

12

ASSE FERROVIARIO TORINO LIONE

Contributi tecnico ambientali

per una corretta valutazione economica
degli interventi di adeguamento della
linea ferroviaria Torino Lione

*come previsto nel Trattato Internazionale Italia-Francia
"Avvio dei lavori definitivi della sezione transfrontaliera della
Nuova Linea Ferroviaria Torino Lione"
in vigore dal 1 marzo 2017*

*Il rapporto è stato trasmesso alla Presidenza del Consiglio dei Ministri e al
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti il 28 dicembre 2018*

Osservatorio
PER L'ASSE FERROVIARIO TORINO LIONE

Contributi tecnico ambientali

per una corretta valutazione economica
degli interventi di adeguamento della
linea ferroviaria Torino Lione

*come previsto nel Trattato Internazionale Italia-Francia
"Avvio dei lavori definitivi della sezione transfrontaliera della
Nuova Linea Ferroviaria Torino Lione"
in vigore dal 1 marzo 2017*

*Il rapporto è stato trasmesso alla Presidenza del Consiglio dei Ministri e al
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti il 28 dicembre 2018*

Quaderno n° 11

Redazione

Andrea Costantino

Prima edizione

Dicembre 2018

Copyright

L'utilizzo dei testi, delle tavole e delle tabelle è libero, a condizione di citare la fonte

Riunioni dedicate dall'Osservatorio ai Contributi Tecnico Ambientali

I lavori sono stati condotti nel mese di Dicembre nell'ambito della seduta:

n. 274 del 21 dicembre 2018

in cui si è trattato:

contributo dell'Osservatorio per l'asse ferroviario Torino-Lione all'analisi costi e benefici proposta dal Ministro delle Infrastrutture e Trasporti.

I Benefici Ambientali della Torino Lione

Benefici in fase di esercizio della Torino-Lione (fase 1-2030):

A. Gli effetti del trasferimento modale

a cura del **Prof. R. Zucchetti**

B. Il risparmio di energia in fase di esercizio

a cura di **M. Olivero Pistoletto**

Lista Componenti Osservatorio, DPCM 15 dicembre 2017

Presidente dell'Osservatorio

arch. Paolo Foietta
Commissario Straordinario di
Governo

Vice Presidente dell'Osservatorio

on. Osvaldo Napoli

Prefettura di Torino

Prefetto dr. Claudio Palomba
Prefetto dr. Renato Saccone (fino al
30 ottobre 2018)
Vice Prefetto dr.ssa Marita
Bevilacqua

CIG – Commissione Intergovernativa italo-francese

sgr. gen. dr. Fabio Pasquali

Ministero delle infrastrutture e dei trasporti

ing. Eugenio Martino
arch. Giuseppe Vigliaturo

Provveditorato OO.PP. Piemonte, Valle d'Aosta e Liguria

arch. Roberto Ferrazza,
ing. Michelangelo Pasquariello

Ministero della salute

dr. Mariano Alessi,
dr. Gaetano Settimo

Ministero dell'ambiente della tutela del territorio e del mare

dr. Carlo Di Gianfrancesco
dr. Mauro Libè

Presidenza del Consiglio dei Ministri

dr. Valerio Vecchietti
dr.ssa Valentina Guidi

Regione Piemonte

Assessore Francesco Balocco
dr.ssa Raffaella Scalisi
dr. Paolo Milanese
dr. Roberto Ronco
ing. Luigi Robino
ing. Andrea Carpi
arch. Riccardo Lorizzo
arch. Eugenia Molinar Min
ing. Roberto Delponte

Città Metropolitana di Torino

ing. Giannicola Marengo

Comuni ambito A1 sezione transfrontaliera

Chiomonte – Sindaco e
arch. Michele Ruffino
Giaglione – Sindaco
Gravere – Sindaco
Meana di Susa – Sindaco
Salbertrand – Sindaco

Comuni ambito A2 varianti in nuova sede

Buttiglieria Alta – Sindaco e
arch. Alberto Ballarini
Rivalta di Torino – Sindaco e
arch. Claudio Malacrino
Rivoli – Sindaco
Rosta – Sindaco
Orbassano – Sindaco e
arch. Valter Martino

Comuni ambito B1 adeguamento linea storica

Chianocco – Sindaco e
ing. Livio Dezzani
Sant'Antonino di Susa – Sindaco e
ing. Livio Dezzani

Comuni ambito B2 adeguamento e miglioramento accesso nodo di Torino

Grugliasco – Sindaco
Moncalieri – Sindaco
Settimo Torinese – Sindaco
Trofarello – Sindaco

Comuni ambito B3 tracciato esistente della linea storica in media/alta Valle

Bardonecchia – Sindaco
Chiomonte – Sindaco e
arch. Michele Ruffino
Exilles – Sindaco
Gravere – Sindaco
Meana di Susa – Sindaco
Oulx – Vice Sindaco
Salbertrand – Sindaco

Comuni ambito C interventi connessi

Buttiglieria Alta – Sindaco e
arch. Alberto Ballarini
Cesana Torinese – Sindaco Torrazza
Piemonte – Sindaco

Rete Ferroviaria Italiana RFI

ing. Filippo Catalano, ing. Luca
Bassani, ing. Roberto Rolle, ing.
Emmanuele Vaghi, ing. Andrea
Demicheli

Italferr

ing. Alessandro Carrà, ing. Vittorio
Borsetti, ing. Francesco Perrone, ing.
Enrico Piovano, dr. Francesco
Paolucci

TELT-sas

arch. Mario Virano, ing. Maurizio
Bufalini, ing. Fabio Polazzo, ing.
Manuela Rocca, ing. Lorenzo Brino,
ing. Piergiuseppe Gilli, ing. Matteo
Bertello, arch. Gianmarco Uras, ing.
Silvio Garavoglia, ing. Francesco
Magnorfi (Tecnimont spa), ing. Carlo
Ognibene (Tecnimont spa)

Arpa Piemonte

ing. Angelo Robotto
dr.ssa Paola Balocco
dr.ssa Antonella Bari

Agenzia Mobilità piemontese

ing. Cesare Paonessa
arch. Andrea Stanghellini

Esperti della Struttura del Commissario Straordinario

arch. Ilario Abate Daga, ing. Andrea
Debernardi, prof. Roberto Zucchetti

Esperti invitati

prof. Carlo Alberto Barbieri, prof.
Franco Berlanda, Ing. Franco Campia,
arch. Pasquale Bruno Malara, ing.
Aldo Manto, prof. Fabio Minucci, dr.
Giovanni Nigro, ing. Michele
Pantaleo, ing. Silvano Ravera, ing.
Pier Carlo Sibille, arch. Maria Sorbo,
dr. Andrea Valente Arnaldi, prof.
Mario Villa, dr. Vincenzo Coccolo

Invitati:

ANIEM Piemonte, API, ASCOM
Torino, ATC Torino, Coldiretti,
Confcooperative Piemonte Nord,
CNA Piemonte, Confagricoltura, CIA,
Comitato Transpadana, Confindustria
Piemonte, FAI, Imprend'Oc,
Legacoop Piemonte, SITO SpA,
Unione Industriale, CGIL – FILLEA,
CISL – FILCA, UIL – FENEAL

INDICE GENERALE

INTRODUZIONE DI P. FOIETTA	9
----------------------------------	---

1. COSTI E BENEFICI, AMBIENTALI E CLIMATICI DEL TRAFFICO DELLE MERCI ATTRAVERSO IL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO TORINO LIONE – R. ZUCCHETTI	15
--	-----------

1.1. <i>PREMESSA</i>	16
1.2. <i>METODOLOGIA</i>	16
1.3. <i>COSTI ESTERNI DEI VEICOLI STRADALI PESANTI</i>	17
1.4. <i>COSTI ESTERNI DEI TRENI MERCI</i>	19
1.5. <i>EFFETTO DELLA SOSTITUZIONE DI AUTOARTICOLATI PESANTI CON UN TRENO</i>	20
1.6. <i>UTILIZZATI PARAMETRI MOLTO PRUDENTI CHE SOTTOSTIMANO IL BENEFICIO DELLA FERROVIA</i>	21
1.7. <i>EFFETTI NEL LUNGO PERIODO DEL TRASFERIMENTO MODALE DELLE MERCI</i>	21
1.8. <i>I COSTI ESTERNI DEL TRAFFICO PASSEGGERI</i>	23

2. CONSUMI ENERGETICI DELLA NUOVA TRATTA DI VALICO IN FASE DI ESERCIZIO E CONFRONTO CON I CONSUMI DELLA TRATTA DI VALICO DELLA LINEA STORICA – M. OLIVERO PISTOLETTO	25
---	-----------

2.1. <i>PREMESSA</i>	26
2.2. <i>ENERGIE DEI TRENI</i>	26
2.3. <i>COMPARAZIONI ENERGETICHE</i>	30
2.4. <i>RENDIMENTO DI SISTEMA</i>	32
2.5. <i>OTTIMIZZAZIONE DEL BILANCIO ENERGETICO E INFLUENZA DELLA FRENATURA ELETTRODINAMICA SULLA VELOCITÀ DI MARCIA</i>	34
2.6. <i>RESISTENZA ALLA TRAZIONE DI UN TRENO</i>	35
2.7. <i>CONVOGLI MERCI A CONFRONTO TRA LA LINEA DI VALICO DEL FREJUS ED IL TUNNEL DI BASE DEL MONCENISIO</i>	37
2.8. <i>L'IPOTESI VENTIMIGLIA PER EVITARE LE DOPPIE/TRIPLE TRAZIONI E L'EFFETTO SULLA QUESTIONE ENERGIA</i>	39
2.9. <i>LO STUDIO ENERGETICO DI MIRCO FEDERICI</i>	40
2.10. <i>LA PENALIZZAZIONE DEL TGV SULLA TRATTA DI VALICO DEL FREJUS</i>	43
2.11. <i>I CONSUMI ENERGETICI PER IL RAFFREDDAMENTO E LA VENTILAZIONE DEL TUNNEL</i>	44
2.12. <i>CONCLUSIONI</i>	45

INTRODUZIONE

A seguito della decisione del Governo Italiano di «ridiscutere integralmente il progetto nell'applicazione dell'Accordo tra Italia e Francia» abbiamo ritenuto fosse necessario realizzare un ulteriore «contributo tecnico» relativo ai benefici ambientali ed energetici dell'opera, da mettere a disposizione del Governo, affinché disponga di ogni elemento utile per assumere le proprie determinazioni in merito.

Tale necessità, sollecitata dai componenti dell'Osservatorio, è maturata a seguito di articoli ed esternazioni che si opponevano all'opera, in modo spesso confuso, proponendo argomenti «decrescitisti» perlomeno impropri o critiche «ecologiste» infondate basate su informazioni false e/o distorte.

LA CRITICA DEL “MODELLO ECONOMICO DI SVILUPPO” PUÒ ESSERE UTILIZZATA CONTRO LA TORINO LIONE ?

Alla Torino Lione vengono spesso contrapposte critiche astratte, non rivolte all'opera ma al **modello economico di sviluppo**, che andrebbe “superato” per la “necessità ecologica” di **ridurre immediatamente i consumi (e quindi anche la produzione e l'export)**, rendendo così inutile la **necessità di trasporto**. Mercalli ad esempio sostiene che “Se vogliamo perseguire una politica seria di sostenibilità ci sarebbe anche da mettere in discussione cosa trasportiamo togliendo o tassando più pesantemente le cose insignificanti per farne circolare di meno”.

Mi permetto di osservare che le scelte di “**decrescita**” più o meno felice riguardano l'intero modello economico che è “globale” ed è storicamente basato sulla crescita come strumento per produrre più ricchezza, più lavoro e più servizi; l'intero sistema delle infrastrutture ne è coinvolto indirettamente in quanto funzionale alla produzione ed al consumo. Siamo appena usciti da una pesante fase di recessione (o decrescita) che non risulta essere stata felice e nessun Paese ha mai programmato finora un futuro a bassa intensità di consumo. La decisione di un “nuovo modello economico di sviluppo” non può essere “locale” ma deve obbligatoriamente essere “globale e condivisa”.

Anche la recente legge di bilancio è costruita su obiettivi di crescita della produzione, dei consumi e dell'export; il Governo e le parti sociali tutte stanno lavorando anzi per aumentare la crescita, per una maggiore occupazione e disponibilità di reddito per le fasce di popolazione più svantaggiate e queste condizioni si possono realizzare solo aumentando la produzione per il mercato interno (consumi) ed esterno (export).



L'Italia è un Paese manifatturiero leader in Europa e nel mondo. L'economia nazionale è caratterizzata da una forte «vocazione manifatturiera» rivolta negli ultimi anni principalmente all'export; le nostre imprese manifatturiere ricevono materie prime (che arrivano in gran parte dall'estero), le trasformano e le esportano su mercati che sono in gran parte esteri. L'Italia non è un paese autosufficiente, nemmeno nella produzione agroalimentare e la dematerializzazione dell'economia è oggi una “favola” che non trova alcun riscontro reale.

Quindi, se vogliamo produrre ricchezza e lavoro è necessario importare (e trasportare) materie prime ed esportare (e quindi trasportare) prodotti trasformati.

Per questo abbiamo bisogno di infrastrutture di trasporto adeguate, ambientalmente sostenibili, efficienti e competitive; il sistema dei trasporti è quindi una condizione indispensabile per garantire competizione e sviluppo.

E questo vale anche per il turismo; sviluppare la nostra vocazione turistica richiede collegamenti efficienti ed una “ottima” accessibilità¹.

Pensare che il Piemonte isolato dal sistema mondiale dei trasporti possa diventare una sorta di “laboratorio” per la sperimentazione della decrescita (in)felice è un'ipotesi che fa rabbrivire. Gli effetti sarebbero disastrosi per l'economia, per il lavoro, per la coesione sociale della nostra comunità.

DECRESCITA FELICE O TRANSIZIONE ECOLOGICA DEL SISTEMA DEI TRASPORTI ?

*Il progetto dell'adeguamento ferroviario della Torino Lione è fondato, molto più realisticamente, sulla necessità di una **transizione ecologica del sistema dei trasporti delle merci e delle persone**, oggi fondato quasi esclusivamente sul “sistema autostradale”.*

L'obiettivo europeo della crescita economica indica l'integrazione fisica come condizione per aumentare la competitività globale, perseguendo l'obiettivo dell'equità sociale e territoriale nel rispetto dell'ambiente. L'obiettivo dell'Unione Europea di una netta riduzione dell'impatto sull'ambiente (CO₂, NO_x, SO_x, PM10, PM2.5, effetto serra) motiva la scelta prioritaria del trasferimento modale di una parte significativa delle merci trasportate attraverso le Alpi, con un sistema ferroviario “moderno” e caratterizzato da adeguati standard europei.

Non si può accettare che il traffico merci e passeggeri continui a privilegiare la modalità stradale, andando così ad aggravare il carico ambientale, in un momento in cui tutta Europa ha preso coscienza del gravoso impatto del traffico stradale sull'ambiente in termini di rumore, di CO₂ prodotta, di consumo di suolo e di fonti di energia non rinnovabili. Infatti, nel Libro Bianco del 2011, la Commissione Europea suggerisce “...sulle percorrenze superiori a 300 km, il 30% del trasporto di merci su strada dovrebbe essere trasferito entro il 2030 verso altri modi, quali la ferrovia o le vie navigabili. Nel 2050 si dovrebbe passare al 50%”.

Il traffico ferroviario merci sui valichi alpini non può fare a meno dell'asse est-ovest; l'interscambio economico dell'Italia con l'Ovest Europa vale oltre 200 miliardi, il 24% del totale dell'Italia con il Mondo. Il sistema produttivo dell'Italia Occidentale è uno dei più importanti d'Europa.

L'obiettivo della Nuova Linea Torino Lione e della sezione transfrontaliera in particolare, con il tunnel di base, è quello di porre rimedio ad una forte anomalia rispetto al contesto transalpino ed europeo

¹ Il tutto certamente si deve fare mitigando l'impatto ambientale degli spostamenti (considerando che trasferire un passeggero da un volo aereo ad un servizio ferroviario fra Milano Parigi, sulla base del modello ECOPASSENGER permette di ridurre le emissioni di anidride carbonica di circa il 90% e gli ossidi di azoto del 92%).

sulle direttrici Italia-Francia dove solo il 7% delle merci viaggia via ferrovia rispetto al 30% delle direttrici Italia-Austria e al 70% dell'Italia-Svizzera pur in presenza di volumi di scambio (in quantità e in valore) analoghi.

Se non vogliamo condannare le relazioni transalpine ad un futuro totalmente stradale quello che possiamo fare oggi è garantire una linea ferroviaria sicura, competitiva e conveniente che possa garantire lo shift modale di merci e persone.

L'obiettivo di trasferimento modale del trasporto delle merci dalla gomma al ferro ha come effetto la riduzione di un ordine di grandezza delle emissioni climalteranti, della congestione, dell'incidentalità, del rischio per il trasporto delle merci pericolose.

Questo è il modello perseguito dall'Unione Europea e dai paesi europei più evoluti.

Per perseguire una tale politica e dare attuazione al trasferimento modale è quindi necessario realizzare almeno una linea ferroviaria moderna e competitiva che costituisca un arco fondamentale dei corridoi strategici europei.

Chi sostiene oggi l'utilizzabilità della vecchia linea del Frejus, la più obsoleta e svantaggiata tratta di valico delle Alpi - satura per i limiti irrimediabili di sicurezza ed oramai abbandonata dal traffico delle merci - mente sapendo di mentire².

Senza la sua sostituzione il rilevante traffico sull'arco alpino occidentale (maggiore di quello ai confini svizzeri) sarà esclusivamente autostradale (oggi lo è già al 93%) e gli effetti sulle condizioni ambientali e di vita delle aree attraversate saranno nel lungo periodo disastrosi.

IL BILANCIO CUMULATIVO DEL CARBONIO DELLA TORINO LIONE

Per queste ragioni riteniamo che la polemica sollevata dal fronte ambientalista sul **"bilancio cumulativo del carbonio"** sia strumentale o basata su dati errati.

Gli strumenti di calcolo e le analisi fatte portano tutti agli stessi risultati: grazie all'esercizio della nuova infrastruttura ferroviaria e al trasferimento modale otterremo una riduzione netta dell'impatto sull'ambiente.

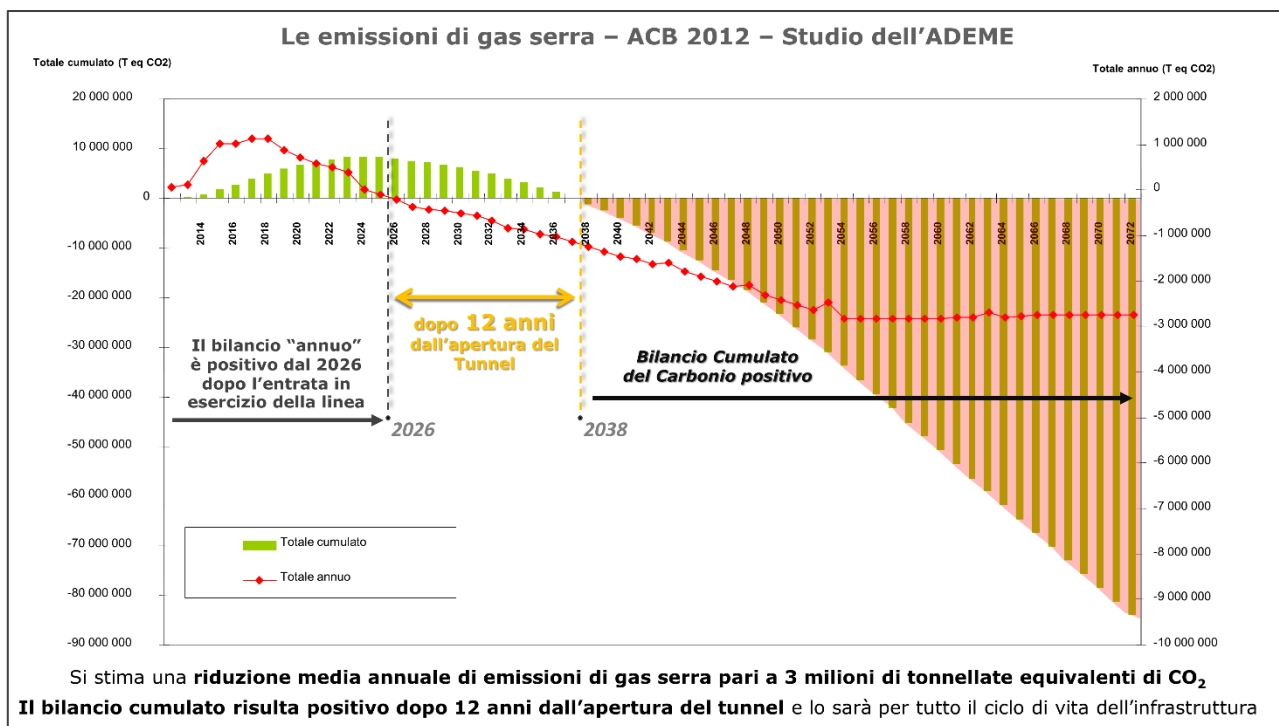
Se analizziamo l'indicatore ambientale del bilancio cumulativo del carbonio, le simulazioni effettuate dimostrano che in poco più di 12 anni dalla messa in esercizio dell'infrastruttura tale bilancio sarà positivo per tutta la durata dell'opera.

E' vero che nella costruzione dell'opera si registra un consumo energetico rilevante con conseguenti emissioni, ma è altrettanto vero che **tale "costo energetico" sarà ammortizzato per effetto del trasferimento modale dei mezzi pesanti sulla nuova infrastruttura in poco più di 12 anni di esercizio per effetto del trasferimento modale.**

Questo significa che dal' 13° anno, ripagati i costi energetici di costruzione, gli effetti saranno assolutamente positivi, ed in aumento negli anni successivi; questo per l'intero ciclo di vita della infrastruttura che è almeno centennale: un risultato estremamente positivo proprio nella logica della transizione "ecologica europea". Benefici che valgono in media 3 milioni di tonnellate di CO₂ risparmiate ogni anno nel trasporto di merci e persone.

Tali benefici saranno possibili solo con la realizzazione della nuova tratta transfrontaliera della Torino Lione. Più tempo perdiamo a completarla, più lontani si manifesteranno i benefici prima elencati.

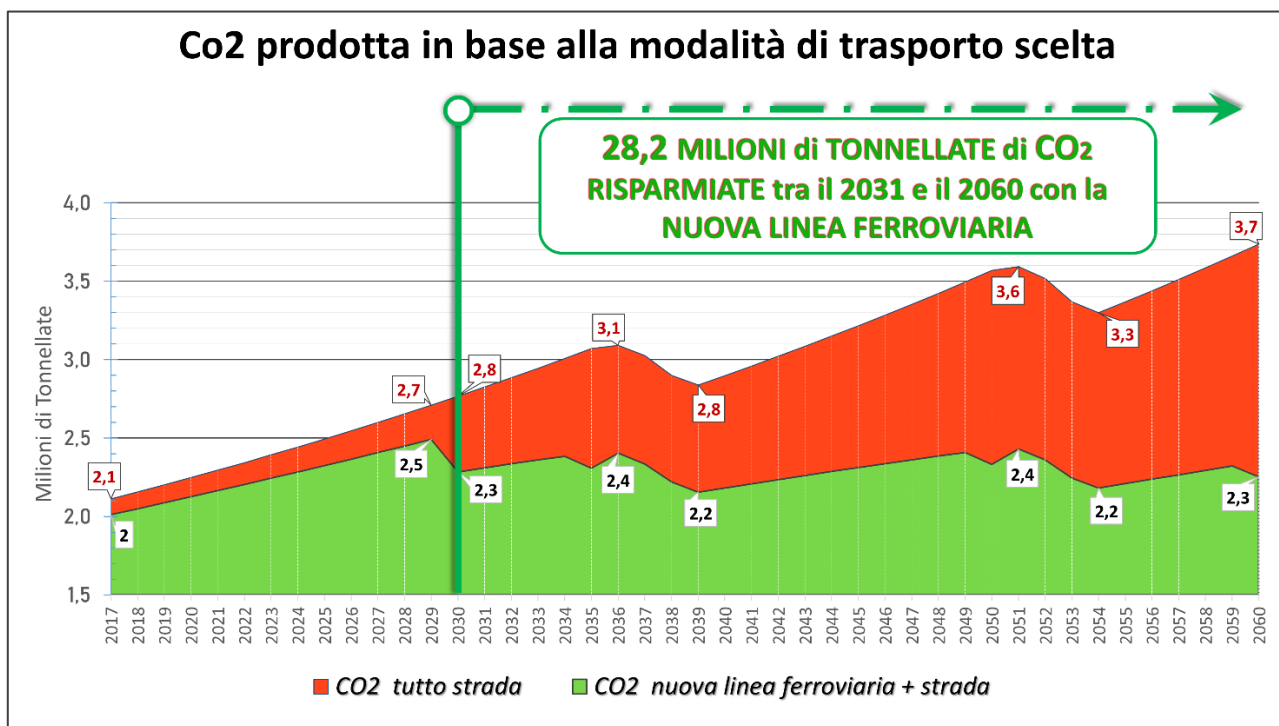
² Si veda in merito il Quaderno 11 , capitolo 5.2



Gli studi ed i dati più recenti elaborati per il progetto alla fase 1 (2030) confermano tali tempistiche e dimostrano che raggiungendo la ripartizione modale del 30% al 2035, in quell'anno otterremmo come risultato quello di ridurre le percorrenze stradali annuali di 847 milioni di chilometri.

Arrivando al 50% del trasferimento modale, ipotizzato al 2050, si riducono ogni anno le percorrenze stradali dei veicoli pesanti di 1,7 miliardi di chilometri.

Sono valutate in 28 milioni le tonnellate di CO₂ risparmiate in trent'anni dopo l'apertura del tunnel del Moncenisio, rispetto alle emissioni prodotte da un trasporto puramente stradale.



Altrettanto infondato e falso è quanto sostenuto circa l'elevato consumo energetico del Tunnel di base in fase di esercizio: TELT ha più volte smentito tali affermazioni ribadendo che in fase di esercizio non sono attivi impianti di ventilazione e raffreddamento (lo chiarisce in modo dettagliato anche Olivero Pistoletto nel capitolo 2 del presente quaderno).

I documenti riportati a seguire sono stati redatti in sede di struttura commissariale e quindi esaminati, discussi e condivisi nella riunione dell'Osservatorio del 21 dicembre 2018.

- 1. Roberto Zucchetti ha curato la redazione del capitolo 1 dal titolo **costi e benefici, ambientali e climatici del traffico delle merci attraverso il nuovo collegamento ferroviario Torino Lione***
- 2. Mauro Olivero Pistoletto, appassionato esperto ferroviario che conosce direttamente e "studia" la tratta di valico, ha prodotto una approfondita analisi, su **consumi energetici della nuova tratta di valico in fase di esercizio a confronto con gli attuali consumi della tratta di valico della linea storica***

A tutti va il mio ringraziamento per la generosa disponibilità e per l'impegno nel realizzare in poche settimane questo rapporto.

Il Documento, prodotto con spirito di leale collaborazione, sarà pubblicato sul sito dell'Osservatorio e messo a disposizione della Struttura Tecnica di Missione del MIT; ribadisco la mia piena disponibilità al confronto ed alla discussione di merito su tutti gli argomenti trattati.

*Il Commissario straordinario di Governo
Presidente dell'Osservatorio per l'asse ferroviario Torino-Lione*

Paolo Foietta

1

COSTI E BENEFICI, AMBIENTALI E CLIMATICI DEL TRAFFICO DELLE MERCI ATTRAVERSO IL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO TORINO LIONE

Prof. Roberto Zucchetti

*CERTeT Università Bocconi di Milano,
esperto struttura Commissario di Governo*

1.1. **PREMESSA**

Questo documento sintetizza e approfondisce le analisi compiute dall'Osservatorio su alcuni aspetti di natura ambientale e in modo specifico sul valore delle esternalità prodotte dal traffico.

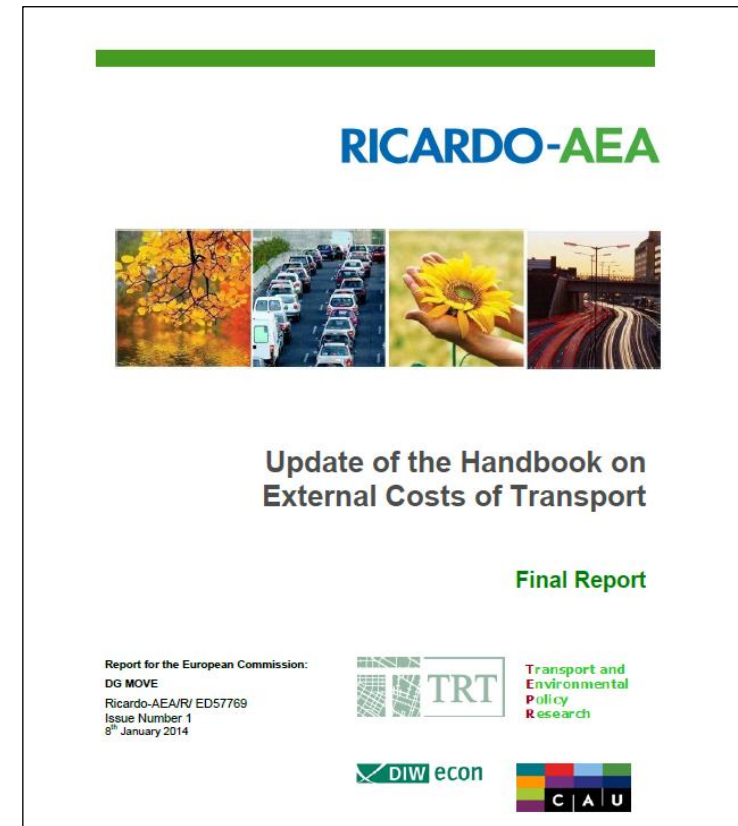
Risponde quindi alle seguenti domande:

- ✓ Qual è il valore delle **esternalità negative** prodotte dal **traffico merci che utilizzerà** la ferrovia per effetto della costruzione della nuova linea?
- ✓ Qual è il valore delle **esternalità negative evitate** dal **traffico merci sottratto alla strada** per effetto della costruzione della nuova linea?
- ✓ Qual è il valore delle **esternalità negative** prodotte dal **traffico passeggeri che utilizzerà la ferrovia** per effetto della costruzione della nuova linea?

1.2. **METODOLOGIA**

La stima del valore delle esternalità prodotte segue le linee guida, europee e nazionali, per la redazione delle analisi costi benefici.

In particolare, applica alle ipotesi di traffico sviluppate e pubblicate nel *Quaderno 11*, i valori unitari pubblicati nel Manuale sui Costi Esterni dei Trasporti e, precisamente, i valori definiti nell'ultimo aggiornamento disponibile (2014).



1.3. COSTI ESTERNI DEI VEICOLI STRADALI PESANTI

Il passo da compiere è la scelta di parametri appropriati per valutare gli impatti del traffico che cambia modo di trasporto: per effetto dell'apertura della nuova linea una parte del traffico si sposterà dalla strada alla ferrovia. Occorre pertanto scegliere i parametri per valutare le esternalità del traffico stradale.

La tabella seguente presenta i parametri scelti: riprende gli effetti valutati nel manuale europeo, indica le unità di misura, il valore e le specifiche che caratterizzano ciascun parametro.

Le prime due righe si riferiscono ai costi esterni dovuti alla congestione stradale: il traffico pesante impatta in modo molto negativo sulla fluidità della circolazione stradale, creando rallentamenti che penalizzano gli altri utilizzatori della strada e, a cascata, l'intera collettività che dal traffico (e dai suoi costi) è influenzata.

I parametri scelti si riferiscono a veicoli pesanti (HGV) autoarticolati e sono stati riferiti al solo traffico autostradale (criterio prudenziale) che percorre per l'80% zone rurali e solo per il 20% aree urbane. Nel *Quaderno 11*, è stato ampiamente dimostrato, utilizzando i dati di Banca d'Italia, che la percorrenza media delle merci in importazione ed esportazione è di oltre 1.000 chilometri.

Segue il costo degli incidenti: è stato utilizzato il valore medio europeo, per autoarticolati pesanti, considerando, prudenzialmente, solo le percorrenze autostradali, senza tener conto degli attraversamenti dei tunnel.

Per valutare i costi esterni causati dalle emissioni nocive (NO_x, SO_x, PM,...) non è stata usata la media del parco veicolare attuale, ma solo le emissioni di autoarticolati pesanti (20 – 28 tonnellate di massa lorda) motorizzati Euro 6 (minime emissioni) in percorrenza autostradale. Si tratta del valore minimo tra quelli disponibili, motivato dal fatto che si presume che nel 2030 il parco medio sarà allineato ai migliori standard attuali.

Per quanto riguarda il rumore, è stato scelto il parametro di un autoarticolato pesante che transita in zona extra urbana, di giorno e con traffico denso (situazione che riducendo la velocità riduce il rumore: criterio prudenziale).

L'emissione di gas climalteranti (CO₂) è stata valutata utilizzando il parametro relativo alla media europea di autoarticolati pesanti con motorizzazione EURO 5, ultimo valore disponibile, per percorrenze autostradali: anche in questo caso il criterio è massimamente prudenziale.

Infine, per le emissioni dovute ai processi attivati a monte e a valle si è scelto il parametro medio europeo per un autoarticolato pesante che percorre l'autostrada con motorizzazione EURO 5 (ultimo dato disponibile).

ROAD						
Efficient marginal congestion costs, €/vkm (2018), Unione Europea (28 Paesi)	€/vkm	HGV Articulated	Near capacity	0,43471823	80%	rural motorway
Efficient marginal congestion costs, €/vkm (2018), Unione Europea (28 Paesi)	€/vkm	HGV Articulated	Near capacity	0,869436461	20%	metropolitan motorway
Marginal accident costs, €/vkm (2018), Unione Europea (28 Paesi)	€/vkm	HGV Articulated	Motorway	0,013440061		valore medio EU
Marginal external air pollution costs, €/vkm (2018), Unione Europea (28 Paesi)	€/vkm	HGV Articulated	Motorway	0,004170718		autostrada Euro 6 20-28 t
Marginal external noise costs, €/vkm (2018), Unione Europea (28 Paesi)	€/vkm	HGV Articulated	Suburban	0,005028375		di giorno, traffico denso
Marginal climate change costs, €/vkm (2018), Unione Europea (28 Paesi)	€/vkm	HGV Articulated	Motorway	0,06160028		autostrada Euro 5(*) 20-28 t
Marginal up and downstream process costs, €/vkm (2018), Unione Europea (28 Paesi)	€/vkm	HGV Articulated	Motorway	0,026880122		autostrada Euro 5(*) 16-32 t
Valore delle esternalità per veicolo km				0,632781432		
Tonnellate per HGV	t			14,1		Da Alpinfo
Valore delle esternalità per tonnellata km	€/tkm			0,044878116		
Other average external costs, €/pkm e €/tkm (2018), Unione Europea (28 Paesi)	€/tkm	HGV		0,004042362		Dato espresso in €/tkm
Esternalità trasporto su gomma con veicoli pesanti	€/tkm			0,048920477		

I valori espressi in valuta riferita ad anni precedenti sono stati deflazionati al 2018. Sommando i valori unitari espressi in €/vkm (Euro per un veicolo che percorre un chilometro) si ottiene 0,6327: tale valore viene diviso per la portata media di un veicolo pesante che attraversa il confine Italia Francia (14,1 tonnellate di portata utile per mezzo, fonte Alpinfo) ottenendo un totale intermedio. Ad esso si somma il valore delle “altre esternalità” espresso nel manuale in €/tkm, ottenendo il valore totale: **per trasportare una tonnellata di merci su strada per un chilometro, con un autoarticolato pesante che trasporta 14,1 tonnellate di merci, si generano 0,0489 Euro di costi esterni (circa cinque centesimi), che non sono pagati direttamente.**

1.4. COSTI ESTERNI DEI TRENI MERCI

Analogamente avviene la scelta dei parametri appropriati per valutare gli impatti del traffico che viaggia utilizzando un treno a standard europeo: tutti i parametri sono espressi in €/tkm e sono relativi a treni merci a trazione elettrica. La portata utile media dei treni è di 850 tonnellate, in linea con le analisi presentate nel *Quaderno 11*.

RAIL				
Marginal external air pollution costs, €/pkm, €/tkm e €/train-km (2018), Italia	€/train km	Freight		0,465916807
Marginal external noise costs, €/vkm (2018), Italia	€/train km	Freight		0,167548994
Marginal climate change costs, €/pkm, €/tkm e €/train-km (2018), Italia	€/train km	Freight		1,395781185
Marginal up and downstream process costs, €/train-km (2018), Italia	€/train km	Freight		2,000129795
Other average external costs, €/pkm e €/tkm (2018), Italia	€/train km	Freight		0,000565465
				4,029942247
Tonnellate per treno	t			850
	€/tkm			0,004741109
Average external accident costs, €/pkm e €/tkm (2018), Italia	€/tkm	Freight		0,000226186
Esternalità trasporto su ferro con treni lunghi				0,0050

Sommando i diversi valori si valuta che per trasportare una tonnellata di merci con la ferrovia per un chilometro, potendo utilizzare un treno a standard europeo con la portata di 850 tonnellate di merci, si generano 0,005 Euro di costi esterni (circa zero virgola cinque centesimi): un decimo dei costi esterni prodotti dal trasporto stradale.

Si noti che, a differenza di quanto si è potuto fare per la strada, dove si sono ipotizzate per il 2030 emissioni di gran lunga inferiori alla situazione attuale, per il trasporto ferroviario sono stati utilizzati dati di emissione che caratterizzano la produzione attuale, mentre è lecito attendersi notevoli miglioramenti nel mix futuro di fonti energetiche. Anche sotto questo aspetto l'analisi è quindi prudentiale e sottostima i vantaggi ambientali del trasporto ferroviario.

1.5. EFFETTO DELLA SOSTITUZIONE DI AUTOARTICOLATI PESANTI CON UN TRENO

Disponiamo ora degli elementi necessari per valutare la differenza di costi esterni prodotti trasferendo il trasporto merci su lunga distanza dalla strada al treno: dalle tabelle precedenti, relative al trasporto su strada e con ferrovia, si può ottenere il valore differenziale. Se trasportare su strada produce esternalità valutate in 0,0489 Euro per tonnellata e con la ferrovia 0,0050 la differenza è di 0,0439 a sfavore della strada.

Utilizzando questo valore differenziale, possiamo calcolare, come mostra la tabella seguente, che trasportare con un treno le merci che percorrono lunghe distanze permette di risparmiare 37.304 Euro di costi esterni, che vengono cioè subito dalla collettività.³

Minori esternalità rese possibili da un treno					
Differenza di esternalità prodotte: strada - ferrovia	€/tkm		0,0439		
Distanza percorsa	Km		1.000	Da Banca d'Italia	
Massa trasportata da un treno	ton		850		
Shift modale	tkm		850.000		
Risparmio per minori costi esterni trasporto merci	€		37.304		

³ Chi, legittimamente, sostiene le ragioni del trasporto stradale dice che questi costi sono ripagati con le accise che gravano sui carburanti: si possono fare due obiezioni. Primo: il gettito delle accise non è sufficiente a coprire i costi esterni, che rimangono in parte a carico della collettività. Secondo: i costi esterni colpiscono in gran parte la salute (inquinamento, incidenti, alterazione del clima) ed è ben magra consolazione sapere che i maggiori costi del sistema sanitario sono coperti dalle accise quando sarebbe possibile ridurre i danni alla salute.

1.6. UTILIZZATI PARAMETRI MOLTO PRUDENTI CHE SOTTOSTIMANO IL BENEFICIO DELLA FERROVIA

Si ripete spesso, giustamente, che si deve tenere un atteggiamento prudente nelle stime: di seguono sono mostrati alcuni confronti che permettono di vedere come nelle stime presentate sia stata mantenuta la massima prudenza.

La figura a fianco è tratta da una recente pubblicazione (Joint Position Paper, EU Strategy for long-term greenhouse gas emissions reductions – The crucial role of rail, Bruxelles, 29th November 2018) e la fonte è l'Agenzia Europea per l'Ambiente.

Al momento attuale:

- Per trasportare una tonnellata di merce per un chilometro, utilizzando la strada si emettono 140 grammi di CO₂. Nelle nostre stime abbiamo utilizzato 47 grammi per tonnellata chilometro (circa un terzo!).
- Per trasportare una tonnellata di merce per un chilometro, utilizzando la ferrovia, si emettono 16 grammi di CO₂. Nelle nostre stime abbiamo utilizzato 18 grammi per tonnellata chilometro, leggermente di più, per tener conto della portata media di 850 tonnellate.

Figure 2: Specific CO₂ emissions per transport mode



1.7. EFFETTI NEL LUNGO PERIODO DEL TRASFERIMENTO MODALE DELLE MERCI

Osservando il lungo periodo e utilizzando le ipotesi di sviluppo del traffico illustrate nel *Quaderno 11*, si può calcolare il valore attuale dei benefici che si ottengono con il trasferimento modale di una parte dei traffici dal tutto strada al trasporto combinato. I dati sono espressi in miliardi di Euro (G€) e mostrano come, a partire dal 2030 il beneficio aumenta nettamente, fino a raggiungere i 2,6 miliardi di Euro nel 2060.

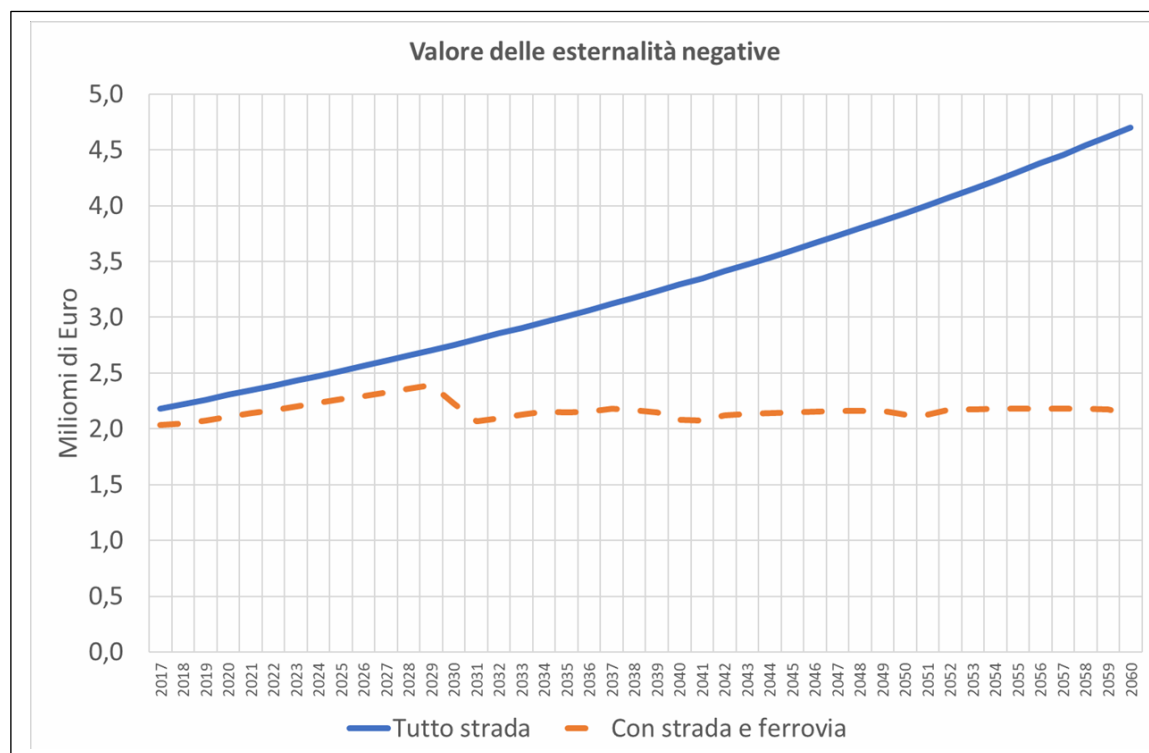
Calcolo delle esternalità

Anno		2018	2019	2020	2030	2040	2050	2060
Tutto strada	G€	2,223	2,263	2,304	2,754	3,292	3,935	4,703
Strada + Ferrovia	G€	2,062	2,093	2,124	2,055	2,033	2,089	2,088
Differenza	G€	-0,161	-0,170	-0,180	-0,699	-1,258	-1,846	-2,615

Attualizzando i valori futuri al tasso del 3% il beneficio espresso in Euro 2018 dei risparmi in costi esterni prodotti dal traffico somma a 21,2 miliardi di Euro.

E' importante riprendere le considerazioni critiche del prof. Boitani riportate nel *Quaderno 11* a proposito di questo valore, che esprime un marcato disinteresse per le generazioni future e quindi una decisa svalutazione dei benefici ambientali. Con un tasso più attento alle esigenze delle generazioni future, es. 1%, il valore sale a 36,7 miliardi di Euro.

Il grafico a fianco mostra che l'utilizzo della nuova linea consente di stabilizzare le esternalità prodotte nonostante la crescita del traffico. In assenza di essa, si prevede che le esternalità raddoppino in meno di trent'anni.



1.8. I COSTI ESTERNI DEL TRAFFICO PASSEGGERI

Anche il traffico passeggeri produce esternalità che devono essere attentamente valutate. Il *Quaderno 11* ha analizzato i profondi cambiamenti che la realizzazione della nuova linea produrrà sui collegamenti ferroviari tra alcune importanti città europee (Milano, Torino, Lione, Barcellona, Liegi, Parigi, Bruxelles, Londra) e ha mostrato quali profondi cambiamenti abbia portato in Italia lo sviluppo della rete ad alta velocità.

Utilizzando le ipotesi ivi formulate sullo sviluppo dei traffici, è possibile, come è stato fatto per le merci, stimare gli impatti sociali (congestione, incidenti, malattie) e gli impatti sull'ambiente (emissioni inquinanti e CO₂).

Anche in questo caso sono stati utilizzati i parametri forniti dal manuale per la valutazione dei costi esterni, indicato come riferimento dalle linee guida europee e italiane.

ESTERNALITA'	AV	Aereo	Strada
Cambiamento climatico	5,95	18,34	16,35
Inquinamento	2,03	1,49	6,9
Incidenti	0,68	0,57	0,92
Congestione			61,63
Rumore	0,09	1,13	0,18
Processi a monte e a valle	3,94	7,62	7,76

Come si legge nella tabella allegata, il trasporto con la ferrovia ad alta velocità produce, complessivamente, meno esternalità rispetto sia alla strada, che pone gravi problemi di congestione, sia all'aereo che ha il peggior impatto sul cambiamento climatico, in quanto modo di trasporto con maggiore consumo di energia.

Il valore del costo dell'inquinamento merita una specificazione: il manuale per la valorizzazione dei costi esterni non misura solo la quantità delle emissioni ma il loro impatto sulla salute umana e sull'ambiente; ora, è noto che gli effetti negativi degli inquinanti sono dovuti soprattutto alla loro concentrazione e alla diffusione in zone abitate: per questo motivo il costo più alto (6,9 euro per 1.000 passeggeri che percorrono un chilometro) è causato dalle autovetture mentre l'aereo, che emette nell'alta atmosfera, produce meno danni del treno, che utilizza energia elettrica prodotta dalle centrali, anch'esse normalmente costruite a distanza dai centri abitati.

L'attivazione di servizi ferroviari passeggeri ad alta velocità consente una riduzione di esternalità

- di circa 3 euro ogni passeggero che viaggia per 100 chilometri e non usa l'aereo: sulla tratta Milano Parigi, prendendo il treno anziché l'aereo si risparmiano 13,41 euro di esternalità;
- e di oltre 8 euro per ogni passeggero che viaggia per 100 chilometri e non usa l'auto: sulla tratta Milano Parigi, usando il treno anziché l'auto, si risparmiano 69,66 Euro di esternalità.

Non essendo disponibili previsioni di traffico passeggeri attendibili, non si è ritenuto prudente effettuare il calcolo delle variazioni delle esternalità che sarebbero rese possibili dal cambiamento di modo di trasporto.

2

CONSUMI ENERGETICI DELLA NUOVA TRATTA DI VALICO IN FASE DI ESERCIZIO A CONFRONTO CON GLI ATTUALI CONSUMI DELLA TRATTA DI VALICO DELLA LINEA STORICA

Mauro Olivero Pistoletto

2.1. **PREMESSA**

Questo documento si propone di analizzare le differenze di consumo energetico dei convogli ferroviari percorrenti la linea di valico del Frejus e il nuovo tunnel di base del Moncenisio: le tratte analizzate si sviluppano tra Bussoleno e Saint Jean De Maurienne. La scelta di tale porzione della linea Torino-Lione è giustificata dal fatto che in questo punto il tunnel di base del Moncenisio sostituirà la parte più critica della linea storica, in altre parole il valico del Frejus. Per completezza d'informazione, inoltre, a margine saranno esposti anche alcuni cenni alla resistenza alla trazione, alle potenze dei locomotori e alla massa rimorchiata dei treni merci. Poiché i treni percorrenti le due linee possono avere masse diverse, il confronto quando necessario sarà rapportato alla singola tonnellata.

2.2. **ENERGIE DEI TRENI**

Le forme di energie riferite a un generico treno sono tre:

E_c ► **l'energia cinetica**, è l'energia che possiede un treno per il movimento che ha o che acquista: equivale al lavoro necessario per portare il treno da una velocità nulla a una velocità nota. Quando il treno di massa m varia la sua velocità V , con questa varia anche la sua energia cinetica. Il lavoro equivale a questa variazione di energia cinetica.

In termini pratici:

$$E_c = \frac{1}{2} mV^2$$

Questa energia può essere recuperata in fase di frenatura elettrodinamica.

E_p ► **l'energia potenziale** di un treno è l'energia che esso possiede in seguito alla sua posizione in termini di altezza: alla forza di gravità corrisponde l'energia potenziale gravitazionale. Si può vedere tale l'energia potenziale come la capacità di un treno di trasformare la propria energia potenziale in energia cinetica in fase di discesa. Quando un treno di massa m è sollevato di un dislivello Δh , esso acquisisce energia potenziale che vale:

$$E_p = mg\Delta h$$

Nella discesa del treno questa energia si trasforma nuovamente in energia cinetica e può essere recuperata in fase di frenatura elettrodinamica.

E_{PERSA} ► l'**energia persa** è l'energia che si spende per vincere la resistenza all'avanzamento di un treno r_v a una determinata velocità (attrito ruota-rotaia, attrito cuscinetti, attrito dell'aria, ecc.) sommata a quella delle curve ρ della linea e vale:

$$E_{PERSA} = M_{assa_Treno} \cdot (r_v + \rho) \cdot Spostamento$$

Tale energia non è recuperabile ed è interamente dissipata quindi è persa dal punto di vista economico mentre dal punto di vista fisico si trasforma in calore a causa degli attriti.

Si noti che l'unica energia che **dipende dalla lunghezza** della tratta percorsa è quella **persa** per cui, maggiore è il percorso, più aumenta l'energia economicamente sprecata.

Da questo punto di vista è evidente che all'atto pratico esistano **interessi contrapposti** che devono trovare un giusto equilibrio. In salita, ad esempio, essendo l'energia da sollevamento dovuta solo all'altezza, si avrebbe interesse a ridurre al minimo la tratta ferroviaria quindi con elevate pendenze.

D'altro canto tale scelta crea altri generi di problemi come basse capacità di traino delle locomotive e scarse tenute meccaniche degli organi di aggancio tra rotabili.

Percorso minore e acclività modesta del tunnel di base del Moncenisio, rispetto alla tratta di valico del Frejus, permettono **risparmi di energia e masse rimorchiate maggiori**.

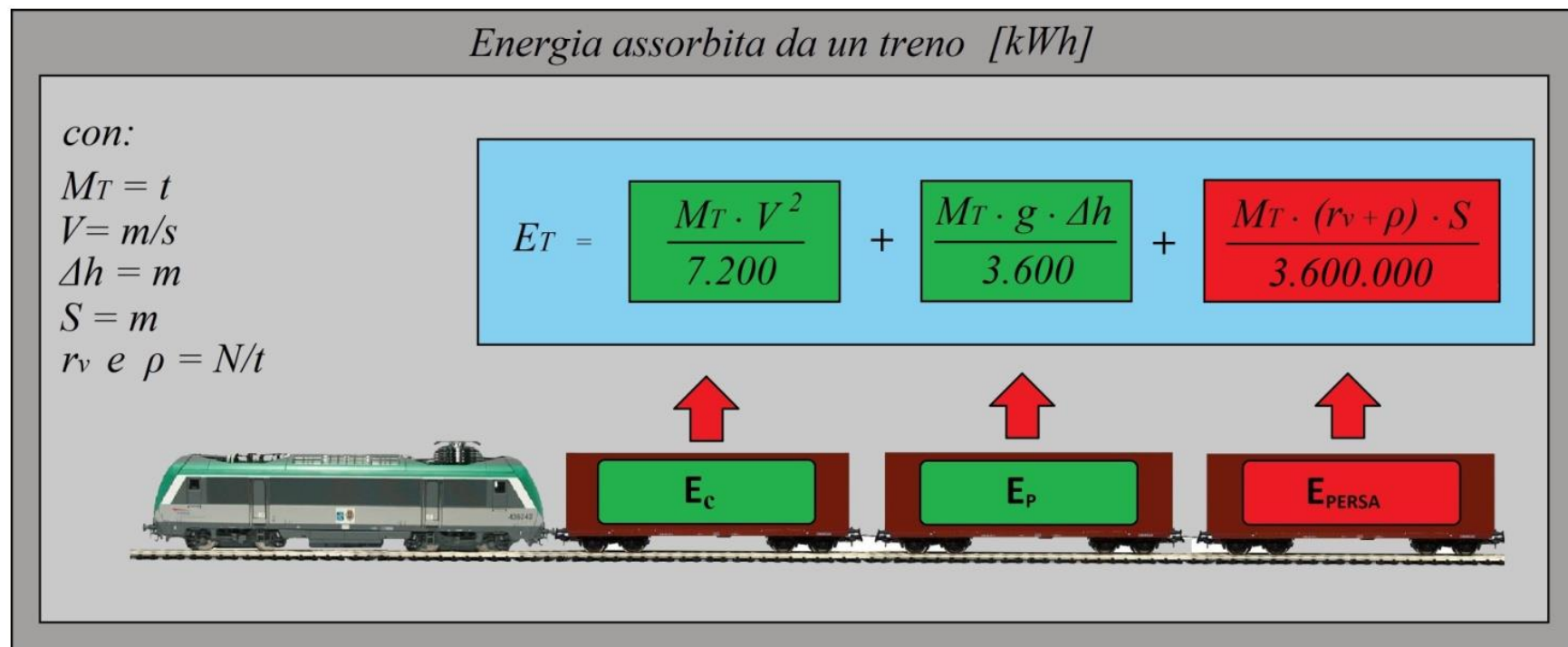
Dal punto di vista operativo, un treno per muoversi in piano oppure in salita sviluppa tramite il locomotore energia di trazione E_T prelevandola sotto forma di energia elettrica dalla linea aerea.

Questa energia sarà ripartita, secondo i momenti e le caratteristiche della linea, tra:

E_C ► in fase di accelerazione va a incrementare l'energia cinetica del convoglio

E_P ► nelle tratte in salita per vincere la forza di gravità

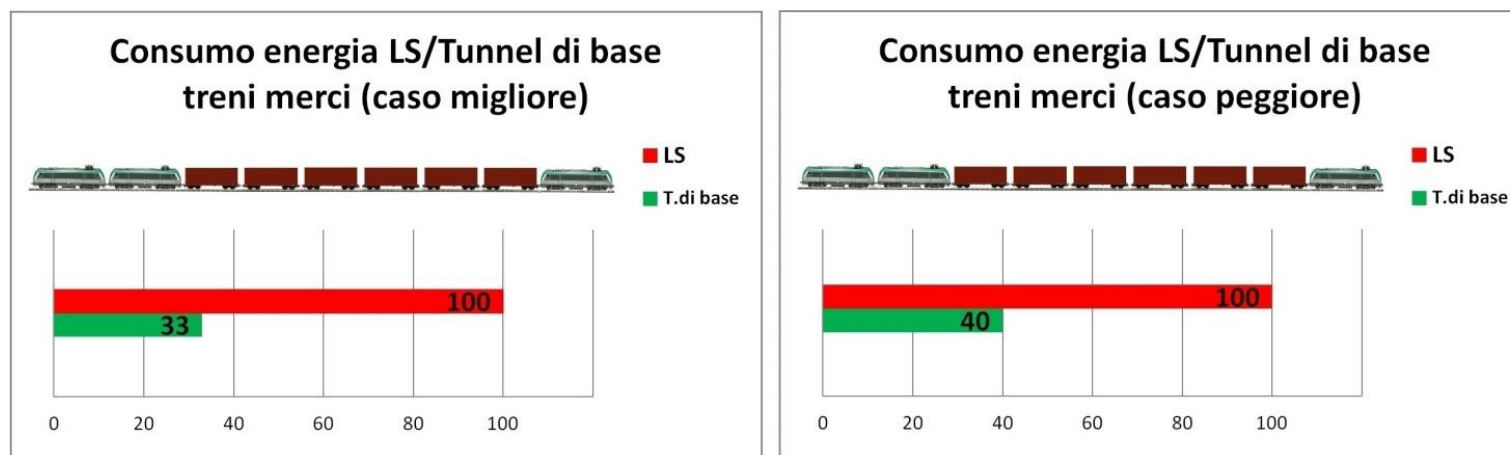
E_{PERSA} ► presente in entrambe le fasi precedenti per vincere la resistenza all'avanzamento sommata a quella delle curve della linea



2.3. COMPARAZIONI ENERGETICHE

Sulla base delle premesse precedenti si sono svolti i calcoli dei vari consumi energetici facenti capo alla linea primaria di alimentazione e riferiti alla singola tonnellata delle diverse tipologie di convogli merci e viaggiatori. Come anticipato, la tratta in esame è quella Bussoleno - Saint Jean de Maurienne (o viceversa), percorsa sulle direttrici del valico del Frejus (linea storica) e nel nuovo tunnel di base del Moncenisio.

Per quel che concerne i treni **merci** che attraversino il tunnel di base del Moncenisio essi richiedono, per tonnellata, dal **33%** al **40%** dell'energia del passaggio sulla tratta di valico del Frejus, tenuto conto del bilancio energetico complessivo (bilancio energetico: energia assorbita in fase di salita sottraendo quella restituita in frenatura elettrodinamica in fase di discesa - se esistente - compresi i rendimenti). Quindi, posta ipoteticamente **100** l'energia per tonnellata di un determinato treno merci percorrente la tratta di valico del Frejus, con l'inoltro nel tunnel di base del Moncenisio essa varrà invece, a seconda dei casi limite, da **33** a **40**:



In termini assoluti si parla di:

- 4,24 kWh/t contro 1,4 kWh/t nel primo caso (33%)
- 3,86 kWh/t contro 1,53 kWh/t nel secondo caso (40%)

Un **Frecciarossa 1.000** attraverso il tunnel di base del Moncenisio a **200 km/h**, invece, consuma per tonnellata il **39%** di energia del passaggio sulla tratta di valico del Frejus, percorsa però a soli **100 km/h** (tenendo conto del recupero di energia in frenatura elettrodinamica, sempre attiva su tale mezzo - compresi i rendimenti).

In termini assoluti si parla di:

► **3,26 kWh/t** contro **1,27 kWh/t**

Sui tempi di percorrenza **si risparmia circa un'ora consumando molto di meno.**

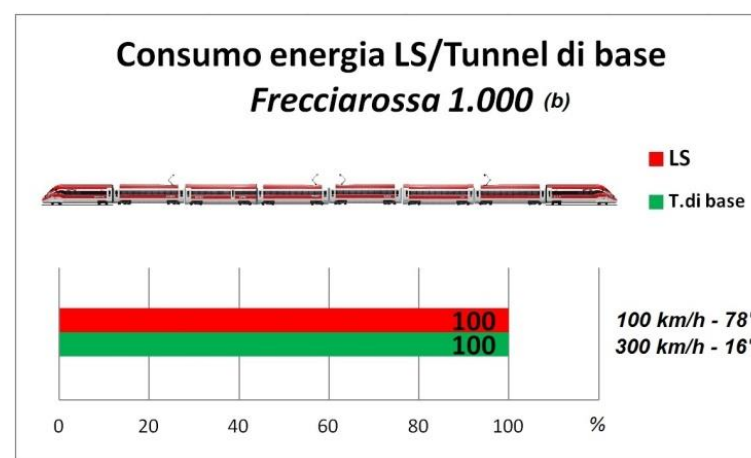
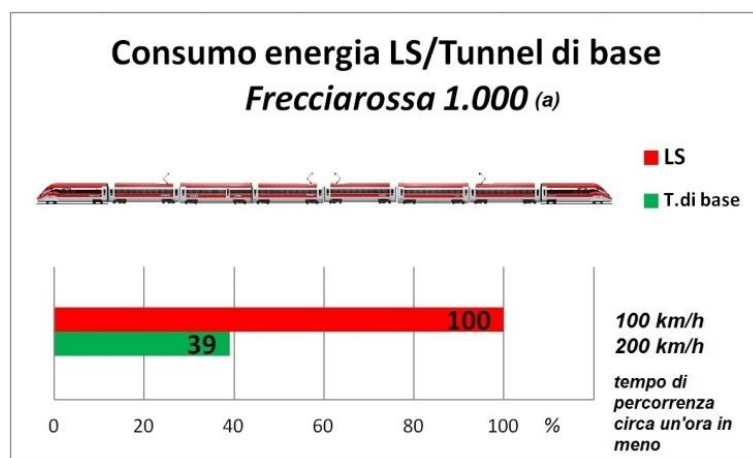
Se **ipoteticamente** un **Frecciarossa 1.000** potesse correre a **300 km/h** nel tunnel di base del Moncenisio (si ricorda che la velocità massima permessa dall'infrastruttura sarà di **220 km/h**), si avrebbe **lo stesso** consumo di energia per tonnellata della tratta di valico del Frejus a **100 km/h** (tenendo conto del recupero di energia in frenatura elettrodinamica, sempre attiva su tale mezzo - compresi i rendimenti).

In termini assoluti si parla di:

► **3,26 kWh/t** entrambi i casi

Però, invece di **78** minuti di percorrenza, ne occorrerebbero solo **16**.

Quindi, posta ipoteticamente **100** l'energia per tonnellata di un **Frecciarossa 1.000** percorrente a **100 km/h** la tratta di valico del Frejus della linea storica, per i casi: (a)**Frecciarossa 1.000** a **200 km/h** e (b)**Frecciarossa 1.000** a **300 km/h**, nel tunnel di base del Moncenisio si avranno rispettivamente energie per tonnellata di **39** e **100**:



Ai consumi energetici per la trazione dei treni vanno aggiunti quelli dei **servizi ausiliari** (per i locomotori: compressori dell'aria e circuiti di comando e controllo della macchina; per le carrozze: riscaldamento/condizionamento, illuminazione, carica delle batterie, gestione dei sistemi antincendio, gestione delle porte ecc..).

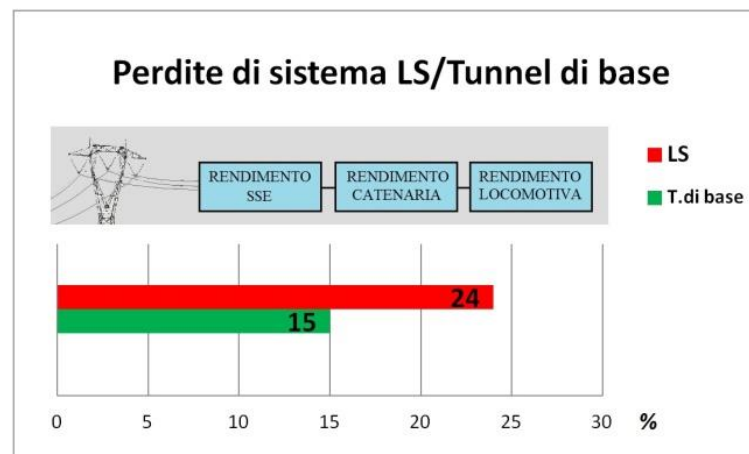
Il contributo è basso per i treni merci, da medio ad alto per quelli viaggiatori. Più si allungano i tempi di viaggio, più il consumo aggiuntivo dei servizi ausiliari sale.

E' evidente che le percorrenze inferiori del tunnel di base del Moncenisio riducano questi consumi, in particolare per i treni viaggiatori.

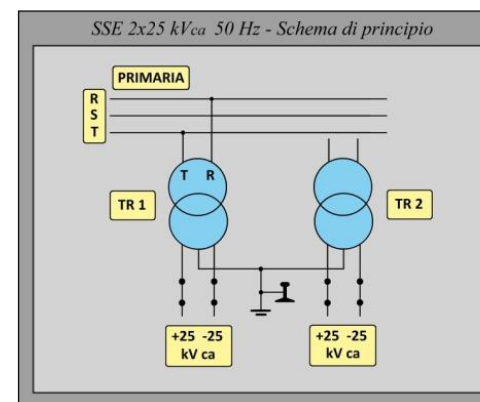
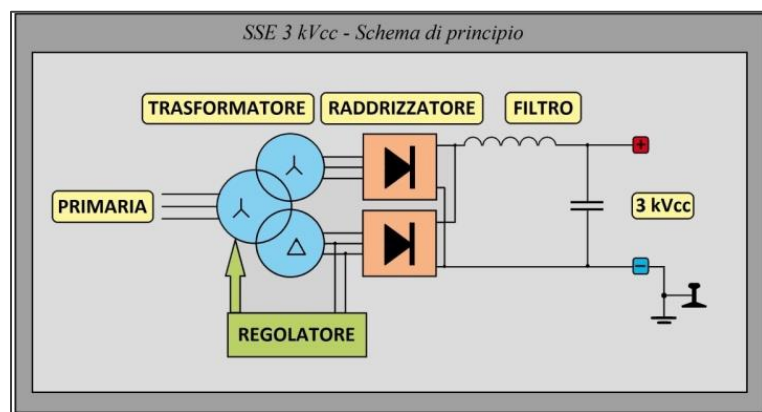
2.4. RENDIMENTO DI SISTEMA

Tra il punto di alimentazione della rete elettrica nazionale (linea primaria) e la ruota del treno che agisce sulla rotaia vi sono dei sistemi intermedi che determinano delle perdite di energia (sottostazioni elettriche di conversione tensione ed eventualmente raddrizzamento nel caso di corrente continua, conduttori della linea elettrica sospesa che trasporta la corrente al treno - detta "catenaria" - convertitori di trazione della locomotiva ecc...). Queste perdite, che sono state denominate "di sistema", valgono in media il **24%** per la tratta di valico del Frejus e il **15%** per il tunnel di base del Moncenisio.

Le differenti perdite di sistema si giustificano con le **disuguali tecnologie** facenti capo alle due infrastrutture ferroviarie che sono alimentate con **tensioni diverse**: la tratta di valico del Frejus a $1,5kV_{cc}$ lato Francia e $3kV_{cc}$ lato Italia, mentre il tunnel di base del Moncenisio è a tensione unica di $25kV_{ca}$ 50 Hz.



Le sottostazioni elettriche, *SSE*, dislocate a opportuna distanza lungo le linee, hanno il compito di adattare l'alta tensione o media tensione fornita dal gestore nazionale alla necessità della trazione ferroviaria. Esse quindi hanno costituzioni differenti: in quelle $1,5kV_{cc}$ e $3kV_{cc}$ è presente almeno un trasformatore, dei raddrizzatori e un filtro, in quelle $25kV_{ca}$ 50 Hz solo il trasformatore (e uno di riserva) per cui presentano un rendimento maggiore. Per quanto concerne le perdite per effetto joule lungo le catenarie, esse sono tanto più elevate quanto minore è la tensione, a parità di diametro dei fili, lunghezza linea e di potenza assorbita dal mezzo di trazione.



Anche in questo caso il tunnel di base del Moncenisio, essendo esercito a tensione maggiore, è avvantaggiato considerando anche che il trasporto in linea ferroviaria, per la distribuzione finale in catenaria ai treni, avviene con un sistema particolare che in realtà riduce ancora ulteriormente le perdite ($2x25kV_{ca}$ 50 Hz).

Per il calcolo dei bilanci energetici (energia assorbita + restituita in frenatura elettrodinamica), sono state tenute in debito conto anche i rendimenti delle sottostazioni elettriche e delle linee oltre che dei mezzi di trazione.

Nel caso delle linee ferroviarie a corrente continua, come la tratta di valico del Frejus, le *SSE* non sono reversibili (a causa dei circuiti raddrizzatori utilizzati la corrente può fluire solo dalla rete Terna verso i treni) al contrario delle sottostazioni elettriche del tunnel di base del Moncenisio che permettono alla corrente di scorrere nei due sensi.

Nella fase di recupero di energia durante la frenatura elettrodinamica di un treno, la corrente è usualmente assorbita da un altro treno (o suddivisa su più treni) in fase di trazione. Se in quel momento non vi sono convogli nella medesima tratta (le linee elettriche sono divise in spezzoni fisici più o meno lunghi), e la sottostazione elettrica non è reversibile (linea non ricettiva), tale energia prodotta è dissipata per via termica in un reostato presente sui mezzi di trazione (e quindi sprecata).

2.5. OTTIMIZZAZIONE DEL BILANCIO ENERGETICO E INFLUENZA DELLA FRENATURA ELETTRODINAMICA SULLA VELOCITÀ DI MARCIA

Qualora s'intendesse tentare di ottimizzare il bilancio energetico nella tratta di valico del Frejus, rendendo le sottostazioni elettriche reversibili, si avrebbero dei benefici minimi con un miglioramento solamente del 7%.

Se invece si volesse percorrere la strada del sistema ad accumulo di energia a supercondensatori, non sarebbe possibile sperare in miglioramenti superiori a quelli delle sottostazioni elettriche reversibili.

Stante la grande quantità di energia da immagazzinare ad opera soprattutto dell'energia potenziale che si ritrasforma in cinetica nella fase di discesa, nel caso della tratta di valico del Frejus l'utilizzo dei supercondensatori è improponibile oltre che per una questione tecnica d'ingombri, pesi e numero di supercondensatori da porre in serie/parallelo, soprattutto per quella dei costi. Inoltre, oltre ai supercondensatori sono necessari anche circuiti accessori quali convertitori bidirezionali in numero pari alle singole unità che s'intende installare (le batterie di condensatori non possono superare i 750 Volt_{cc} mentre la tensione di linea è a 3 kV_{cc}), ventilazioni e quant'altro che incidono anch'essi sulla parte economica. Infine, la limitata vita dei supercondensatori, e quindi la loro sostituzione, ha un peso non indifferente sul bilancio economico in esercizio.

Le SSE del tunnel di base del Moncenisio sono composte invece da semplici trasformatori elettrici che, per loro natura, sono macchine reversibili. Questo permette, qualora non vi sia ricircolo tra treni, di riversare l'energia sulla rete Terna e quindi, di riflesso, anche alla struttura del tunnel di base del Moncenisio per le sue esigenze energetiche non di trazione, come impianti di sicurezza, circolazione, illuminazione e quant'altro.

Sulla tratta di valico del Frejus solo i treni regionali e i TGV possono compiere la discesa della tratta italiana con l'esclusivo apporto della frenatura elettrodinamica, la situazione è analoga sul lato francese. **Nessuna tipologia di treno merci** attualmente prevista, a pieno carico, è in grado di scendere nell'intera tratta di **valico del Frejus** con la **sola frenatura elettrodinamica** e quindi devono ricorrere al supporto di quella pneumatica. Nel nuovo tunnel di base del Moncenisio **tutte le tipologie** di treno potranno essere **trattenuti** alla velocità di marcia dalla **sola frenatura elettrodinamica**.

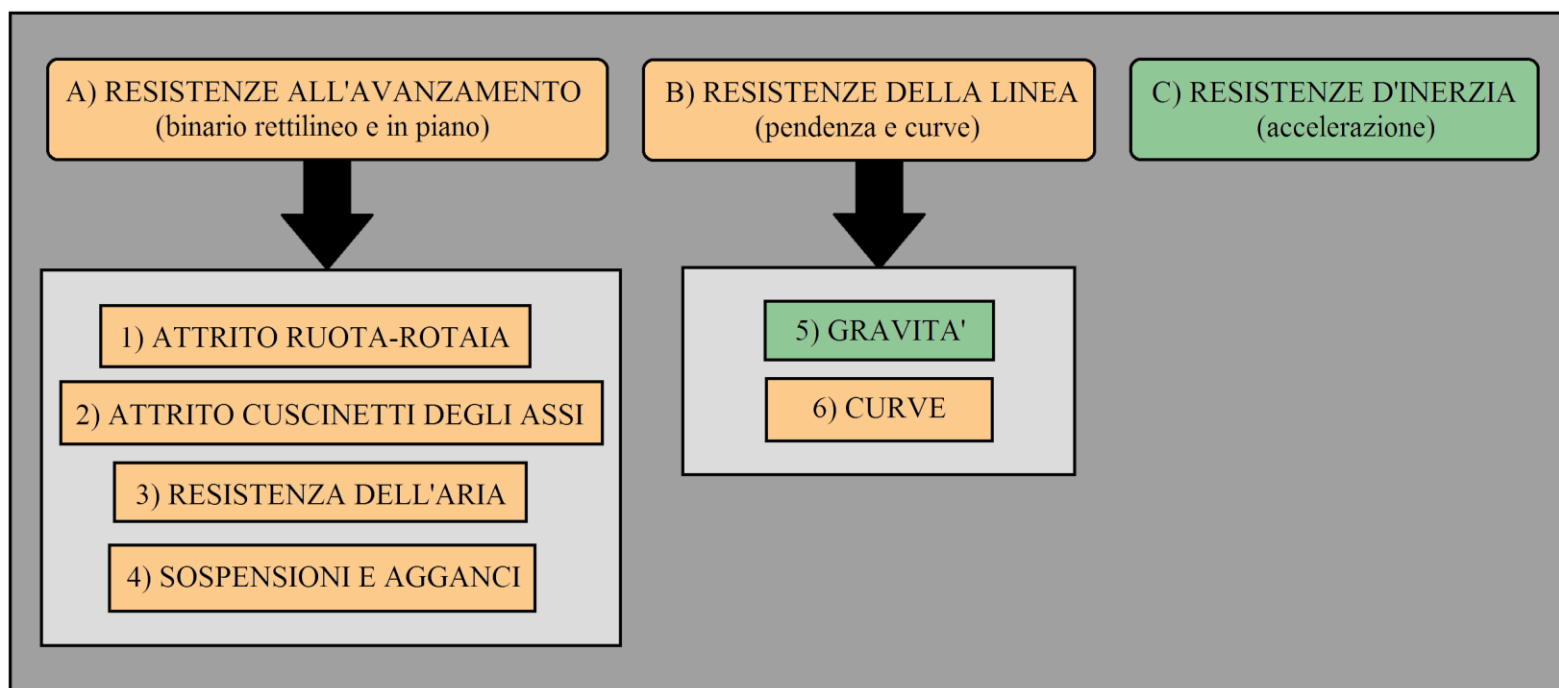
L'uso **esclusivo** della frenatura elettrodinamica permette ai convogli di scendere a velocità costante rispetto alla frenatura pneumatica che richiede invece per le forti e lunghe discese continuate come la tratta di valico del Frejus, ad esempio, fasi ripetute di frenatura e sfrenatura con continue oscillazioni di velocità tra quella massima ed una inferiore di 30 km/h . La possibilità di utilizzo della sola frenatura elettrodinamica relega la frenatura pneumatica con freni ad attrito, soggetti a rapida usura, solo a eventuali **fermate** evitando quindi il **deterioramento** delle rotaie, delle ruote, dei ceppi e dei ferodi diminuendo perciò fortemente i costi di manutenzione. Il non utilizzo dei freni ad attrito riduce fortemente gli **inconvenienti d'esercizio** dovuti a essi aumentando considerevolmente il già elevato livello di sicurezza previsto nel tunnel di base del Moncenisio.

Una variazione tutto sommato abbastanza **modesta** della **pendenza** in linea porta invece a una cospicua variazione degli **spazi di frenatura**. La ridotta pendenza del tunnel di base del Moncenisio consentirà velocità di marcia **senza alcuna penalizzazione**, al contrario della tratta di valico del Frejus che costringe a causa della frenatura i convogli merci in discesa a muoversi con velocità spesso anche **molto ridotta** rispetto a quello che permetterebbe l'infrastruttura.

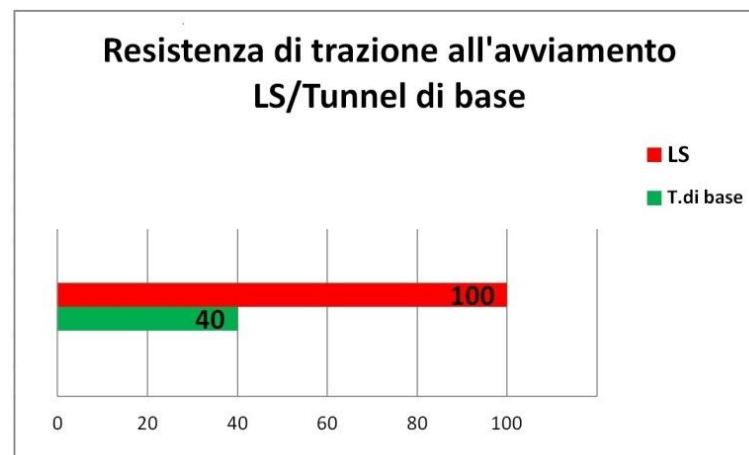
La possibilità di disporre della **medesima velocità** per **ambo i sensi** di percorrenza è condizione **indispensabile** per un **uso intensivo, simmetrico ed equilibrato** delle linee e la frenatura elettrodinamica gioca un ruolo importante in questo frangente oltre che, come visto, sulla sicurezza.

2.6. RESISTENZA ALLA TRAZIONE DI UN TRENO

Oltre alla questione energetica è di grande interesse la resistenza alla trazione di un treno intesa come la somma di tutte quelle forze che si oppongono al movimento dei rotabili (generalmente misurata in *kN*). Queste forze vengono vinte dallo **sforzo di trazione** della **locomotiva**.



Per merito della pendenza inferiore, la resistenza per tonnellata alla trazione all'avviamento dei convogli inoltrati nel tunnel di base del Moncenisio vale circa il **40%** di quella sulla tratta di valico del Frejus. Quindi, posta ipoteticamente **100** la resistenza alla trazione all'avviamento per tonnellata sulla tratta di valico del Frejus, nel tunnel di base del Moncenisio tale valore per tonnellata risulta circa **40**:



In termini pratici:

per consentire **l'avviamento** ad un treno merci di **1.600 t** di massa rimorchiata (**1.870 t** comprensivo di locomotori) sulla **tratta di valico del Frejus** sono necessari **600 kN** di sforzo di trazione mentre per lo **stesso treno nel tunnel di base del Moncenisio** occorrono solo **250 kN**

nel **tunnel di base del Moncenisio** è possibile con **320 kN** di sforzo di trazione avviare un treno merci di **2.050 t** di massa rimorchiata (**2.230 t** comprensivo di locomotori)

è possibile avviare il più **pesante** treno **merci commerciale** previsto attualmente nel tunnel di base del Moncenisio (**2.050 t** rimorchiate) con **poco meno della metà di sforzo di trazione** (**320 kN contro 600 kN**) del **più pesante** treno **merci commerciale** previsto nella tratta di valico del Frejus (**1.600 t** rimorchiate)

Una **minore** resistenza alla trazione all'avviamento permette una **maggiore** massa rimorchiata o un numero **minore** di locomotori a parità di massa. Entrambe queste voci sono di grande interesse per le imprese ferroviarie che devono quantificare i **costi di trasporto**.

Elevato numero di locomotori, **bassa** massa trainabile e **ridotta** sagoma massima dei carri, stanno alla base della **desertificazione** della linea storica del Frejus.

Potenza della locomotiva e resistenza alla trazione, inoltre, entrano in gioco per determinare la massa rimorchiabile e la velocità massima cui questa può essere trainata. La velocità massima raggiungibile da un treno, infatti, è direttamente proporzionale alla potenza della macchina e inversamente proporzionale alla massa del treno, alle resistenze dei veicoli, gravità e curve. La prestazione massima di una locomotiva (la prestazione è la massa trainabile o spinta), invece, è direttamente proporzionale allo sforzo di trazione massimo ai cerchioni all'avviamento e inversamente proporzionale alle forze resistenti dovute alla gravità, all'avanzamento, alle curve e all'inerzia. A parità degli altri parametri, quindi, la prestazione dipende principalmente dall'accelerazione che si desidera arbitrariamente lasciare disponibile per l'avviamento.

2.7. CONVOGLI MERCI A CONFRONTO TRA LA LINEA DI VALICO DEL FREJUS ED IL TUNNEL DI BASE DEL MONCENISIO

Con le attuali locomotive politensione **Siemens Vectron** da **6,4 MW**, alla luce di quanto esposto al paragrafo precedente, nel nuovo tunnel di base del Moncenisio:

con **due locomotive** si possono trainare a *120 km/h* treni di massa lorda fino a *2.050 t* in entrambi i sensi di marcia, treni impossibili da effettuare sulla tratta di valico del Frejus;

con **due locomotive** si possono trainare a *120 km/h* treni di massa lorda di *1.600 t* che sulla tratta di valico del Frejus richiedono tre locomotive per viaggiare a *100 km/h*;

con **una sola locomotiva** si possono trainare *1.320 t* a *100 km/h* contro le due locomotive accoppiate sulla tratta di valico del Frejus per trainarne *1.150 t*;

con **una sola locomotiva** si può trainare a *120 km/h* quasi la stessa massa che sulla tratta di valico del Frejus richiede due locomotive accoppiate per *100 km/h* - (*1.100 t* → *NLTL* contro *1.150 t* → *LS*).

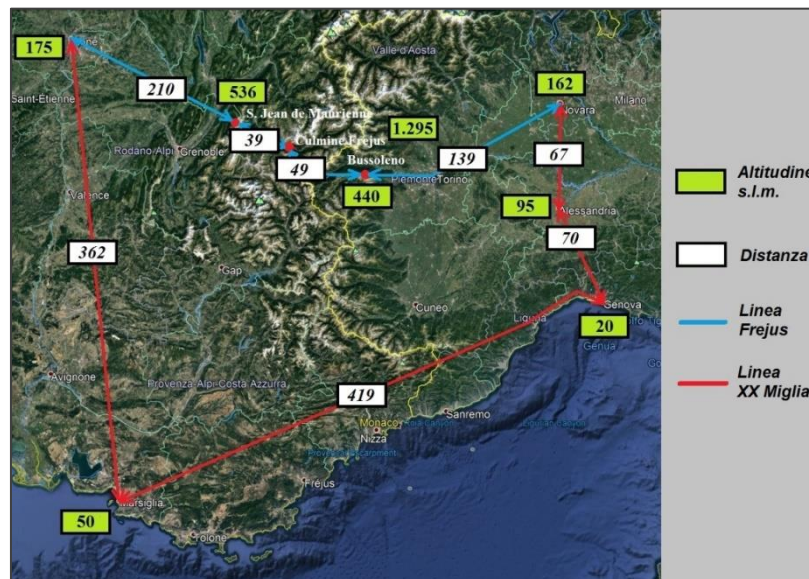
Non vi sono problemi né di prestazioni delle locomotive né di organi di aggancio con *2.050 t* di massa rimorchiata, in altre parole la massima prevista da *LTF*.

Resta ben inteso che nulla vieterà di effettuare treni merci anche con velocità maggiori se il materiale rotabile e la massa rimorchiata lo consentiranno perché l'infrastruttura, di suo, permetterà velocità di *220 km/h*.

Tipologia di treni merci Linea Storica	Massa lorda t	Velocità massima km/h	Tipologia di treni merci Tunnel di Base del Moncenisio	Massa lorda t	Velocità massima km/h
	1.600	100		2.050	120
	1.150	100		1.600	120
	650	100		1.140	100
				850	120

2.8. L'IPOTESI VENTIMIGLIA PER EVITARE LE DOPPIE/TRIPLE TRAZIONI E L'EFFETTO SULLA QUESTIONE ENERGIA

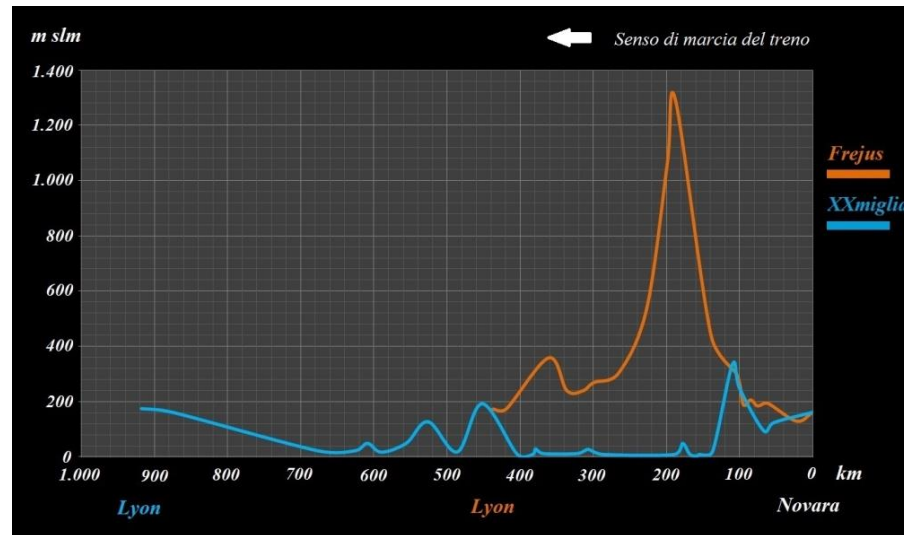
Il passaggio da Ventimiglia, periodicamente ipotizzato al fine di evitare le doppie/triple trazioni della tratta di valico del Frejus, supportato dalla tesi che il tracciato sarebbe "di pianura", presenta invece sgradite implicazioni dal punto di vista energetico.



In merito va rilevato che, nella "Verifica di modello di esercizio per la tratta nazionale lato Italia Fase 1" per opera dell'osservatorio per l'asse ferroviario Torino-Lione del 10 novembre 2017, si afferma chiaramente come:

"La distribuzione territoriale delle origini e destinazioni segnala che, sia in Francia sia in Italia, i flussi di trasporto si concentrano in prevalenza nelle regioni settentrionali, dando maggiore importanza ai valichi e gallerie della parte centro settentrionale dell'arco alpino occidentale".

I treni che dovrebbero passare da Ventimiglia, quindi, sarebbero semplicemente quelli della direttrice est-ovest deviati su questa linea (in altre parole un Novara - Lyon via Frejus diverrebbe un Novara - Lyon via Ventimiglia - e viceversa).



La linea "di pianura" e "di mare" Novara-Ventimiglia-Lyon presenta però, nel suo percorso, località a differenti quote s.l.m. e il treno richiede energia per superare tali continui dislivelli, seppur modesti. Va ricordato che in caso di tratte totalmente pianeggianti, o di moderata discesa, il treno richiede comunque energia non recuperabile per compensare la resistenza all'avanzamento: questo implica che più lunga è la tratta e più ne sarà consumata.

Ne consegue che l'**energia** per percorrere la linea di **Ventimiglia** risulta quindi **doppia** rispetto a quella della tratta di **valico del Frejus** per la direttrice est-ovest Novara-Lyon.

L'idea di usare questa linea come alternativa per risparmiare sul costo delle doppie/triple trazioni necessarie sulla tratta di valico del Frejus si rivela quindi **pessima** perché avverrebbe a spese di un consumo doppio di energia.

2.9. LO STUDIO ENERGETICO DI MIRCO FEDERICI

Riguardo alle questioni energetiche ferroviarie è spesso citato **Mirco Federici**, un laureato in chimica originario della provincia di Latina che si trasferì a Siena per ricoprire un incarico di ricercatore all'università. Il 13 febbraio del 2009, sull'Abetone in Toscana, Federici perse la vita per un incidente sciistico.

Nel 2003 produsse uno studio dal titolo "*Analisi termodinamica integrata dei sistemi di trasporto in diversi livelli territoriali*".

Tale studio si proponeva lo scopo di analizzare e comparare nella sua interezza energetica i vari sistemi di trasporto, compresa l'energia utilizzata per la costruzione delle infrastrutture. Erano interessate strade, autostrade, ferrovie ordinarie e TAV. Lo studio di Federici del 2003 voleva inoltre attualizzarne un'altro ormai datato del 1979 sulle ferrovie inglesi.

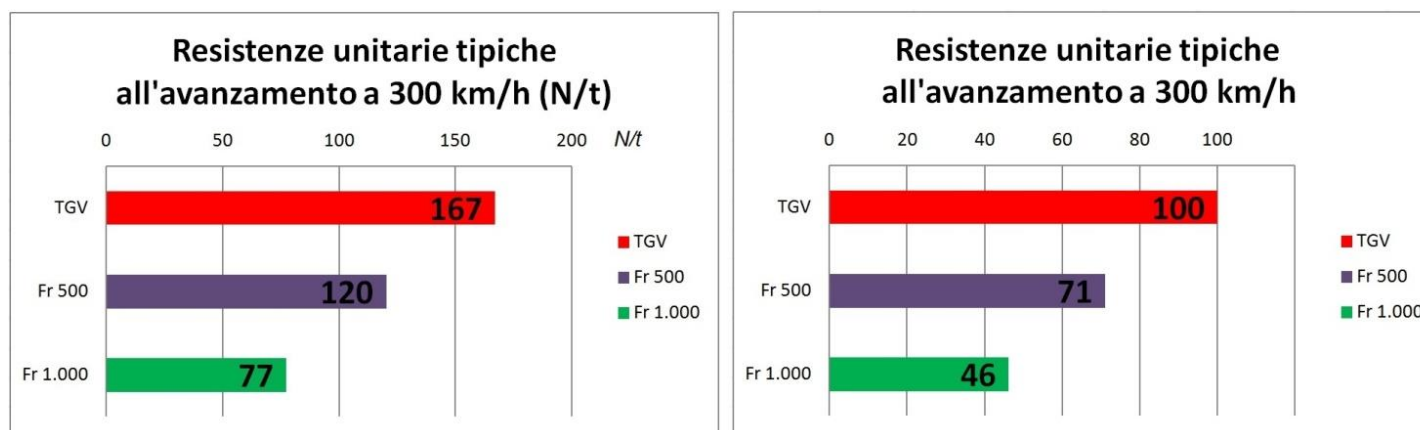
Come dichiarato dallo stesso Federici, la comparazione avveniva tra linee TAV e altre realtà ferroviarie/stradali mentre in Valsusa non si sta costruendo nessuna linea TAV ma un'infrastruttura in grado di ospitare indifferentemente treni merci e viaggiatori con velocità massima di 220 km/h. E' dimostrabile, comunque, che tale studio non vale più neanche per le odierne linee TAV e i mezzi AV.

Anche lo stesso Federici, ancora in vita, ebbe a dire che il suo lavoro non era più attuale e andava rivisto alla luce delle nuove tecnologie e materiali.

Il vero concorrente della TAV, come la realtà sta dimostrando facendo dismettere rotte e voli, si è rivelato l'aereo e non i treni regionali, le auto o - men che mai - i camion che furono presi a confronto. Lo studio di Federici si fondò quindi su delle **premesse errate**, non per malafede ma perché in quel periodo solo pochi avevano ben compreso quali sarebbero stati i reali sviluppi delle linee AV.

Le **resistenze unitarie tipiche all'avanzamento** a 300 km/h, dall'epoca di Federici, sono passate da: 167 N/t per il TGV Réseau a 120 N/t per il Frecciarossa 500 e infine a 77 N/t per il Frecciarossa 1.000 (resistenze "unitarie" perché riferite a una tonnellata di massa del treno).

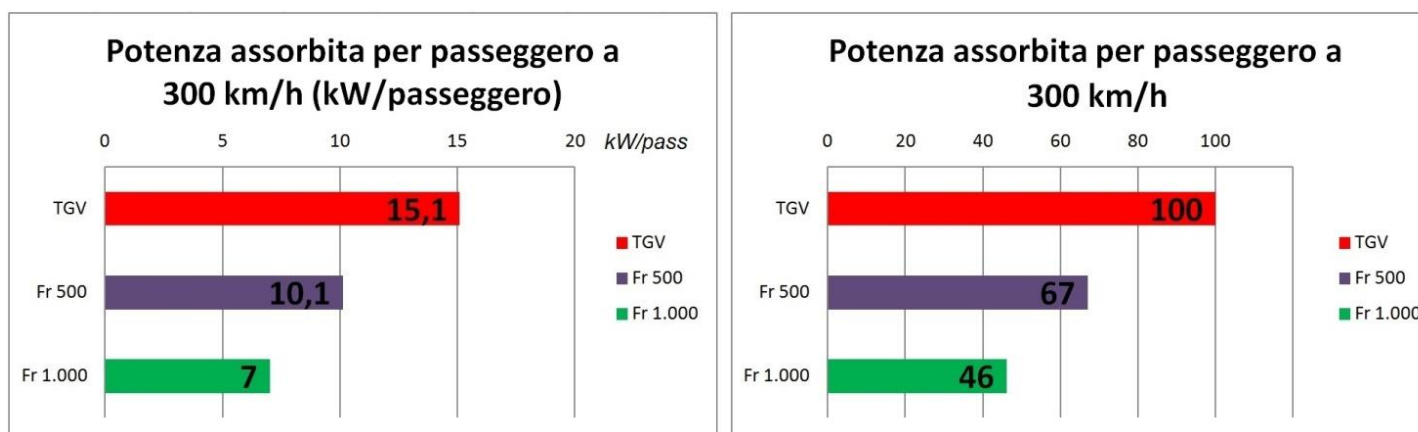
Quindi, posta ipoteticamente **100** la resistenza unitaria tipica all'avanzamento a 300 km/h del TGV Réseau, gli altri valori sono: **71** per il Frecciarossa 500 e **46** per il Frecciarossa 1.000.



La **potenza assorbita per passeggero** a 300 km/h, dall'epoca di Federici, è passata da 15,1 kW/Pass. per il TGV Réseau a 10,1 kW/Pass. per il Frecciarossa 500 e infine a 7 kW/Pass. per il Frecciarossa 1.000 (in pianura, rettilineo, esterno gallerie).

Poiché l'energia elettrica è esprimibile come potenza moltiplicata al tempo, essendo la velocità uguale per i tre i convogli, è evidente che una determinata tratta sarà percorsa da tutti nello stesso tempo. Le suddette potenze possono quindi essere paragonate direttamente anche in forma energetica.

Quindi, posta ipoteticamente **100** la potenza assorbita o energia per passeggero a 300 km/h del TGV Réseau, gli altri valori sono: **67** per il Frecciarossa 500 e **46** per il Frecciarossa 1.000.



Lo studio di Federici, quindi, **non è più attuale** e non può essere preso ad esempio nella realtà TAV odierna che ha dimostrato come gli aerei sono i veri concorrenti dell'alta velocità e non le altre tipologie di trasporto a suo tempo prese in considerazione nell'elaborato.

2.10. LA PENALIZZAZIONE DEL TGV SULLA TRATTA DI VALICO DEL FREJUS

Proprio perché i treni AV sono i diretti concorrenti degli aerei, necessitano delle loro infrastrutture dedicate oppure di linee ordinarie ma con ottime prestazioni, come quella del tunnel di base del Moncenisio che prevede una buona velocità massima (220 km/h), limitata pendenza (*max 12 ‰*) e ampi raggi di curvatura.

Ne consegue che un treno come il *TGV Réseau* che percorre attualmente la linea storica nella tratta di valico del Frejus è **fortemente penalizzato** in quanto il *TGV* è in grado di esprimere tutte le sue potenzialità **solo sotto catenaria 25kVca 50 Hz**.

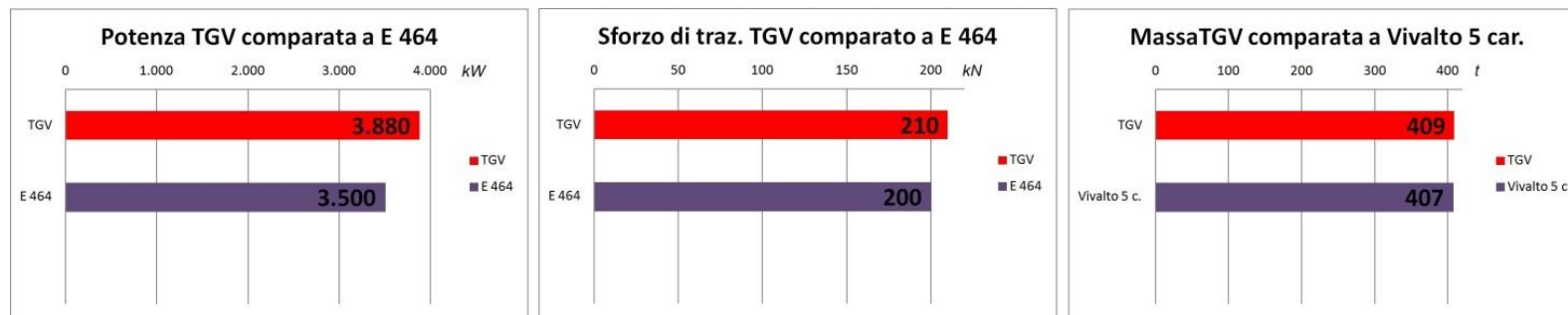
Per rendersene conto basta effettuare qualche comparazione tra il *TGV Réseau* e un comune treno regionale sulla tratta di valico del Frejus:

infrastruttura: analizzando il Fascicolo Linea di *RFI* per la linea in oggetto, si evince che la velocità permessa dall'infrastruttura è sostanzialmente la stessa per entrambi (differenze massime di circa 5 km/h);

potenza: la potenza sotto catenaria 3kV_{cc} è all'incirca identica tra il *TGV* e la locomotiva *E464* di un comune treno regionale (3.880 kW, *TGV*/3.500 kW, *E464*);

sforzo di trazione: pressoché identico sotto catenaria 3kV_{cc} (210 kN, *TGV*/200 kN, *E464*);

masse dei convogli: pressoché identiche (409 t, *TGV*/407 t, *Vivalto 5 carrozze+loc*).



Quindi un *TGV Réseau* e un treno regionale che percorrono la tratta di valico del Frejus hanno pressappoco **medesima** velocità massima, potenza, sforzo di trazione e massa: il *TGV* non ha quindi alcun vantaggio su un comune treno regionale.

Il passaggio nel tunnel di base del Moncenisio invece, alimentato a 25kV_{ca} 50 Hz, permetterebbe di sfruttare appieno la potenza e lo sforzo di trazione del *TGV*, permettendo quindi una massa maggiore (più carrozze) con una velocità almeno doppia rispetto alla linea di valico del Frejus.

2.11. I CONSUMI ENERGETICI PER IL RAFFREDDAMENTO E LA VENTILAZIONE DEL TUNNEL⁴

La temperatura massima della roccia, confermata attraverso il sondaggio geognostico della Maddalena nell'area di massima copertura, è di 47° C; è quindi quella naturale della roccia causata dal gradiente geotermico previsto nelle zone centrali del tunnel, dove la profondità raggiunge un massimo di 2300 m.

La tratta con temperatura della roccia superiore a 30° C si riscontra per una quindicina di chilometri di tracciato sotto il Massiccio dell'Ambin.

Viene pertanto confermato che nel tunnel, a doppia canna, con connessione ogni 333 m, **non è previsto il funzionamento dell'impianto di ventilazione e raffreddamento durante l'esercizio, in quanto il passaggio monodirezionale del treno garantisce per ogni canna il corretto ricircolo dell'aria grazie all'effetto pistone dei convogli e una temperatura massima, nella tratta di maggiore copertura, di circa 30° C.**

Nelle tre stazioni di sicurezza sono previste delle centrali di ventilazione, così come ai due imbocchi del tunnel di base, ma unicamente con funzione di sicurezza in caso di incidente o di incendio e in caso di manutenzione per un corretto ambiente di lavoro.

L'impianto di refrigerazione, che concerne quasi esclusivamente la tratta del tunnel in territorio francese, entrerà in funzione per le attività di manutenzione nei soli mesi estivi, quando la temperatura esterna risulta più alta.

La potenza prevista per l'impianto, e quindi la potenza massima "frigorifera" installata con un fattore di rendimento termico pari a 4, produce un reale assorbimento elettrico di picco di circa 4 MW.

Su base annuale, considerando che il raffreddamento potrà essere necessario solo d'estate, in manutenzione, questa potenza si riduce a 1,5 MW medi annui, dunque 1/10 di quanto sostenuto nei documenti prodotti dalla Commissione Tecnica NOTAV.

Come evidente dai dati sopracitati, il consumo energetico effettivo in condizioni di normale esercizio è quindi assolutamente limitato.

⁴ Fonte TELT Sas, progetto definitivo verificato a seguito della conclusione dello Scavo del Cunicolo geognostico della Maddalena.

2.12. CONCLUSIONI

Il passaggio dei convogli nel tunnel di base del Moncenisio permette di avere **risparmi energetici di trazione di grande portata**, permessi in particolar modo da una **ridotta pendenza** (*max 12‰*), minore **quota s.l.m.** (750 m contro 1.295 m), minori **perdite** elettriche (15% contro 24%) e **maggiore** possibilità di utilizzazione **dell'energia recuperata** in frenatura elettrodinamica dei treni. I vantaggi legati alla **minore pendenza** e minore **quota s.l.m.** del tunnel di base del Moncenisio non saranno **mai ottenibili** con ristrutturazioni della tratta di valico della linea storica del Frejus.

A questi vantaggi si aggiungono le **maggiori masse rimorchiate**, un **numero ridotto di locomotori**, **velocità massime maggiori** e la perfetta **simmetria delle velocità di marcia** nei due sensi di percorrenza grazie anche all'apporto della frenatura elettrodinamica che riduce anche l'uso dei freni ad attrito. La **simmetria della velocità di marcia** è condizione indispensabile per un uso equilibrato della linea.

Il **risparmio energetico da trazione ferroviaria** tra percorrere il nuovo tunnel di base del Moncenisio rispetto alla vecchia linea nella tratta di valico del Frejus è molto rilevante stante un **rapporto energetico** minimo di 2,5:1 (*kWh/t*); il consumo energetico per trasportare una tonnellata di merci nelle diverse tipologie di trasporto è compreso tra il 33% ed il 40% del consumo attuale.

Gli oppositori all'opera, per mettere in discussione il consistente vantaggio energetico della nuova infrastruttura, hanno ipotizzato in normale esercizio rilevanti consumi per il raffreddamento e la ventilazione del tunnel di base del Moncenisio dovuti al riscaldamento della copertura della roccia. TELT ha **smentito** tale congettura, confermando la ventilazione **solo** per le attività di manutenzione e nei soli mesi estivi, quando la temperatura esterna risulta più alta (e neanche per l'intera tratta del tunnel).

Per tutte queste considerazioni risulta quindi confermata a tutti gli effetti la **superiorità** dal punto di vista **energetico** del nuovo tunnel di Base del Moncenisio rispetto alla linea storica di valico del Frejus.