



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

SICUREZZA ED ESERCIZIO FERROVIARIO 2015

Roma, 02/10/2015

*Consumi energetici in ambito
ferroviario:
dai costi fissi chilometrici ai
costi a consumo*
S. Impastato, F.M. Rea

Sapienza - Università di Roma



4° CONVEGNO NAZIONALE

**SICUREZZA ED ESERCIZIO FERROVIARIO:
SOLUZIONI E STRATEGIE PER LO SVILUPPO DEL TRASPORTO
FERROVIARIO**

Sala e Saletta del Chiostro - Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale
"Sapienza" Università di Roma
Via Eudossiana, 18 – 00184 Roma

Roma, 2 ottobre 2015

CON IL PATROCINIO DI



Sommario

- Stato dell'arte: calcolo dei costi in base alla percorrenza:
 - Il traffico ferroviario in Italia
 - Costi energetici annuali
- Consumi energetici del veicolo (caso della Torino-Milano):
 - Consumi energetici chilometrici
 - Consumi energetici unitari
 - Consumi energetici assoluti
- Calcolo dei costi energetici in base ai consumi del veicolo:
 - Costi energetici unitari
 - Spesa energetica totale

Categorie di servizio del trasporto passeggeri

- Servizio a mercato



- Servizio universale

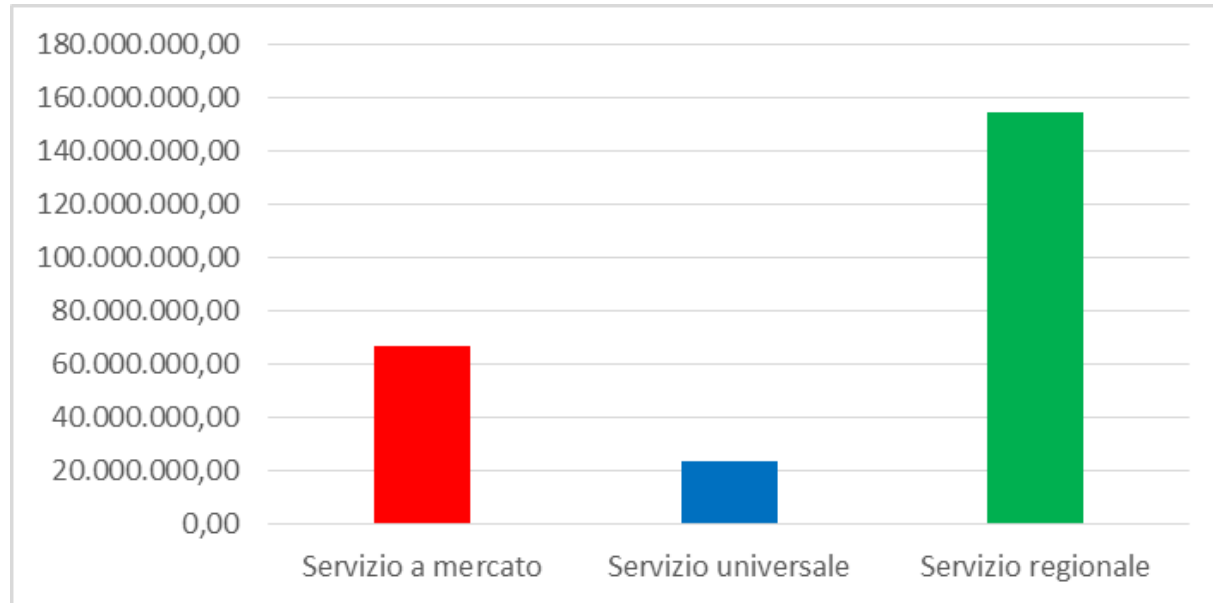


- Servizio regionale



Stato dell'arte: calcolo dei costi in base alla percorrenza

Il traffico ferroviario in Italia



	Percorrenze annuali [treni-km]	Flotta treni	Percorrenze annuali [km]
Servizio a mercato	66.888.000	231	289.558
Servizio universale	23.642.000	120	197.016
Servizio regionale	154.531.000	2.275	67.925
TOT	278.176.000	2.626	554.500

Stato dell'arte: calcolo dei costi in base alla percorrenza

Costi energetici annuali

- Tariffa 2014: 0,37 €/treno-km
- Tariffa D.L. 91/2014 (simulazione FSI):
 - 1,53 €/treno-km (servizi a mercato)
 - 0,29 €/treno-km (servizi universali e regionali)

	<i>Costi annuali secondo tariffa 2014 [€]</i>	<i>Costi annuali secondo tariffa D.L. 91/2014 [€]</i>	<i>Differenza tra le due strutture Tariffarie [€]</i>
Servizio a mercato	24.758.560	102.338.640	+77.580.080
Servizio universale	8.747.540	6.856.180	-1.891.360
Servizio regionale	57.176.470	44.813.990	-12.362.480
TOT	90.682.570	154.008.810	+63.326.240

Consumi energetici del veicolo

Consumi energetici chilometrici: caso della Torino-Milano

Servizio a mercato			
Caratteristiche di tracciato ed esercizio	Costanti fisiche (B0, B1, B2)		
– 0 fermate intermedie	B0	16	
– 125 km lunghezza tracciato	B1	0	
– 250 km/h di velocità massima	B2	0,0225	
– 150 km/h di velocità media			
Servizio universale			
Caratteristiche di tracciato ed esercizio	Costanti fisiche (B0, B1, B2)		
– 3 fermate intermedie	B0	16,6	
– 153 km lunghezza tracciato	B1	0,366	
– 160 km/h di velocità massima	B2	0,026	
– 95,6 km/h di velocità media			
Servizio regionale			
Caratteristiche di tracciato ed esercizio	Costanti fisiche (B0, B1, B2)		
– 7 fermate intermedie	B0	15,5	
– 153 km lunghezza tracciato	B1	0,292	
– 160 km/h di velocità massima	B2	0,0574	
– 90 km/h di velocità media			

Consumi energetici del veicolo

Consumi energetici chilometrici specifici

$$C_{o_{km}} = (N_{fer} + 1) / L * (V_{max}^2) / 2 + B_0 + B_1 * V_{med} + B_2 * V_{med}^2 + g * \Delta h / L$$

- $C_{o_{km}}$ = consumo energetico chilometrico
- N_{fer} = numero fermate
- L = lunghezza tracciato
- V_{max} = velocità massima
- V_{med} = velocità media
- B_0, B_1, B_2 = costanti funzione delle resistenze al moto
- g = accelerazione di gravità
- Δh = variazione di altitudine tra le due fermate

Applicazione alla Torino-Milano

- Servizio a mercato: 0,021 kWh/tkm
- Servizio universale: 0,02 kWh/tkm
- Servizio regionale: 0,03 kWh/tkm

Consumi energetici del veicolo

Consumi energetici unitari (Dati Materiale Rotabile)

- Servizio a mercato
(massa media per carrozza + carrozze motrici: 42,2 t + 272 t)
 - 1 carrozza Business-Executive (33 posti)
 - 3 carrozze Business-Executive (54 posti) **671 posti**
 - 7 carrozze Premium-Standard (68 posti)
 - 1 carrozza ristorante
- Servizio universale
(massa media per carrozza + carrozza motrice: 42,6 t + 89 t)
 - 3 carrozze di prima classe (54 posti)
 - 9 carrozze di seconda classe (66 posti) **756 posti**
- Servizio regionale
(massa media per carrozza + carrozza motrice: 48 t + 72 t)
 - 7 fermate intermedie
 - 1 carrozza di prima classe (58 posti) **618 posti**
 - 7 carrozze di seconda classe (80 posti) + carrozza semipilota

Consumi energetici del veicolo

Consumi energetici unitari

$$Co_{uo} = [(M_c * N_c + M_l) / (N_p * F_o) + P_p] / 1000 * Co_{km}$$

- Co_{uo} = consumo energetico unitario con fattore di occupazione
- M_c = massa carrozze
- N_c = numero carrozze
- M_l = massa locomotore
- N_p = numero posti
- F_o = fattore di occupazione
 - Servizio a mercato: 0,548; Servizio universale/regionale: 0,5
- P_p = peso medio passeggero (80 kg)
- Co_{km} = consumo energetico chilometrico

Applicazione alla Torino-Milano

- Servizio a mercato: 13,9 kWh/km
- Servizio universale: 12,3 kWh/km
- Servizio regionale: 16,1 kWh/km

Consumi energetici del veicolo

Consumi energetici assoluti: caso della Torino-Milano

$$Co_{ao} = Co_u * L * N_p * F_o$$

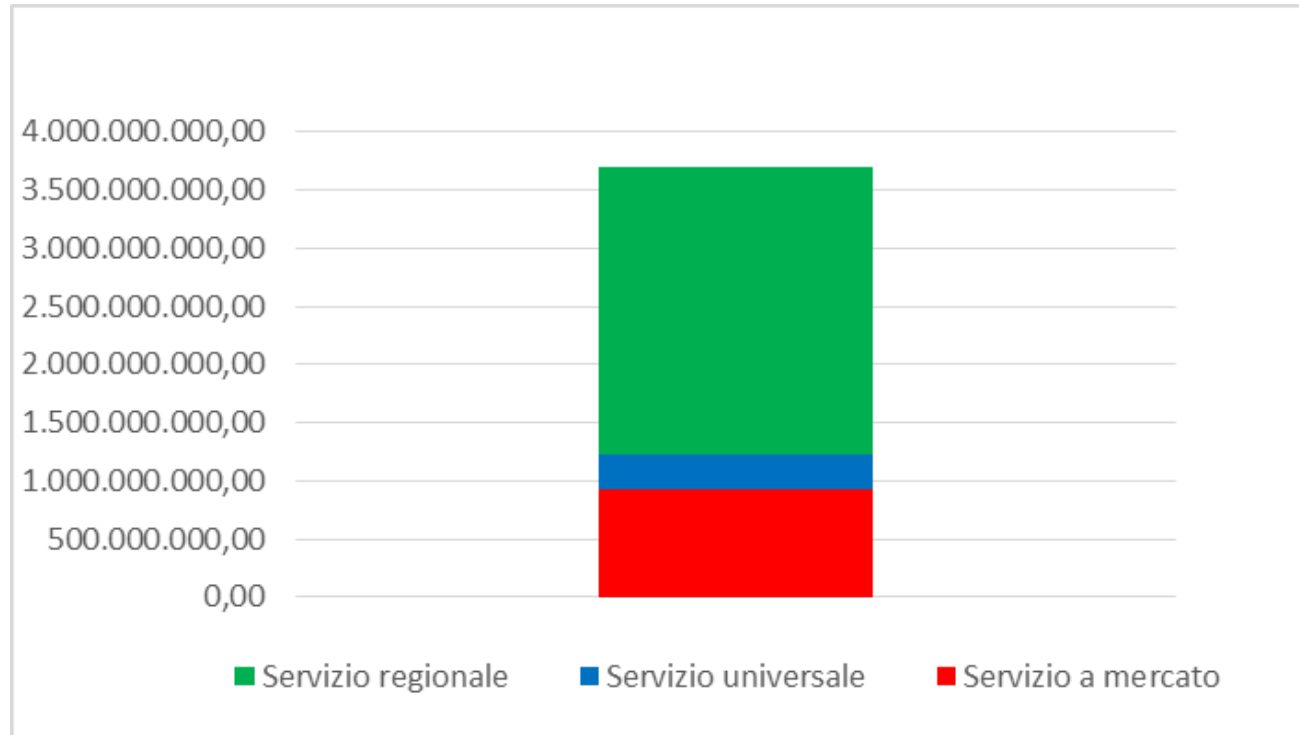
- Co_{ao} = consumo energetico assoluto con fattore di occupazione
- Co_u = consumo energetico unitario
- L = lunghezza tracciato
- N_p = numero posti
- F_o = fattore di occupazione

Applicazione alla Torino-Milano

	<i>Servizio a mercato</i>	<i>Servizio universale</i>	<i>Servizio regionale</i>
<i>Consumo assoluto a pieno carico [kWh]</i>	1.797	1.979	2.573
<i>Consumo assoluto con fattore occ. [kWh]</i>	1.734	1.888	2.458
<i>Numero corse per 1000 persone</i>	3	3	4
<i>Consumo assoluto 1000 passeggeri [kWh]</i>	5.203	5.665	9.833

Consumi energetici del veicolo

Stima consumi energetici assoluti annuali (traffico Trenitalia)



- Servizio a mercato: 962 mln kWh
- Servizio universale: 306 mln kWh
- Servizio regionale: 2.599 mln kWh

Calcolo dei costi energetici in base ai consumi del veicolo

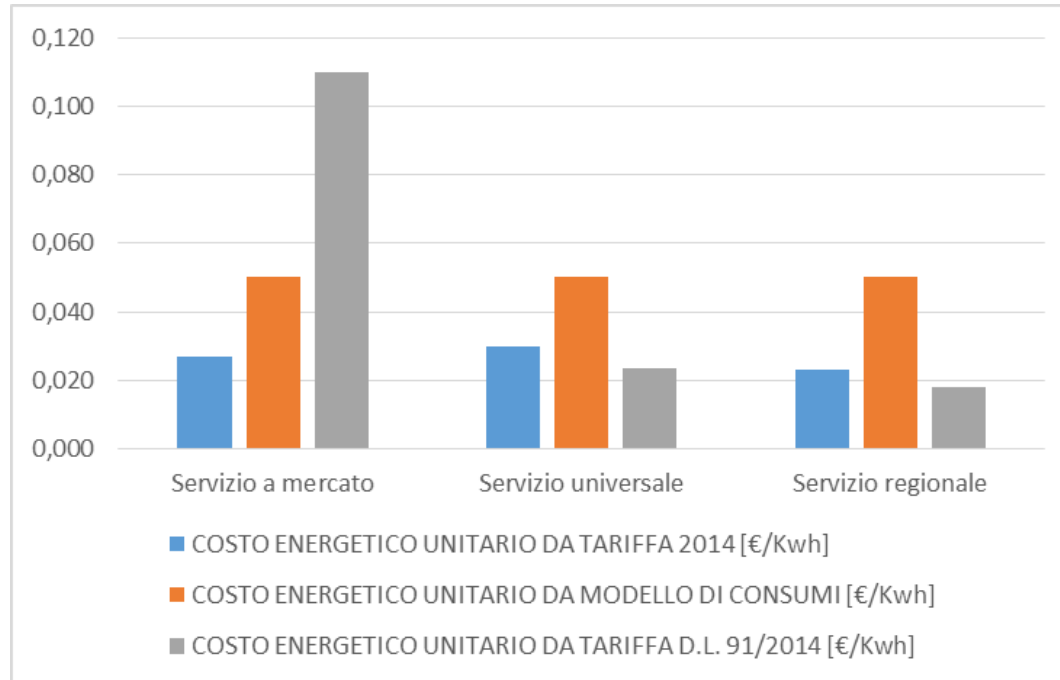
Il modello di consumi

- Consumi lato treno
- Consumi condizionati da costanti fisiche di resistenza (B_0, B_1, B_2)
- Tariffa fissa (0,05 €/kWh, stima costo di produzione energia elettrica)



Calcolo dei costi energetici in base ai consumi del veicolo

Costi energetici unitari [€/kWh]

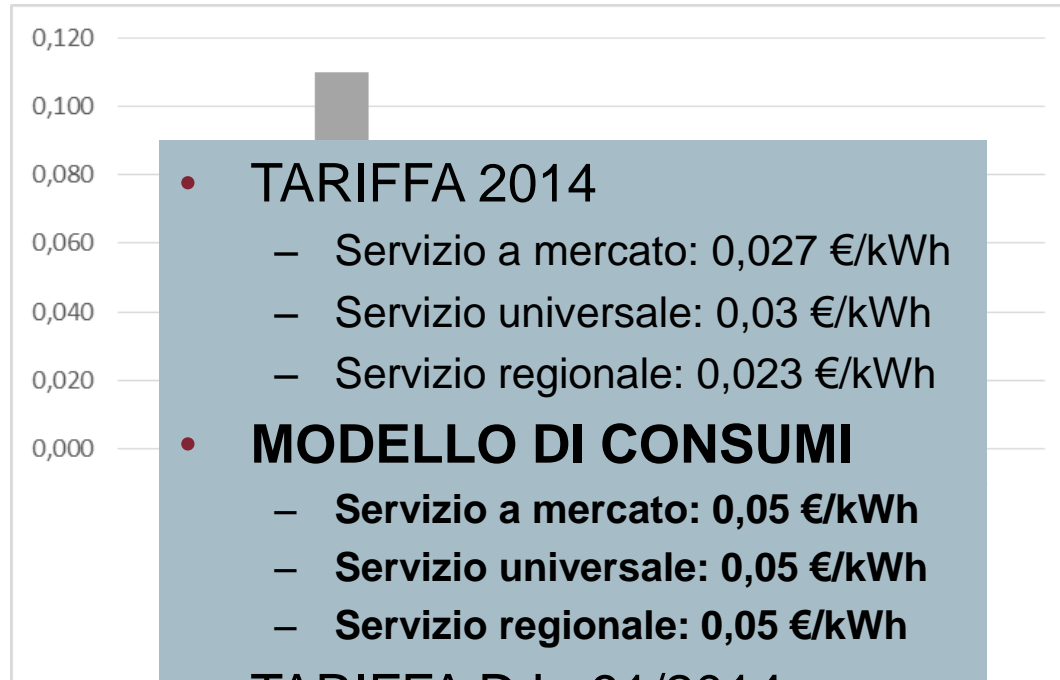


$$C_{u[kWh]} = C_{u[trenokm]} / (C_{o_{uo}} * N_p * F_o)$$

- $C_{u[kWh]}$ = costo energ. unit. da 2014/D.L. 91/2014 per kWh
- $C_{u[trenokm]}$ = costo energ. unit. da 2014/D.L. 91/2014 per treno-km
- $C_{o_{uo}}$ = consumo energ. unit. con fattore di occupazione
- N_p = numero posti
- F_o = fattore di occupazione

Calcolo dei costi energetici in base ai consumi del veicolo

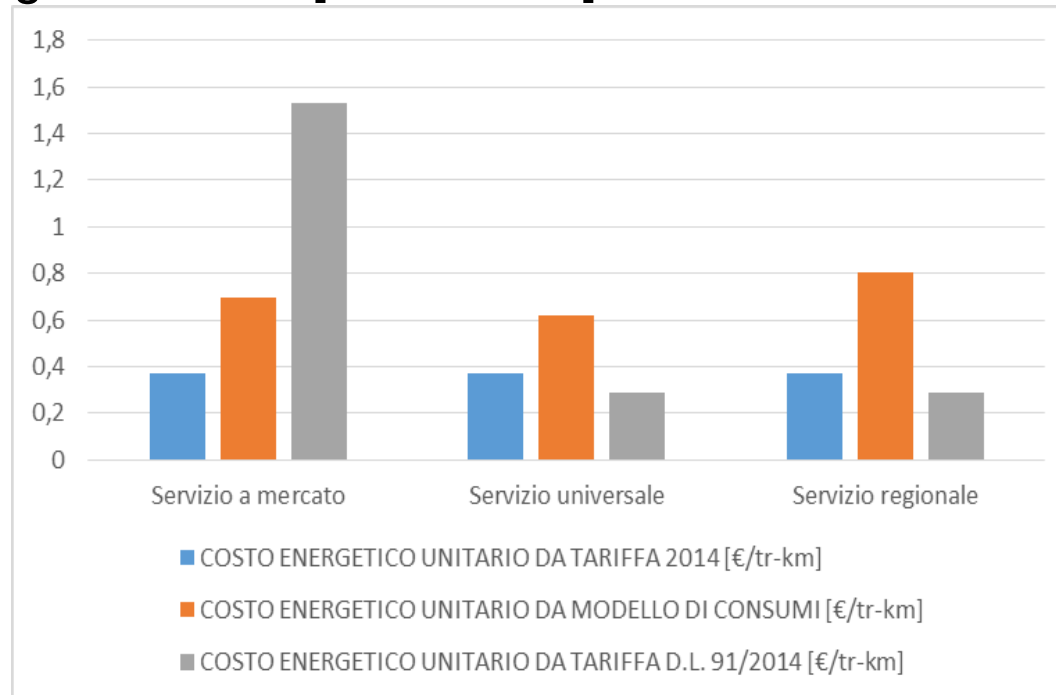
Costi energetici unitari [€/kWh]



- $C_{u[kWh]} = C_{i[kWh]}$
 - $C_{u[trenokm]}$
 - $C_{o_{uo}} = C_{or}$
 - N_p = numero posti
 - F_o = fattore di occupazione
- **TARIFFA D.L. 91/2014**
 - Servizio a mercato: 0,11 €/kWh
 - Servizio universale: 0,02 €/kWh
 - Servizio regionale: 0,02 €/kWh
- km

Calcolo dei costi energetici in base ai consumi del veicolo

Costi energetici unitari [€/treno-km]

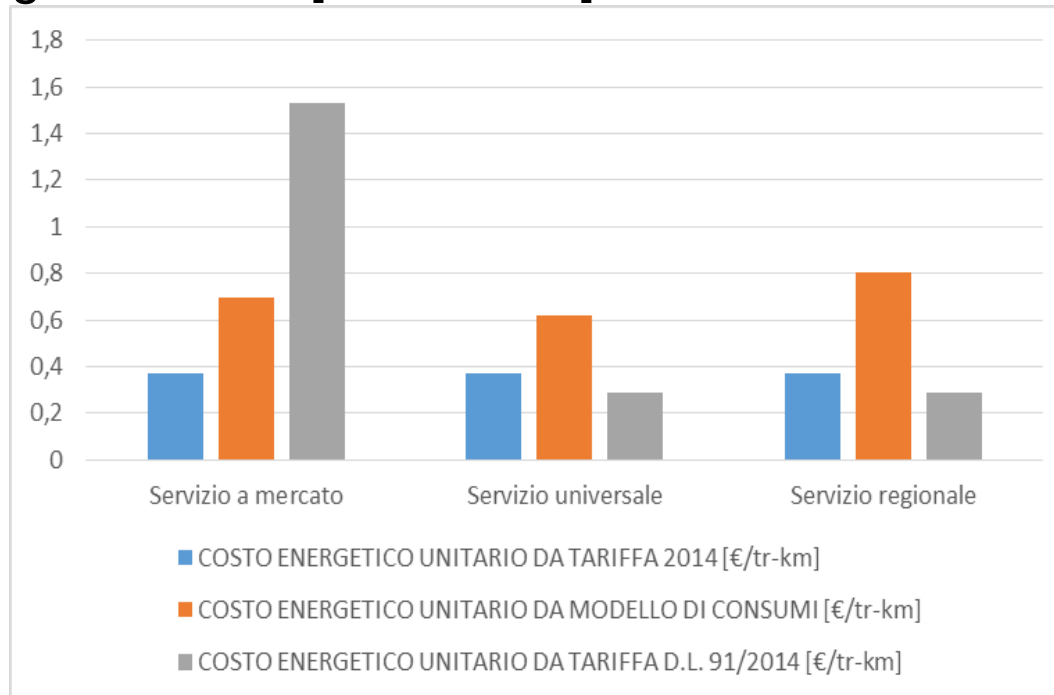


$$C_{u[\text{trenokm}]} = C_{u[\text{kWh}]} * C_{o_{uo}} * N_p * F_o$$

- $C_{u[\text{kWh}]}$ =costo energ. unit. da 2014/D.L. 91/2014 per kWh
- $C_{u[\text{trenokm}]}$ =costo energ. unit. da 2014/D.L. 91/2014 per treno-km
- $C_{o_{uo}}$ =consumo energ. unit. con fattore di occupazione
- N_p =numero posti
- F_o =fattore di occupazione

Calcolo dei costi energetici in base ai consumi del veicolo

Costi energetici unitari [€/treno-km]



$$C_{u[\text{trenokm}]} = C_{u[\text{kWh}]} * C_{o_{uo}} * N_p * F_o$$

- $C_{u[\text{kWh}]}$ =costo energ. unit. da 2014/D.L. 91/2014 per kWh
- $C_{u[\text{trenokm}]}$ =costo energ. unit. da 2014/D.L. 91/2014 per treno-km
- $C_{o_{uo}}$ =consumo energ. unit. con fattore di occupazione
- N_p =numero posti
- F_o =fattore di occupazione

Calcolo dei costi energetici in base ai consumi del veicolo

Costi energetici unitari [€/treno-km]



- **TARIFFA 2014**

- Servizio a mercato: 0,37 €/tr-km
- Servizio universale: 0,37 €/tr-km
- Servizio regionale: 0,37 €/tr-km

- **MODELLO DI CONSUMI**

- Servizio a mercato: 0,69 €/tr-km
- Servizio universale: 0,62 €/tr-km
- Servizio regionale: 0,8 €/tr-km

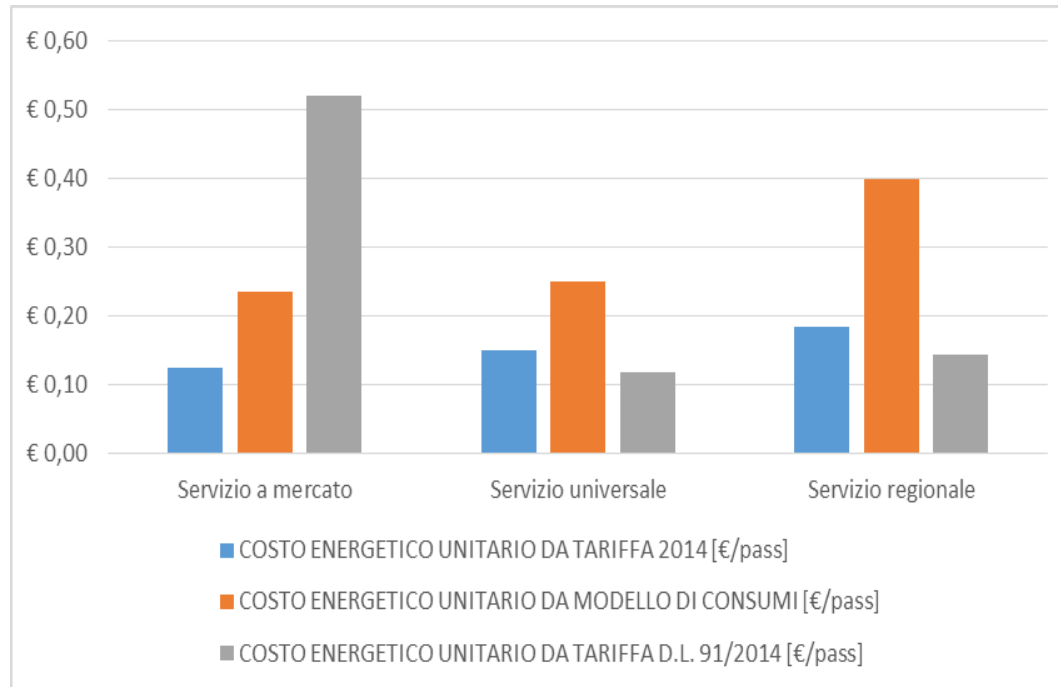
- **TARIFFA D.L. 91/2014**

- Servizio a mercato: 1,53 €/tr-km
- Servizio universale: 0,29 €/tr-km
- Servizio regionale: 0,29 €/tr-km

- $C_{u[kWh]} = C_c$
- $C_{u[trenokm]}$
- $C_{o_{uo}}$ = consumo energ. unit. con fattore di occupazione
- N_p = numero posti
- F_o = fattore di occupazione

Calcolo dei costi energetici in base ai consumi del veicolo

Costi energetici unitari [€/pass]



$$C_{u[\text{pass}]} = C_{u[\text{trenokm}]} * L / (N_p * F_o)$$

- $C_{u[\text{pass}]}$ = costo energetico unitario per passeggero
- $C_{u[\text{trenokm}]}$ = costo energ. unit. da 2014/D.L. 91/2014 per treno-km
- L = lunghezza tracciato
- N_p = numero posti
- F_o = fattore di occupazione

Calcolo dei costi energetici in base ai consumi del veicolo

Costi energetici unitari [€/pass]

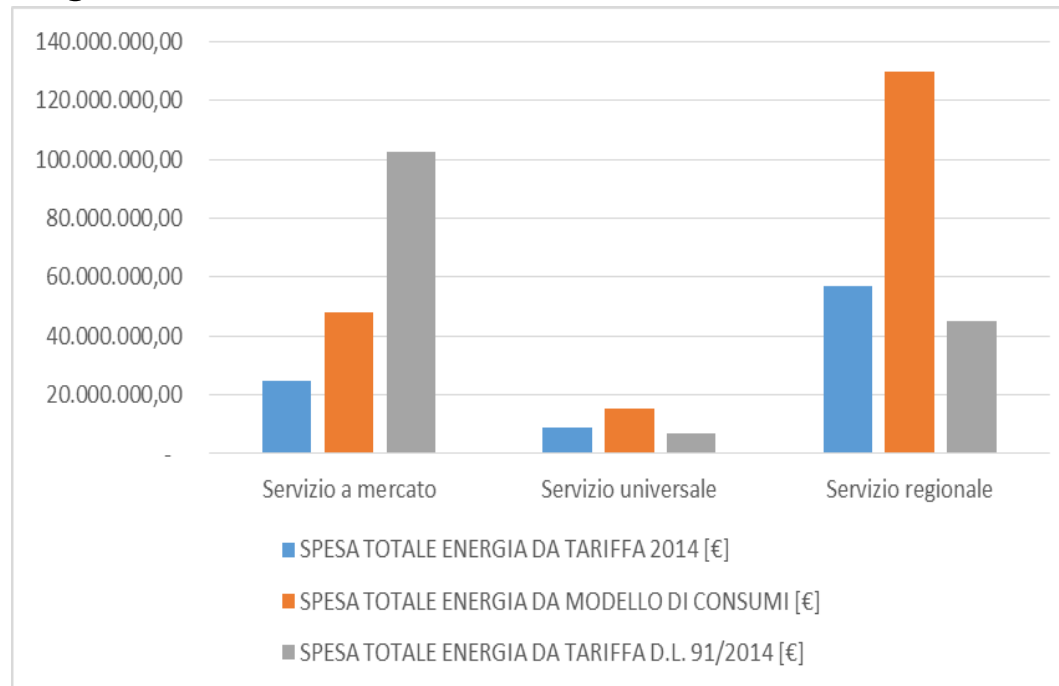


- $C_{u[pass]} = C_{u[trenokm]} \cdot L$
- $C_{u[trenokm]} = \frac{F_0}{N_p}$
- $L = \text{lunghezza tracciato}$
- $N_p = \text{numero posti}$
- $F_0 = \text{fattore di occupazione}$

- Servizio a mercato: 0,52 €/pass
- Servizio universale: 0,12 €/pass
- Servizio regionale: 0,14 €/pass

Calcolo dei costi energetici in base ai consumi del veicolo

Spesa energetica totale [€]



$$C_{tot} = C_{u[trenokm]} * P_{trenokm}$$

- C_{tot} = spesa energetica totale annuale
- $C_{u[trenokm]}$ = costo energ. unit. per treno-km
- $P_{trenokm}$ = percorrenze treni chilometro annuali

Calcolo dei costi energetici in base ai consumi del veicolo

Spesa energetica totale [€]



- **TARIFFA 2014**

- Servizio a mercato: 24,7 mln €
- Servizio universale: 8,7 mln €
- Servizio regionale: 57,2 mln €

- **MODELLO DI CONSUMI**

- Servizio a mercato: 48,1 mln €
- Servizio universale: 15,3 mln €
- Servizio regionale: 130 mln €

- **TARIFFA D.L. 91/2014**

- Servizio a mercato: 102,3 mln €
- Servizio universale: 6,9 mln €
- Servizio regionale: 44,8 mln €

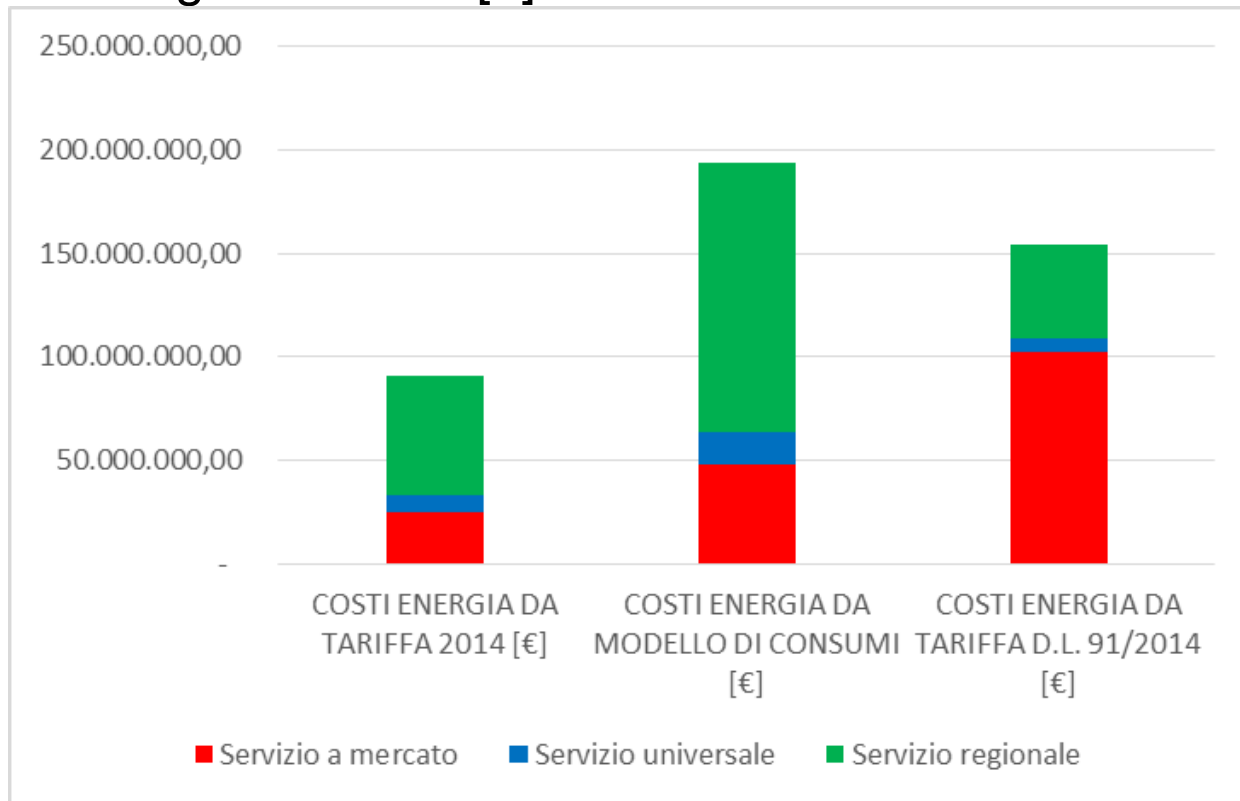
- $C_{tot} = \text{spesa}$

- $C_{u[trenokm]} =$

- $P_{trenokm} = \text{percordanze treni chilometro annuali}$

Calcolo dei costi energetici in base ai consumi del veicolo

Spesa energetica totale [€]



- TARIFFA 2014: 90,7 mln €
- MODELLO DI CONSUMI: 193,3 mln €
- TARIFFA D.L. 91/2014: 154 mln €

Conclusioni

D.L. 91/2014 (simulazione FSI):

- +70% Costi complessivi
- +314% Costi servizio a mercato
- -21% Costi servizi universali
- -22% Costi servizi regionali

MODELLO DI CONSUMI:

- +113% Costi complessivi
- +94% Costi servizio a mercato
- +75% Costi servizi universali
- +127% Costi servizi regionali



- Stima tariffa unitaria di 0,05 €/kWh (costi di produzione) e costanti fisiche (B_0 , B_1 , B_2)
- Spesa in base a consumi effettivi lato treno
- Differenziazione rispetto a categoria di servizio e riempimento del treno
- Incentivi a sistemi attenti al risparmio energetico



Grazie per l'attenzione!