

**Università degli Studi di Siena**  
**Dipartimento di Chimica**  
**Direttore Prof. Riccardo Basosi**  
**Dottorato di Ricerca in Scienze Chimiche XVI ciclo 2000-2001**

**ANALISI TERMODINAMICA INTEGRATA DEI SISTEMI DI  
TRASPORTO IN DIVERSI LIVELLI TERRITORIALI**

Dottorando di Ricerca:  
**Dott. Mirco Federici**

SUPERVISORE:  
**Prof. Riccardo Basosi**  
TUTOR:  
**Dott. Sergio Ulgiati**  
Coordinatore del Dottorato  
**Prof. Enzo Tiezzi**

**SINTESI**

**La TAV ha impatti ambientali paragonabili al trasporto individuale in auto e addirittura superiori al trasporto merci su gomma. Non migliora l'impatto dovuto alle emissioni, ed anzi peggiora la qualità ambientale con l'invasività delle sue infrastrutture.**

E' stato contabilizzato l'intero consumo di energia e di materia, e le emissioni associate, lungo l'intero ciclo di vita dei sistemi. Questo vuol dire che si è tenuto conto dei consumi nella fase di costruzione delle linee stradali e ferroviarie, della manutenzione periodica, della costruzione e manutenzione dei veicoli, e del loro funzionamento annuale.

Gli impatti sono stati calcolati utilizzando 6 analisi differenti, e tutte con risultati convergenti.

Le analisi sono in ordine:

1. *Mass Flow Accounting* su scala locale (contabilizza i consumi diretti di materiali espressi in kg/unità trasportata)
2. *Mass Flow Accounting* su scala globale (contabilizza i consumi diretti ed indiretti di materia, i cosiddetti flussi nascosti espressi in kg/unità trasportata)
3. *Energy Accounting* su scala locale (consumi diretti di energia, solo movimento veicoli espressi in MJ/unità trasportata)
4. *Energy Accounting* su scala globale (consumi diretti ed indiretti di energia: infrastrutture, costruzione dei veicoli ed esercizio espressi in MJ/unità trasportata)
5. *Exergy Analysis* (concettualmente un po' complicata: analizza le inefficienze dei sistemi prendendo in considerazione le perdite antropiche delle trasformazioni energetiche che i sistemi producono espressi in MJ/unità trasportata)
6. *Emergy Analysis* (contabilizza l'intero consumo di materia e di energia sotto forma di energia solare equivalente (solar emergy joules, seJ/unità trasportata). E' la metodologia di analisi più completa ma anche la più dibattuta)

I risultati della TAV sono espressi in un range che varia tra due ipotesi di esercizio: un tasso di utilizzo dei treni uguale all'attuale (ipotesi realistica, valore degli indicatori più alto), ed un tasso di utilizzo ipotizzando che i treni viaggino sempre a pieno carico (ipotesi ottimista, valore degli indicatori più basso).

Generalmente, analisi diverse conducono sempre a risultati differenti, quando convergono vuol dire che il sistema è caratterizzato da peculiarità talmente forti (troppo bello o troppo brutto) da schiacciare le diverse sensibilità dei paradigmi.

**Insomma la TAV non ha ragione di esistere né dal punto di vista dell'offerta di trasporto (troppo bassa) né dal punto di vista dell'efficienza.**

### Il confronto tra Autostrada e Treno ad Alta Velocità.

Di seguito si riportano i risultati delle analisi svolte riguardanti la TAV Mi-Na e l'Autosole raggruppati per tipologia di trasporto.

Trasporto passeggeri	Mass Flow	Mass Flow	Energy	Energy	Exergy	Energy
	Accounting	Accounting	Accounting	Accounting	Analysis	Analysis
	Local	Global	Local	Global	(MJ/p-km)	(10 <sup>11</sup> sej/p-km)
	(kg/p-km)	(kg/p-km)	(MJ/p-km)	(MJ/p-km)		
Automobile	0.13	0.53	1.37	1.87	1.31	1.74
Autobus (*)	0.03	0.11	0.24	0.33	0.25	0.24
TAV Mi-Na	0.08-0.12	1.00-1.40	0.27-0.38	1.02-1.44	0.30-0.42	1.17-1.65

p-km = persone trasportate per km percorso

MJ = megajoule

sej = solar energy joule; si definisce *energia solare* (energia), come la quantità di energia solare che è necessaria (direttamente o indirettamente) per ottenere un prodotto o un flusso di energia in un dato processo.

Per il calcolo delle performance degli Autobus si è assunto che il volume di traffico passeggeri trasportato in pullman sia uguale al 10% del totale traffico passeggeri autostradale; questa assunzione è stata necessaria perché i dati forniti da Autostrade SpA sono raggruppati in funzione della dimensione dei veicoli e non della destinazione d'uso; in altre parole Autobus e Camion superiori a 3.5 t sono accorpati insieme. Non è stato possibile neanche rivolgersi alle aziende di trasporto a causa della alta frammentazione dei servizi lungo tutta l'autostrada. Ad ogni modo il dato assunto è con ogni probabilità una sovrastima del dato reale. L'introduzione di questo dato è stato però necessario per consentire un confronto tra la modalità di trasporto collettiva su strada e su ferro; va aggiunto che l'introduzione di un 10% di traffico passeggeri in più non ha influenzato in modo sensibile l'allocazione delle risorse materiali ed energetiche dell'infrastruttura stradale. Trasformando le p-km in t-km equivalenti, il peso in percentuale del trasporto collettivo è inferiore allo 0.38%: i valori degli indicatori del trasporto collettivo sono influenzati quindi esclusivamente dalle caratteristiche dei veicoli (consumi specifici e dimensioni).

**I risultati mostrano in modo inequivocabile che il migliore modo di trasportare le persone è l'autobus**, confermando un dato che era già stato osservato nei sistemi locali di Brescia e Siena.

**Quello che invece è sorprendente è che il TAV ha valori degli indicatori confrontabili con quelli del trasporto individuale!**

Ricordiamo che le performance della TAV sono state calcolate in funzione di un range di utilizzo che ovviamente influenza il risultato finale; il bilancio di massa locale infatti, nel caso in cui il tasso di utilizzo dei futuri treni rimanga simile al tasso di utilizzo attuale, mostra un valore del tutto in linea con il consumo di materia del trasporto automobilistico. Questo dato è in qualche modo allarmante e il dato del MFA su scala globale lo conferma; **il TAV richiede una quantità di materiali altissima, addirittura il doppio della quantità di materia totale richiesta dal trasporto individuale. Molto più bassi invece i consumi di energia diretti del treno normale rispetto all'auto; questo vantaggio si riduce notevolmente quando vengono inclusi nel calcolo tutti i costi energetici del treno.** L'analisi exergetica conferma le indicazioni fornite dall'analisi energetica locale preferendo il treno normale al trasporto automobilistico. Il valore della transformity delle p-km trasportate in treno è invece solo di poco inferiore al trasporto al valore del trasporto automobilistico.

Trasporto merci	Mass Flow	Mass Flow	Energy	Energy	Exergy	Energy
	Accounting	Accounting	Accounting	Accounting	Analysis	Analysis
	Local	Global	Local	Global	(MJ/t-km)	(10 <sup>11</sup> sej/t-km)
	(kg/t-km)	(kg/t-km)	(MJ/t-km)	(MJ/t-km)		
Autostrada	0.18	0.60	0.91	1.25	1.01	1.08
TAV Mi-Na	1.25-1.78	6.06-8.65	0.17-0.24	2.17-3.09	0.59-0.83	10.9-15.5

**L'analisi comparativa del trasporto merci è molto più lampante: il trasporto ferroviario mostra valori degli indicatori superiori addirittura di un ordine di grandezza rispetto al trasporto su strada; fanno eccezione soltanto i consumi di energia e di exergia diretta.**

#### Principali inquinanti gassosi su scala locale e globale per il tratto autostradale MI-NA

		CO <sub>2</sub>	CO	NOx	Particolato	VOC	SOx
<b>Passeggeri</b>							
Autostrada							
(autovetture)	kg/p-km	8.94E-02	6.68E-03	1.61E-03	6.94E-05	5.17E-04	2.38E-04
TAV	kg/p-km	4.82E-02	1.01E-05	8.87E-05	1.81E-04	7.92E-07	5.64E-04
<b>Merci</b>							
Autostrada	kg/t-km	7.21E-02	9.03E-04	6.59E-04	6.41E-04	1.25E-04	2.06E-04
TAV	kg/t-km	1.89E-01	1.45E-04	5.36E-04	2.54E-03	1.18E-05	1.05E-03

Anche il confronto delle emissioni calcolate sulla scala globale non sono confortanti: rispetto alle automobili il treno veloce emette più SOx, più particolato e una quantità confrontabile di CO<sub>2</sub>; risulta migliore solo per CO, VOC e NOx. (ossido di carbonio, composti organici volatili e ossidi di azoto).

Anche in questo caso, il trasporto merci ferroviario (fatto salvo la VOC) è invece peggiore del trasporto stradale per tutti i tipi di gas.

**La causa è da ricercarsi nella eccessiva infrastrutturazione della TAV, e nella eccessiva potenza dei treni, sovradimensionati rispetto alla loro capacità di trasporto. Se la costruzione della TAV Mi-Na dovesse essere giudicata solo per mezzo di criteri termodinamici, il verdetto sarebbe univoco: inutile.**

**Un treno TAV, ad esempio un ETR, ha una potenza di 8 MW: vuol dire che per muovere un solo treno c'è bisogno di una centrale elettrica di medie dimensioni.**

La quantità di energia annuale immagazzinata nell'acciaio delle linee ferroviarie (rotaie ed armature) è addirittura superiore al consumo di energia elettrica della movimentazione dei treni merci, ed un valore altrettanto alto è rappresentato anche dal costo energetico del cemento delle traversine di sostegno. Tutto questo si traduce in un aumento del valore del consumo energetico per unità trasportata pari al 375% per i passeggeri e del 1270% per le merci.

**Inutile e oltretutto dannoso investire risorse e soldi su una tipologia di trasporto che non offre miglioramenti ambientali nel caso del trasporto passeggeri e che addirittura peggiora la situazione per il trasporto merci. Sottolineiamo che se il trasporto merci sulle TAV venisse abbandonato, allora il trasporto passeggeri diverrebbe assolutamente insostenibile, perché l'allocazione dei materiali e dell'energia delle infrastrutture verrebbe imputata interamente su un volume di traffico, che per quanto ottimistico, porterebbe ad una sotto utilizzazione della linea.**

**Se questi risultati venissero integrati dagli altri impatti ambientali relativi alla cantierizzazione della TAV (come le falde acquifere deviate, infiltrazioni e contaminazione di terreni e falde sotterranee, impatto paesaggistico, inquinamento acustico etc.), il giudizio finale delle TAV diverrebbe ancora più negativo.**

*Se si insegnasse la bellezza alla gente, la si fornirebbe di un'arma contro la rassegnazione, la paura e l'omertà. All'esistenza di orrendi palazzi sorti all'improvviso, con tutto il loro squallore, da operazioni speculative, ci si abitua con pronta facilità, si mettono le tendine alle finestre, le piante sul davanzale, e presto ci si dimentica di come erano quei luoghi prima, ed ogni cosa, per il solo fatto che è così, pare dover essere così da sempre e per sempre. È per questo che bisognerebbe educare la gente alla bellezza: perché in uomini e donne non si insinui più l'abitudine e la rassegnazione ma rimangano sempre vivi la curiosità e lo stupore.*

PEPPINO IMPASTATO (1948 – 1978, Viene assassinato il 9 maggio, qualche giorno prima delle elezioni e qualche giorno dopo l'esposizione di una documentata mostra fotografica sulla devastazione del territorio operata da speculatori e gruppi mafiosi: il suo corpo è dilaniato da una carica di tritolo posta sui binari della linea ferrata Palermo-Trapani).