

Confronto tra il consumo di energia di un treno che percorre il tratto Bussoleno-Saint Jean de Maurienne sulla nuova linea ("di pianura") o sulla linea storica ("di montagna")¹.

Richiami: Linea storica = 87,25 km, per un dislivello di 898 m; Nuova Linea = 65,5 km per un dislivello di 312 m. Sulla nuova linea ci sono 21,75 km di lunghezza in meno e 586 m di dislivello in meno².

Nel seguito useremo dati non contestabili, gentilmente forniti dal macchinista Trenitalia Mauro Olivero Pistoletto. I treni merci di uso comune sulla tratta storica Torino-Lione appartengono di norma a una delle seguenti tipologie.

- Treno merci di massa $M = 1350$ t lorde, trainato da due locomotive (per es. E633, E652, BB36.000) da 100 t ciascuna. Ogni carro pesa circa 20 t e porta circa 60 t di carico utile; quindi il rapporto tra tara e carico utile per ciascun carro è tipicamente 1:3. Il treno considerato ha una tara di circa 288 t (comprensiva di qualche ulteriore dettaglio) per i carri e 200 t per le due locomotive: dunque una tara complessiva di circa 488 t. Il carico utile è di circa 862 t, quindi la massa netta è il 63.85% della massa lorde.

- Secondo Mauro Olivero Pistoletto, "da un po' di tempo si effettuano treni sempre con due locomotori ma in una composizione detta "doppia simmetrica" (solitamente container) ovvero una macchina in testa ed una in coda al treno. In tale configurazione, che permette di aggirare il problema organi di aggancio, è possibile trainare 1300t con sole due macchine, ovvero 325t di tara e 975t di netto". Per treni di questo tipo la massa lorde, comprensiva delle due locomotive, è 1500 t, quindi il carico utile è il 65% della massa lorde.

- Sono in circolazione anche treni più pesanti, per esempio treni di 1900 t lorde con tre locomotive: due in testa e uno di spinta in coda. Per treni di questo genere il carico utile sale a 1200 t, mentre la tara è circa 700 t (di cui 400 per i carri e 300 per le tre locomotive); pertanto la massa netta è il 63.15% della massa lorde.³

Ciò posto, si consideri ad esempio un treno del primo tipo, cioè di massa $M = 1350$ t lorde comprensive delle due locomotive. Supponiamo che il treno sia in moto uniforme con velocità costante $v \simeq 60$ km/h, tralasciando le fasi di accelerazione. Supponiamo che la velocità sia la stessa sulla vecchia e sulla nuova linea, in modo che la resistenza aerodinamica sia approssimativamente la stessa nei due casi (è vero che sulla nuova linea ci sono 21.75 km di percorso in meno, ma in galleria la resistenza aerodinamica è maggiore che all'aperto). Anche le resistenze di attrito volvente e attrito ai perni sono approssimativamente uguali nei due casi considerati.

¹questo è un lavoro provvisorio realizzato con la collaborazione di diversi esperti nel campo dell'ingegneria ferroviaria. Il lavoro è basato essenzialmente sulla fisica di base e sugli scarsi dati che siamo riusciti finora a procurarci; ci riserviamo di tornare sull'argomento quando saranno disponibili dati più completi

²Dati LTF elaborati dall'ing. Massimo Olivero Pistoletto, che ringraziamo per la cortesia (per l'esattezza la lunghezza della linea storica è 89.541Km sul binario pari e 87.251 sul binario dispari)

³I ringraziamenti al sig. Mauro Olivero Pistoletto sono doverosi

A sfavore della linea storica giocano i seguenti fattori:

(1) il maggior dislivello $h = 586$ m, che per un treno di massa M richiede un lavoro aggiuntivo $L = Mgh$;

(2) la maggiore pendenza (fino a un massimo del 3.1% per brevi tratti), che impone la doppia trazione per i treni merci fino a 1300 t (locomotive escluse) e la tripla trazione per treni più pesanti, mentre sulla nuova linea è sufficiente un solo locomotore;

(3) gli attriti addizionali dovuti alla pendenza e alle curvature della linea ($\sim 3Mgh \cdot 10^{-2}$), che essendo due ordini di grandezza in meno possono essere trascurati.

Il lavoro necessario per sollevare un treno di 1350 t lorde di $h = 586$ m (dislivello tra vecchia e nuova linea) è:

$$L = Mgh = 7.75 \cdot 10^9 \text{ J} = 2.15 \text{ MWh} \quad (1)$$

cui bisogna aggiungere l'energia dissipata sulla linea per effetto della doppia trazione e della pendenza, che gli esperti stimano attorno al 27% dell'energia di sollevamento. Secondo il sito ufficiale di FS, l'attuale sistema di recupero energia in discesa permette di recuperare fino al 10% dell'energia assorbita⁴, ma con i nuovi supercondensatori attualmente in fase di avanzata sperimentazione è possibile risparmiare fino al 20% dell'energia spesa⁵. Una linea storica ottimizzata, con sottostazioni di conversione attrezzate e materiale rotabile adeguato, potrebbe rendere possibile un recupero di energia intorno al 17%.⁶ Sottraendo il 17% di ricupero energia dal 27% di perdite, le perdite nette si riducono al 10%; pertanto l'energia necessaria per sollevare le 1350 t lorde (di cui 862 nette) è:

$$2.15 + \frac{10}{100} 2.15 = 2.36 \text{ MWh} \quad (2)$$

Fino a questo momento abbiamo considerato soltanto la penalità dovuta al dislivello, a sfavore della linea storica. Tuttavia, nel tunnel in progetto a questa penalità si contrappone un'altra penalità, questa volta a sfavore della nuova linea: quella dovuta al raffreddamento, ventilazione, operatività degli impianti (luci, segnali, scambi, illuminazione, manutenzione, ecc.): insomma a tutte le necessità energetiche di funzionamento del tunnel in condizioni di esercizio (l'enorme quantità di energia necessaria per la costruzione, che è l'argomento principale contro la sostenibilità energetica del tunnel, è qui totalmente ignorata).

Cerchiamo una stima di questa penalità, a partire dai dati degli stessi proponenti. Secondo i dati del progetto preliminare (pag.199 del Relazione Generale

⁴<http://www.fsitaliane.it/fsi/Impegno/Per-l'Ambiente/Energia/Consumi-Energetici>

⁵http://www.corriere.it/ambiente/13_febbraio_20/energia-recupero-frenata-treni_c2d640a8-7a9c-11e2-896e-599d001aa8d7.shtml

⁶nell'impossibilità di sapere fino a che punto la linea storica sarà effettivamente ottimizzata, vale la pena di precisare che, qualora la stima teorica del 17% non fosse completamente raggiunta, il risultato non cambierebbe sostanzialmente: rimandiamo alla penultima nota del presente lavoro per una stima quantitativa, nell'ipotesi che la linea non sia ottimizzata e il ricupero energetico sia solo un misero 6%

LTF) occorre smaltire fino a 15.4 MW termici mediante gruppi frigoriferi. Secondo i proponenti, questo equivale a un assorbimento elettrico di picco di 4 MW, che, benchè appaia a molti esperti alquanto sottostimato (si tenga presente che il tunnel è a doppia canna, con 17 km molto caldi in una canna e 14 km nell'altra, senza contare i vari tunnel di interconnessione), costituisce un problema tutt'altro che trascurabile per la nuova linea. In un documento di risposta a un documento della Comunità Montana, i proponenti trovano modo di ridurre ulteriormente questa stima a soli 1.5 MW medi su base annua (365 giorni) "considerando che il raffreddamento potrà essere necessario solo d'estate". L'ipotesi dei proponenti, non supportata da nessun calcolo, è che la potenza elettrica necessaria per il raffreddamento del tunnel dovrebbe aggirarsi attorno a 4 MW per i 5 mesi più caldi e 0 (zero!) MW per i rimanenti 7 mesi (non è chiaro il motivo della curiosa discontinuità climatica che ignora le stagioni intermedie). Questa stima si basa sulla considerazione che il tunnel è ventilato in modo naturale attraverso l'effetto pistone e i pozzi di ventilazione, che d'inverno immettono aria fredda nel tunnel. Questa considerazione può andare bene nel caso di tunnel corti, nei quali ogni punto dista solo per pochi km dal più vicino sbocco all'aperto, e quindi la temperatura all'interno del tunnel cambia in modo rilevante nel corso delle stagioni; ma per un tunnel lungo 57 km la situazione è del tutto diversa, come è evidente dal profilo delle temperature fornito da LTF, cfr. fig.1. Illuminante il confronto col tunnel del Gottardo, molto simile per lunghezza e caratteristiche al tunnel in progetto: "in estate la temperatura è circa 36-37°C, in inverno circa 35°C" (<http://www.alptransit.ch/it/progetto/dotazione-della-costruzione-grezza.html>). Da questa e da altre fonti risulta che la differenza di temperatura tra estate e inverno, all'interno della galleria, cambia in modo quasi irrilevante: in particolare è sempre compresa tra 1°C e 2°C. Ciò significa che il raffreddamento può essere leggermente ridotto d'inverno, ma certamente non abolito⁷

Proviamo a replicare punto per punto alle argomentazioni dei proponenti.

(1) Per quanto riguarda l'effetto pistone, secondo l'Enciclopedia Treccani "nelle lunghe gallerie, specie se percorse da treni pesanti, veloci e frequenti, si verifica un aumento della temperatura ambiente che, nel corso di qualche mese, può superare il livello sopportabile dalle apparecchiature elettriche e dalle persone, specialmente se questo rialzo della temperatura è accompagnato da umidità in alta percentuale". Dunque il passaggio dei treni tende ad aumentare, anziché diminuire, la temperatura ambiente: ciò significa che l'effetto pistone può essere utile alla ventilazione, ma non al raffreddamento.

(2) Per quanto riguarda i pozzi di ventilazione, la cosa che più sorprende,

⁷Per meglio comprendere quanto poco la temperatura esterna influenzi la temperatura interna, a una certa distanza dall'imbocco, può essere utile ricordare la tragedia dei minatori (per lo più italiani) che scavarono il primo tunnel del Gottardo negli anni 1872-1882. I minatori entravano ad Airolo con una temperatura di circa 10 gradi sottozero e dopo 7 km, in assenza di refrigerazione e ventilazione, si ritrovavano in un ambiente con 31.5 gradi e altissima umidità. I morti per motivi di salute si contarono a centinaia (<http://www.cesil.com/leaderforchemist/articoli/0708/Peduzzi.pdf>)

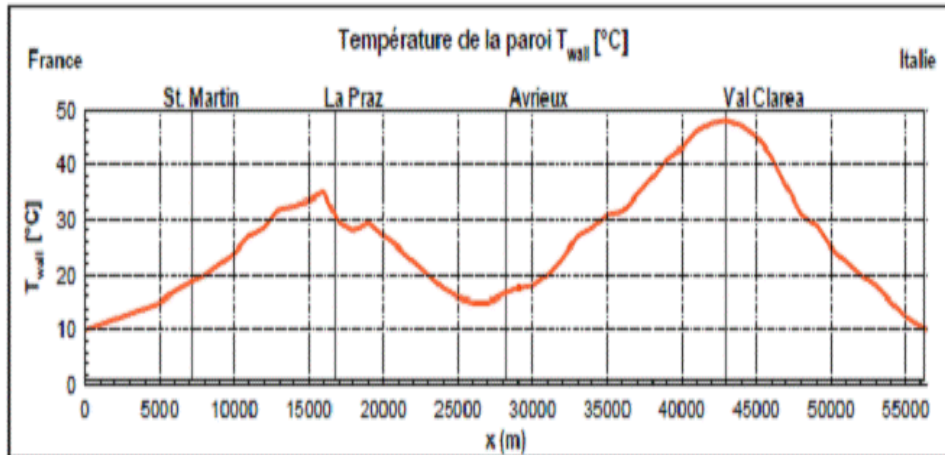


Figure 1: fig.1. Profilo termico del tunnel di base secondo LTF

e rende impossibile una trasparente discussione tecnica su questo tema, è che del raffreddamento in condizioni di esercizio - con relativa spesa energetica - non c'è praticamente traccia nei documenti LTF⁸: solo le due frettolose righe di risposta a un documento della Comunità Montana con la stima generica sopra accennata, ovvero 4 MW per 5 mesi e 0 (zero!) per i rimanenti 7 mesi.

Su questa base, evidentemente incerta, abbiamo proposto, come possibile ipotesi di lavoro, una stima alternativa. Ci sembra abbastanza ragionevole che d'inverno l'energia necessaria per raffreddare il tunnel possa essere ridotta della metà grazie al sistema dei pozzi di ventilazione, ma non ci sembra per nulla ragionevole che possa essere ridotta addirittura a zero. Tenendo anche conto delle stagioni intermedie, sembra ragionevole ipotizzare, sempre sulla base dei dati LTF, una potenza elettrica necessaria per il raffreddamento del tunnel di almeno 3 MW medi su base annuale (365 giorni)⁹. Sotto questa ipotesi, per-

⁸nei documenti LTF il raffreddamento è studiato con estrema attenzione solo per la fase di scavo oppure per le emergenze, tipicamente incendi nel tunnel

⁹Un'altra stranezza è che non si riescono a trovare dati nemmeno sui tunnel di base esistenti o in costruzione. Nel tunnel del Lötschberg sensori di temperatura e umidità regolano l'impianto di condizionamento in modo da assicurare una perfetta climatizzazione in tutte le stagioni, non soltanto d'estate. Benchè il tunnel sia lungo solo 35 km, ci sono 44 macchine frigorifere e 396 condizionatori di aria fredda a ricircolo che assicurano condizioni climatiche costanti nonché il funzionamento corretto degli apparecchi elettronici, dei computer e dei sistemi di controllo; per non parlare degli operai impegnati nei normali lavori di controllo e manutenzione. Tutto questo ambaradan dà l'idea di un impegno consistente, ma non siamo riusciti a trovare dati numerici. L'unico tunnel dove si trovano tutti i dati possibili - con particolare riguardo al costo della gestione ordinaria - è l'eurotunnel, che però è sottomarino, quindi ha solo il problema della ventilazione e non quello del raffreddamento. Immaginiamo che la maggiore trasparenza sia dovuta al fatto l'azienda che gestisce l'eurotunnel è privata e quotata in borsa. Ricordiamo, di passaggio, che il costo della realizzazione dell'eurotunnel è

altro molto prudente, la dissipazione annua di energia per raffreddare il tunnel ammonta a

$$E_{raffredd.} = 2.62 * 10^4 \text{ MWh} \quad (3)$$

Al raffreddamento occorrerebbe aggiungere la ventilazione, che secondo il progetto deve essere compresa tra 0.5 e 1.5 m/s in condizioni normali. E' vero che il tunnel è ventilato in modo naturale attraverso l'effetto pistone, i pozzi di ventilazione e le discenderie; ma è anche vero che alla ventilazione naturale è necessario aggiungere la ventilazione forzata, che richiede energia; in particolare, la ventilazione forzata è necessaria ogni qual volta si svolgano operazioni di manutenzione. Lasciamo la parola ai proponenti: "nella fase normale di esercizio l'effetto pistone provocato dai treni in transito assicura il necessario ricambio d'aria"; tuttavia, "in fase di manutenzione (traffico dei treni interrotto)¹⁰, il ricambio d'aria necessario sarà assicurato da una ventilazione forzata" (PD2_C30_0004_20-00-00_10-03_Relazione_generale_B pag.81).

In ogni caso, in assenza di dati certi abbiamo rinunciato a quantificare l'energia di ventilazione (come se la ventilazione non richiedesse energia o non fosse necessaria): pertanto *la stima di 3 MW medi comprende tutta la potenza necessaria per la climatizzazione del tunnel*. Dunque l'energia di raffreddamento/climatizzazione al giorno (per 365 giorni) è

$$2.62 * 10^4 / 365 \sim 72 \text{ MWh} \quad (4)$$

Dividendo per 2.36 Mwh (lavoro per portare in quota un treno da 1350 t lorde, comprensivo di perdite e ricupero energia, nonchè di di tutte le locomotive necessarie), si trova che l'energia di raffreddamento può far salire in quota 30.5 treni da 1350 t al giorno per 365 giorni: complessivamente 11133 treni all'anno, per un tonnellaggio totale annuo di

$$11133 * 1350 \text{ t} = 15.3 \text{ Mt}$$

Poichè il carico utile di questo tipo di treno è il 63.85% della massa lorda, il quantitativo netto di merci trasportate in un anno è 9.77 Mt¹¹.

La conclusione è che, *con questi dati, l'energia necessaria per il raffreddamento è all'incirca uguale a quella risparmiata sostituendo la linea storica con una linea di pianura, quale che sia il flusso di merci fino al massimo teorico di circa 10 Mt/anno. Non abbiamo dati per stimare il massimo reale, ma possiamo dire con certezza che deve essere assai maggiore: sia perchè il progetto prevede*

stato scaricato completamente sui cosiddetto parco buoi (741.000 piccoli risparmiatori ridotti sul lastrico) e che l'esercizio è stato in passivo fino a tempi recenti: eppure si tratta di un tunnel importante, certamente molto più "strategico" di quello in progetto e percorso da un flusso di persone e merci molto più rilevante di quello ragionevolmente prevedibile per il tunnel in progetto (lasciamo perdere le previsioni LTF).

¹⁰Il progetto LTF prevede manutenzione notturna ordinaria due volte alla settimana, più la manutenzione straordinaria (non quantificata).

¹¹nell'ipotesi che il ricupero energetico sia soltanto del 6% (linea non ottimizzata) anzichè del 17% (linea ottimizzata), il quantitativo netto di merci trasportate si riduce a 8.71 Mt: si tratta soltanto di 1 Mt in meno rispetto alla linea ottimizzata. Come si vede, le conclusioni non cambiano in modo sostanziale

velocità comprese tra 100 e 120 km/h per i merci in galleria¹² con conseguente aumento dell'energia necessaria per la trazione, l'ostacolo del frenamento aerodinamico e l'usura dei binari, sia per i costi energetici necessari per l'operatività degli impianti (luci, segnali, scambi, illuminazione, manutenzione, ecc.) e le esigenze della sicurezza. Se si considerano anche tutti questi costi energetici, si deve concludere che il pareggio energetico richiede un flusso di merci sensibilmente maggiore di 10 Mt/anno. In effetti l'opera è progettata per un flusso di merci sensibilmente maggiore di 10 Mt, che costituiscono il massimo storico del 1997 (quasi il triplo del traffico attuale).

Tutto questo sempre senza considerare gli enormi costi energetici necessari per la costruzione e la manutenzione per l'intero ciclo di vita della struttura: costi che cambiano completamente lo scenario energetico fino al punto da rendere estremamente dubbia la sostenibilità dell'opera dal punto di vista energetico, anche in presenza di grandi flussi di traffico e su un arco temporale dell'ordine del secolo.

Conclusione: il costo energetico dell'infrastruttura è irrecuperabile, e il pareggio energetico in condizioni di esercizio richiede un flusso di traffico che forse una ventina di anni fa poteva essere considerato ragionevole (erano i tempi in cui la crescita esponenziale infinita di tutte le cose sembrava ancora possibile e desiderabile), ma che da una dozzina d'anni a questa parte nessuno studio indipendente giudica possibile.

¹²la maggiore lentezza sulla linea storica, dell'ordine di 60 km/h, è irrilevante per le merci, che nel tunnel di base sono costrette a correre a velocità doppia non per risparmiare tempo, ma per non intralciare troppo la marcia dei treni viaggiatori