



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA MECCANICA

Corso di Laurea triennale

STUDIO, PROGETTAZIONE E SVILUPPO

DELL'ARMAMENTO FERROVIARIO

STUDY, PLANNING AND DEVELOPMENT

OF RAILWAY SUPERSTRUCTURE

Relatore:

Chiar.mo Prof. **Archimede Forcellese**

Tesi di Laurea

Marco Croci

A.A. 2020 / 2021

INDICE

- Introduzione	3
- Capitolo. 1 “Gruppo Ferrovie dello Stato”	4
- Capitolo. 2 “Le società del gruppo”	6
- Capitolo.3 “La storia del gruppo”	11
- Capitolo.4 “Rete Ferroviaria Italiana S.p.A.”	14
- Capitolo.5 “Struttura territoriale di R.F.I.”	15
- Capitolo.6 “I progetti nella regione Marche”	17
- Capitolo.7 “Le tecnologie di R.F.I.”	18
- Capitolo.8 “Sistema manutentivo di R.F.I.”	20
- Capitolo.9 “Innovazione sui sistemi di mobilità”	23
- Capitolo.10 “Meccanica della locomozione”	27
- Capitolo.11 “I veicoli ferroviari”	33
- Capitolo.12 “L’armamento ferroviario e i parametri di progettazione”	35
- Capitolo.13 “Manutenzione dell’armamento”	47
- Conclusioni	49
- Bibliografia e sitografia	50

INTRODUZIONE

Questo elaborato si sviluppa sulla mia attività lavorativa intrapresa in data 07/04/21. Al momento ricopro il ruolo di progettista nel reparto Armamento, struttura organizzativa di ingegneria della Direzione Operativa Infrastrutture Territoriali di Ancona per Rete Ferroviaria Italiana S.p.A.

Prima di analizzare la progettazione e tutto ciò che ne concerne per lo sviluppo di un lavoro secondo la normativa vigente introdurrò il Gruppo Ferrovie dello Stato (brevi cenni verranno effettuati anche sulla storia del gruppo FS) e l'azienda Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. che ne fa parte, facendo un quadro più chiaro dell'organizzazione aziendale e di come si suddivide sul territorio italiano.

Si andrà ad analizzare l'aspetto cardine del lavoro di R.F.I. ovvero la manutenzione dell'infrastruttura e come viene classificata. Sarà riportata anche una descrizione delle tecnologie adottate nei vari lavori e una breve descrizione di un importante progetto nella regione Marche.

Aspetto fondamentale di una grande azienda è l'innovazione, nel caso di R.F.I. si parla quindi di innovazione della mobilità.

L'introduzione alla meccanica della locomozione permetterà una comprensione migliore dell'infrastruttura ferroviaria.

Quest'ultima sarà descritta al meglio, analizzando gli elementi che la compongono e le loro caratteristiche e dopo aver effettuato lo studio si parlerà di progettazione e posa in opera.

In conclusione, si analizzeranno i valori fondamentali dell'azienda R.F.I. e di conseguenza del gruppo FS.

CAPITOLO 1: “GRUPPO FERROVIE DELLO STATO”

Nel **1905** nasceva Ferrovie dello Stato, una tappa importante nel processo di unificazione dell'Italia. Da più di un secolo al servizio dei cittadini, il Gruppo ha contribuito alla crescita economica, sociale e culturale del Paese.

Una **grande rete pulsante**, 24 ore su 24, al servizio di tutti; un meccanismo di precisione che ha bisogno dell'impegno di donne e uomini. Sono professionisti, ferrovieri per vocazione e con un profondo senso di appartenenza, le donne e gli uomini che si dedicano a questo lavoro con passione, in tutte le condizioni e in qualunque angolo del Paese.

Innovazioni, record, grandi opere strategiche hanno caratterizzato la storia delle Ferrovie dello Stato e sono entrate a far parte della vita degli italiani. **Cambiamento, sviluppo, modernità** sono le leve che da sempre ci spingono a fare meglio. Le aziende del gruppo possono essere suddivise in 4 gruppi principali: servizi immobiliari, altri servizi, trasporto ed infrastruttura dove opera R.F.I.

Il gruppo Ferrovie dello Stato Italiane costituisce attualmente una delle più grandi realtà industriali del Paese per la realizzazione e gestione di opere e servizi nel trasporto ferroviario. Il gruppo FS Italiane è attualmente leader nel trasporto passeggeri su ferro, con l'88% di quota di mercato, e in quello delle merci su ferro con il 7%. Conta circa 82.000 dipendenti, oltre 10.000 treni ogni giorno (di cui circa 8.000 in Italia e oltre 2.000 all'estero), circa 750 milioni di passeggeri su ferro (di cui 600 in Italia e 150 all'estero), 300 milioni di passeggeri su gomma e 50 milioni di tonnellate di merci trasportate all'anno.



Logo del gruppo Ferrovie dello Stato. Fig.1

La vision del gruppo è “diventare l’impresa di sistema che implementerà un’offerta di servizi di mobilità e di logistica integrati e sostenibili sfruttando diverse infrastrutture di trasporto in sinergia”.

Tutte le scelte strategiche del gruppo sono di fatto guidate dai principi di etica e sostenibilità che, nello specifico, influenzano sei aree di interesse aziendale: le persone del gruppo, la collettività, i fornitori, i clienti, gli altri stakeholder e l’ambiente.

L’integrazione, intesa in termini di intermodalità, rappresenta il fattore chiave che accomuna i cinque “pilastri” strategici individuati e perseguiti dal Piano Industriale 2017- 2026:

- mobilità integrata, intesa come collaborazione tra tutti gli operatori nel settore dei trasporti - treno, metropolitana, trasporto pubblico su gomma, mondo sharing (car/scooter/bike);

- allo scopo di rendere più semplice e piacevole l’esperienza di viaggio e facilitare gli spostamenti door to door dal punto di partenza alla destinazione finale utilizzando solo ed esclusivamente i sistemi di trasporto collettivo;

- logistica integrata, basata su una radicale riorganizzazione del comparto merci e la creazione di un polo unico della Logistica;

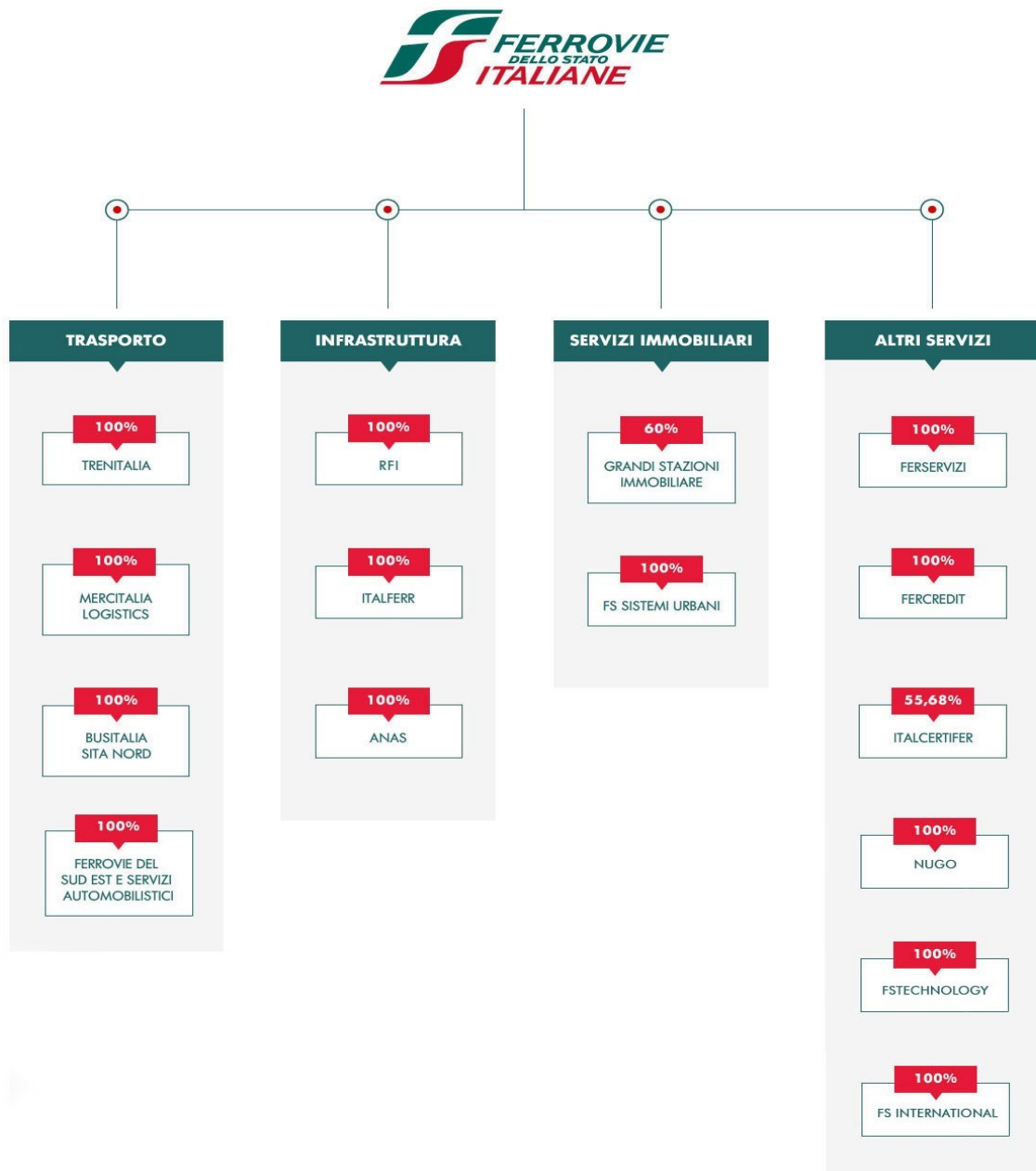
- integrazione fra le infrastrutture ferroviarie e stradali, avviata con l’ingresso nel gruppo di Anas il 29 dicembre 2017;

- sviluppo internazionale, perseguito attraverso l’esportazione del proprio know-how in oltre 60 Paesi del mondo per la realizzazione di progetti per l’Alta velocità e le linee convenzionali, la manutenzione e il miglioramento della rete, la sicurezza, la formazione e l’attività di Operation&Maintenance;

- digitalizzazione e customer centricity, finalizzata a raggiungere in maniera sempre più capillare ed efficiente la domanda e accompagnare il passeggero durante l’intera esperienza di viaggio, fornendogli maggiore assistenza, più efficacia e tempestività informativa.

CAPITOLO 2: “LE SOCIETA’ DEL GRUPPO”

Partecipata al 100% dal Ministero dell’Economia e delle Finanze dal 1992, la Capogruppo Ferrovie dello Stato Italiane S.p.A. definisce le linee strategiche e assicura l’indirizzo e il coordinamento delle politiche industriali delle società operative che operano nei quattro settori della filiera: trasporto, infrastruttura, servizi immobiliari e altri servizi (Vedere Fig.2).



Schema esplicativo delle società facenti parte del gruppo FS. Fig.2

-Trasporto

Comprende le società che svolgono attività di trasporto passeggeri e/o merci su ferro, strada o via mare:

- **Trenitalia**: società che opera nel settore dei servizi per la mobilità di viaggiatori in ambito nazionale ed internazionale. Trenitalia è organizzata in due macro-unità (divisioni) di business autonome: i) Passeggeri Long Haul, responsabile dell'offerta dei servizi di trasporto passeggeri di media-lunga percorrenza. Tale offerta comprende sia i servizi cosiddetti "a mercato" (prodotti Alta Velocità e Internazionale), sia i servizi universali (Intercity Giorno e Intercity Notte); 3 ii) Passeggeri Regionali, responsabile dei servizi di mobilità in ambito metropolitano, regionale e interregionale.

- **Mercitalia Logistics**: società che offre soluzioni integrate di logistica e di valorizzazione del patrimonio immobiliare, in termine di logistica integrata con servizi di deposito, handling, gestione degli ordini dagli stabilimenti di produzione fino al mercato di consumo della grande distribuzione organizzata, progettazione e realizzazione di infrastrutture.

- **Busitalia - Sita Nord**: società che eroga, direttamente o tramite le proprie controllate, servizi di trasporto pubblico urbano, sub-urbano ed extraurbano con autobus in Toscana, Umbria, Veneto e in Campania, e gestisce altre modalità di trasporto, tra cui: la ex Ferrovia Centrale Umbra, la tramvia di Padova, la navigazione sul lago Trasimeno, ascensori, scale mobili, tapis roulant, funicolare nelle città di Perugia, Orvieto, Spoleto, Cascia e Amelia. Busitalia gestisce inoltre il servizio aeroportuale Volainbus a Firenze e il collegamento tra Firenze e l'outlet "The Mall" di Reggello, partecipa alla gestione dei City Sightseeing di Firenze e Venezia e, tramite la controllata Busitalia Rail Service, eroga su tutto il territorio nazionale i servizi su gomma sostitutivi e integrativi di corse ferroviarie, tra cui il servizio Freccialink.

- **Netinera Deutschland**: società che offre servizi relativi al trasporto ferroviario, al trasporto passeggeri su strada, alla logistica, alla manutenzione e riparazione dei veicoli, alle infrastrutture ferroviarie in Germania.

- **Ferrovie del Sud Est e Servizi Automobilistici:** società che offre un servizio di trasporto integrato su ferrovie, autolinee, tranvie, funivie, automobili ed altri veicoli in oltre 130 Comuni della Puglia.
- **TrainOse:** società che gestisce i servizi ferroviari in tutta la rete ferroviaria greca.
- **M5:** società che gestisce il servizio della metropolitana Lilla (linea 5) di Milano basata sul modello “driverless” (senza guidatore a bordo) il quale permette di variare il numero di treni immettendo più treni in linea in funzione delle esigenze del pubblico nell’ arco della giornata.

-Infrastruttura

Comprende le società che curano la manutenzione, l'utilizzo e lo sviluppo dell'infrastruttura ferroviaria e i servizi di collegamento via mare con le maggiori isole:

- **Rete Ferroviaria Italiana (RFI):** società cui è attribuito il ruolo di gestore dell'Infrastruttura. Garantisce la sicurezza della circolazione ferroviaria sull'intera rete, sviluppa tecnologia dei sistemi e dei materiali ed assicura il mantenimento in efficienza della rete stessa. A livello nazionale, RFI come responsabile delle linee, delle stazioni e degli impianti, garantisce alle diverse imprese ferroviarie l'accesso alla rete italiana, assicura la manutenzione e la circolazione in sicurezza sull'intera infrastruttura, gestisce gli investimenti per il potenziamento e per lo sviluppo delle linee e degli impianti ferroviari e sviluppa la tecnologia dei sistemi e dei materiali. A livello internazionale, RFI promuove l'integrazione dell'infrastruttura italiana nella Rete Ferroviaria Europea, coordinandosi con i Paesi dell'UE in merito agli standard di qualità, alle azioni e alle strategie di commercializzazione dei servizi. Attraverso la partecipazione della controllata Blufferries al Consorzio Metromare dello Stretto, RFI assicura il collegamento marittimo passeggeri tra Messina, Reggio Calabria e Villa San Giovanni.
- **Italferr:** società d'ingegneria per la realizzazione di progetti infrastrutturali per il settore ferroviario convenzionale e per quello ad Alta Velocità, nel trasporto metropolitano e stradale, nella progettazione di porti e stazioni. Italferr sviluppa le progettazioni e cura l'affidamento degli appalti in nome e per conto del committente, esegue la gestione dei

progetti e la supervisione della costruzione in tutti i grandi investimenti ferroviari del Gruppo FS Italiane, partecipa a gare di Progettazione, Direzione e Supervisione Lavori, Project Management e Project Management Consulting in tutto il mondo.

- **Anas**: società responsabile della costruzione, gestione e mantenimento nel tempo delle infrastrutture stradali del Paese (strade statali, autostrade e raccordi autostradali)

-Servizi immobiliari

Comprende le società che gestiscono i principali scali ferroviari e che si occupano della gestione e valorizzazione del patrimonio immobiliare del Gruppo:

- **Grandi Stazioni Rail**: società la cui missione è focalizzata su attività infrastrutturali e sul completamento del piano di investimenti, per garantire il presidio dei business chiave di stazione nei confronti dei viaggiatori e di tutti coloro che vi operano: sicurezza, pulizia e manutenzione, biglietterie di operatori ferroviari, gestione parcheggi, attività di locazione direzionale e attività di ingegneria.

- **Grandi Stazioni Immobiliare**: società focalizzata sulla valorizzazione delle proprietà immobiliari delle grandi stazioni italiane.

- **FS Sistemi Urbani**: società che si occupa di valorizzare il patrimonio del Gruppo non funzionale all'esercizio ferroviario e di svolgere servizi integrati urbani in una prospettiva di business, razionalizzazione, miglioramento funzionale e servizio alla collettività. Tra le innumerevoli attività immobiliari e di servizio vi sono: i) lo studio, la promozione, l'attuazione e la gestione di processi di sviluppo e valorizzazione immobiliare (con 7 particolare riferimento alle stazioni, alle infrastrutture nodali e di trasporto e agli asset disponibili per conto delle società del Gruppo FS Italiane); ii) lo sviluppo delle attività connesse ai parcheggi e alle aree per la sosta di mezzi di trasporto di qualsiasi tipo; iii) la gestione e manutenzione di aree ed edifici ad uso pubblico e privato; iv) la

promozione di programmi di intermodalità trasportistica e sviluppo di progetti per il potenziamento del terziario a rilievo economico e sociale.

-Altri servizi

Comprende le società che gestiscono attività non direttamente connesse all'esercizio ferroviario in termini di gestione amministrativa, building e facility management, leasing, factoring, certificazione sistemi trasporto:

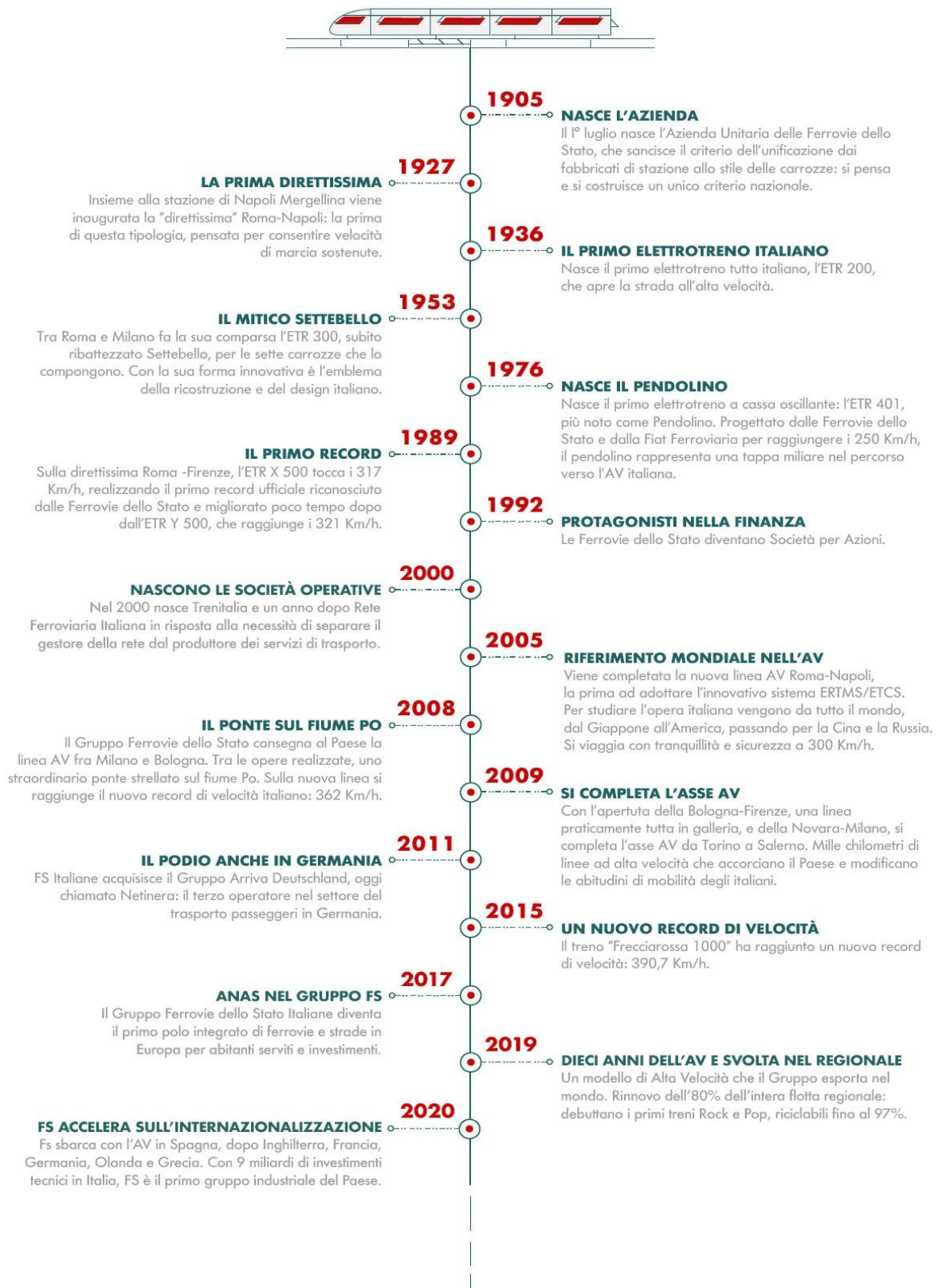
- **Ferservizi**: società che gestisce per la Capogruppo e per le Società del Gruppo FS le attività di back office, non direttamente connesse all'esercizio ferroviario: i) acquisti di Gruppo (indagini di settore, scouting e verifiche di mercato, gestione delle fasi precontrattuali, negoziali e contrattuali); ii) servizi immobiliari (gestione e valorizzazione del patrimonio immobiliare di FS in diverse aree di intervento); iii) servizi tecnici patrimoniali, servizi di locazione e convenzioni, servizi di vendita, servizi manutentivi, servizi di ingegneria, gestione spazi e uffici di Gruppo; iv) servizi amministrativi; v) servizi informatici e tecnologici; v) servizi di Facility (gestione di servizi relativi alla residenzialità, supporto logistico per la formazione e la convegnistica, vigilanza, gestione della corrispondenza, centri stampa e altri servizi agli uffici, gestione delle concessioni di viaggio).
- **Fercredit**: società di Servizi Finanziari la cui attività è rivolta essenzialmente allo sviluppo del "credit factoring" e del leasing sul mercato captive, nonché all'espansione delle operazioni di "consumer credit" per i dipendenti del Gruppo.
- **Italcertifer**: società partecipata dal Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane, ma da esso completamente indipendente, che grazie ad una sinergia strategica con 4 tra le più prestigiose università italiane (Politecnico di Milano, Università di Pisa, Università di Firenze e Università di Napoli), costituisce un polo di eccellenza per la verifica di conformità e la sicurezza in ambito ferroviario.

CAPITOLO 11: “LA STORIA DEL GRUPPO”

La storia delle Ferrovie italiane (schematizzata in Fig.3) ripercorre la storia dell'Italia fin dai primi anni dell'800, quando gli Stati che ne facevano parte prima dell'unificazione avviarono la costruzione di brevi tratti ferroviari, diventati negli anni indispensabili per il completamento dell'unità d'Italia. La prima linea ferroviaria “Napoli-Portici” fu realizzata nel 1839 nel Regno delle Due Sicilie da Ferdinando II di Borbone, seguita negli anni da altre linee, come la Milano-Monza, la Venezia-Verona, la Firenze-Livorno, la Siena-Empoli. Con la proclamazione del Regno d'Italia le numerose tratte ferroviarie, le tariffe e gli orari vennero gestiti in maniera più organica a livello nazionale e nel 1905 venne promulgata una legge che sancì la nascita delle Ferrovie dello Stato affidandone la gestione ad un'azienda di Stato sotto la sovrintendenza del Ministero dei Lavori Pubblici. La costituzione dell'azienda determinò un miglioramento del comfort delle carrozze viaggiatori, la definizione di nuove tariffe e la sostituzione progressiva della trazione a vapore con quella elettrica, che consentì di aumentare la velocità e di migliorare il profilo dei convogli in maniera sempre più aerodinamica. Furono progettate le prime “direttissime”, intese come linee di scorrimento veloce, che collegavano due località con percorsi abbreviati. La prima, terminata nel 1927, fu la Roma-Napoli. Nel 1937 fu progettato e sviluppato l'ElettroTreno Rapido, ETR 200, il progenitore dei treni ad alta velocità, che nel 1939 conquistò il record di velocità media sulla lunga distanza viaggiando a 203 km/h sulla tratta Milano-Firenze. In quegli anni l'automobile, tuttavia, si impose quale nuovo mezzo di trasporto e l'azienda iniziò a progettare nuovi binari in grado di sostenere una “nuova ferrovia” veloce, capace di rappresentare una valida alternativa alle autostrade. Nel 1953 fu lanciato sul mercato l'ETR 300, conosciuto come Settebello (per le sette carrozze che lo componevano) che, con la sua linea elegante e aerodinamica, rappresentava il simbolo del design italiano e della ricostruzione dopo gli anni austeri della guerra. Nel 1976 le Ferrovie dello Stato e la FIAT Ferroviaria crearono l'ETR 401, il “Pendolino”, diventato ben presto una pietra miliare nel percorso dell'Alta Velocità italiana raggiungendo la velocità di 250 km/h. Negli anni Ottanta e Novanta vennero progettati e sviluppati treni sempre più veloci, in grado di superare i 300 km/h sui

collegamenti di punta da Milano a Roma, presentati sul mercato con la categoria di servizio Eurostar (ES*), sostituendo il Pendolino. Sulla Direttissima Roma-Firenze, l'ETR X 500 raggiunse i 317 km/h, realizzando il primo record ufficiale riconosciuto dalle Ferrovie dello Stato e migliorato poco tempo dopo dall'ETR Y 500, che raggiunse i 321 km/h. In quegli anni, in linea con i cambiamenti in atto in alcuni Paesi Europei dove l'alta velocità era già una realtà consolidata, l'azienda avviò i lavori per la costruzione di una nuova rete ferroviaria potenziata. Fu inoltre avviato un profondo processo di trasformazione a livello aziendale che portò alla nascita del gruppo Ferrovie dello Stato, una delle più grandi realtà industriali italiane per la realizzazione e gestione di opere e servizi nel trasporto ferroviario. Nel 1985, l'azienda autonoma Ferrovie dello Stato diventò dapprima un ente pubblico e nel 1993 una società per azioni con unico azionista il Ministero del Tesoro. L'emanazione della direttiva europea n. 440/91 che prevedeva la separazione contabile fra soggetti che operano come gestori dell'infrastruttura e gestori del servizio, determinò importanti cambiamenti, e a livello aziendale e a livello di settore, innescando meccanismi di libera concorrenza in particolare nel segmento della gestione del trasporto passeggeri. In azienda fu avviato un processo di divisionalizzazione che portò nel 2000 alla costituzione di due società distinte: Rete Ferroviaria Italiana (RFI SpA) responsabile dell'infrastruttura e Trenitalia SpA, responsabile dei servizi di trasporto passeggeri a livello nazionale ed internazionale, e attraverso la divisione Passeggeri Long Haul, anche del servizio di trasporto alta velocità.

IL FUTURO SI FONDA SU UNA GRANDE STORIA



Schema semplificato della storia del gruppo FS. Fig.3

CAPITOLO 4: “RETE FERROVIARIA ITALIANA S.p.A”

Rete Ferroviaria Italiana (abbreviata in **RFI**) è un'azienda pubblica in forma di società per azioni con funzione di gestore dell'infrastruttura ferroviaria nazionale, partecipata al 100% da Ferrovie dello Stato Italiane. Al pari delle altre società del gruppo FS, è un organismo di diritto pubblico. A RFI è affidata dunque l'attività di gestione e manutenzione della rete ferroviaria e, anche attraverso la sinergica collaborazione con Italferr – società di progettazione del Gruppo Ferrovie dello Stato –, l'attività di progettazione costruzione e messa in esercizio dei nuovi impianti. Tra questi impianti, i più rilevanti dei quali sono le stazioni su cui, unitamente a Grandi Stazioni, RFI ha eseguito e sta eseguendo operazioni di riqualificazione.

Gestisce inoltre i sistemi di sicurezza e regolazione ferroviaria, stipula i contratti con le imprese ferroviarie, vende a queste ultime le tracce treno richieste per la circolazione e definisce l'orario della sua rete. Rete Ferroviaria Italiana è anche il soggetto che attua i servizi di manovra dei convogli in alcune stazioni ferroviarie. Infine, direttamente o tramite la controllata TAV (assorbita il 31 dicembre 2010), si sta dedicando alla messa in esercizio delle nuove linee per i treni ad alta velocità.

La società trae i suoi profitti essenzialmente dalla riscossione del canone di accesso all'infrastruttura versato dalle imprese ferroviarie che la utilizzano. Il rapporto tra RFI e le varie imprese ferroviarie è regolato da un apposito contratto chiamato Prospetto Informativo di Rete (PIR).



Logo di Rete Ferroviaria Italiana. Fig.4

CAPITOLO 5: “STRUTTURA TERRITORIALE DI R.F.I.”

Sul territorio operano **oltre 26.000 persone** dipendenti dalle strutture centrali e, per la gran parte, dalle **strutture territoriali** della Società deputate allo svolgimento delle attività produttive legate a:

- i processi di manutenzione/gestione della rete per la sicurezza della circolazione dei treni e la qualità delle stazioni (le **15 Direzioni Operative Infrastrutture Territoriali** coordinate dalla Direzione Operativa Infrastrutture, vedi Fig.5);
- la programmazione e regolazione dell'esercizio ferroviario (le **11 Strutture Circolazione Aree** territoriali coordinate dalla Direzione centrale Circolazione),
- la pianificazione, sviluppo e commercializzazione (le **6 Strutture territoriali Commerciali**, coordinate dalla Direzione centrale Commerciale),
- il presidio della progettazione e della realizzazione degli investimenti per lo sviluppo dell'infrastruttura e delle sue dotazioni tecnologiche (le **4 Direzioni territoriali Investimenti** coordinate dalla Direzione centrale Investimenti)
- la gestione, la valorizzazione e il rinnovamento in chiave sostenibile delle stazioni (le **5 Aree territoriali Fabbricati Viaggiatori**, coordinate dalla Direzione centrale Fabbricati viaggiatori)
- la produzione di apparati e mezzi per l'infrastruttura (le **5 Officine**).

A queste, sul territorio, si affiancano le **10 Unità sanitarie territoriali** e i **7 Presidi sanitari** coordinate dalla Direzione Sanità che offrono servizi di medicina legale e del lavoro sia allo stesso personale della Società che ad aziende esterne e al pubblico. L'area di competenza delle strutture territoriali RFI varia in relazione alle attività svolte. Più diffuse e più dotate di personale sono le DOiT, cui spettano le operazioni più direttamente legate all'esercizio ferroviario.

Sono demandate **a livello centrale** le attività produttive legate alla definizione e al presidio degli standard tecnici dell'infrastruttura e dei

sistemi e apparati tecnologici nonché alla normativa di esercizio, svolte dalla Direzione tecnica. Direzioni dedicate assicurano, anche attraverso strutture distribuite sul territorio, il presidio dei processi aziendali in ambito security; Sistemi di Gestione sicurezza e qualità; acquisti; strategie, pianificazione e sostenibilità; gestione del personale; station concept; legale e societario; internal audit; asset management, R&S e studi per l'innovazione, relazioni con i media.



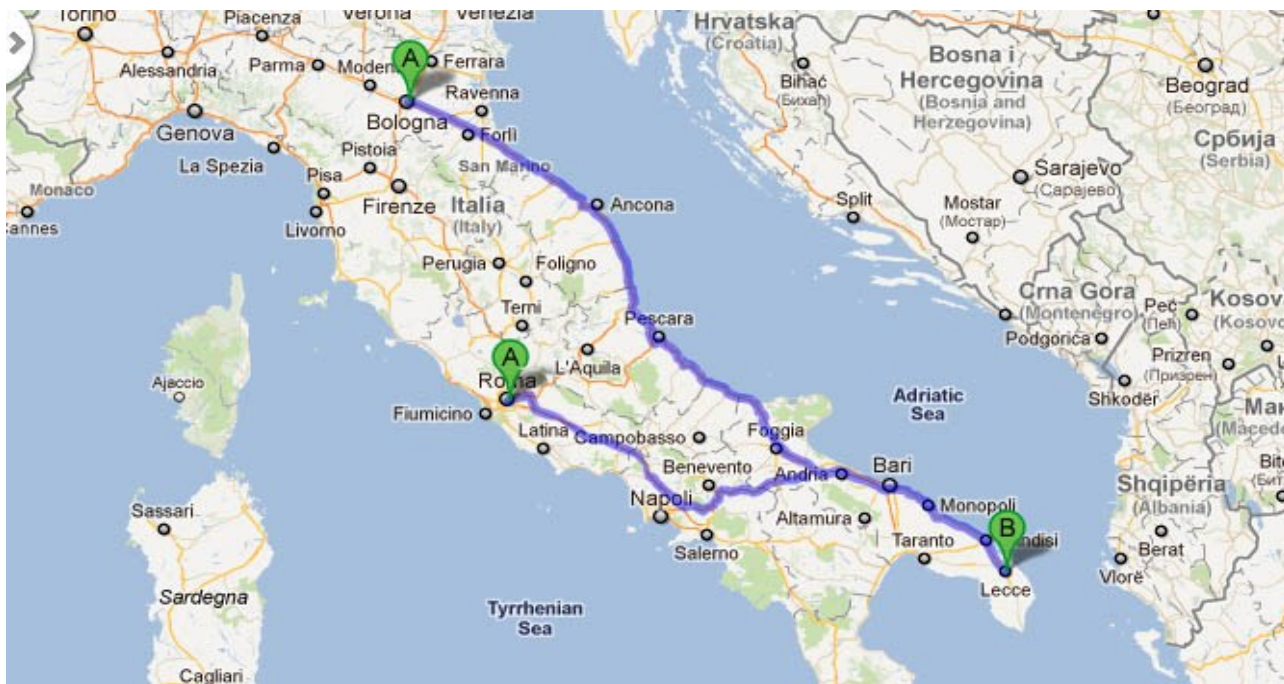
Le 15 DOIT nel territorio italiano. Fig.5

CAPITOLO 6: “I PROGETTI NELLA REGIONE MARCHE”

Le Marche sono interessate da progetti infrastrutturali volti al potenziamento e allo sviluppo del servizio ferroviario regionale, in termini di velocizzazione e upgrade tecnologico, e da opere di rilevanza nazionale.

Sulla Direttrice Adriatica (vedi Fig.6) sono previsti interventi per migliorare l'efficienza dei collegamenti a lungo raggio, mentre sulla linea Orte - Falconara gli interventi hanno l'obiettivo di garantire l'integrazione tra i servizi extraurbani veloci Ancona - Roma e l'interscambio con i servizi della Regione Umbria.

In particolare, sono previsti lavori sulla linea Adriatica Bologna - Lecce per ridurre i tempi di percorrenza lungo tutto l'asse ferroviario.



La linea Adriatica Bologna – Lecce. Fig.6

Gli interventi programmati nella tratta Bologna - Rimini rientrano nel più ampio progetto di velocizzazione dell'intera dorsale adriatica da Bologna a Lecce. Sono previsti adeguamento dell'armamento ferroviario, rettifiche di tracciato, upgrade tecnologico degli impianti e l'installazione di un nuovo sistema di distanziamento, consentendo ai treni a lunga percorrenza di ridurre i tempi di viaggio tra Bologna e Rimini. Tra gli interventi anche adeguamento di stazioni e marciapiedi.

CAPITOLO 7: “LE TECNOLOGIE DI R.F.I.”

Sviluppate secondo i piani definiti con lo Stato per migliorare le prestazioni dell'infrastruttura in termini di sicurezza, velocità, capacità, puntualità, affidabilità, qualità dei servizi alle imprese di trasporto e ai viaggiatori, le tecnologie ferroviarie comprendono l'insieme di impianti e sistemi elettromeccanici, elettronici e automatizzati che - dietro il presidio degli operatori sia a terra che a bordo treno - contribuiscono ad assicurare la circolazione in sicurezza sull'intera rete, nonché il supporto e l'ottimizzazione di tutti gli altri processi connessi all'esercizio ferroviario: dalla manutenzione delle linee, all'informazione al pubblico, all'elettrificazione della rete, alla telesorveglianza degli asset.

Gli apparati e i sistemi tecnologici utilizzati su tutta la rete ferroviaria italiana hanno come priorità la sicurezza della circolazione e il controllo del traffico dei treni. Sono diversificati e integrati tra loro in base alle caratteristiche delle linee e al tipo di traffico (passeggeri o merci; lunga, media o breve percorrenza) e assicurano:

- la gestione della circolazione (**Comando Controllo Segnalamento**) in sicurezza in stazioni, bivi, linee e nodi. In particolare, i sottosistemi predisposti per il Comando Controllo Segnalamento sono:

- **apparati Centrali** per la gestione della circolazione mediante la formazione di itinerari, di movimentazione degli enti di piazzale (apparati centrali: ACE - Apparato Centrale Elettrico, ACEI-Apparato Centrale elettrico ad itinerari, ACC-Apparato Centrale Computerizzato, ACC-M Apparato Centrale Computerizzato Multistazione);

- **distanziamento dei treni**, per il mantenimento della distanza di sicurezza tra un treno e l'altro sulle linee (sistemi tecnologici di distanziamento quali: BA= blocco automatico; BAB= blocco automatico banalizzato; BCA= blocco conta assi; BCAB= blocco conta assi banalizzato; BR= blocco radio per linee AV/AC);

- **controllo marcia dei treni** (SSC - Sistema di Supporto alla Condotta, SCMT - Sistema Controllo Marcia del Treno, ERTMS - European Rail Train Management System);

- **supervisione e il telecomando della circolazione** (SCC - Sistema Comando e Controllo, con le sue evoluzioni dedicate all'AV lungo le linee, SCC-AV, SCC-M) e CTC - sistema di Controllo Centralizzato del Traffico);

- **protezione della circolazione** nei punti di intersezione con la rete stradale (Passaggi a Livello);

- **tecnologia di Terra** per lo sviluppo, realizzazione e manutenzione degli enti di piazzale come deviatori, segnali luminosi, circuiti di binario, garitte di blocco.

• **l'energia**, intesa come il "motore" che permette di muovere l'Italia. Dall'alimentazione delle linee primarie al telecontrollo degli impianti fissi di trazione elettrica dei mezzi in circolazione sulla rete (DOTE);

• le **telecomunicazioni**, per permettere le interconnessioni di tutti i sistemi sulla rete ferroviaria grazie all'acquisizione e al trasferimento delle informazioni di terra e di bordo (sistema di telecomunicazione dedicata GSM-R, dove "R" sta per railway) attraverso una rete proprietaria RFI;

• **information & technology**, per mantenere gli altissimi livelli di Security dei più importanti asset della rete (tratti di linea, gallerie, ponti, stazioni, ecc.), fondamentale per garantire continuità ed efficienza della circolazione, ma anche per elevare la sicurezza dei viaggiatori;

• il **supporto alla gestione informatizzata** dei processi di manutenzione (piattaforma manutenzione) e di circolazione (piattaforma circolazione, funzionale all'informazione al pubblico sull'andamento dei treni così come al rapporto commerciale con le Imprese ferroviarie).

CAPITOLO 8: “SISTEMA MANUTENTIVO DI R.F.I.”

Obiettivo chiave dell'azienda è la manutenzione e la sicurezza dell'infrastruttura. In base al tipo di lavoro verrà svolta attività di manutenzione ordinaria, straordinaria o predittiva.

-Manutenzione predittiva

Alla manutenzione ordinaria e straordinaria, vengono associate delle attività di **diagnostica predittiva** che consentono di intervenire prima che un guasto si verifichi. L'analisi e la correzione dei dati che si ottiene grazie ai sistemi diagnostici permettono infatti di programmare ed effettuare gli interventi di mantenimento in efficienza dell'infrastruttura in tre momenti. Una **manutenzione ciclica**, basata essenzialmente sul tempo trascorso dall'ultimo intervento, una **manutenzione “on condition”**, cioè nel momento in cui si rende necessario, e una **manutenzione predittiva**. Si adottano cioè modelli matematici e simulazioni che analizzano le correlazioni tra diverse misure ed eventi al fine di determinare le relazioni causa/effetto che provocano il verificarsi di un guasto. In questo modo è possibile prevedere dopo quanto tempo potrà verificarsi un determinato guasto, in maniera tale da prevenirlo e intervenire prima che si verifichi.

-Manutenzione ordinaria

La manutenzione ordinaria è caratterizzata dagli interventi che hanno lo scopo di:

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

Generalmente gli interventi sono richiesti a seguito di:

- attuazione di piani manutentivi (manutenzione preventiva, ciclica, predittiva e secondo condizione) come definito dalle norme UNI9910, UNI 10147 e EN 13306
- esigenza di ottimizzare la disponibilità del bene e migliorarne l'efficienza (interventi di miglioramento o di piccola modifica che non comportano incremento del valore patrimoniale del bene)
- rilevazioni di guasti o avarie (manutenzione a guasto o correttiva, come definita nella UNI 9910).

Gli interventi di manutenzione ordinaria non modificano le caratteristiche originarie del bene stesso né la struttura essenziale o la sua destinazione d'uso.

-Manutenzione straordinaria

La manutenzione straordinaria è caratterizzata dagli interventi non ricorrenti, non ripetibili e di costo elevato rispetto al valore di rimpiazzo del bene e ai suoi costi annuali di manutenzione ordinaria. La finalità degli interventi è prolungare la vita utile del bene, migliorarne l'efficienza, l'affidabilità, la produttività, la manutenibilità e l'ispezionabilità.

Gli interventi di manutenzione straordinaria sono capitalizzati, perché presentano caratteristiche tecniche, finanziarie o di legge tali da consentire l'incremento del valore patrimoniale del bene.

I più significativi interventi di manutenzione straordinaria sono:

- I **progetti di manutenzione straordinaria e le opere a difesa delle infrastrutture**: comprendono tutti gli interventi alle infrastrutture ferroviarie per le quali vengono richieste attività di rinnovo degli impianti. Il rinnovo viene effettuato nel momento in cui l'impianto ha raggiunto la vita tecnica oppure, per le sollecitazioni che deve sostenere a seguito dell'esercizio ferroviario, non è più in grado di garantire elevati standard di manutenibilità e sicurezza.
- I **progetti su obblighi di legge**: riguardano gli interventi che tendono a eliminare o rinnovare gli impianti regolamentati da leggi dello Stato.
- I **progetti di miglioramento infrastrutturale**: riguardano la maggior parte delle tipologie infrastrutturali comprese nei progetti di manutenzione straordinaria, con l'eccezione che gli interventi da realizzare non solo rinnovano gli impianti e le apparecchiature, ma apportano sostanziali miglioramenti alle infrastrutture ferroviarie. Gli interventi più significativi riguardano le tecnologie che si modificano nel tempo.
- I **progetti di aumento di produttività**: comprendono quegli interventi la cui esecuzione è a cura del nostro stesso personale e interno e non in carico a ditte appaltatrici esterne.

CAPITOLO 9: “INNOVAZIONE SUI SISTEMI DI MOBILITA”

L'obiettivo di politica dei trasporti europea mira a sviluppare l'utilizzo dei sistemi di trasporto collettivo, in sostituzione della mobilità privata su gomma, per i benefici intrinseci che li caratterizzano, riassumibili in incremento dell'accessibilità, minori esternalità negative (emissioni ambientali inquinanti e incidentalità), minore/migliore occupazione del suolo, riduzione dei consumi energetici, riduzione dei costi operativi di sistema, riduzione delle percorrenze door-to-door, potenziale di generazione di sviluppo economico/territoriale/urbanistico, promozione dell'innovazione tecnologica, sviluppo del mercato del lavoro. Le soluzioni tecnologiche per la mobilità collettiva disponibili sul mercato coprono un ampio range di caratteristiche prestazionali (velocità commerciali, posti offerti...), impegno infrastrutturale/tecnologico (ad es. per le vie di corsa) e relativi costi: si va dalle soluzioni su gomma su corsia dedicata (BRT), alle monorotaie, ai sistemi light rail e tranvie, fino ai sistemi ferroviari regionali e alle metropolitane, con un'ampia gamma di soluzioni intermedie ad elevato grado di specializzazione rispetto al contesto operativo di riferimento. Anche per livelli inferiori di domanda sono disponibili ulteriori soluzioni tecniche a guida vincolata potenzialmente interessanti. La decarbonizzazione e la sostenibilità dei sistemi di trasporto e di mobilità è una sfida pressante per mitigare il cambiamento climatico a livello globale, europeo e nazionale. Ciò ha portato nell'ultimo decennio allo sviluppo di un ventaglio di soluzioni tecnologiche di trasporto disponibili, orientate a rispondere alle nuove esigenze di domanda di un mondo sempre più urbanizzato, globalizzato e sostenibile. Inoltre, il tasso di innovazione del settore è accelerato dagli sviluppi che la digitalizzazione offre. Differenziare le prestazioni e le caratteristiche di tali sistemi e comprendere il potenziale dei sistemi di trasporto e di mobilità nuovi e innovativi emergenti è fondamentale per poter implementare con successo percorsi di trasformazione dell'economia e della società. In tale ambito, RFI è da anni impegnata nello studio dei nuovi sistemi di trasporto e di mobilità, con un focus sulle loro caratteristiche funzionali e sulle loro infrastrutture di supporto, al fine di identificare quelle soluzioni più mature e promettenti per integrare il sistema di mobilità del Paese e aumentare l'adduzione e la sinergia con il sistema ferroviario nazionale. In particolare, le attività di R&D sulle tecnologie di trasporto avanzate potrebbero essere utilizzate successivamente anche nel sistema ferroviario, con benefici in termini di innovazione e incremento delle prestazioni.

-Mobilità aerea

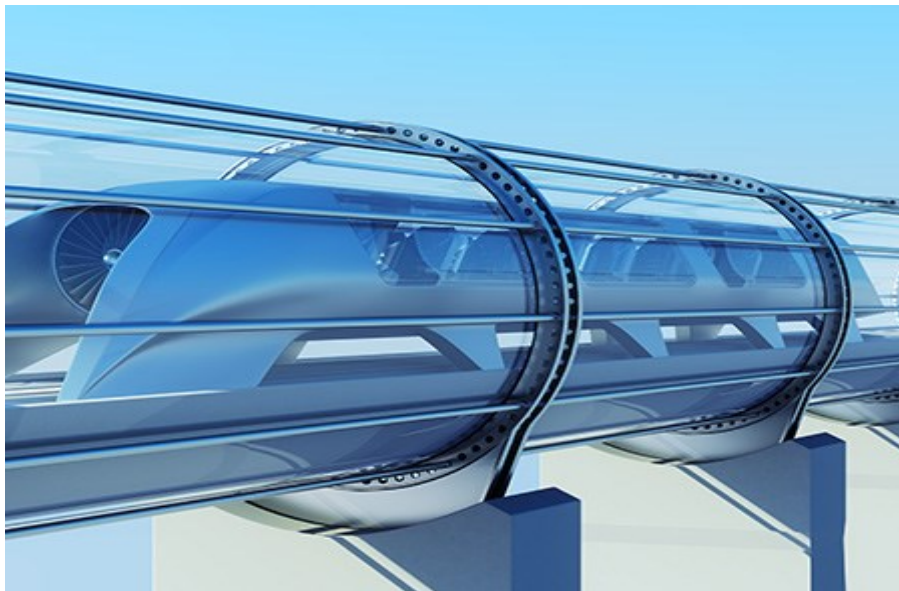
Rfi sta da tempo utilizzando droni in via sperimentale a supporto delle proprie attività di controllo dell'infrastruttura e di security, per i quali si rimanda agli specifici approfondimenti. Ma in un contesto in cui la Boeing ha completato oltre un anno fa con successo il primo test flight del suo prototipo di autonomous passenger air vehicle (PAV) per la mobilità aerea urbana, attraverso un aereo elettrico a decollo e atterraggio verticale ed emergono i primi «droni» per il trasporto di merci, il sistema multimodale di trasporto non può non confrontarsi con la «terza dimensione». In tale ambito RFI sta approfondendo l'opportunità di utilizzare i propri asset a supporto ed in integrazione con tali forme di trasporto per offrire una mobilità sempre più integrata connessa e rapida, soprattutto nelle aree ad alta densità abitativa.



La rete della mobilità sempre più integrata. Fig.7

-Hiperloop

RFI ha avviato attività congiunte di studio, ricerca e sviluppo tecnologico con una primizia azienda europea di settore Hyperloop. La collaborazione consentirà a RFI di acquisire una maggiore conoscenza del nuovo sistema infrastrutturale e tecnologico e della sua potenziale applicabilità nello specifico contesto nazionale. Le attività congiunte di ricerca e sviluppo delle tecnologie avanzate studiate per Hyperloop potrebbero essere utilizzate successivamente anche nel sistema ferroviario, con benefici in termini di innovazione e incremento delle prestazioni. Lo studio consentirà, inoltre, di analizzare – anche attraverso specifici studi di fattibilità tecnico-economica – eventuali corridoi Hyperloop a maggior valenza per il traffico passeggeri, in sinergia con la rete nazionale gestita da RFI. La collaborazione è per RFI un’opportunità per partecipare alla costruzione degli scenari futuri della mobilità, supportando la ricerca in un settore particolarmente vivace nell’ambito dello sviluppo di soluzioni innovative a supporto del trasporto collettivo e della sostenibilità economica, ambientale e sociale a livello europeo.



Visione futuristica della mobilità con Hiperloop. Fig.8

-Sistemi Lean

Le soluzioni tecnologiche per la mobilità collettiva disponibili sul mercato coprono un ampio range di caratteristiche prestazionali (velocità commerciali, posti offerti...), impegno infrastrutturale/tecnologico (ad es. per le vie di corsa) e relativi costi: si va dalle soluzioni su gomma su corsia dedicata (BRT), alle monorotaie, ai sistemi light rail e tranvie, fino ai sistemi ferroviari regionali e alle metropolitane, con un'ampia gamma di soluzioni intermedie ad elevato grado di specializzazione rispetto al contesto operativo di riferimento. Anche per livelli inferiori di domanda sono disponibili ulteriori soluzioni tecniche a guida vincolata potenzialmente interessanti. Nell'ottica di massimizzare la sostenibilità economica, sociale e ambientale del sistema di mobilità nazionale, RFI potrebbe estendere a sistemi a guida vincolata diversi dalla ferrovia tradizionale il perimetro delle soluzioni da realizzare e gestire. Nel ruolo di "Gestore delle infrastrutture" RFI sarebbe in grado di offrire alcuni vantaggi: l'introduzione dei sistemi leggeri fra le alternative dei propri progetti, proponendo soluzioni realizzative che, in base alle caratteristiche della domanda, meglio si adattano al contesto; lo sfruttamento degli asset con integrazione infrastrutturale e di servizio nei nodi "comuni" di interscambio fra il sistema leggero e il sistema ferroviario tradizionale, che resta comunque la soluzione cardine nelle principali dorsali di mobilità; la possibilità di gestire soluzioni miste che si basino sul riutilizzo di vie ferrate esistenti, rientranti nel proprio asset, con mezzi più leggeri e flessibili; la pianificazione dei servizi integrata e gestione coordinata della circolazione e dell'informazione al pubblico a favore di una maggiore qualità complessiva del servizio offerto all'utenza; la possibilità di standardizzare su scala nazionale le tecnologie light rail/tranviarie adottate e conseguimento delle relative economie di scala nella realizzazione degli investimenti e nella gestione e manutenzione degli stessi.

CAPITOLO 10: “MECCANICA DELLA LOCOMOZIONE”

-condizioni di moto di un veicolo terrestre

Un veicolo terrestre, che realizza il moto attraverso la capacità di trasmettere alla via forze orizzontali, trasmette al terreno:

- attraverso tutte le ruote, un sistema di forze verticali la cui somma P è il peso totale del veicolo;
- attraverso le sole ruote motrici, un sistema di forze orizzontali la cui somma F_t è la forza di trazione.

Le ruote collegate al motore vengono definite ruote motrici, quelle non collegate si definiscono ruote portanti, il peso P_a che grava sulle ruote motrici è chiamato peso aderente

$$P = P_1 \pm P_2 \pm P_3 \pm P_4 \pm P_5 \pm P_6 \pm P_7 \pm P_8$$

$$F_t = F_{t1} \pm F_{t2} \pm F_{t3} \pm F_{t4}$$

$$P_a = P_3 \pm P_4 \pm P_5 \pm P_6$$

-Aderenza

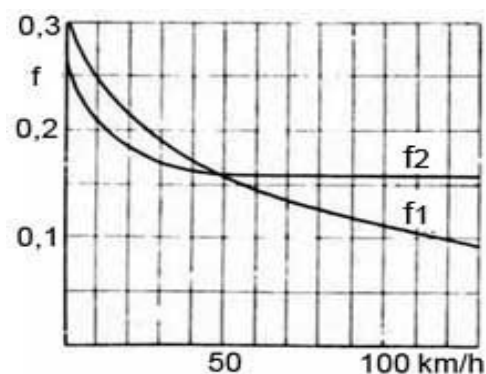
La forza orizzontale che ciascuna ruota trasmette al terreno è proporzionale alla forza verticale (P) che grava su di essa e può essere incrementata fino a quando viene mantenuto il contatto tra ruota e terreno, per poi crollare assumendo il valore dell'attrito radente (o di slittamento) quando tale contatto viene a mancare. Si definisce aderenza (limite di aderenza F_{ad}) la massima forza orizzontale trasmettibile tra ruota e via ovvero si ha aderenza fino a quando nel punto di contatto la velocità relativa tra ruota e terreno è nulla. Essa rappresenta il limite superiore della forza di trazione.

$$F_{ad} = f \cdot P \qquad F_t \leq F_{ad}$$

Con f definito coefficiente di aderenza.

L'aderenza, che è proporzionale al peso che insiste sulla ruota, dipende:

- dalla velocità (vedi Fig.9),
- dalla natura della via,
- dal materiale di cui è costituita la ruota,
- dalle condizioni di pulizia ed umidità delle superfici a contatto.



Variazione di f in funzione della velocità. Fig.9

-Coefficienti di aderenza per superfici asciutte e pulite

FERROVIA	trazione elettrica assi accoppiati	0.25-0.30
	trazione elettrica assi liberi	0.20
	trazione Diesel assi accoppiati	0.20
	trazione Diesel assi liberi	0.167
	trazione a vapore	0.167
STRADA	asfalto	0.65-0.70
	Calcestruzzo liscio	0.65-0.70
	Calcestruzzo ruvido	0.80-0.85

In campo ferroviario, dove il coefficiente di aderenza acciaio-acciaio è modesto, si sono moltiplicati gli assi motori dei mezzi di trazione e si è in presenza da sempre di infrastrutture con basse pendenze ad ampi raggi di curvatura, mentre nel mondo stradale, dove si può contare su un più alto coefficiente di aderenza, un asse motore è sufficiente a trasmettere la necessaria forza di trazione e si possono superare pendenze maggiori.

-Resistenza al moto

Disporre di un determinato valore della Forza di Trazione F_t è condizione necessaria ma non sufficiente per il moto. Occorre infatti che essa sia superiore al complesso R_t delle resistenze che si oppongono al moto, in modo da imprimere al veicolo un'accelerazione capace di fargli raggiungere una determinata velocità:

$$F_t = R_t \pm (P/g) \cdot a$$

dove:

- R_t è la somma di tutte le resistenze al moto;
- P è il peso del veicolo;
- g è l'accelerazione di gravità;
- a è l'accelerazione impressa al veicolo;

Tradizionalmente il complesso delle resistenze al moto si considera somma della resistenza in rettilineo ed in orizzontale (forze che si oppongono al moto nei meccanismi interni al veicolo stesso, nei contatti ruota-rotai, e nel contatto veicolo-mezzo in cui si muove) e resistenza per accidentalità della via (pendenze e curve).

$R_t =$ Resistenza in rettilineo + resistenze accidentali (pendenze e curve)

-Resistenza in rettilineo ed in orizzontale

La resistenza in rettilineo ed in orizzontale (R_0) è la somma dell'attrito:

- perno della ruota-cuscinetto: R_1 ;
- ruota-strada: R_2 ;
- dell'aria nella quale il veicolo si muove: R_m (a 300 km/h la R_m rappresenta il 90-96% della R_0)

$$R_0 = R_1 \pm R_2 \pm R_m$$

Normalmente, potendosi in prima approssimazione considerare tali resistenze proporzionali al peso, ci si riferisce alle resistenze specifiche:

$$r_0 = R_0/P \quad r_1 = R_1/P \quad r_2 = R_2/P \quad r_m = R_m/P$$

La diffusione dei cuscinetti a rulli nell'accoppiamento cassa-sala montata, l'adozione delle lunghe rotaie saldate e di un binario meno deformabile grazie al maggior peso di rotaie e traverse rendono prudenziali le formule adottate dalle Ferrovie dello Stato:

• per i treni viaggiatori

$$r_0 = 1,94 + 2,65 \cdot (v/100)^2 d_a N/T$$

• per i treni merci

$$r_0 = 2,04 + 5,01 \cdot (v/100)^2 d_a N/T$$

con v che è la velocità in km/h.

Tali formule non sono rappresentative del fenomeno per velocità superiori ai 140-150 km/h quando non è possibile non tener conto delle caratteristiche aerodinamiche dei convogli. Per velocità superiori ai 140-150 km/h il valore di r_0 viene espresso in funzione della velocità con espressioni del tipo:

$$r_0 = a \cdot v_0 \pm b \cdot v_1 \pm c \cdot v_2$$

dove a , b e c sono grandezze opportunamente scelte in funzione della natura dei veicoli e dei convogli.

-Resistenze accidentali (pendenze e curve)

-resistenza per pendenza (moto in salita)

Il movimento in salita di un corpo privo di attrito poggiante su di un piano inclinato con pendenza i ($\tan \alpha$) è possibile se si applica ad esso una forza superiore a:

$$P_t = P \cdot \sin \alpha$$

Potendosi confondere per piccoli valori di α , caratteristici di una linea ferroviaria, il seno con la tangente, la resistenza al moto per la presenza di una pendenza vale:

$$R_i = P \cdot \tan \alpha = P \cdot i$$

-resistenza in curva

Ai fini della progettazione della linea viene accettata la proporzionalità fra la resistenza R_c che il veicolo incontra percorrendo una curva ed il suo peso P secondo un coefficiente r_c (resistenza specifica in curva) che diminuisce con l'aumentare del raggio della curva:

$$R_c = P \cdot r_c$$

Resistenza specifica in curva (r_c)

Raggio (m)	1000	900	800	700	600
r_c (kg/t)	0.50	0.60	0.80	1.00	1.20
Raggio (m)	500	400	300	250	200
r_c (kg/t)	1.50	2.00	2.80	3.40	4.20

-Il tracciato della linea ferroviaria

Una linea ferroviaria consegue l'obiettivo di consentire il rispetto dell'equazione del moto

$$F_t = R_t + \left(\frac{P}{g}\right) \cdot a \quad \text{ovvero} \quad F_t = f \quad (\text{raggio di curvatura, pendenza})$$

Sul piano orizzontale il tracciato è caratterizzato dall'andamento planimetrico:

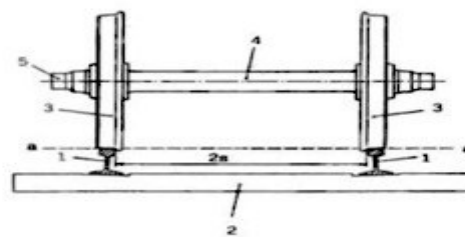
- rettilinei
- curve circolari (il raggio di curvatura costituisce l'elemento condizionante la velocità max di una linea)
- curve di transizione (servono a raccordare, sul piano orizzontale, il tratto rettilineo alla curva circolare – sono finalizzate al comfort di viaggio)

mentre sul piano verticale il tracciato è caratterizzato dall'andamento altimetrico:

- livellette (rette caratterizzate dalla lunghezza e dalla pendenza)
- raccordi cilindrici (curve circolari che raccordano le livellette)

CAPITOLO 11. "I VEICOLI FERROVIARI"

Il moto e la guida dei veicoli ferroviari avvengono in modo antitetico rispetto a quelli dei veicoli stradali, poiché in ferrovia la guida è affidata esclusivamente al binario, trattandosi di trasporto su sede propria. I veicoli ferroviari hanno le ruote di uno stesso asse rigidamente calettate fra loro (vedi Fig.11) e l'insieme di due ruote e dell'asse corrispondente (assile) prende il nome di sala montata (vedi Fig10).



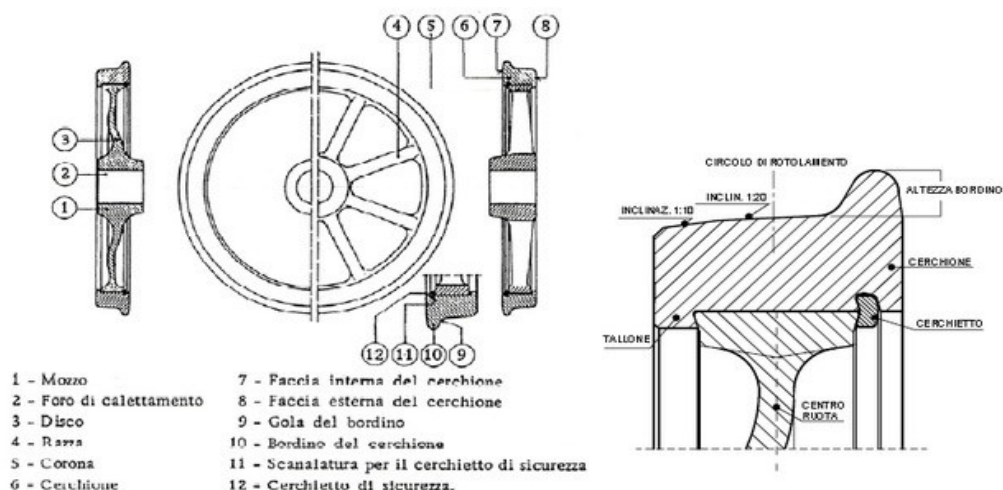
Binario e sala ferroviaria

- 1 Rotaia
- 2 Traversa
- 3 Ruota
- 4 Assile

- 5 Fusello
a Piano del Ferro (P.d.F.)
- 2s Scartamento

Fig.10

In generale un veicolo ferroviario realizza il moto attraverso la trasmissione al binario di forze orizzontali attraverso le ruote motrici. Il sistema di forze complessivo è costituito da forze verticali, la cui somma è il peso totale del veicolo che viene trasmesso da tutte le ruote e da forze orizzontali la cui somma è la forza di trazione trasmessa dalle sole ruote collegate al motore (ruote motrici). Le ruote non collegate al motore vengono definite ruote portanti, mentre il peso che grava sulle ruote motrici è chiamato peso aderente.



- 1 - Mozzo
- 2 - Foro di calettamento
- 3 - Disco
- 4 - Rampa
- 5 - Corona
- 6 - Cerchione

- 7 - Faccia interna del cerchione
- 8 - Faccia esterna del cerchione
- 9 - Gola del bordino
- 10 - Bordino del cerchione
- 11 - Scanalatura per il cerchietto di sicurezza
- 12 - Cerchietto di sicurezza.

Fig.11

La sala montata può considerarsi come un bicono che si muove sulle rotaie e, sulla conicità delle ruote si fonda l'azione di guida esercitata dalle rotaie sulla sala montata. Infatti, se una sala in movimento su un binario in rettilineo, per una ragione qualsiasi, non è centrata, i raggi di rotolamento delle ruote, per effetto della conicità dei cerchioni, non saranno uguali e l'asse risulterà inclinato rispetto al piano delle rotaie. Si verifica quindi il cosiddetto moto di serpeggiamento che manda i bordini delle ruote ad urtare alternativamente contro le rotaie. Le oscillazioni trasversali, grazie alla particolare conformazione dell'accoppiamento sala-rotaia, si smorzano gradualmente e la sala si auto-centra naturalmente sul binario. Il bordino, di cui è munito il cerchione nella parte interna, non subirà gli urti contro le rotaie, soltanto se l'ampiezza delle oscillazioni della sala risulta inferiore alla tolleranza di spostamento che la sala ha rispetto al binario. Il fatto di avere le ruote coniche collegate rigidamente consente inoltre a ciascuna sala montata di comportarsi come "autosterzante" durante il moto in curva. In pratica, la forza centrifuga spinge la sala verso l'esterno della curva (ad es., nella direzione della freccia in figura) e, per effetto della conicità delle ruote, si ha che la ruota interna va a lavorare su un diametro minore e quella esterna su uno maggiore. Ciò fa sì che la sala affronti la curva limitando al minimo gli strisciamenti trasversali: in pratica è lo spostamento laterale del bicono a fungere da "differenziale". Questo meccanismo di funzionamento è favorito anche dagli amplissimi raggi planimetrici adottati nella progettazione ferroviaria.

CAPITOLO 12: “L’ARMAMENTO FERROVIARIO ED I PARAMETRI DI PROGETTAZIONE”

-Sede ferroviaria

La sede ferroviaria (vedi Fig.12) ha funzione di sostegno e di guida dei veicoli tramite le rotaie; le parti essenziali che la costituiscono sono: l’armamento, la massicciata o ballast e l’eventuale sub-ballast, l’eventuale scudatura e la piattaforma. Prende il nome di armamento, l’insieme formato dalle rotaie, dalle traverse, dai giunti e dal materiale di attacco ai sostegni o di collegamento, con esclusione della massicciata. Una coppia di rotaie costituisce il binario. Per piattaforma si intende la base di appoggio sul terreno della sede ferroviaria e su di essa si posa direttamente la massicciata se risulta idonea a sopportare i carichi che transitano sulle rotaie, senza manifestare sensibili deformazioni o cedimenti. La larghezza della piattaforma dipende da: numero dei binari da sistemare; scartamento dei binari; sagoma d’ingombro dei veicoli; spessore della massicciata; esistenza di eventuali servizi accessori (passaggi pedonali, dispositivi di manovra e di segnalazione). La dimensione interbinario fissata per le ferrovie italiane è pari a 1435 mm per lo scartamento ordinario utilizzato in quasi tutte le ferrovie europee. Quando sono da temere cedimenti, anche a causa di prevedibili infiltrazioni di acque che possono indurre riduzione della capacità portante del piano di posa, sarà necessario provvedere ad una idonea bonifica del sottofondo, tramite scudatura. L’applicazione, generalmente, si effettua scavando un cassonetto largo quanto la massicciata successivamente riempito con sabbia, ciottoli e ghiaia oppure con strati di terreno stabilizzato a calce o a cemento unito ad un cunicolo centrale di drenaggio che, ad intervalli regolari, scarica le acque.

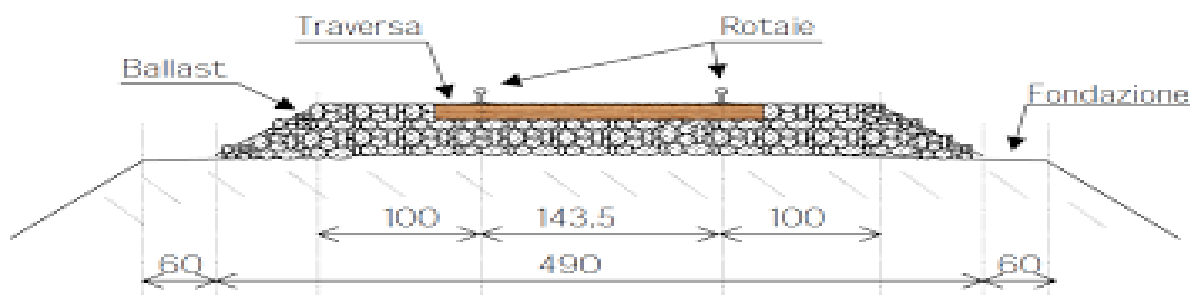


Fig.12

-Rotaia

La rotaia è un profilato in acciaio che, nella configurazione attuale a fungo e suola, fu introdotta per la prima volta nel 1830 dall'Ing. Vignoles, da cui ha tratto il nome di rotaia Vignole. Le rotaie si caratterizzano storicamente dal loro peso per unità di lunghezza. Le prime linee ferroviarie furono realizzate con rotaie che pesavano solo 5 kg/m, mentre oggi si possono impiegare rotaie pesanti fino a circa 71 kg/m (UIC-71). Tuttavia, quelle più diffuse in ambito europeo sono le rotaie da circa 60 kg/m (UIC-60). Nella tabella sono riportate le principali caratteristiche geometriche ed il peso delle più diffuse sezioni di rotaie. Quelle di maggiore peso presentano ovviamente un modulo di resistenza più elevato ed è altrettanto ovvio come la particolare forma della rotaia, con la massa centrifugata verso le estremità, fornisca, a parità di sezione, un modulo di resistenza maggiore.

Rotaia tipo	Peso (kg/m)	H (m)	Lsuola (mm)	Area (mm²)
FS 46	46,300	145	135	5926
UIC 50	49,850	148	135	6350
UIC 60	59,458	172	150	7686
UIC 71	71,270	186	160	9079

La lunghezza delle rotaie dipende dalle caratteristiche dell'impianto di produzione. In Italia vengono prodotte rotaie da 36 m, successivamente saldate elettricamente fino a costituire rotaie da 144 m. In altri Paesi vengono laminate rotaie di lunghezza fino a 108 m per il profilo UIC 60. La qualità dell'acciaio costituente la rotaia risulta codificata a livello internazionale dalla UIC (Union Internationale des Chemins de Fer), che definisce anche i metodi di fabbricazione e le modalità di controllo della qualità. Gli acciai impiegati per la realizzazione delle rotaie sono distinti nelle classi riportate nella tabella seguente, da cui è possibile desumere i valori di resistenza a trazione, la composizione chimica della lega e la tensione massima di esercizio.

La nomenclatura dei principali elementi (vedi Fig.13) che compongono la rotaia è la seguente:

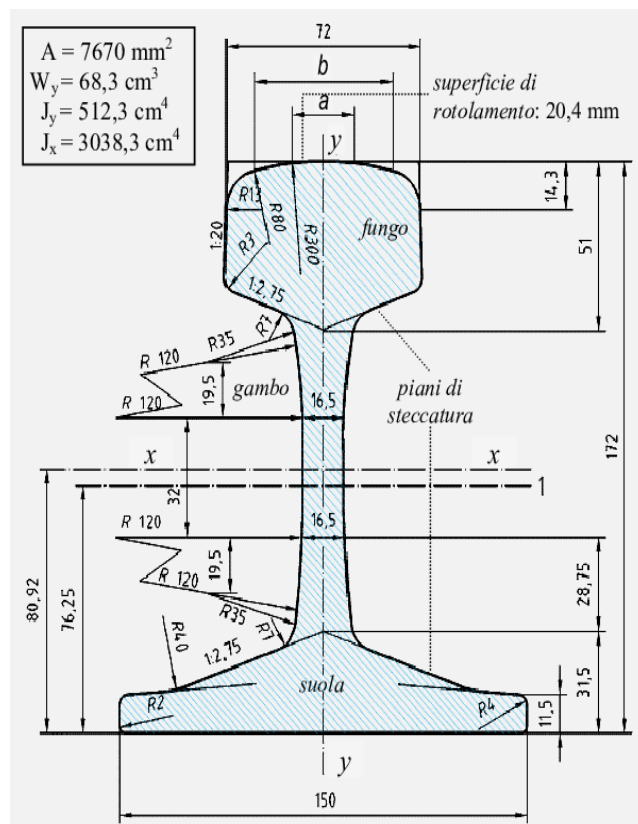
-fungo = parte superiore sulla quale poggiano direttamente le ruote ferroviarie;

-suola = parte inferiore, tramite la quale la rotaia poggia sulle traverse;

-gambo = parte centrale, posta tra fungo e suola, sede delle forature per la giunzione di due rotaie consecutive;

-superficie di rotolamento = parte superiore del fungo a diretto contatto con la parte attiva del cerchione;

-piani di steccatura = piani di raccordo tra fungo e gambo e tra gambo e suola; sono detti così perché tra di essi sono sistemate le “stecche” o “ganasce” in prossimità delle estremità delle rotaie ed in corrispondenza delle giunzioni tra due rotaie consecutive.



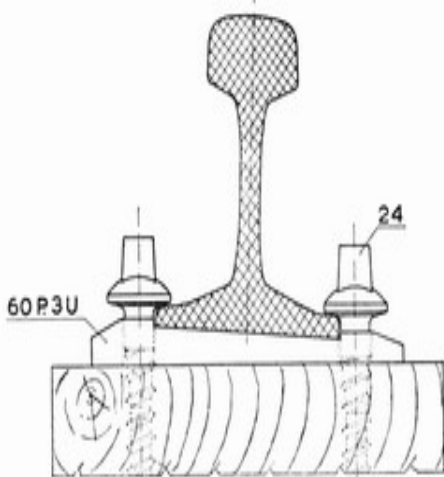
Sezione trasversale di una rotaia.Fig.13

-Attacchi

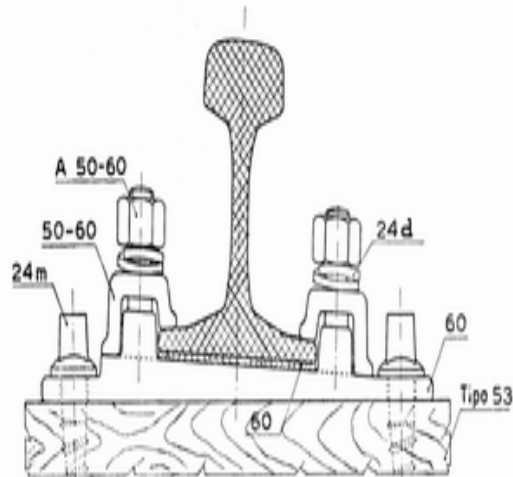
Si definisce organo d'attacco il dispositivo che permette alla rotaia l'ancoraggio alla traversa (trasferendo a questa gli sforzi verticali), una corretta posizione trasversale e longitudinale (serraggio idoneo ad evitare movimenti relativi tra rotaia e traversa), l'isolamento elettrico (se necessario). L'organo d'attacco può essere:

- diretto**: se l'organo di collegamento fra rotaia e traversa garantisce anche la posizione della rotaia (applicato su traverse in legno ed ormai in disuso);

- indiretto**: la funzione di collegamento rotaia/traversa è separata da quella di assicurare la posizione della rotaia (è oggi il tipo più diffuso, sia per traverse in legno, che per quelle in C.A.P). A sua volta la rotaia può essere posta in opera con posa diretta (se poggia direttamente sulla traversa) o con posa indiretta (se tra rotaia e traversa è interposta una piastra d'acciaio con lo scopo di meglio ripartire i carichi).



Attacco diretto con posa indiretta. Fig.14



Attacco indiretto. Fig.15

L'ancoraggio della rotaia alla traversa può essere realizzato principalmente in 2 modi:

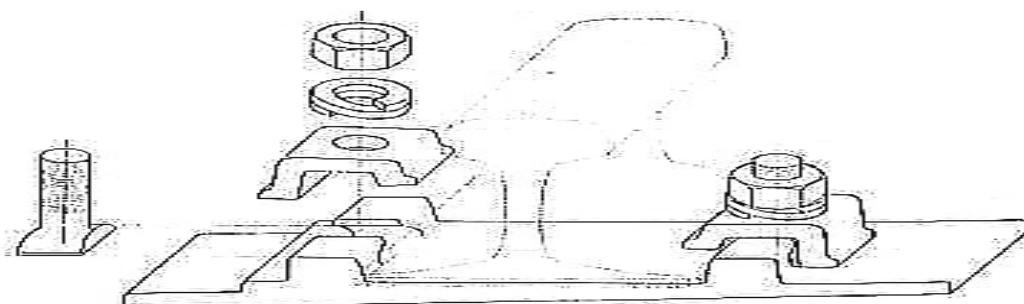
1) **mediante caviglie**; si tratta di collegamenti a vite che hanno come principale difetto la necessità di verifica periodica del grado di serraggio;

2) **mediante elementi inglobati**; cioè elementi in ghisa sferoidale, annegati nel corpo della traversa durante le fasi di prefabbricazione. Tale tipologia di collegamento, più recente è utilizzabile solo con traverse in C.A.P.; il suo pregio maggiore è quello di non richiedere alcuna manutenzione e di garantire delle tolleranze estremamente contenute a tutto vantaggio della regolarità dello scartamento.

Gli attacchi possono essere anche classificati in base alle proprie caratteristiche elastiche in:

- **rigidi**: quando la rotaia è fissata mediante collegamenti rigidi o che si comportano come tali;

- **elastici**: quando la rotaia è fissata grazie alla deformazione elastica degli elementi di fissaggio. L'attacco rigido più diffuso è il tipo K o tedesco costituito da: una piastra d'acciaio che aumenta la superficie di contatto sulla traversa, 4 caviglie che garantiscono il collegamento piastra-traversa avvitate nel legno (oppure in 4 tasselli inglobati nel getto delle traverse in C.A.P.), 2 chiavarde di ancoraggio a vite che, tramite due piastrine a cavallotto, assicurano il collegamento piastra-rotaia e la corretta posizione di quest'ultima, 2 rondelle elastiche interposte tra la chiavarda e la piastrina che, assieme ad un appoggio sotto rotaia in gomma, dislocato fra la piastrina e la suola della rotaia, conferiscono un minimo di elasticità all'attacco.



Attacco rigido tipo K (o tedesco). Fig.16

Tra gli attacchi elastici vengono comunemente utilizzati il tipo **Vossloh**, il tipo **Pandrol** e il tipo **Nabla**. In essi, la funzione di fissaggio verticale è affidata ad una molla che si deforma in modo differente a seconda del tipo di attacco. In particolare:

- la molla **Vossloh** (vedi Fig.17-18) viene deformata da una caviglia avvitata in un tassello inglobato nella traversa;



Fig.17



Fig.18

- la molla **Pandrol** (vedi Fig.19-20) viene deformata dall'interazione tra l'elemento metallico inglobato nella traversa e la suola della rotaia;



Fig.19



Fig.20

- la molla **Nabla** (vedi Fig.21) viene deformata elasticamente dal dado di estremità avvitato sulla chiavarda verticale.



Fig.21

-Giunzioni

Le testate delle rotaie vengono generalmente giuntate mediante ganasce in acciaio fissate con 4 chiavarde, 2 per ogni testata. Le ganasce presentano un particolare profilo, studiato per limitare il contatto con la rotaia ai soli piani di steccatura dove, data la loro limitata inclinazione, la trasmissione delle azioni verticali può avvenire con una maggiore efficienza.

Le ganasce sono strette alle testate della rotaia mediante chiavarde di giunzione passanti in fori conformati ad asola, tali da consentire le dilatazioni termiche del binario. In relazione alla sua posizione rispetto alla traversa, la giunzione può essere appoggiata o sospesa.

Nel primo caso, la giunzione appoggia su una coppia di traverse rese solidali mediante tre chiavarde, nel secondo la giunzione avviene nella mezzera dello spazio compreso tra due traverse successive, con la conseguenza che i due tratti estremi di rotaia si configurano come mensole. In presenza di circuiti di binario, occorre realizzare giunzioni isolanti in cui l'isolamento elettrico delle testate può essere realizzato sostituendo l'acciaio della ganascia con legno bakelizzato ed inserendo tra le testate un elemento isolante costituito da una sagoma in nailon.

In questo caso per rotaie UIC 60 le ganasce di giunzione presentano fori con diametri di 24 mm minori dei diametri dei fori della rotaia di 27 mm, per consentire la dilatazione termica; tali giunzioni sono serrate da chiavarde di 24 mm di diametro.

-Traverse

Si definisce traversa (o traversina) l'elemento prismatico trasversale che collega le due rotaie di un binario. La sezione trasversale delle traverse può appartenere, in funzione delle proprie dimensioni, a sette gruppi e, a seconda della forma, a tre categorie. L'interasse delle traverse costituisce il modulo o passo o spartito e caratterizza il comportamento del telaio del binario condizionando il trasferimento delle forze verticali e quindi i cedimenti. In passato si utilizzavano moduli di 75 cm, oggi la gran parte della rete adotta un modulo di 60 cm sia per linee tradizionali che AV/AC. Esistono moduli di traversa ridotti (50 cm), ma anche di 66 cm (linee secondarie FS). Le traverse svolgono la funzione di:

- ripartire sulla massicciata le sollecitazioni indotte dalla circolazione;
- ancoraggio del binario alla massicciata in presenza delle azioni indotte dalle variazioni di temperatura e dalle accelerazioni e decelerazioni dei convogli.

Per le lunghe rotaie saldate, l'immobilità del binario, in presenza di elevati gradienti di temperatura, è garantita appunto dall'ammorsamento delle traverse nel pietrisco. I materiali costituenti le traverse attualmente in uso sono il legno ed il cemento armato precompresso o no (in passato anche l'acciaio). Le traverse in legno di rovere e faggio, ma anche in cerro, pino e larice, vengono trattate (impregnate in autoclavi con olii di catrame) per conservare nel tempo (dai parassiti e funghi), non devono essere larghe più di 30 cm, alte più di 17 cm e lunghe 2,60 m e presentano una sabotatura (piano di ferratura) di 50 cm. Le traverse di cemento armato hanno ultimamente sostituito le traverse in legno (laddove non è necessario mantenere il binario giuntato) e sono distinte in monoblocco (unico manufatto in conglomerato cementizio precompresso longitudinalmente) e biblocco (costituita da due elementi in conglomerato cementizio con armatura lenta disposti sotto rotaia e collegati da un tirante in acciaio).

Le traverse biblocco sono caratterizzate da una significativa flessibilità trasversale sotto carico che causa un aumento dello scartamento (sia pure contenuto entro i limiti di tolleranza); è quindi opportuno evitarne l'impiego nelle tratte a traffico promiscuo, dove cioè le sollecitazioni verticali e dinamiche sono estremamente eterogenee. Per contro, però, gli elementi di blocco presentano una resistenza alle azioni trasversali maggiore delle traverse monoblocco, essendo doppia la superficie di contrasto pietrisco-traversa sulle facce laterali, anche se la reazione di attrito sulla faccia inferiore, a contatto con la massicciata, diminuisce a causa della minore superficie di appoggio e del minor peso. L'impiego delle traverse in cemento armato presenta i seguenti **vantaggi** rispetto a quelle in legno:

- grande stabilità dell'armamento ferroviario dovuta al peso del calcestruzzo sensibilmente più elevato di quello del legno (a titolo d'esempio, si osserva che un binario armato con rotaie UIC 60, montate su traverse in legno, ha un peso per metro di circa 250 kg, mentre lo stesso binario montato su traverse in cemento armato ha un peso per metro di ben 600 kg);
- elevata inerzia nei confronti delle sollecitazioni verticali prodotte dal passaggio dei carichi mobili;
- ridotta attività di manutenzione;
- possibilità di armare gli ancoraggi delle rotaie in officina, garantendo in tal modo un accurato rispetto dello scartamento;
- riduzione del tempo di produzione.

Per contro, l'utilizzo delle traverse in cemento armato presenta i seguenti **svantaggi** rispetto alle traverse in legno:

- impossibilità di recupero degli elementi usurati;
- necessità di ricorrere a particolari provvedimenti per isolare le rotaie fra loro e la terra nel caso di trazione elettrica.

-Massicciata ferroviaria

La massicciata è la parte della sovrastruttura costituita da elementi di roccia frantumata (ballast) che assicura la geometria e la stabilità del binario in essa annegato. La massicciata svolge i seguenti compiti:

- distribuisce i carichi verticali sul piano di sottofondo del corpo ferroviario,
- assicura al binario le condizioni geometriche di progetto (livelli e allineamenti sia di costruzione che di manutenzione),
- assorbe gli sforzi indotti nel binario dalla circolazione dei treni (verticali e orizzontali dovuti alle azioni di guida, ai moti di serpeggio, alle azioni frenanti, alle azioni di martellamento), dalle variazioni di temperatura,
- costituisce un drenaggio delle acque meteoriche,
- conferisce elasticità al binario e realizza un filtro fra binario ed ambiente per le vibrazioni.

Il materiale lapideo per la formazione della massicciata deve essere permeabile e costituito da elementi con coefficiente d'attrito interno non inferiore a 45° ed una densità non minore di $1,5 \text{ t/m}^3$. I suoi elementi devono essere a spigoli vivi (le FS impongono indici Los Angeles inferiori a 20-25 per linee normali e non superiore a 16 per linee AV/AC). La pezzatura del pietrisco deve essere compresa per le FS tra 3 e 6 cm. Per massicciate ferroviarie di solito vengono preferite le rocce silicee alle rocce calcaree: le caratteristiche chimico-mineralogiche della roccia e la sua struttura influenzano le caratteristiche meccaniche di resistenza all'usura e di durabilità. Un pietrisco di rocce silicee ha una durabilità di un trentennio contro una durabilità di un ventennio di un pietrisco di rocce esogene (se sottoposto ad un traffico giornaliero di 200000 t).

La sezione di una massicciata ha forma trapezoidale ed è costituita dalle seguenti parti: cassonetto (parte ove sono annegate le traverse), unghiatura (sezione triangolare del trapezio), ciglio dell'unghiatura (è lo spigolo superiore della massicciata), piede dell'unghiatura (è lo spigolo inferiore della massicciata).

-Sub-ballast e sottofondo

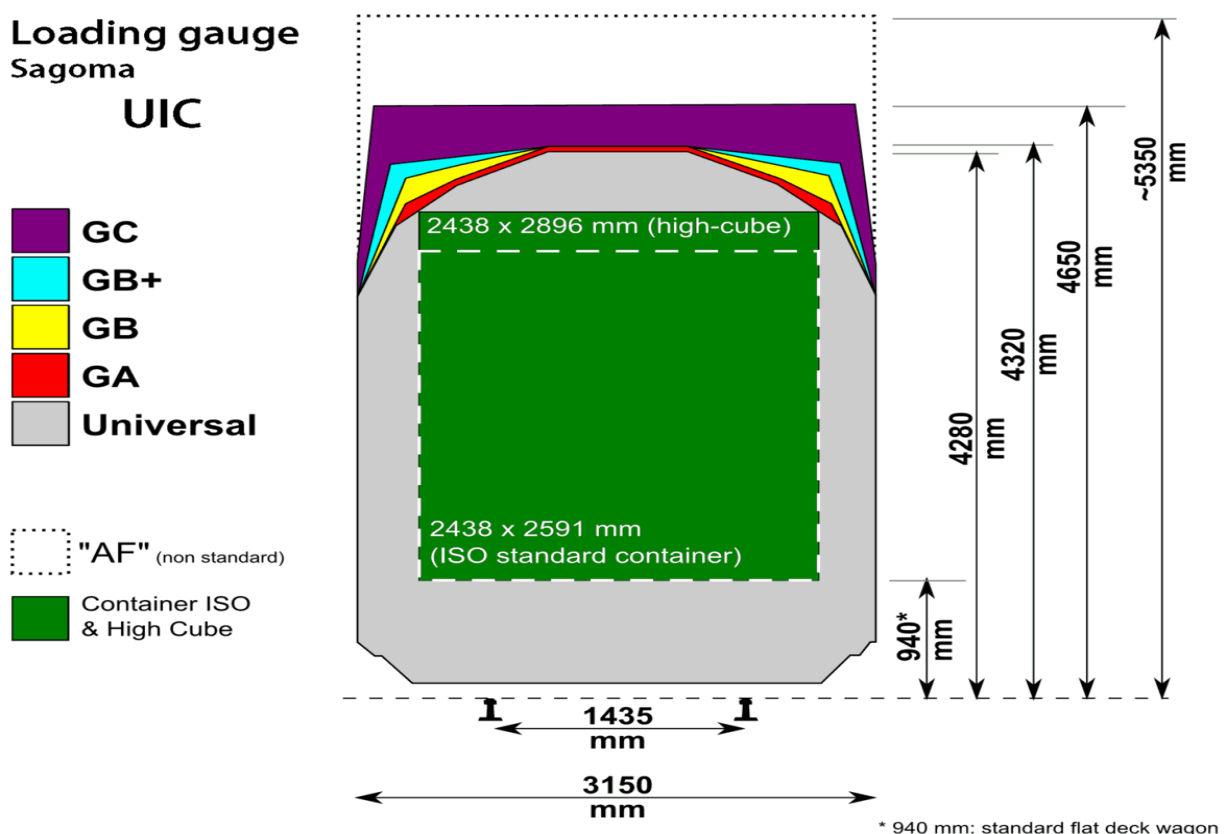
Specifici controlli sperimentali hanno evidenziato come i vari livelli di velocità di marcia dei convogli sollecitino con modalità diverse il binario, soprattutto per effetto delle vibrazioni (lunghezze d'onda, accelerazioni) prodotte da difetti d'appoggio del binario stesso. La trasformazione dell'energia di vibrazione in lavoro di deformazione determina scorrimenti reciproci fra i granuli della piattaforma che possono portare a nuove configurazioni di equilibrio anche prossime alle condizioni limite. Di conseguenza, per il raggiungimento di velocità sempre più elevate, si è introdotto un nuovo elemento strutturale (sub-ballast o sotto-ballast), all'interfaccia tra ballast e sottofondo, idoneo a mantenere inalterata la geometria del binario in relazione alle elevate velocità previste tenendo presente che le accelerazioni delle traverse aumentano con il quadrato della velocità. In particolare, il sub-ballast deve:

- garantire una migliore distribuzione delle sollecitazioni statiche e dinamiche nel sottofondo,
- adattarsi, senza fessurarsi, ad eventuali assestamenti del piano di posa,
- resistere alle sollecitazioni a fatica ed ai cicli di gelo-disgelo,
- impedire la risalita di materiale fino verso la massicciata,
- fornire un permanente e regolare piano di scolamento.

Per ottenere i suddetti obiettivi, le FS prevedono che il sub-ballast possa essere costituito da uno strato in conglomerato cementizio dello spessore di almeno 20 cm (si tratta di misto cementato caratterizzato da inerti a basso dosaggio di cemento; il basso modulo elastico consente una buona deformabilità) oppure da uno strato in conglomerato bituminoso dello spessore minimo di 12 cm.

-Sagoma limite

Nella tecnica delle ferrovie con il termine di sagoma limite viene indicata la dimensione massima di larghezza e di altezza sul piano del ferro che deve essere rispettata da qualunque tipo di rotabile ferroviario perché possa liberamente circolare. Si parla di sagoma, e non semplicemente di dimensioni ammesse, in quanto queste ultime sono variabili con l'altezza considerata, dando luogo ad un vero e proprio profilo con una forma particolare, e non ad un semplice rettangolo. Da un punto di vista tecnico, la sagoma limite è pensata come un "profilo di sicurezza" che deve rimanere (con un certo margine) libero da ostacoli fissi per consentire il transito dei carri, e che viceversa questi ultimi non devono mai superare in condizioni di marcia. Le sagome limiti sono, in genere, diverse a seconda delle Amministrazioni. Per i veicoli destinati ad essere scambiati tra i vari Paesi europei, l'UIC ha definito diverse sagome limiti internazionali denominate Gabarit da utilizzare in funzione del tipo di linea.



Schema tipico delle diverse sagome limite utilizzate in fase di progettazione preliminare. Fig.22

CAPITOLO 13: “MANUTENZIONE DELL’ARMAMENTO”

La manutenzione della linea oggi è un'operazione altamente automatizzata e deve essere più frequente con l'aumentare delle velocità di passaggio. La posa e la manutenzione dei binari non viene più realizzata a mano da squadre di operai ma si usano macchine speciali, in grado di preparare il terreno, posare le rotaie, o rimuoverle in modo semiautomatico. Lavori di manutenzione ordinaria includono la reintegrazione della massicciata, lo spargimento di diserbanti o il controllo della linea. Tutte queste operazioni sono oggi svolte da attrezzature e mezzi speciali o addirittura da appositi convogli ferroviari. Presso la rete ferroviaria italiana esistono diverse vetture o treni diagnostici. Quelli attualmente in uso sono: Treno Misure Archimede (treno diagnostico realizzato dalla collaborazione tra RFI e MER MEC che è in grado di misurare oltre 200 parametri infrastrutturali, quali geometria, correnti codificate, tensione e spessore della linea di contatto), la vettura Talete (specializzata per parametri d'armamento: geometria e profilo delle rotaie), la vettura Aldebaran (per i rilievi della linea di contatto) e il treno Galileo (per i rilievi ad ultrasuoni delle rotaie). Ancora molto utilizzate nelle linee secondarie o a traffico meno intenso i carrelli PV6 e PV7 con i quali Rfi può disporre ulteriori controlli dei parametri di geometria del binario (scartamento, allineamento, liv. longitudinale, sghembo e sopraelevazione)



Taglio della rotaia da parte di un operatore dell'unità manutentiva. Fig.24

-Rincalzatrice

La rincalzatura (vedi Fig.25) è eseguita con macchinari pesanti a vibro compressione (rincalzatrice) in grado di allineare, livellare e rincalzare contemporaneamente il binario in un'unica fase. La rincalzatrice effettua il lavoro attraverso i martelli che inseriti ad intervalli specifici all'interno della massicciata a ridosso della rotaia che viene sollevata, vibrano e si muovono in modo da rincalzare il pietrisco e sollevarlo all'altezza desiderata. Con questo procedimento si eliminano le scanalature che rimangono nel ballast della massicciata, e si rende il binario lineare, quindi più sicuro per il passaggio dei treni. Spesso queste macchine operano in concomitanza con altri veicoli di servizio, in modo quasi totalmente automatizzato, e sono in grado di rettificare anche diverse centinaia di metri all'ora. La **rincalzatrice ferroviaria** è una macchina per la manutenzione ordinaria e sistematica dell'armamento delle linee ferroviarie. La sua funzione è di effettuare la rincalzatura del binario, cioè portarlo al livello richiesto dalle specifiche di costruzione. La rincalzatrice effettua il suo lavoro per mezzo di martelli o *batte* che, inserite ad intervalli specifici all'interno della massicciata in pietrisco a ridosso della rotaia che viene sollevata, vibrano e si muovono in modo da *rincalzare* il pietrisco e sollevarlo all'altezza desiderata. Con questo procedimento si eliminano le zolle o le cavità che naturalmente rimangono nel ballast della massicciata, e si rende il binario lineare, quindi più sicuro e confortevole per il passaggio dei treni. Esistono vari modelli di rincalzatrice, a seconda della casa di fabbrica e della modalità di lavoro: Rincalzatrici da scambi, da linea a 2 e 3 traverse rincalzate alla volta. Ognuna di queste ha specifiche modalità operative che la rendono adatta a diverse configurazioni di linea. Spesso queste macchine operano in concomitanza con altri veicoli di servizio, in modo quasi totalmente automatizzato, e sono in grado di rettificare anche diverse centinaia di metri all'ora.



Rincalzatrice in servizio sul binario. Fig.25

CONCLUSIONI

Gestire in sicurezza la circolazione ferroviaria, mantenere in piena efficienza l'infrastruttura con il suo fitto reticolo di linee e di stazioni, farla evolvere per connettere sempre meglio le diverse aree del Paese, è da anni la missione di R.F.I. Viene espletata fondando l'impegno su principi, regole e valori che vengono condivisi anche ai molti operatori economici che lavorano per l'azienda. Per assicurare a tutti l'accesso a servizi e asset ferroviari di qualità e per contribuire allo sviluppo sostenibile del Paese e del suo sistema di mobilità. Le attività vengono svolte rispettando i principi sull'erogazione dei servizi pubblici e i valori comuni a tutto il Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane.

-Sicurezza della circolazione e protezione dei viaggiatori

Vengono adottati strumenti e processi in grado di offrire i più alti standard di sicurezza nella circolazione dei treni e in tutte le altre attività, a tutela degli utilizzatori della rete, dei lavoratori e dell'ambiente.

- Qualità e sostenibilità

Viene promosso lo sviluppo di un sistema dei trasporti più sostenibile sia dal punto di vista ambientale che sociale, a beneficio della collettività e del sistema logistico e produttivo.

-Efficacia ed efficienza

Si lavora nell'ottica del miglioramento continuo dell'efficacia e dell'efficienza delle prestazioni offerte, progettando, realizzando e offrendo impianti e servizi sempre più adeguati alle esigenze della clientela.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

-www.fsitaliane.it

-www.rfi.it

-manuale di progettazione d'armamento (RFI)

-manuale di progettazione delle opere civili, allegato 6, sagome e profilo minimo degli ostacoli (RFI)