

Impatto a scala regionale di una grande infrastruttura ferroviaria. Le emissioni di CO2 della linea AC del Brennero

Original

Impatto a scala regionale di una grande infrastruttura ferroviaria. Le emissioni di CO2 della linea AC del Brennero / F., Maino; Cavallaro, Federico - In: La montagna italiana. Confini, identità e politicheITA : Franco Angeli, 2013. - ISBN 9788820440800. - pp. 161-185

Availability:

This version is available at: 11583/2787054 since: 2020-02-11T14:32:30Z

Publisher:

Franco Angeli

Published

DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

Impatto a scala regionale di una grande infrastruttura ferroviaria. Le emissioni di CO₂ della linea AC del Brennero

Federica Maino, Federico Cavallaro

1. Introduzione

La riduzione dei gas ad effetto serra (o GHGs) è considerata condizione fondamentale per preservare la terra dalle conseguenze del riscaldamento globale (TRB, 2008; USDOT, 2002). L'anidride carbonica (CO₂), responsabile di circa il 75% delle emissioni di gas ad effetto serra (IPCC, 2007), riveste un ruolo di primaria importanza nell'ambito della lotta ai cambiamenti climatici e il suo bilancio è un mezzo efficace per verificare gli obiettivi e le strategie stabilite a livello politico, e per avviare le misure necessarie a ridurre la concentrazione.

I trasporti costituiscono un punto chiave nel tentativo di riduzione della CO₂: in Europa, tale settore contribuisce per circa il 26% delle emissioni totali (EC, 2005). Posto che la crescita degli scambi commerciali e la domanda di trasporto non può essere limitata per garantire la crescita economica e la libertà di circolazione (EC, 2011), tale sviluppo deve attuarsi secondo i principi della sostenibilità (Black, 2010). Per i sistemi terrestri, ciò significa favorire l'utilizzo della rete ferroviaria in quanto le emissioni unitarie di CO₂ sono notevolmente inferiori rispetto al trasporto stradale (van Essen, Bello e Dings, 2003).

In tale quadro va valutata la creazione delle Trans-European Transport Networks (o reti TEN-T) e dei Corridoi Pan-Europei, in grado di abbassare i tempi di percorrenza, ridurre le emissioni di gas inquinanti, rendendo così il collegamento tra grandi città europee più veloce e sostenibile. A fronte di importanti progetti per la realizzazione di grandi infrastrutture, spesso mancano gli strumenti metodologici in grado di valutare il reale contributo di queste infrastrutture in termini di riduzione delle sostanze inquinanti, sia a scala globale, sia a scala locale. Alcuni recenti studi (Booz Allen Hamilton,

2007; Italferr, 2010; Network rail, 2009; Tuchschnid, 2009; Von Rozycki, Koeser e Schwarz, 2003) evidenziano l'interesse che la pianificazione dei trasporti dimostra per la tematica; tuttavia, mancando una chiara descrizione del metodo, sono difficilmente replicabili in altri casi studio.

Lo scopo del presente articolo è valutare la sostenibilità di una grande infrastruttura ferroviaria in termini di emissioni di CO₂, rispetto alla scala regionale. L'oggetto di studio è la tratta della linea alta capacità (AC) del Brennero che ricade nel territorio altoatesino. Nello specifico, si valuta quanto incide la fase di costruzione dell'opera sul totale delle emissioni prodotte a scala regionale, qual è il risparmio di CO₂ conseguibile dall'esercizio della linea in un orizzonte temporale di lungo periodo e, infine, quali sono i tempi necessari per compensare, con tale risparmio, le emissioni derivanti dalla fase di costruzione. L'analisi costituisce un approfondimento di uno studio più ampio che ha valutato la sostenibilità della linea AC Verona-Monaco in relazione alle emissioni di CO₂ a scala inter-regionale (Ruffini, Maino e Nocera, 2010).

Nel paragrafo successivo (paragrafo 2) si inquadrano le strategie globali e locali in materia di politica energetica, descrivendo gli strumenti di governo operativi alle diverse scale; nel paragrafo 3 viene analizzato il caso studio in esame e illustrata la metodologia adottata. Seguono la discussione dei risultati (paragrafo 4), e le considerazioni conclusive con la valutazione delle criticità e dei punti di forza del metodo utilizzato (paragrafo 5).

2. La CO₂: strumenti per la riduzione delle emissioni e i metodi di bilancio

La riduzione delle emissioni di CO₂ è un problema che coinvolge trasversalmente tutti i livelli di pianificazione, da quello internazionale fino a quello locale. Con la firma del protocollo di Kyoto (UN, 1998) e la sua successiva entrata in vigore nel 2005, la comunità internazionale si è impegnata a ridurre, nel periodo 2008/2012, le emissioni dei gas serra in misura non inferiore al 5,2% rispetto al livello del 1990. Tuttavia, la difficoltà a trovare una linea condivisa verso questo obiettivo è segnalata dal vertice di Copenaghen (2009), che si è risolto con un impegno generico a garantire che la temperatura globale non salga oltre i 2° C nei prossimi 40 anni. L'Europa, constatata la difficoltà a trovare un accordo comune, sta parallelamente perseguendo una propria politica: nel 2008 è stato varato il pacchetto "20 20 20", che si prefigge, per il 2020, una diminuzione del 20%

delle emissioni di gas serra e un contestuale innalzamento della quota di energia prodotta con fonti rinnovabili al 20%.

L'Italia, in tale quadro sovranazionale, ha approvato nel 2002 il Piano nazionale per la riduzione delle emissioni ed il Piano di azione nazionale (CIPE, 2002), con i quali si impegna alla redazione di un piano nazionale concorde con gli obiettivi del già citato Protocollo di Kyoto. Tuttavia, la normativa appare complessa, perché coinvolge diversi livelli di pianificazione e le competenze non sono chiaramente definite. Molti dei compiti strategici sono stati delegati agli apparati locali: il Piano energetico ambientale regionale (PEAR), in particolare, sostituisce il vecchio piano energetico nazionale nell'individuazione degli indirizzi e obiettivi strategici in campo energetico e nella specificazione delle conseguenti linee di intervento. Al suo fianco, il Bilancio energetico regionale (BER) descrive la domanda e l'offerta di energia nell'ambito regionale, distinguendo le varie fonti di provenienza e le varie destinazioni d'uso (i macro-gruppi solitamente considerati sono: settore civile, industria, agricoltura e trasporti).

Entrambi questi strumenti, obbligatori per legge, costituiscono la base dello sviluppo di piani energetici provinciali e comunali, strumenti che determinano l'insieme di interventi e decisioni che regoleranno il consumo e la produzione di energia nei prossimi anni a livello locale. Gli obiettivi strategici di tali piani si basano: sulla razionalizzazione e riduzione dei consumi energetici di fonti fossili non rinnovabili delle strutture pubbliche; sulla riduzione delle emissioni inquinanti e climalteranti; sullo sviluppo e la produzione di energia elettrica e termica su base di fonti rinnovabili.

Gli interessi politici ed economici impliciti nei rapporti internazionali, come sopra accennato, spesso conducono a situazioni di stallo difficilmente risolvibili. Per tale motivo, le iniziative più concrete in termini di riduzione dei gas inquinanti sono state intraprese a piccola scala, coinvolgendo Comuni e/o Provincie. A questa scala, i compiti sono meglio definiti e gli interessi sono più facilmente gestibili. Il "patto dei sindaci" è un esempio di tale politica, che mira concretamente a ridurre del 20% le emissioni climalteranti a livello comunale, attuando una serie concreta di misure. Si tratta quindi di trovare un punto di equilibrio tra gli approcci "generale" e "particolare", comprendendo infine che un fenomeno di rilevanza mondiale come il *global warming* può essere affrontato efficacemente anche per mezzo di misure realizzate a livello locale.

L'Alto Adige sembra avere compreso l'importanza di attuare azioni incisive a scala locale in merito alla riduzione delle emissioni di CO₂. Ne sono testimonianza la recente pubblicazione di un bilancio energetico provin-

ciale (Benelli, Zoller e Reiterer, 2012) e di un rapporto sullo sviluppo delle emissioni al 2050 (Ruffini, 2011).

Il primo documento (Benelli, Zoller e Reiterer, 2012) analizza lo *status quo*: dapprima vengono valutati la produzione ed il consumo di energia a livello provinciale; quindi tali valori sono trasformati in emissioni di CO₂ attraverso appositi fattori di conversione forniti dalla letteratura. Le emissioni sono analizzate per tre macro-gruppi: autotrazione, energia termica ed energia elettrica. I risultati mostrano come nel 2009 ogni residente in Alto Adige abbia prodotto mediamente 6,3 t di CO₂, a fronte delle 7,2 t stimate a livello nazionale.

Il rapporto *Energia-Alto Adige-2050* (Ruffini, 2011) parte da questi dati per sviluppare una strategia di riduzione delle emissioni provinciali. Gli obiettivi fissati prevedono una limitazione a meno di 4 t pro capite all'anno entro il 2020 e a meno di 1,5 t al più tardi entro il 2050. Per giungere a tali valori, sono stati approfonditi diversi campi, tra i quali quello trasportistico. Se a scala provinciale si stima una produzione complessiva¹ di CO₂ pari a circa 2.430 kt, per il solo settore trasportistico tale valore è pari a circa 1.116 kt, equivalenti a 2,3 t CO₂ per abitante. Si precisa che tale valore è stato ricavato avvalendosi dei dati riferiti ai rifornimenti effettuati in Alto Adige nel 2008. Nello studio sono state necessarie alcune semplificazioni: ad esempio non rientrano nella valutazione i rifornimenti di carburante effettuati fuori dell'Alto Adige ma consumati entro i suoi confini; inoltre, non sono state calcolate le emissioni derivanti dall'utilizzo della linea ferroviaria.

Il presente studio costituisce un valido supporto per definire le strategie necessarie al raggiungimento degli obiettivi definiti nel rapporto *Energia-Alto Adige-2050*. Esso infatti restituisce una quantificazione, a scala regionale, delle emissioni del settore trasporti con riferimento allo sviluppo futuro della principale linea ferroviaria dell'Alto Adige. Attraverso la metodologia di seguito descritta è possibile valutare la variazione nel tempo delle emissioni di CO₂ in seguito all'introduzione della linea AC del Brennero: il nuovo assetto che si viene a determinare viene paragonato al caso di mancata realizzazione della stessa.

1. Derivante da gas liquido, metano, cherosene, olio combustibile, gasolio, somma fonti fossili, incenerimento rifiuti, gas di discarica, legna in pezzi, pellet, cippato, corrente elettrica, impianti solari, energia eolica, fotovoltaico, teleriscaldamento, pompa di calore, biogas, combustibili liquidi.

3. Il valico del Brennero e la linea AC

3.1. Il caso-studio

Il valico del Brennero, grazie alla sua posizione geografica al centro dell'arco alpino, all'altitudine piuttosto bassa e al fatto che un unico passo ne permette l'attraversamento, rappresenta da sempre una delle connessioni viarie più importanti attraverso le Alpi. Esso, con un volume di merci pari a 41,9 milioni di tonnellate transitate nel 2010 (UFT, 2011), si attesta quale trasversale alpina con la maggior movimentazione di merci e una delle principali vie per il trasporto passeggeri. La linea ferroviaria Verona-Brennero-Monaco e la contigua autostrada del Brennero (A22-E45) rappresentano le principali vie di transito lungo quest'asse.

La linea ferroviaria del Brennero, entrata in funzione nel 1867, fu considerata il mezzo di trasporto per eccellenza fino agli anni '60 del secolo scorso e perse la sua posizione privilegiata nel 1974, dopo il completamento dell'A22-E45 (Aschbacher, 2010). Da allora l'autostrada ha assunto un ruolo progressivamente sempre più importante.

Per rendere più "attraente" il trasporto su ferro, si è resa allora necessaria l'ideazione di un servizio più competitivo in termini di tempi di percorrenza e di ammodernamento della linea. Poiché alcune caratteristiche tecniche del tracciato ferroviario esistente (pendenze elevate, raggi di curvatura ridotti, la presenza di tunnel in pietra difficilmente ampliabili) costituiscono delle forti limitazioni alla realizzazione di una linea veloce, nasce, a partire già dagli anni '50, l'idea di una "galleria di pianura" al Brennero. Diversi studi ed ipotesi si sono susseguiti fino al progetto vero e proprio che è stato avviato a partire dagli anni '80. Il nuovo progetto comprende sia la modernizzazione della linea storica (destinata per lo più al trasporto passeggeri), che la costruzione di una nuova infrastruttura tra Verona e Monaco (Fig. 1).

L'asse del Brennero (da Monaco a Verona) costituisce la parte centrale del Corridoio TEN-T n° 1, che collega Berlino a Palermo con una linea ferroviaria AC lunga circa 2.200 km. Il vero cuore dell'intero sistema è costituito dal tunnel di base del Brennero (BBT), una galleria ferroviaria lunga circa 55 km che collega Innsbruck a Fortezza. Il potenziamento dell'asse complessivo avviene per fasi, tenendo conto dello sviluppo del traffico e delle capacità necessarie.

Si sottolinea che il corridoio da Verona a Monaco va considerato come un unico sistema, la cui massima funzionalità si realizzerà al completamento di tutte le opere necessarie, ovvero il BBT e le tratte di accesso nord e

sud. Diversamente, la capacità della linea ferroviaria verrà penalizzata dai colli di bottiglia che rimarranno dopo la costruzione del BBT.

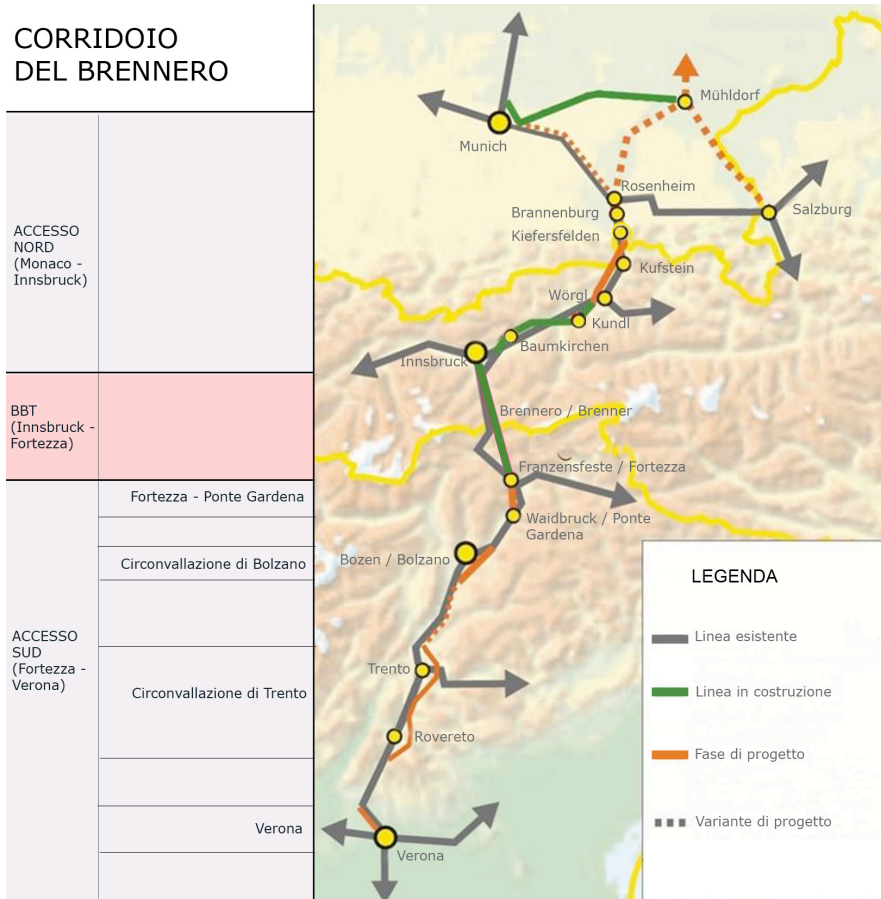


Fig. 1 – Il corridoio del Brennero. Fonte: BMVIT, 2008 (modificato)

Considerando la suddivisione del nuovo corridoio nelle tre sezioni sopramenzionate, attualmente sono in avanzata fase di realizzazione i lavori di potenziamento della linea di accesso nord, per il BBT ha preso avvio la fase realizzativa delle opere principali e, per quanto riguarda la linea di accesso sud, dopo l'approvazione del progetto preliminare, si sta lavorando alla progettazione definitiva.

Il presente contributo considera la parte del corridoio che ricade all'interno dei confini provinciali dell'Alto Adige, ossia la tratta del BBT che va da Brennero a Fortezza e la parte della linea di Accesso Sud che va da Fortezza fino a Salorno (Fig. 2).

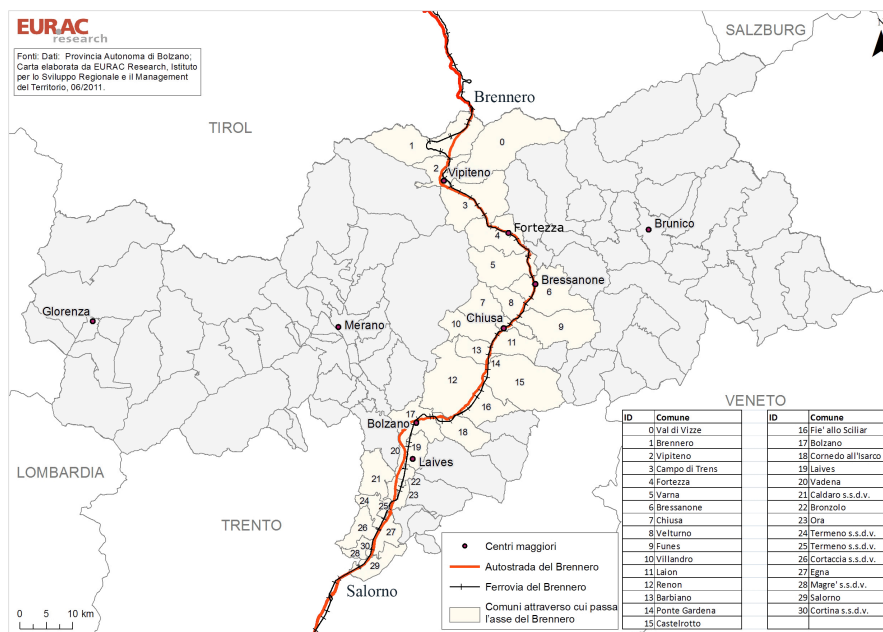


Fig. 2 – Le principali vie di transito lungo l'asse del Brennero all'interno della regione altoatesina

Per quanto riguarda il BBT, la parte che ricade in territorio italiano, si sviluppa per circa 23 km interamente in galleria sotto il valico del Brennero. Si tratta di un sistema a due canne, del diametro di 8,1 m ciascuna, a binario unico, ove circoleranno prevalentemente treni merci in un'unica direzione. Il nuovo impianto infrastrutturale del BBT accorcia la linea ferroviaria esistente e ne riduce notevolmente la pendenza. La pendenza determinante in direzione sud-nord sarà del 4‰, contro la pendenza del 23‰ del tracciato attuale. Il culmine del BBT, che si trova presso il confine di stato, passerà da un'altezza di 1.371 m s.l.m. ad un'altezza di 794 m s.l.m. Il tracciato ferroviario si collega agli impianti già presenti della stazione di Fortezza, da dove ha origine la linea di accesso sud.

La tratta presa in considerazione comprende il lotto 1, da Fortezza a Ponte Gardena, e il lotto 2, ossia la circoscrizione di Bolzano. Il tracciato

dei due lotti solca le valli dell'Isarco e dell'Adige, sviluppandosi quasi interamente in galleria per un totale di circa 33 km. Esso consente di aumentare la capacità della linea e di eliminare un tratto molto acclive dell'itinerario, pari al 22%, che si situa tra Fortezza e Ponte Gardena, portando la pendenza massima al 12%.

3.2. Il bilancio delle emissioni di CO₂

3.2.1. La metodologia

Le conseguenze che la realizzazione della linea AC del Brennero comporta da un punto di vista delle emissioni della CO₂ sul territorio altoatesino sono qui valutate attraverso la realizzazione di un bilancio. In un bilancio si tratta di quantificare i valori di emissioni di CO₂ in entrata ed in uscita nel sistema, paragonando lo scenario futuro che l'infrastruttura oggetto dello studio determina con quello derivante dalla mancata realizzazione della stessa.

Nel primo caso (“nuovo sistema di progetto”), le emissioni totali sono la somma delle emissioni necessarie per la realizzazione dell'infrastruttura e le emissioni derivanti dalla fase di esercizio; nel secondo caso (“variante di progetto zero”), non essendo prevista la costruzione dell'infrastruttura, sono computate le sole emissioni della fase di esercizio (Fig. 3).

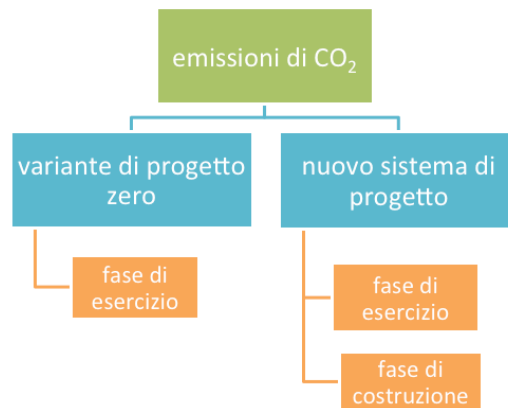


Fig. 3 – Fattori considerati nel bilancio delle emissioni di CO₂ per la realizzazione di una nuova infrastruttura

Per quanto riguarda la fase di costruzione, trattandosi di un'opera che si sviluppa quasi interamente in galleria, i fattori che incidono maggiormente sono le operazioni di scavo, il trasporto dei materiali, la produzione del materiale da costruzione e il funzionamento dei cantieri. Nella fase di esercizio sono considerate solo le emissioni dei veicoli, essendo trascurabili le emissioni dovute alla manutenzione delle opere e all'esercizio a vuoto².

3.2.2. Fase di costruzione

Nell'analisi della fase di costruzione il calcolo delle emissioni di CO₂ è in larga misura legato ai consumi energetici. La ragione di tale assunzione sta nel fatto che la CO₂ di origine antropica è rilasciata durante tutte le attività connesse alla produzione e trasformazione di energia associate ad una combustione. Il metodo di calcolo qui proposto per quantificare le emissioni di CO₂ parte dai consumi finali di energia e dalle quantità di materiali necessarie alla realizzazione della stessa e, attraverso opportuni fattori da noi elaborati (di cui si dirà in seguito), traduce questi in emissioni di CO₂. Definite quindi in prima analisi le macro-fasi che interessano la fase di costruzione di un'infrastruttura, attraverso un'analisi dettagliata dell'infrastruttura oggetto dello studio, il processo è stato scomposto in singoli fattori al fine di impostare la successiva fase di calcolo (Tab. 1).

Nell'operazione di scavo delle gallerie si utilizzano generalmente due metodi: quello convenzionale con escavatori ed esplosivo o lo scavo meccanizzato con la *tunnel boring machine* (TBM). La scelta del metodo da adottare avviene sulla base delle previsioni geologiche e geotecniche e sulla base della sezione, lunghezza e pendenza del tratto di galleria da realizzare. Nel calcolo si stimano i consumi energetici delle diverse macchine utilizzate. Per quanto riguarda lo scavo meccanizzato si considera anche il contributo dovuto alla produzione delle TBM, macchine appositamente costruite per tale tipo di scavo, e i consumi per il trasporto delle stesse dal luogo di produzione fino ai cantieri. Inoltre, per lo scavo convenzionale si considera anche la CO₂ liberata durante le esplosioni che permettono l'abbattimento della roccia.

2. Per un approfondimento della metodologia utilizzata, il lettore interessato può fare riferimento a Nocera, Maino e Cavallaro, 2012.

Tab. 1 – Le macro fasi del processo di costruzione di un’infrastruttura ferroviaria e i fattori di calcolo considerati nell’analisi. Fonte: Nocera et al., 2010 (modificato)

Macro fasi	Fattori di calcolo
Scavo delle gallerie	Scavo convenzionale
	Scavo meccanizzato
	Produzione e trasporto delle TBM
	Esplosione
Trasporto del materiale di scavo	A mezzo nastro trasportatore
	A mezzo camion
Produzione dei materiali da costruzione	Calcestruzzo
	Acciaio
	Trasporto materiale da costruzione
Funzionamento dei cantieri	Ventilazione e raffreddamento
	Trattamento delle acque
	Funzionamento di uffici e officine meccaniche
	Illuminazione delle gallerie
	Illuminazione aree di cantiere

I materiali utilizzati per la costruzione dell’infrastruttura sono per la maggior parte cemento e acciaio (utilizzato negli ancoraggi, nella costruzione dei ponti e per la fabbricazione del calcestruzzo armato). Si ipotizzano trascurabili i contributi dovuti all’impiego di materiale plastico utilizzato per le tubazioni e altro materiale di finitura. Sono poi stimati i fabbisogni di energia per il trasporto dei materiali da costruzione e del materiale di scavo fino ai depositi, distinguendo tra il materiale trasportato via nastro e quello trasportato via camion, a cui corrispondono diversi consumi energetici.

L’energia spesa durante le operazioni di cantiere riguarda principalmente il funzionamento dell’impianto di ventilazione e raffreddamento delle gallerie, il funzionamento degli impianti per il trattamento delle acque, delle officine meccaniche e degli uffici. Infine, si considera il contributo dell’illuminazione delle gallerie e delle aree esterne dei cantieri.

Determinati i fabbisogni energetici e le quantità di materiali per le diverse voci di calcolo, questi sono tradotti in emissioni di CO₂, attraverso opportuni fattori di emissione, secondo la formula (1):

$$E_c = \sum_i E_i \quad \text{Primary energy consumption} = \sum_i E \cdot h_i + \sum_j q \cdot h_j \quad (1)$$

Dove:

- E_c indica le emissioni di CO₂ della fase di costruzione;

- i è il vettore energetico³;
- f_i è il fabbisogno di energia ottenuto da ciascun vettore energetico;
- h_i sono i fattori di emissione di CO₂ relativi ad ogni vettore energetico;
- j è il tipo di materiale;
- q_j è la quantità di materiale;
- h_j sono i fattori di emissione di CO₂ relativi a ogni materiale.

La stima dei fattori di emissione è effettuata con metodologie approvate da organismi scientifici internazionali, quali l'Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC, 2006), e regolarmente aggiornata. Si specifica che nella scelta dei fattori h_i e h_j sono stati utilizzati quelli che stimano le emissioni di CO₂ relative al consumo di energia primaria.

Inoltre, ove disponibili, sono stati utilizzati i fattori nazionali visto che la tratta considerata nell'analisi ricade in territorio italiano (Tab. 2).

Tab. 2 – Fattori di emissione di CO₂ relativi ai diversi vettori energetici (h_i) e ai diversi materiali (h_j)

<i>Materiale</i>	h_j [KgCO ₂ /t]	<i>Fonte</i>	<i>Vettore energetico</i>	h_i [KgCO ₂ /kWh]	<i>Fonte</i>
cemento Portland	622	BBT SE, 2009	gas naturale	0,202	IPCC, 2006
cemento pozzolanico	576	BBT SE, 2009	diesel	0,267	IPCC, 2006
acciaio strutturale	1.980	FFE, 2009	energia elettrica	0,435	Terna, 2009
acciaio macchine	1.449	FFE, 2009			

Quantificando quanto espresso nella formula (1), l'ammontare totale di emissioni di CO₂ dovuto alla fase di costruzione della parte italiana del BBT è pari a 968 kt di CO₂, quello dei lotti 1 e 2 della linea di accesso sud pari a 887 kt (Tab. 3).

3. I "vettori" energetici sono mezzi, apparecchiature o fluidi che consentano il trasporto dell'energia. Tra i vettori si annovera, oltre ai combustibili fossili, anche l'elettricità.

Tab. 3 – Emissioni di CO₂ nella fase di costruzione

Macro fasi	CO ₂ BBT [kt]	CO ₂ accesso sud [kt]
Scavo delle gallerie	71,62	53,65
Trasporto del materiale di scavo	10,72	11,78
Produzione dei materiali da costruzione	777,79	655,89
Funzionamento dei cantieri	107,97	165,27
<i>Totale</i>	<i>968,10</i>	<i>886,59</i>
<i>Totale (valore arrotondato)</i>	<i>968</i>	<i>887</i>

3.2.3. Fase di esercizio

Il calcolo di emissioni di CO₂ nella fase di esercizio riguarda sia il “nuovo sistema di progetto” con la realizzazione della nuova infrastruttura, sia la “variante di progetto zero”, ossia il proseguimento della situazione attuale. La quantificazione delle emissioni avviene attraverso la seguente formula (2):

$$E_e = \sum_{k=m}^n e_k \cdot v_k \cdot d_k \quad 2)$$

Dove:

- E_e indicano le emissioni di CO₂ da traffico della fase di esercizio;
- k indica l'intervallo temporale;
- m è l'anno da cui inizia l'analisi ed n l'orizzonte temporale entro cui si esaurisce; k è la somma degli anni che vanno da m a n ;
- e_k è l'emissione specifica di veicoli e treni nell'anno considerato;
- v_k è il numero di veicoli in transito nell'anno considerato;
- d_k è la distanza percorsa.

Il primo problema consiste nel determinare il numero di veicoli che circoleranno lungo la linea (v_k) a seconda delle diverse ipotesi considerate. Il calcolo viene effettuato mediante un confronto tra gli scenari messi a punto da ProgTrans AG (2007), che ha analizzato possibili dinamiche di sviluppo del traffico futuro lungo i principali assi alpini fino all'anno 2030.

A partire da tali previsioni, sono delineati sei possibili scenari di sviluppo. Di questi, solo tre sono stati presi in considerazione, essendo poco rea-

listiche le ipotesi fondanti gli altri tre scenari: due di essi non considerano la realizzazione del tunnel del San Gottardo (eventualità quanto mai improbabile vista l'avanzata fase di costruzione), il terzo fa riferimento al solo traffico delle merci, risultando quindi incompleto.

I tre scenari utilizzati sono quelli chiamati di “minimo”, di “consenso” e di “tendenza”. Il primo coincide con la “variante di progetto zero”, mentre gli ultimi due implicano entrambi la realizzazione del BBT. Le differenze tra questi due ultimi scenari riguardano le politiche nel campo dei trasporti: il “consenso” è legato ad una serie di azioni volte a favorire lo sviluppo del traffico ferroviario a discapito di quello su strada, mentre lo scenario di “tendenza” risulta una continuazione dell’orientamento evidenziato nell’ultima decade, ovvero una sostanziale liberalizzazione del mercato che favorisce lo sviluppo su strada. Un elenco delle misure più significative è riportato in tabella 4.

Tab. 4 – Misure di disincentivazione del traffico stradale e ferroviario adottate nei tre scenari. Fonte: Prograns AG, 2007 (modificato)

Traffico Stradale	Scenario Minimo	Scenario Tendenza	Scenario Consenso
Costi stradali al km	Costi attuali	Costi attuali	+30% rispetto agli altri scenari
Pedaggi stradali (passeggeri)	Né pedaggi legati alla distanza percorsa né pedaggi urbani	Né pedaggi legati alla distanza percorsa né pedaggi urbani	Nessun pedaggio legato alla distanza percorsa.
Costi stradali (merci)	Pedaggi autostradali inferiori ai costi infrastrutturali fino al 2015	Pedaggi autostradali allo stesso livello dei costi infrastrutturali fino al 2015	Pedaggi autostradali più elevati dei costi infrastrutturali (+15% rispetto allo scenario di tendenza). Armonizzazione dei pedaggi lungo l’Arco alpino
Divieti di circolazione stradale	Nessun divieto lungo A22, mantenimento di divieti notturni e domenicali	Nessun divieto lungo A22, mantenimento di divieti notturni e domenicali	Nessun divieto lungo A22, mantenimento di divieti notturni e domenicali, crescita delle attenzioni sociali e dei controlli di sicurezza
Limiti di velocità	Nessun cambiamento	Nessun cambiamento	Più controlli, riduzione dei limiti di circa 8%
Tassa sull’olio minerale	Tassazione uniforme per tutti i paesi basata su valori attuali	Tassazione uniforme per tutti i paesi basata su valori attuali	Tassazione uniforme per tutti i paesi basata su valori più elevati degli attuali, introduzione di una nuova eco-tassa

<i>Traffico Ferroviario</i>	<i>Scenario Minimo</i>	<i>Scenario Tendenza</i>	<i>Scenario Consenso</i>
Miglioramento rete stradale	Miglioramento delle autostrade (ma non lungo l'arco alpino)	Miglioramento delle autostrade (ma non lungo l'arco alpino)	Investimenti solo per programmi nazionali o per le reti TEN per ridurre i colli di bottiglia
Intermodalità	Sensibile miglioramento, riduzione di barriere tecniche ed amministrative	Sensibile miglioramento, riduzione di barriere tecniche ed amministrative	Sensibile miglioramento, riduzione di barriere tecniche ed amministrative, ottimizzazione del servizio ferroviario
Autostrada viaggiate	A livello del 2004	A livello del 2004	A livello del 2003
Costi ferroviari	Leggera riduzione (-5% per le merci)	Leggera riduzione (-5% per le merci)	Sensibile riduzione
Sussidi	Riduzione per le forme di trasporto meno competitive	Riduzione per le forme di trasporto meno competitive	Leggera riduzione, ma non legata alla competitività. Ferrovia maggiormente finanziata
Regole di mercato per il traffico ferroviario	Leggera liberalizzazione e significativa privatizzazione del trasporto merci e passeggeri	Leggera liberalizzazione e significativa privatizzazione del trasporto merci e passeggeri	Leggera liberalizzazione e significativa privatizzazione del trasporto merci e passeggeri
Miglioramento delle linee ferroviarie	Realizzazione dei tunnel di base del Gottardo, del Moncenisio e del Lötschberg	Realizzazione dei tunnel di base del Gottardo, del Moncenisio e del Lötschberg. Nel 2025 le reti TEN-T in esercizio	Realizzazione dei tunnel di base del Gottardo, del Moncenisio e del Lötschberg. Nel 2025 le reti TEN-T in esercizio
Telematica	Introduzione del sistema ERTMS per linee AC entro il 2025	Introduzione del sistema ERTMS per linee AC entro il 2025	Introduzione del sistema ERTMS per tutte le linee AC entro il 2025
Velocità ferroviaria media	Leggeri cambiamenti rispetto alla velocità attuale	Rispetto alla velocità attuale: +3% entro il 2015, ulteriore +2% entro il 2025	Rispetto allo scenario di tendenza: +3% entro il 2015, ulteriore +2% entro il 2025

Sulla base di queste ipotesi, vengono determinate le previsioni di traffico attraverso il Brennero espresse in termini di variazioni medie annue di traffico merci e passeggeri (Tab. 5). Le previsioni, originariamente elaborate fino al 2030, sono state estese al 2035 con estrapolazione, determinando così un orizzonte temporale pari a 25 anni.

Tab. 5 – Panoramica dei risultati relativi alle variazioni medie annue del traffico al Brennero. Fonte: ProgTrans AG (2007)

	Tassi crescita Brennero - traffico merci						Tassi crescita Brennero - traffico passeggeri					
	Minimo		Tendenza		Consenso		Minimo		Tendenza		Consenso	
	Str.	Rot.	Str.	Rot.	Str.	Rot.	Str.	Rot.	Str.	Rot.	Str.	Rot.
2009 2015	1,9%	3,1%	1,9%	3,1%	0,1%	3,1%	1,2%	3,1%	1,2%	3,1%	0,7%	3,1%
2015 2020	1,5%	2,1%	1,5%	7,7%	-0,1%	8,6%	1,9%	2,1%	1,9%	4,8%	2,2%	5,3%
2020 2025	1,5%	2,1%	1,3%	6,9%	-0,6%	7,4%	1,9%	2,1%	1,9%	4,5%	2,2%	5,0%
2025 2030	1,0%	1,2%	1,4%	1,9%	0,0%	2,3%	1,5%	1,7%	1,4%	3,8%	1,5%	4,2%
2030 2035	1,0%	1,2%	1,4%	1,9%	0,0%	2,3%	1,5%	1,7%	1,4%	3,8%	1,5%	4,2%

Moltiplicando tali tassi per i valori di traffico rilevati per la provincia di Bolzano al 2008 (Tab. 6), si ottiene il numero di veicoli circolanti fino all'anno 2035 (Tab. 7).

Tab. 6 – Traffico lungo il corridoio del Brennero al 2008 [veicoli/anno]

	Camion	Treni merci	Vetture	Treni passeggeri
Veicoli [nr]	4.256.696	41.700	10.095.536	19.918
Fonte	AISCAT, 2008	BBT, 2008	AISCAT, 2008	BBT + FS, 2008

Nell'analisi è stato considerato sia il traffico merci sia passeggeri su strada e su rotaia, espressi rispettivamente in camion, autovetture, treni merci e treni passeggeri. I dati considerano sia il traffico locale sia quello di transito.

Tab. 7 – Traffico lungo il corridoio del Brennero. Previsioni per l'anno 2035 [veicoli/anno]. Fonte: Ruffini, Maino e Nocera (2010)

Scenario	Camion [nr]	Treni merci [nr]	Vetture [nr]	Treni passeggeri [nr]
Minimo	6.280.857	72.960	15.328.854	36.430
Tendenza	6.444.440	127.568	15.193.468	56.038
Consenso	4.142.902	141.012	15.172.896	64.124

Richiamando la formula (2), il secondo parametro da considerare concerne le distanze (d_k), considerate come l'intera tratta da Brennero a Salerno: il tratto ferroviario è di 120 km (RFI, 2012), mentre quello autostradale è di 115 km (Michelin, 2012). La terza variabile riguarda le emissioni specifiche (e_k) derivanti dai treni e dai veicoli su gomma.

Tab. 8 – Calcolo dell'andamento temporale delle emissioni stradali di CO₂. Fonte: Infrac (2004) e Transport & Mobility Leuven (2010)

Anno	Strada		Ferrovia	
	Autovetture [g/veic km]	Veicoli pesanti [g/veic km]	Treni passeggeri [kg/veic km]	Treni merci [kg/veic km]
1990	185,75	854,93	5,89	14,86
1995	180,02	796,16	5,73	13,83
2000	173,64	720,34	5,44	12,67
2005	167,13	703,21	5,20	10,96
2010	160,19	709,60	4,97	9,26
2015	154,63	716,52	4,93	8,97
2020	150,94	717,87	4,90	8,68
2025	143,37	679,75	4,85	8,29
2030	137,35	670,76	4,77	7,82
2035	131,33	662,72	4,70	7,40

Fonte: Infrac Handbuch. In corsivo i dati calcolati dal quaderno INFRAS; in tondo quelli derivanti da interpolazione

Fonte: Software Tremove. In corsivo i dati calcolati da TREMOVE; in tondo quelli derivanti da interpolazione

A tale fine si è fatto riferimento a modelli previsionali specificamente sviluppati: più precisamente, il quaderno Infrac (2004) per la componente stradale e il software Tremove per la componente ferroviaria (Transport & Mobility Leuven, 2010).

Entrambi forniscono l'evoluzione temporale delle emissioni specifiche su intervalli di 5 anni: Tremove fino all'anno 2020, Infrac fino all'anno 2030. I valori sono stati estesi fino al 2035 con l'ausilio di modelli di tendenza ed estrapolazione (Tab. 8).

Riprendendo la formula (2), la stima delle emissioni nei diversi scenari è esplicitata in tabella 9.

Tab. 9 – Emissioni di CO₂ negli scenari di “minimo”, “tendenza” e “consenso” per gli anni 2009-2035 nella tratta provinciale del corridoio del Brennero.

Anno	Minimo CO ₂ (kt)	Tendenza CO ₂ (kt)	Consenso CO ₂ (kt)
2009	591,35	591,35	584,24
2010	602,70	602,70	588,19
2011	610,72	610,72	588,75
2012	621,18	621,18	591,56
2013	631,83	631,83	594,40
2014	642,69	642,69	597,27
2015	653,76	653,76	600,18
2016	664,41	664,41	602,57
2017	674,38	677,36	609,97
2018	684,50	690,70	617,75
2019	694,77	704,45	625,93
2020	705,18	718,63	634,54
2021	709,69	727,16	638,50
2022	714,16	734,52	640,34
2023	718,59	742,08	642,56
2024	722,97	749,85	645,19
2025	727,30	757,85	648,23
2026	735,77	770,16	654,75
2027	740,68	777,67	657,29
2028	745,59	785,24	659,88
2029	750,51	792,87	662,50
2030	755,44	800,56	665,16
2031	760,62	808,62	668,14
2032	765,78	816,71	670,91
2033	770,95	824,86	673,72
2034	776,13	833,09	676,55
2035	781,32	841,38	679,42
<i>Totale</i>	<i>18.952,99</i>	<i>19.572,43</i>	<i>17.118,49</i>

4. Discussione dei risultati

In questa sezione, i risultati presentati in tabella 9 sono discussi con il fine di rendere maggiormente intellegibile l’evoluzione temporale delle emissioni negli scenari considerati (Fig. 4). A fronte di un aumento delle emissioni riscontrabile in tutti e tre gli scenari e riconducibile all’incremento della domanda di trasporto così come supposto negli scenari Progrtrans su cui si basa la presente analisi (Tab. 5), nel caso di realizzazione del tunnel, deve essere fatta una distinzione a seconda della politica at-

tuata: se le misure di supporto volte a incentivare lo sviluppo della ferrovia AC saranno adeguate (scenario di “consenso”), le emissioni diminuiranno rispetto alla “variante di progetto zero” (scenario di “minimo”). Nel caso invece di una politica che continui l’attuale tendenza (scenario di “tendenza”), le emissioni aumenteranno.

Si segnala come le variazioni nelle emissioni di CO₂ tra lo scenario di “consenso” da un lato e di “tendenza” e “minimo” dall’altro siano visibili già a partire dal 2009, benché l’entrata in esercizio del BBT sia stata prevista per l’anno 2026. Questo deriva dal fatto che gli scenari tengono conto anche delle differenti politiche di sostegno al traffico, che si concretizzano già a partire dal primo anno preso in considerazione (2009) e non dalla sola messa in esercizio della linea.

All’anno 2035, e in paragone allo scenario di “minimo”, lo scenario di “consenso” garantisce un risparmio annuo di emissioni pari a circa 100 kt, mentre lo scenario di “tendenza” implica un aumento annuo di emissioni pari a 60 kt (Fig. 3).

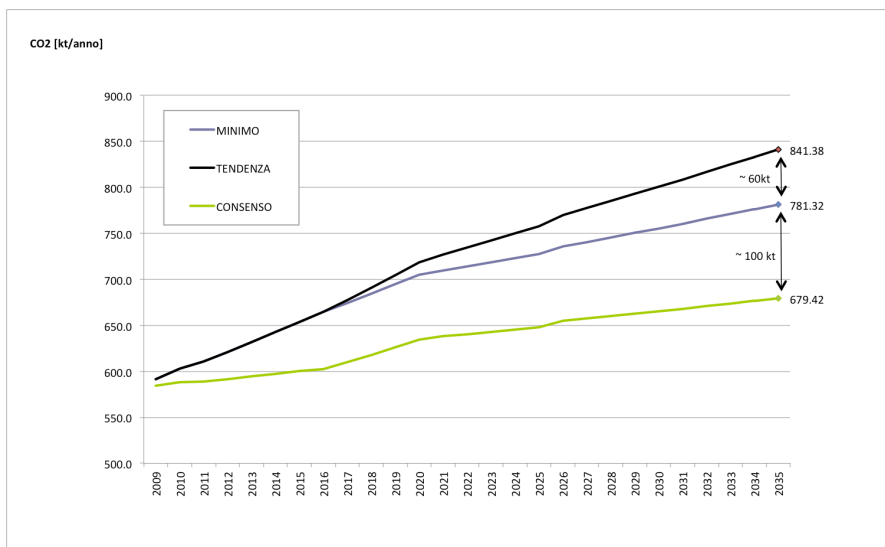


Fig. 4 – Emissioni di CO₂ nei vari scenari derivante dalla fase di esercizio

Questi risultati dimostrano che la realizzazione della nuova linea AC non implica necessariamente una riduzione delle emissioni di CO₂; anzi, essa può portare anche ad un sensibile aumento delle stesse (come dimostra lo scenario di “tendenza”). Solo se adeguatamente supportato da una corret-

ta politica a sostegno della ferrovia (come supposto nello scenario di “consenso”), l’infrastruttura può essere uno strumento che consente la riduzione delle emissioni di CO₂.

Ipotizzando quindi che la realizzazione dell’opera sia accompagnata da misure adeguate, il confronto fra scenario di “minimo” e scenario di “consenso” mostra che la quantità totale di emissioni di CO₂ risparmiata dal 2009 fino al 2035 corrisponde a 1.834 kt di CO₂. In altre parole, la nuova infrastruttura, unitamente alle politiche a sostegno del traffico ferroviario, possono consentire un risparmio di emissioni di CO₂ pari a circa una volta e mezza la quantità di emissioni che nel 2008 sono state stimate per il traffico stradale in Alto Adige (Ruffini, 2011).

La costruzione dell’opera stessa, però, non è neutrale dal punto di vista delle emissioni e tale contributo deve essere considerato nel bilancio. Essa infatti contribuisce alla produzione di 1.855 kt di CO₂ nella tratta che ricade all’interno dei confini dell’Alto Adige. Tale valore corrisponde a circa il 75% delle emissioni stimate per il territorio altoatesino nel 2008. Riferendosi all’intervallo temporale considerato nell’analisi (2009-2035), la somma delle emissioni di CO₂ nello scenario di “minimo” risulta pari a circa 18.953 kt (emissioni di CO₂ imputabili al traffico). Nel caso di realizzazione dell’opera, alle emissioni da traffico vanno sommate le emissioni della fase di costruzione. Ne risulta nello scenario di “consenso” una quantità pari a 18.973 kt di CO₂ e nello scenario di “tendenza” una quantità pari a 21.427 kt (Fig. 5). Come preannunciato emerge che, se lo sviluppo futuro ricalcherà le condizioni dello scenario di “tendenza”, il bilancio sarà negativo, ossia la costruzione della nuova infrastruttura comporterà un aumento di emissioni. Se invece lo sviluppo futuro si avvicinerà maggiormente allo scenario di “consenso” il bilancio al 2035 risulterà pressoché in pareggio.

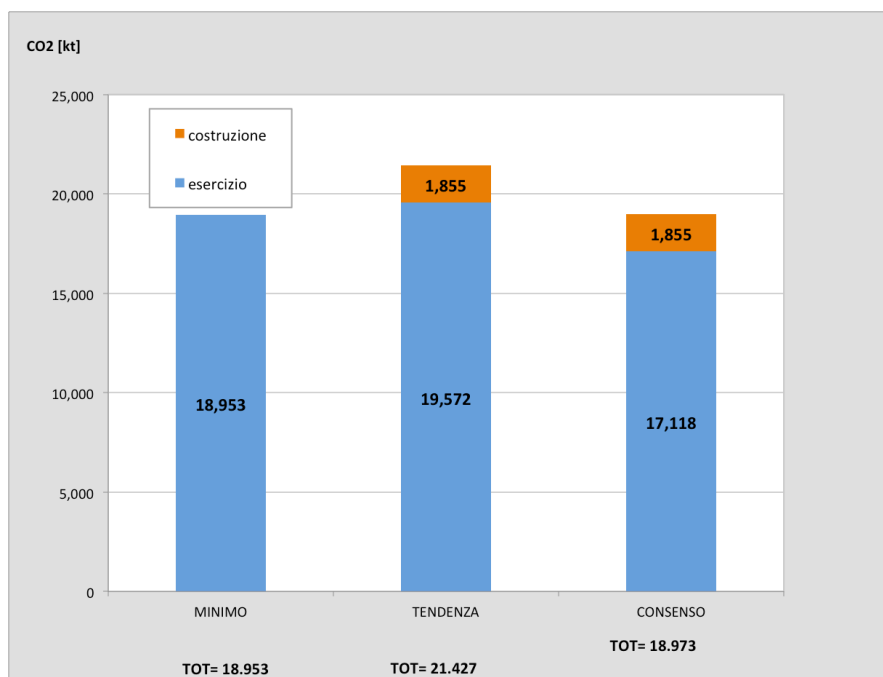


Fig. 5 – Emissioni di CO₂ nei diversi scenari derivante dalla fase di costruzione ed esercizio. Anni 2009-2035

Ipotizzando un andamento oltre il 2035 che segua quello delineato, il bilancio diviene positivo, ossia le emissioni di CO₂ prodotte dalla “variante di progetto zero” sono maggiori delle emissioni del nuovo sistema di progetto e quindi l’introduzione dell’opera consente un risparmio.

Infine, proseguendo il confronto fra scenario di “minimo” e scenario di “consenso” emerge che la CO₂ emessa durante la fase di costruzione della tratta altoatesina della linea AC del Brennero è neutralizzata intorno all’anno 2035, ossia in un periodo di circa 27 anni, grazie al risparmio conseguito dall’esercizio della linea AC e dall’effetto delle politiche a sostegno del traffico ferroviario.

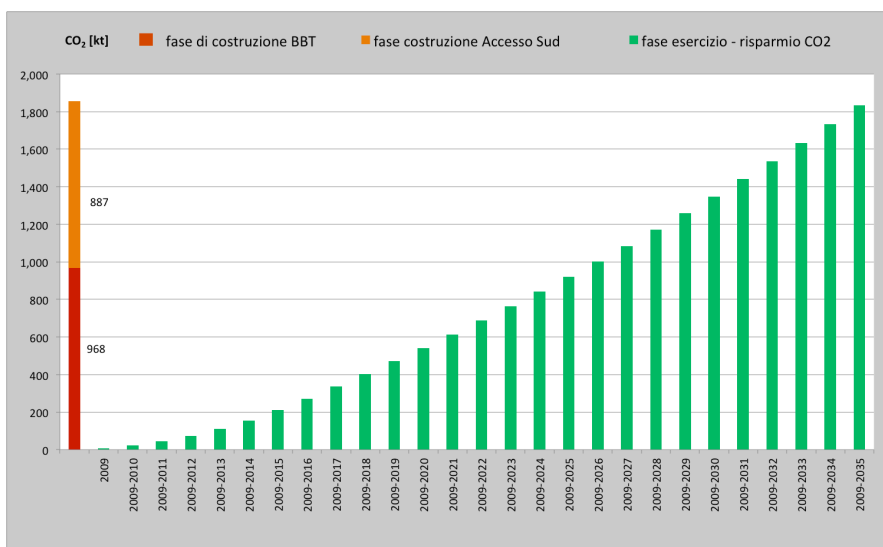


Fig. 6 – Emissioni di CO₂ prodotte nella fase di costruzione della linea AC e risparmio conseguibile attraverso il suo esercizio e l’attuazione delle politiche a sostegno della ferrovia (confronto fra scenario di “minimo” e di “consenso”)

In conclusione, a fronte di un aumento generalizzato delle emissioni dovute all’aumento della domanda di traffico, l’introduzione della nuova linea AC del Brennero può contribuire nel lungo periodo alla riduzione delle emissioni sulla scala regionale se, e solo se, ci sarà il sostegno di una politica maggiormente favorevole al traffico ferroviario. Il presente contributo ha quantificato tale risparmio, evidenziando i rischi che una cattiva gestione della linea può comportare.

5. Considerazioni conclusive

Il tentativo di determinare le future emissioni di CO₂ derivanti dall’introduzione di un nuovo sistema infrastrutturale pone alcune questioni metodologiche di difficile soluzione, dettate principalmente dalla necessità di effettuare previsioni di lungo termine. In particolare, per la fase di esercizio, la maggiore difficoltà consiste nel determinare l’evoluzione del volume di traffico in un orizzonte temporale dilatato.

La soluzione canonica per affrontare questo problema è l’adozione del metodo degli scenari, che non costituiscono una previsione del futuro, ma

“a representation of visions/images of the future and courses of development organised in a systematic and consistent way” (EC, 2008, p. 9). In questo modo, non si indica come sarà la domanda futura, ma come essa può essere, imposte determinate condizioni.

Un altro fattore di incertezza è dovuto alla difficoltà di determinare lo sviluppo tecnologico dei veicoli, ivi compresi i motori a scoppio e il materiale rotabile. Ne consegue che anche l'evoluzione temporale delle emissioni specifiche di CO₂ sconta un grado di incertezza endemico.

Nell'analisi della fase di costruzione dell'opera, l'incertezza è legata alla conoscenza limitata delle azioni e delle tecniche che saranno utilizzate per la costruzione dell'opera e ai fattori utilizzati per determinare le emissioni di CO₂ relative ai diversi vettori energetici e ai diversi materiali impiegati. Le ipotesi introdotte di volta in volta possono portare in parte a sovrastimare, in parte a sottostimare le effettive emissioni di CO₂. I dati utilizzati, le indicazioni che derivano dalla documentazione elaborata in ambito della progettazione e la metodologia adottata prevedono comunque di valutare in maniera quantitativa e sintetica i diversi contributi e il loro peso ad una scala territoriale, consentendo di eseguire le valutazioni che l'analisi si propone.

La volontà di stimare l'impatto di un'infrastruttura di dimensione europea a scala regionale risiede nell'intento di fornire uno strumento di approfondimento sull'evoluzione futura del settore trasporti, in vista della stesura dei bilanci regionali e della definizione delle strategie di riduzione delle emissioni. Nel contempo, tale analisi fornisce ai decisori politici strumenti conoscitivi utili per partecipare al dibattito sulla costruzione delle grandi opere stabilendo quali soluzioni sono essere più adatte, a lungo termine, ai fini della tutela del clima.

I risultati ottenuti, infatti, possono dare indicazioni per prescrivere eventuali misure aggiuntive al fine di promuovere un maggiore trasferimento modale da strada a rotaia, o per stabilire eventuali misure compensative. In tale senso l'analisi può rappresentare uno dei possibili strumenti di dialogo tra la grande scala, dove tali opere hanno trovato ideazione, e la dimensione locale, dove risiedono i costi delle opere in termini di occupazione di suolo, inquinamento, rumore, etc.

Si sottolinea che tutte le precedenti constatazioni discendono meramente dal bilancio delle emissioni di anidride carbonica e non intendono costituire un'alternativa alle usuali e consolidate tecniche di valutazione sulla fattibilità di infrastrutture e sistemi di trasporto per quanto concerne l'opportunità di realizzazione dell'opera. Allo stesso tempo, però, si ritiene che le valutazioni in merito al bilancio energetico e a quello delle emissioni siano stra-

tegiche per integrare le valutazioni e le dichiarazioni di compatibilità ambientale preliminari. In questo senso la metodologia qui presentata può divenire parte di una più accurata analisi multi-criteria che stabilisca l'effettiva fattibilità di un'infrastruttura non solo sulla base dei parametri tradizionalmente considerati, ma su scelte più comprensive.

Riferimenti bibliografici

- Aiscat (2008), *Aiscat informazioni*, Report semestrale. Roma: Aiscat.
- Aschbacher A. (2010), Brennerreisebahn und der Brennerbasistunnel. In: Kreisel W., Ruffini F. V., Reeh T., Pörtge K. H. (eds), *Alto Adige Un paesaggio al banco di prova Sviluppo - Opportunità - Prospettive*. Lana: Tappeiner AG. 162-167.
- BBT SE - Brenner Basistunnel (2008), Comunicazione personale, 01/12/2009.
- BBT SE - Brenner Basistunnel (2009), Comunicazione personale, 15/07/2010.
- Benelli T., Zoller M., Reiterer H. (2012), *Südtiroler Energiebilanz - Bilancio energetico dell'Alto Adige*. Bolzano: Printeam.
- Black W. R. (2010), *Sustainable Transportation: Issues and Solutions*. New York and London: The Guilford Press.
- BMVIT - Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2008), *Lageplan Gesamtstrecke der Achse München-Verona*. Wien: BMVIT.
- Booz Allen Hamilton Ltd (2007), *Estimated carbon impact of a new north-south line*, Research report. Online: <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.dft.gov.uk/pgr/rail/research/research/newline/carbonimpact.pdf> [ultima consultazione: 10/10/2011].
- CIPE - Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica, (2002), Deliberazione 19 dicembre 2002, *Revisione delle linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra*. Roma: CIPE.
- EC - European Commission (2005), *The annual energy and transport review for 2004*. Luxemburg: EC.
- EC - European Commission (2011), *White Paper. Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a competitive and resource efficient transport system*, Online: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:EN:PDF> [ultima consultazione: 07/02/2012].
- EC - European Commission (2008), Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, *Backcasting approach for sustainable mobility*. Luxemburg: Office for official publications of the European Communities.
- FFE - Forschungsstelle für Energiewirtschaft (2009), *Bilanzierung von Metallen*, Online: www.ffe.de/images/stories/Berichte/Gabie/metall.htm. [ultima consultazione: 01/12/2009].

- FS - Ferrovie dello Stato Italiane (2008), Dati traffico passeggeri, comunicazione personale, 20/06/2011.
- Infras (2004), *The Handbook Emission Factors for Road Transport* (HBEFA), Online: www.hbefa.net [ultima consultazione: 07/01/2009].
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2006), *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Kanagawa, Japan: IGES.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2007), *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Climate Change 2007: Synthesis Report. Geneva: IPCC.
- Italferr (2010), *Rapporto di sintesi sulla emissione (rimozione) della CO2. Progetto Definitivo "Potenziamento linea Rho-Arona: tratta Rho – Gallarate"*. Online: www.italferr.it/cmsfile/allegati/italferr/Rapporto_di_sintesi_Gallarate_Rho_rev2.pdf [ultima consultazione: 01/02/2011].
- Michelin (2012), Calcolo itinerario stradale. Online: www.viamichelin.it [ultima consultazione: 07/01/2009].
- Network rail (2009), *Comparing Environmental Impact of Conventional and High Speed Rail*. Online: <http://www.networkrail.co.uk/> [ultima consultazione: 01/02/2011].
- Nocera S., Maino F., Cavallaro F. (2012), A Heuristic Method for Determining CO2 Efficiency in Transportation Planning. *European Transport Research Review*, 4, 2: 91-106.
- Nocera S., Maino F., Wagner M. (2010), Calculation of the Energy Consumption for the Construction of a Railway Tunnel. Paper presented at 5th International Symposium *Network for Mobility 2010*. Stuttgart: September, 2010.
- ProgTrans AG (2007), *Aggiornamento della previsione sul traffico merci e passeggeri per il Brennero al 2015 e 2025*. Research Report, Zurich: ProgTrans AG.
- RFI - Rete ferroviaria italiana (2012), Sistema calcolo del preventivo pedaggio. Online: <http://pedaggio2004.rfi.it> [ultima consultazione: 07/01/2009].
- Ruffini, F. V. (2011) *Energia-Alto Adige-2050. Energia-Alto Adige-2050 - Strategia per il CLIMA*. Online: www.provincia.bz.it/acque-energia/download/Energia-Alto_Adige-2050.pdf [ultima consultazione: 01/03/2012].
- Ruffini, F. V., Maino F., Nocera S. (2010), *Sostenibilità del tunnel di Base del Brennero in rapporto alle emissioni di CO2*. Bolzano: EURAC.
- Terna (2009), *Dati statistici sull'energia elettrica in Italia. Confronti internazionali*. Online: www.terna.it/LinkClick.aspx?fileticket=PgmBzvheblE%3d&tabid=418&mid=2501 [ultima consultazione: 04/06/2010].
- Transport & Mobility Leuven (2010), *TREMOVE, a policy assessment model to study the effects of different transport and environment policies on the transport sector for all European countries*. Online: www.tremove.org/index.htm. [ultima consultazione: 01/02/2011].

- TRB - Transportation Research Board (2008), *Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation. Special Report 290*. Washington, DC: National Research Council, Transportation Research Board.
- Tuchschnid M. (2009), *Carbon Footprint of High-speeds Railway Infrastructure (Pre-study), Methodology and Application of High Speed Railway Operation of European Railways*. Online: http://uic.asso.fr/IMG/pdf/carbon_footprint_of_high_speed_rail_infrastructure_pre-study.pdf [ultima consultazione: 01/02/2011].
- UFT - Ufficio Federale dei Trasporti (2011), *Alpinfo 2010, Traffico merci su strada e ferrovia attraverso le Alpi*. Berna: UFT.
- UN - United Nations (1998), *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Online: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> [ultima consultazione: 01/02/2011].
- USDOT - U.S. Department of Transportation (2002), *The Potential Impacts of Climate Change on Transportation*. Washington, DC: Center for Climate Change and Environmental Forecasting.
- Van Essen H., Bello O., Dings J. (2003), *To Shift or Not to Shift, That's the Question. The Environmental Performance of Freight and Passenger Transport Modes in the Light of Policy Making*. Delft: CE. March, 2003. Online: www.thepep.org/ClearingHouse/docfiles/toshiftornottoshift.pdf [ultima consultazione: 01/02/2011].
- Von Rozycki C., Koeser H., Schwarz H. (2003), *Ecology profile of the German high-speed rail passenger transport system*, ICE. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 8, 2: 83–91.

