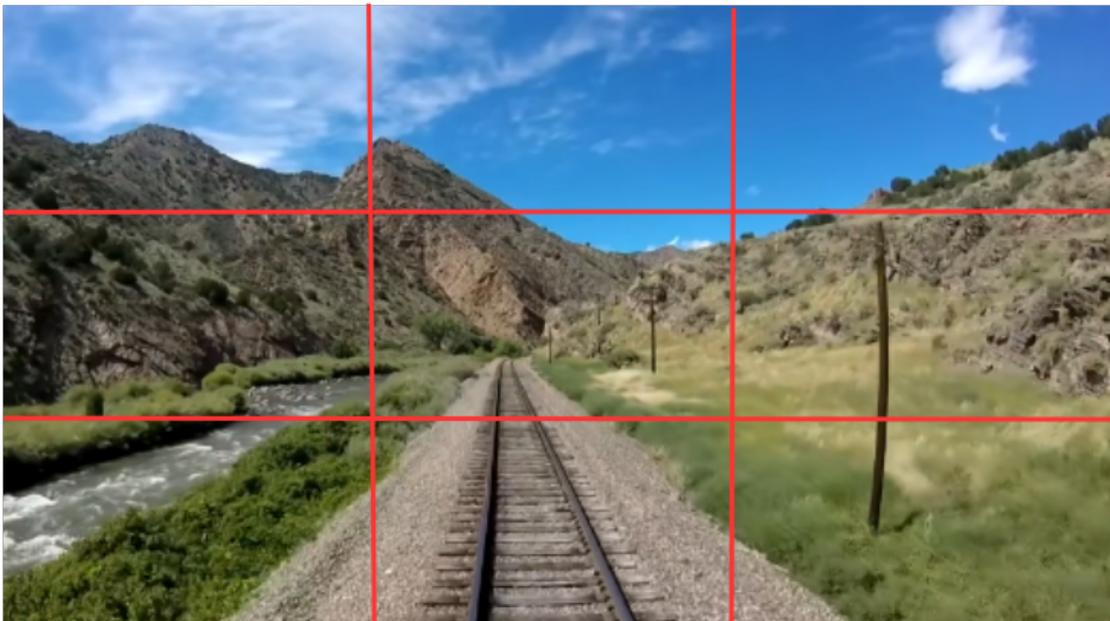


Figura 6.15: Esempio di suddivisione di un frame.

Terminata l'implementazione, per verificare il funzionamento del programma sono stati effettuati dei test di prova, mediante degli appositi video, simulandone il monitoraggio. Il programma risulta essere molto accurato, in quanto ricontrollando tutti i frames scartati nessuno di essi conteneva delle gradazioni di verde comprese nel range stabilito.

Tuttavia abbiamo notato che il programma selezionava anche dei frames contenenti una gradazione di verde accettabile causati dal riflesso della luce sullo schermo, il che ci fa capire quanto il programma di riconoscimento dei colori sia preciso. Sono stati effettuati degli altri test sostituendo il verde con l'arancione.

Durante la proiezione del video su schermo è stata fatta passare davanti alla telecamera un'arancia e il programma è stato in grado di selezionare solo i frames in cui è visibile il frutto, mentre tutti i restanti sono stati scartati.

In particolare durante il periodo di osservazione sono stati analizzati circa 1500 frames in circa di 50 secondi. Facendo passare davanti alla telecamera ad intervalli regolari di 15 secondi un'arancia, si è osservato che solo 59 frames contenevano un colore compreso nel range di arancione da noi selezionato, esclusi gli scarti delle aree centrali di ogni frame effettuati dal programma.

Accostando a tale programma un algoritmo di machine learning sarà possibile, oltre ad individuare le piante, distinguerne la specie e rilevare eventuali variazioni delle infrastrutture ferroviarie rispetto ai rilevamenti precedenti.

Come prima caratteristica l'algoritmo di machine learning dovrà consentire di effettuare una classificazione delle immagini: dato un set di immagini appartenenti tutte ad una singola categoria, si cerca di prevedere se quest'ultima appare in un nuovo set di immagini di prova misurandone l'accuratezza delle previsioni.

Facciamo un esempio. Prendiamo come riferimento una delle possibili categorie che il nostro algoritmo dovrà essere in grado di riconoscere: l'albero. Il sistema sarà implementato in modo tale che possa distinguere all'interno di una batteria di immagini, acquisite dai vari strumenti installati sulla locomotiva e descritti al capitolo 5.1, le diverse categorie di interesse, nel caso del nostro esempio saprà distinguere un albero da una pianta o da un componente dell'infrastruttura.

Successivamente, vediamo come, l'algoritmo sarà in grado non solo di distinguere le diverse categorie di interesse presenti in un'immagine, ma anche di identificare nel dettaglio le diverse tipologie. Prendendo ancora come esempio la categoria dell'albero, l'algoritmo sarà capace di distinguere le varie tipologie di specie vegetative esistenti nel territorio.

Esistono algoritmi che sono capaci di identificare molti oggetti e altri che si focalizzano solo su un oggetto dominante. Nel contesto finora descritto sarà necessario focalizzarsi sia sulle varie tipologie di vegetazione infestanti che si possono trovare lungo la linea ferroviaria, sia su quelle innocue le quali dovranno essere preservate al fine di garantire un terreno stabile nelle prossimità dei binari ed un paesaggio gradevole.

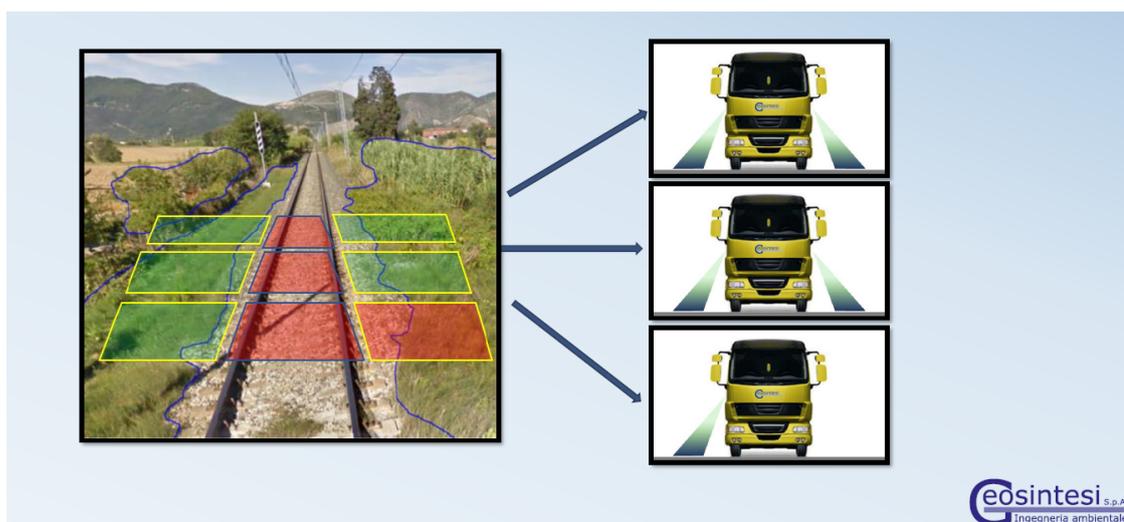


Figura 6.16: Rappresentazione del funzionamento finale [20].

L'obiettivo è quello di implementare un programma che sia capace di acquisire le immagini dell'ambiente esterno circostante alla locomotiva, ricercando tra le immagini acquisite, le specie catalogate come infestanti ed infine trattarle erogando in modo automatico l'opportuno diserbante.

La complessità di questo programma, dunque, risulta essere principalmente la capacità di classificare le varie tipologie di piante. Come accennato precedentemente, per effettuare una classificazione ottimale è necessario avere un set di immagini ampio (centinaia/ migliaia) per ogni specie infestante. Grazie a questa classificazione è possibile distinguere la vegetazione per età, luminosità e colore delle foglie, angolazioni e stagione di osservazione (estate, autunno, inverno o primavera).

Oltre alle specie vegetative dovranno essere rilevati e distinti tutti gli elementi appartenenti all'insieme delle opere infrastrutturali che caratterizzano una linea ferroviaria (ponti, gallerie, ecc.) al fine di poter confrontare l'immagine appena acquisita con quelle raccolte nei passaggi precedenti. Tale confronto sarà realizzato mediante un processo di *Predictive Maintenance*, il quale permetterà di individuare le differenze tra i vari rilevamenti, consentendo di segnalare prontamente eventuali anomalie, deformazioni o deterioramenti delle opere d'arte garantendo un pronto intervento di manutenzione.

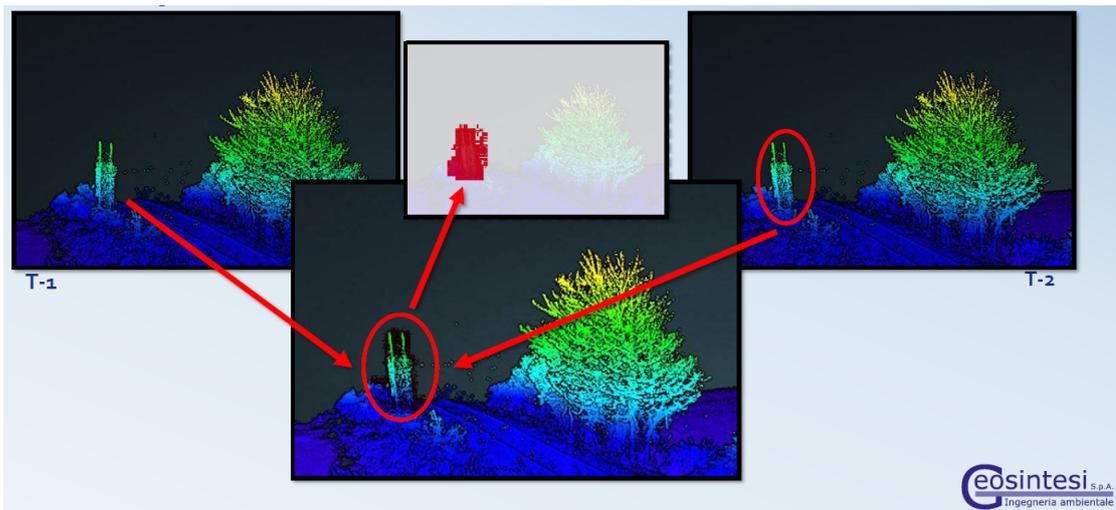


Figura 6.17: Processo di Predictive Maintenance su un elemento dell'infrastruttura ferroviaria [20].

Capitolo 7

Conclusioni e sviluppi futuri

In questo progetto di tesi è stato implementato un sistema informatico che consente di automatizzare e ottimizzare la pianificazione di un intervento di diserbo lungo una linea ferroviaria al fine di monitorare e contenere la crescita della vegetazione lungo l'infrastruttura, garantirne l'affidabilità e la sicurezza e ridurre i costi di gestione. Il sistema composto da un server Java, una web-app e un'app-mobile, permette di intervenire sulla linea in maniera puntuale, rendendo la manutenzione e la gestione della vegetazione efficiente. Il risultato più importante è l'aver automatizzato la creazione di un template base di intervento. Il template generato tiene già in considerazione i numerosi vincoli che vi sono lungo i binari ferroviari o nelle aree limitrofe riducendo notevolmente i tempi di pianificazione. Il sistema ottenuto può essere considerato come un'ottima base per il proseguo dell'intero progetto della durata pluriennale.

Il passo successivo sarà quello di installare il programma di acquisizione dati e tutti gli strumenti necessari per la cattura delle immagini sulla locomotiva e testarne l'affidabilità. Al fine di consentire la corretta erogazione di diserbanti nei punti definiti nella pianificazione realizzata dagli agronomi, sarà fondamentale aggiungere anche un sistema di localizzazione tramite il quale sarà possibile rilevare con precisione la posizione del treno lungo la linea che si sta percorrendo.

Successivamente sarà necessario implementare un algoritmo in grado di individuare e distinguere in real-time le varie tipologie di vegetazione presenti lungo i binari, scegliendo quando e quale diserbante erogare. Il sistema di acquisizione delle immagini dovrà inoltre analizzare le strutture delle opere d'arte presenti e confrontarle con le immagini acquisite nei passaggi precedenti. Nel caso in cui la struttura abbia subito una deformazione rispetto al passaggio precedente il sistema dovrà segnalarlo al fine di consentire un immediato intervento di manutenzione.

Terminati tali sviluppi si otterrà un sistema che fornirà un servizio completo di monitoraggio e contenimento della crescita della vegetazione presente lungo le infrastrutture al fine di garantirne l'affidabilità e la sicurezza ma che consentirà

anche la totale gestione del paesaggio percepito migliorando la qualità dei viaggi e dei vari servizi.

Bibliografia

- [1] <http://hdl.handle.net/2318/45882>
- [2] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/09/Steam_locomotive_rocket.png, settembre 2020
- [3] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cc/Locomotiva_a_vapore_Vesuvio.gif, settembre 2020
- [4] <https://i2.res.24o.it/images2010/Editrice/ILSOLE240RE/ILSOLE240RE/2020/01/17/Impresa%20e%20Territori/ImmaginiWeb/Ritagli/frecciarossa1000-kpCI--1020x533@IlSole240re-Web.jpg>, settembre 2020
- [5] Lulli, L., et al. La gestione fisica della flora spontanea in area urbana: un mezzo concreto per la tutela dell'ambiente e della salute dei cittadini. Ed. Andrea Peruzzi. Felici, 2009.
- [6] E. Mancusi, La gestione del verde in ferrovia, La tecnica professionale n.5, maggio 2005
- [7] <https://www.oggitreviso.it/sites/default/files/styles/505/public/field/image/1%20Pirodiserbo%20sulla%20tradotta.jpg?itok=9wjHBGdz>, settembre 2020
- [8] https://www.mulag.de/typo3temp/fl_realurl_image/mulag-170920932d-me700db-brk1200-ungarn-einsatz-49.jpg, settembre 2020
- [9] http://www.geosintesispa.it/static/media/gallery_12.adf4719a.jpg, settembre 2020
- [10] G. Acquaro, E. Mancusi, Il controllo della vegetazione in ferrovia, Impatto delle nuove normative europee sull'uso dei diserbanti n.2, febbraio 2013
- [11] <https://magazine.leviedeitesori.com/wp-content/uploads/sites/4/2020/02/Stazione-di-Lercara-Bassa-foto-Giorgio-Stagni-Wikipedia.jpg>, settembre 2020
- [12] http://storage.ning.com/topology/rest/1.0/file/get/2113885?profile=RESIZE_1024x1024, settembre 2020
- [13] <https://lh3.googleusercontent.com/proxy/bYUab0NcBbP3K7-i056AefQo8an0zPo9Ual-SfFhmQ2jGjk5Phw7qSCwwiXJiaaEisFC-PlaQTOm2h0PGu-EDb861EpPXSZo0LQ>, settembre 2020

- [14] <https://www.flir.ca/globalassets/imported-assets/image/ax5.png>, settembre 2020
- [15] http://www.geosintesispa.it/static/media/gallery_06.ea8cba80.jpg, settembre 2020
- [16] <https://flutter.dev/images/arch-overview/platform-channels.png>, settembre 2020
- [17] www.docs.microsoft.com/it-it/sql/t-sql/spatial-geography/ogc-methods-on-geography-instances
- [18] www.docs.microsoft.com/it-it/sql/relational-databases/stored-procedures/stored-procedures-database-engine
- [19] www.docs.microsoft.com/itit/sql/relational-databases/spatial/spatial-indexes-overview
- [20] Geosintesi S.p.A., RailLandscape, Bruxelles, marzo 2019