

# Quantificazione dell'influenza del conducente sul consumo di carburante e sulle emissioni di CO<sub>2</sub> dei veicoli

Adriano Alessandrini, Alessio Cattivera, Fernando Ortenzi, Andrea Palleschi

CENTRO DI RICERCA  
PER IL  
TRASPORTO E LA LOGISTICA



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA



[www.ctl.uniroma1.it](http://www.ctl.uniroma1.it)  
[info@ctl.uniroma1.it](mailto:info@ctl.uniroma1.it)

## Introduzione

- Lo stile di guida del conducente è un fattore determinante per il consumo di carburante e le emissioni di CO<sub>2</sub> di un veicolo.
- Precedenti studi del CTL hanno evidenziato come, a parità di vettura e percorso, un guidatore aggressivo può arrivare a consumare anche il 40% in più di un guidatore moderato.

## Origine dello stile di guida EcoDriving

- Alcuni Paesi europei (Finlandia, Olanda, Svizzera e Germania) hanno cominciato a sviluppare negli anni '90 un nuovo stile di guida che fosse eco – compatibile.
- Nell'ultimo decennio sono state organizzate campagne di guida ecologica per diffondere e unificare le esperienze maturate dai singoli Paesi nell'ambito dello sviluppo dello stile di guida EcoDriving.
  - Il progetto europeo Ecodriven (2006-2008).

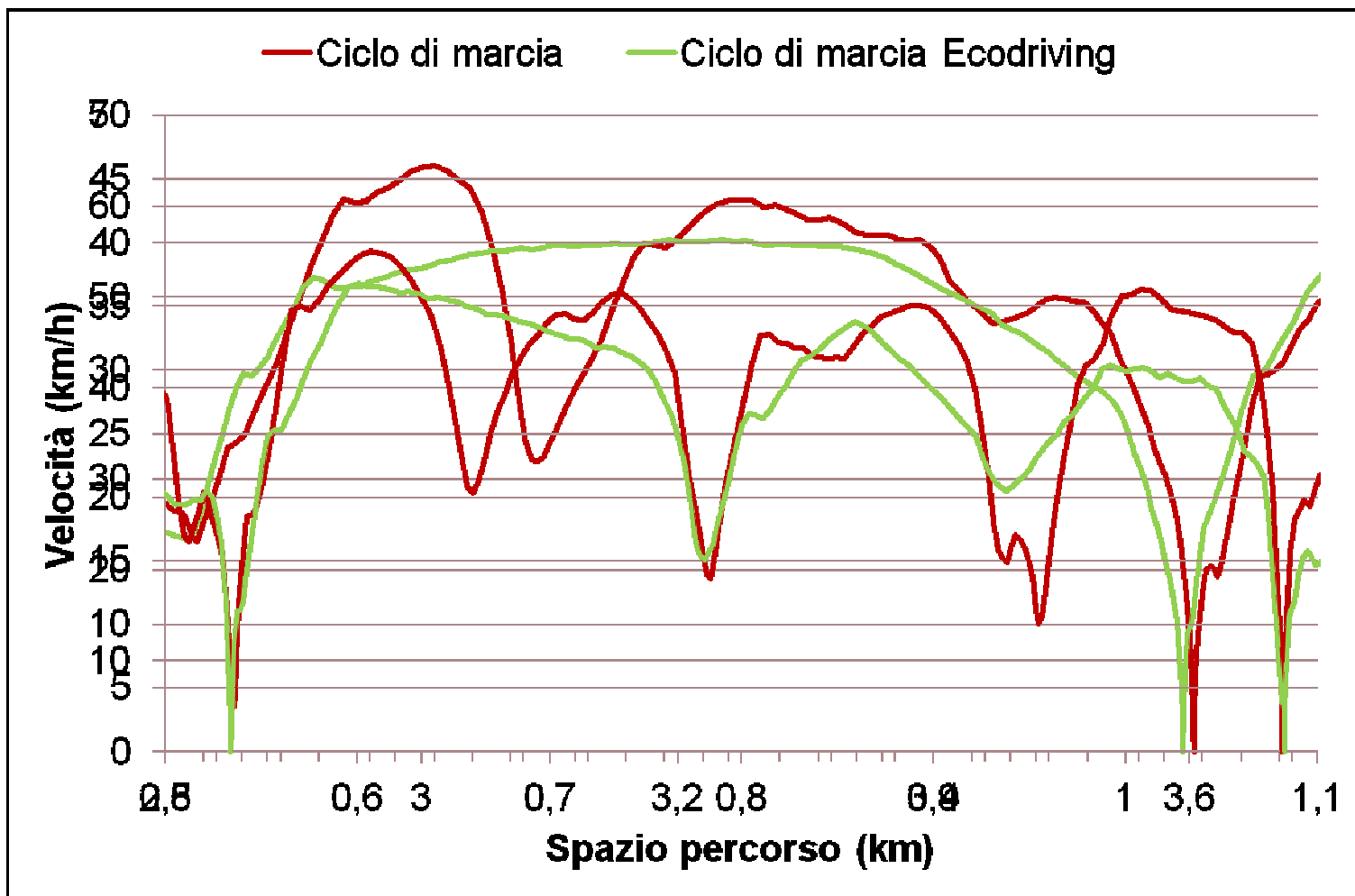
## Obiettivi e benefici dello stile di guida EcoDriving

- Riduzione del consumo di carburante (variabile a seconda dello stile di guida del conducente).
- Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> (direttamente collegata alla riduzione del consumo di carburante).
- Molti studi hanno dimostrato riduzioni medie dei consumi di carburante (e delle emissioni di CO<sub>2</sub>) tra il 10 e il 15% adottando lo stile di guida Ecodriving.

## Le regole base dello stile di guida EcoDriving

1. Passare al rapporto superiore il prima possibile, tra i 2000 e i 2500 rpm.
2. Mantenere la velocità il più costante possibile.
3. Viaggiare con marce alte e bassi regimi di rotazione del motore, applicando, se necessario, alti carichi.
4. Anticipare il traffico ed evitare inutili accelerazioni e frenate.
5. Decelerare gradualmente levando il piede dall'acceleratore per tempo e lasciando la marcia inserita. Utilizzo della funzione di cut-off del motore.

## Esperienze precedenti: confronto fra cicli di marcia misurati (Eco e non)



## Il metodo sviluppato dal CTL per valutare l'influenza del conducente sul consumo del veicolo (1/2)

- È stato definito un indice di valutazione dello stile di guida denominato Ecoindex.
- L'Ecoindex valuta lo stile di guida in termini di efficienza energetica del conducente indipendentemente da veicolo, percorso e traffico.
- L'Ecoindex è il rapporto tra il consumo ideale che il conducente avrebbe potuto avere nelle stesse condizioni (veicolo, percorso e traffico) adottando le regole dell'Ecodriving ed il consumo reale misurato.

## Il metodo sviluppato dal CTL per valutare l'influenza del conducente sul consumo del veicolo (2/2)

- L'indice viene calcolato con un algoritmo che modifica il diagramma di marcia originale acquisito imponendo a posteriori le regole dell'Ecodriving e preservando tutti i vincoli del percorso.
- L'Ecoindex, oltre ad essere di facile lettura (perché compreso tra 0 e 1), è anche un'indicazione della percentuale di combustibile idealmente necessaria rispetto a quella consumata.
- L'Ecoindex viene utilizzato dal CTL come parametro di classificazione dello stile di guida del conducente.



## L'EcoIndex

$$EcoIndex = \frac{\text{Consumo}_{ideale\_calcolato}}{\text{Consumo}_{reale\_misurato}}$$

L'Ecoindex è:

- *indipendente dal percorso;*
- *indipendente dal veicolo utilizzato;*
- *indipendente dalle condizioni di traffico.*

## Procedura di modifica dei cicli di marcia reali per il calcolo dell'EcoIndex

Per effettuare la modifica dei cicli di marcia misurati su strada sulla base delle regole dell'Ecodriving è necessario:

- utilizzare un modello di moto del veicolo;
- utilizzare un modello di motore (sia nelle fasi di erogazione di potenza che di freno motore);
- tradurre le regole dello stile di guida Ecodriving in regole di modifica dei cicli di marcia reali:
  - utilizzare il motore nella maniera più efficiente possibile nelle fasi di accelerazione;
  - decelerare massimizzando l'uso della funzione di cut-off del motore.

## Cenni sul modello di moto del veicolo e sul modello di motore utilizzati

Calcolo della decelerazione:

$$a = \frac{F_{res\ engine} + (f_0 + kv^2)mg \cos \alpha + \frac{1}{2}\rho SF C_x v^2 + mg \sin \alpha + R_{s,s}}{m_c}$$

Calcolo dell'accelerazione:

$$a = \frac{P_{eng,rpm}}{m_c v} - \frac{(f_0 + kv^2)mg \cos \alpha + \frac{1}{2}\rho SF C_x v^2 + mg \sin \alpha + R_s}{m_c}$$

Modello di motore:

$$F_{res\_engine} = f(load, rpm)$$

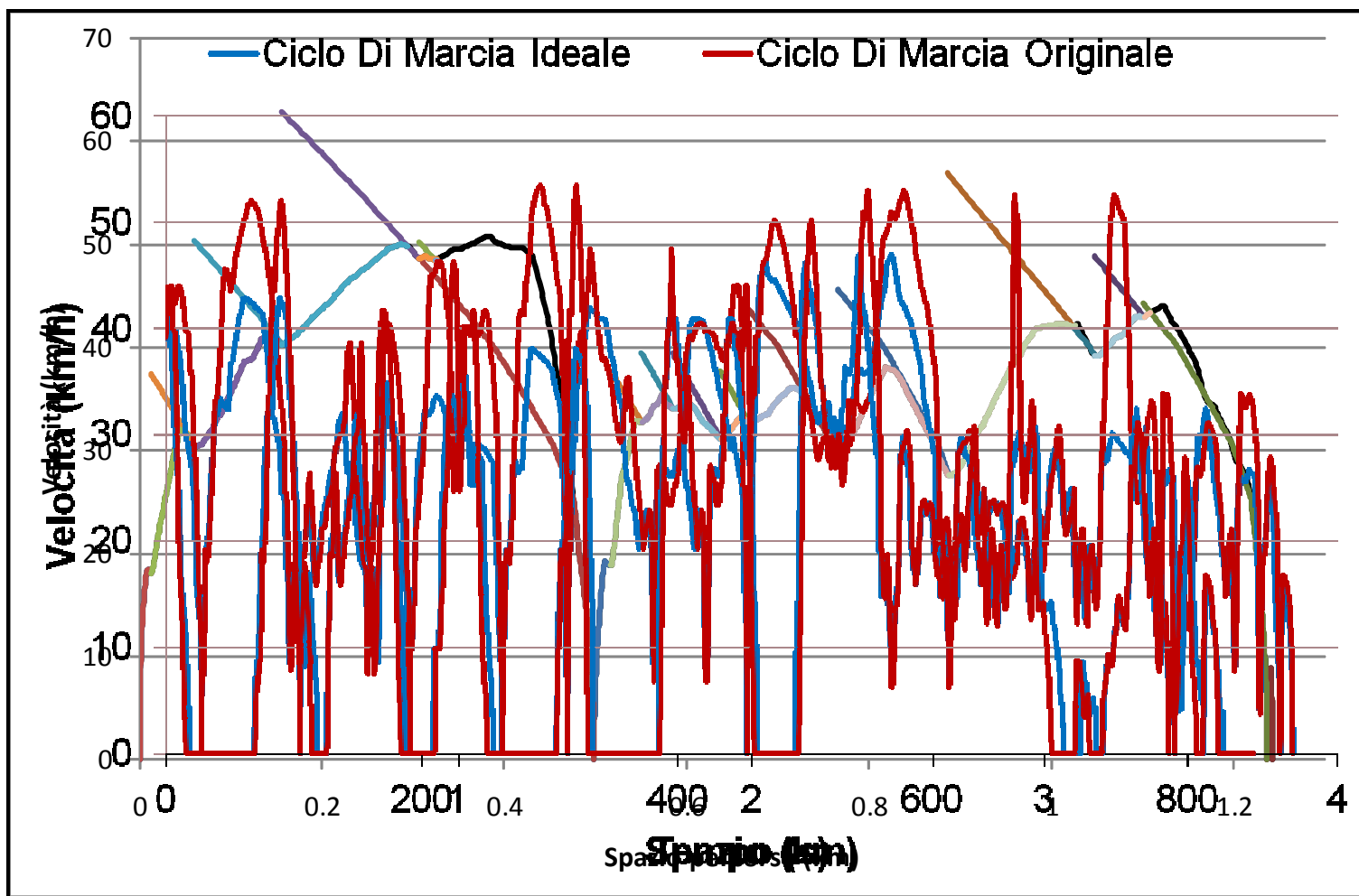
$$P_{eng,rpm} = f(load, rpm) \quad \text{oppure} \quad P_{eng,rpm} = f(load \cdot portata, rpm)$$

## L'algoritmo per il calcolo dell'EcoIndex

La struttura dell'algoritmo è la seguente:

1. caricamento dei dati relativi al veicolo che ha effettuato il ciclo di marcia (modello motore, caratteristiche costruttive);
2. individuazione dei minimi relativi di velocità;
3. costruzione dei rami di decelerazione in cut-off;
4. costruzione dei rami di accelerazione;
5. verifica del tempo di percorrenza ed eventuale innalzamento dei minimi relativi di velocità;
6. calcolo del consumo, delle emissioni e dell'indice di Ecodriving.

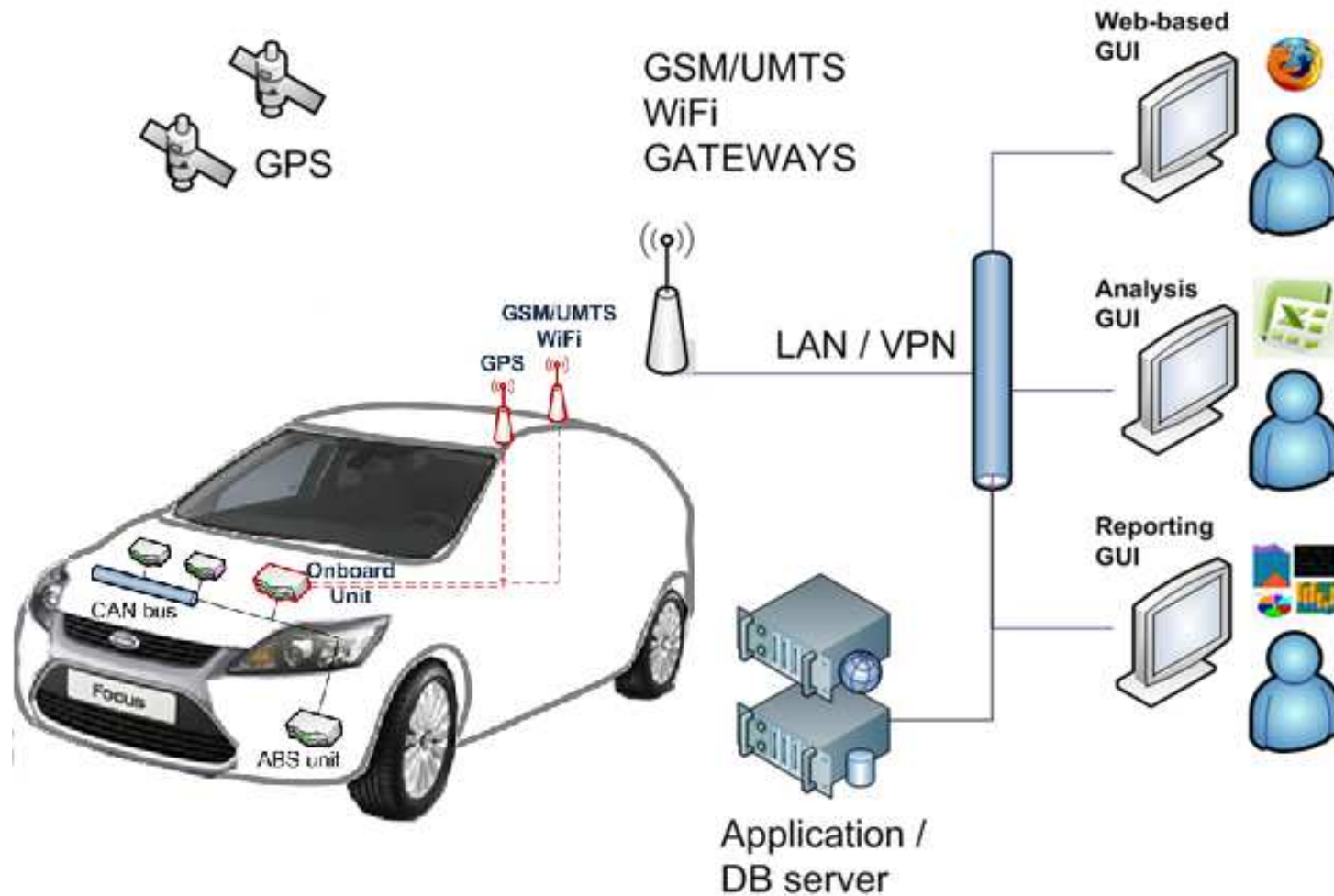
## Esempio grafico della modifica dei cicli di marcia



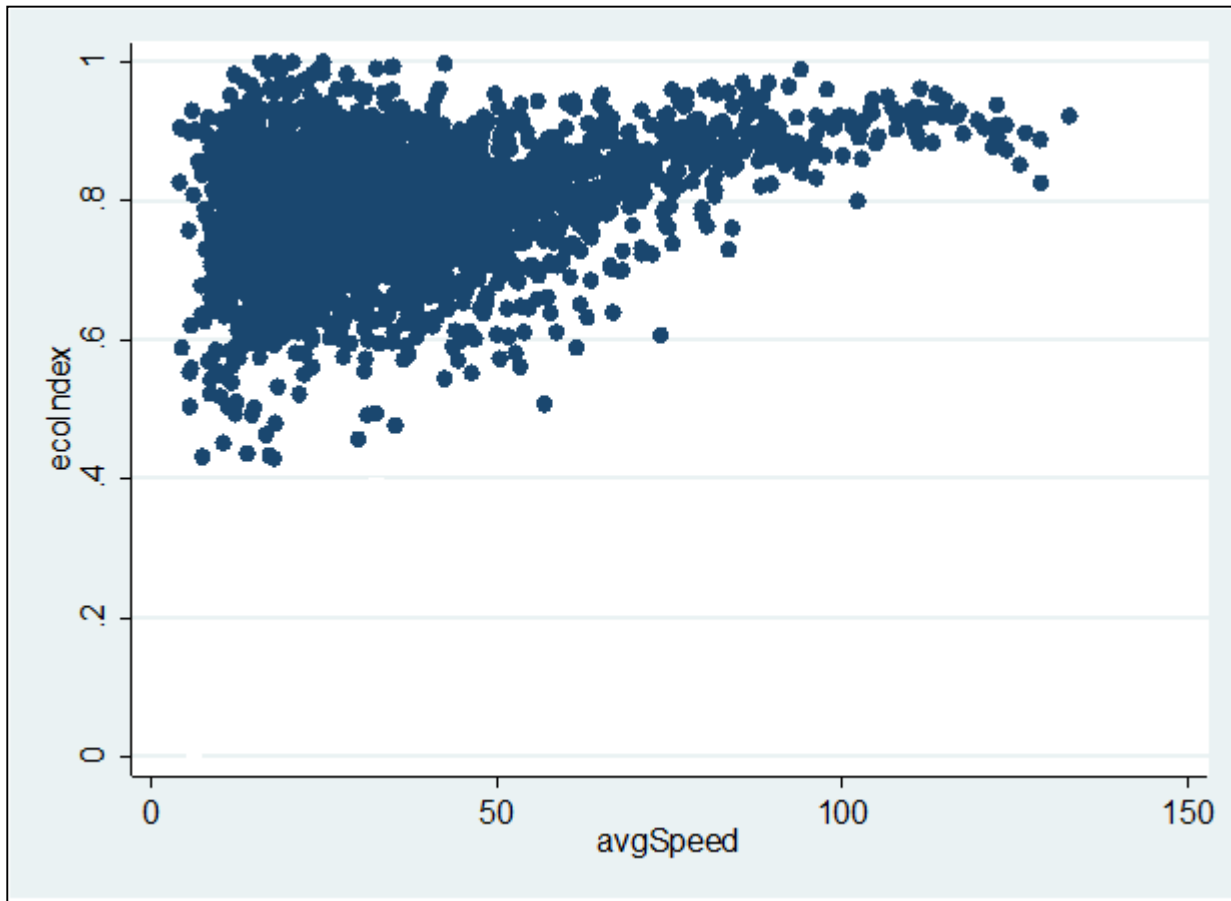
## La campagna di monitoraggio

- È stata realizzata una campagna di monitoraggio fatta in collaborazione con Avis Autonoleggio S.p.A (6 veicoli di car-rental) e con Roma Servizi per la Mobilità Srl (4 veicoli di car-sharing).
- La campagna di monitoraggio è durata da aprile a dicembre 2010, per un totale di 120.000 km percorsi.
- Sono stati monitorati in tutto 278 conducenti diversi.
- Sono stati calcolati consumi, emissioni inquinanti ed Ecoindex di tutte le tratte acquisite.

# La strumentazione del CTL per il monitoraggio dei veicoli



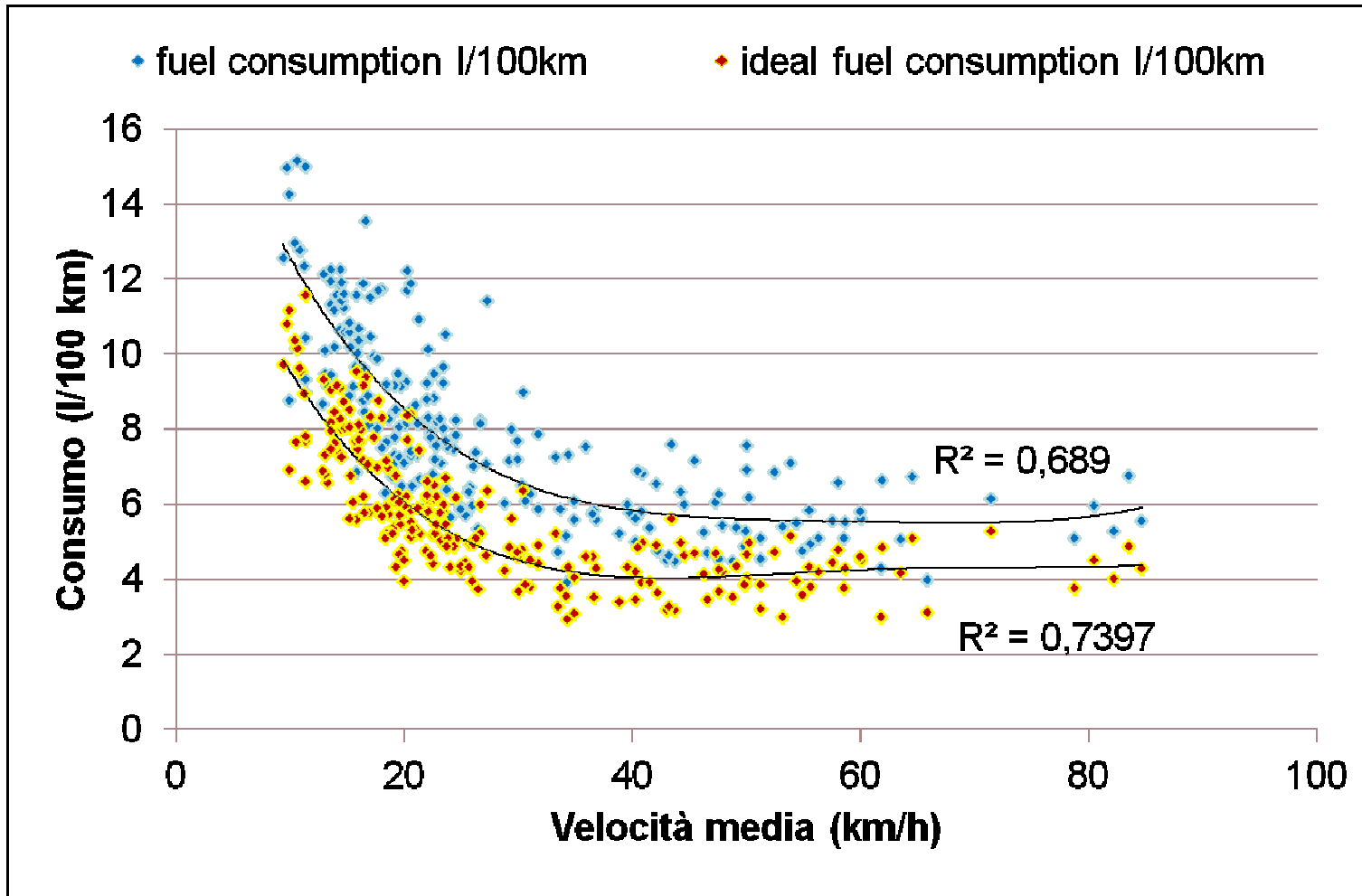
## Ecoindex in funzione della velocità media di tratta



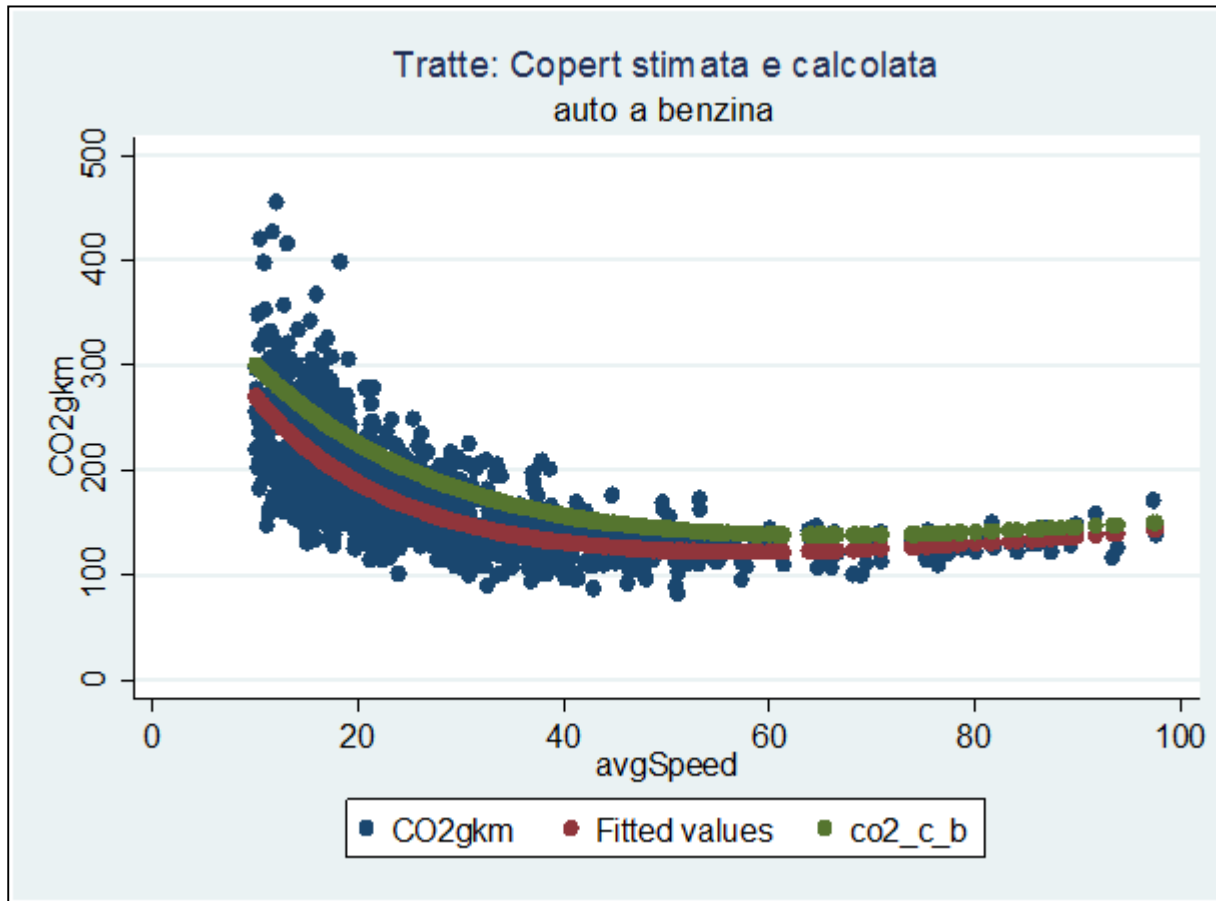
- All'aumentare della velocità media di tratta l'influenza del conducente sul consumo del veicolo diminuisce progressivamente



## Consumo medio reale e minimo ideale delle sessioni (FIAT Grande Punto 1.3 mJet)

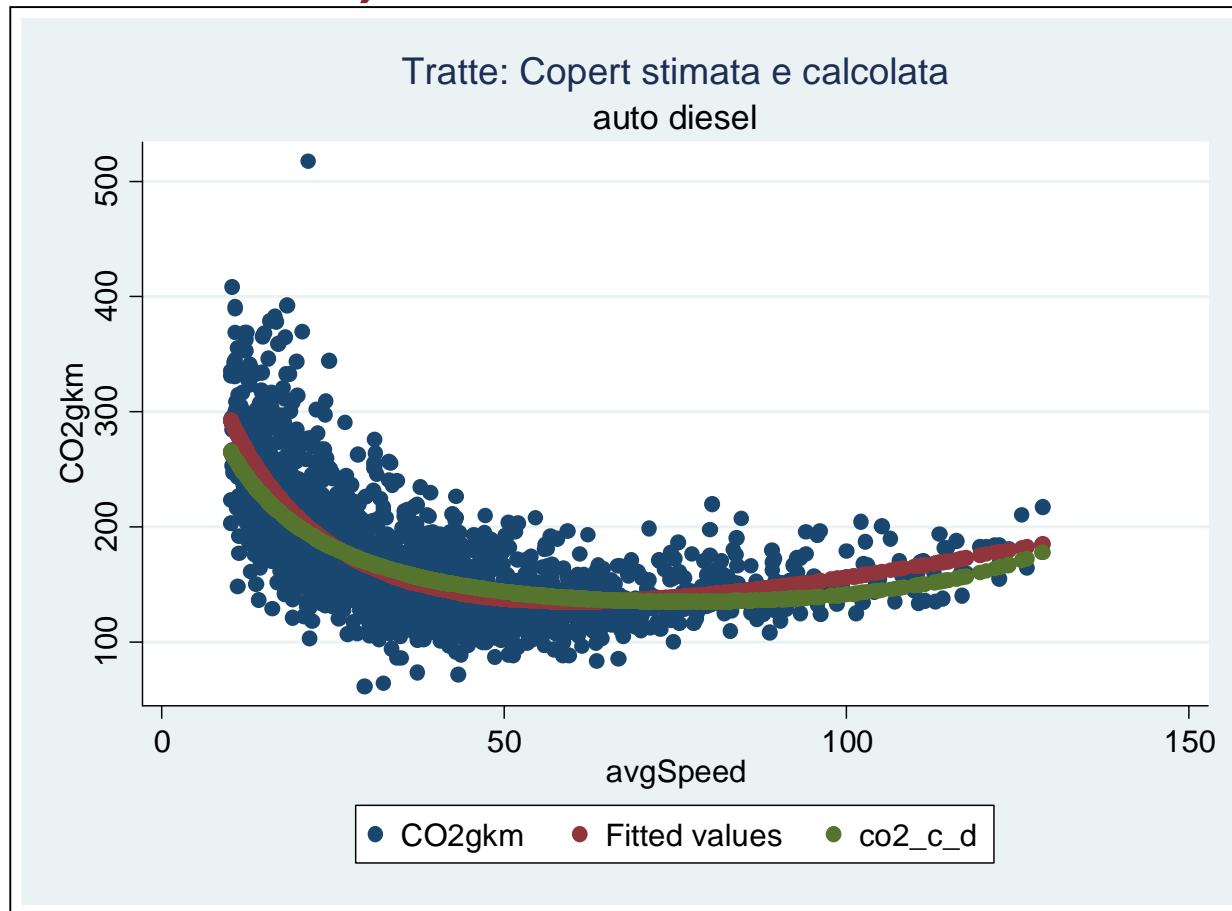


## Confronto fra CO<sub>2</sub> misurata e COPERT (benzina Euro 4 < 1.4 l)



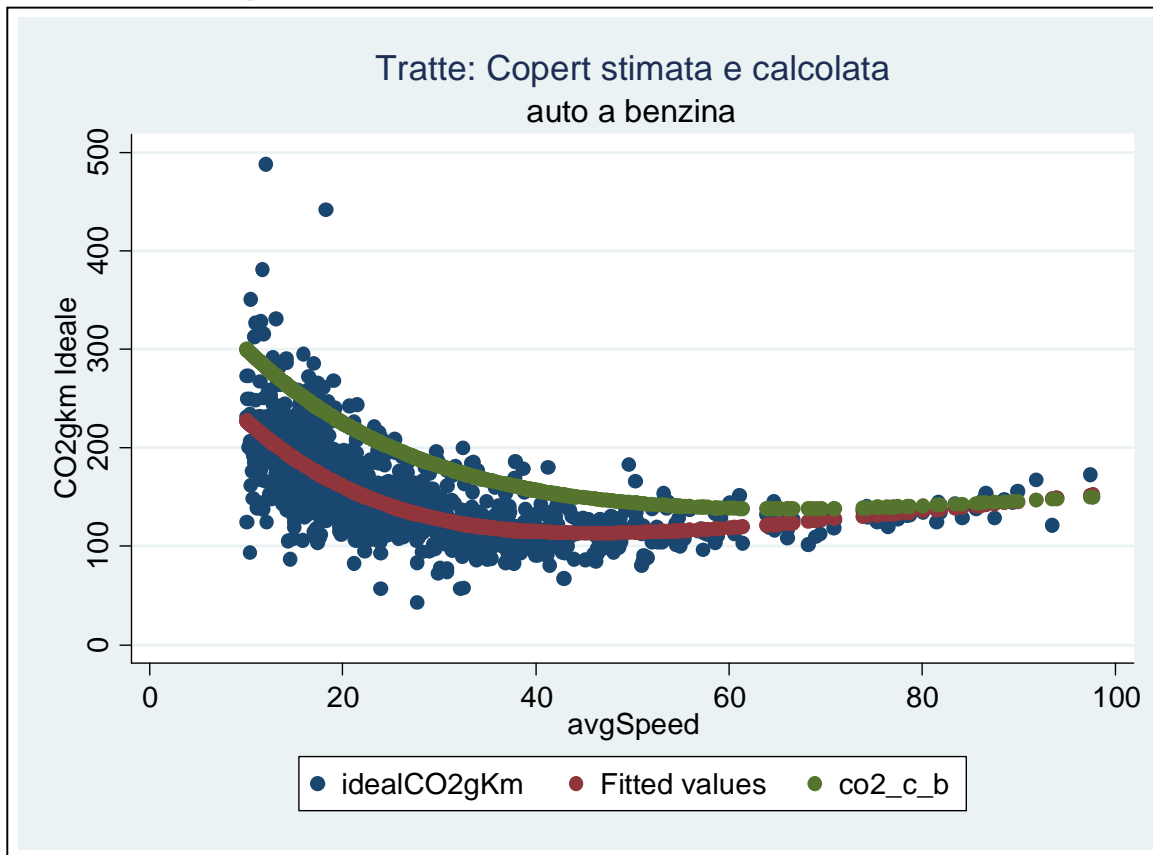
- Differenza massima: 30 g/km (17% circa)
- Errore medio fitting (RMSE): 36.1 g/km

## Confronto fra CO<sub>2</sub> misurata e COPERT (diesel Euro 4 < 2 l)



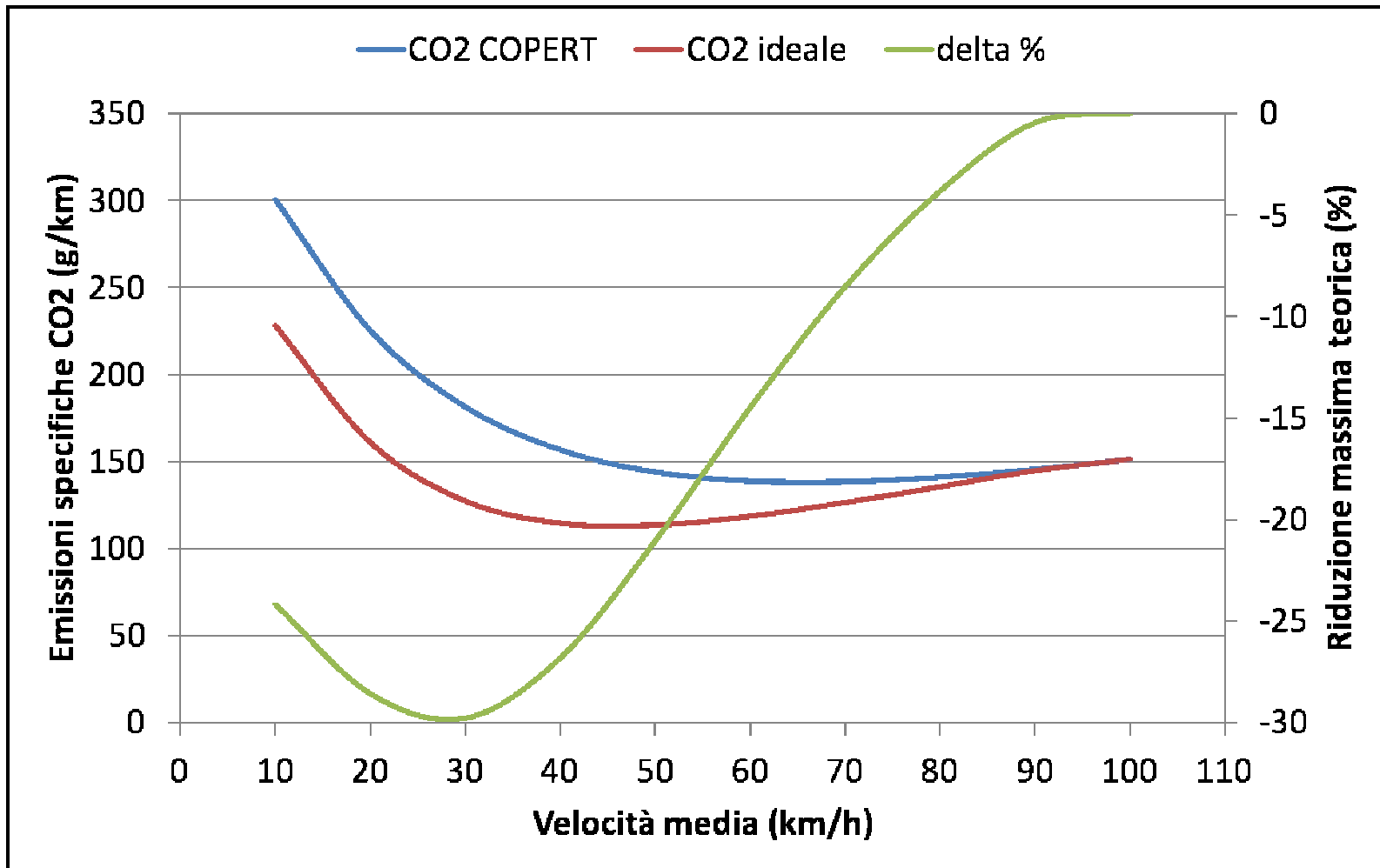
- Il fitting dei dati acquisiti coincide con COPERT
- Errore medio fitting (RMSE): 36.5 g/km

# Confronto fra CO<sub>2</sub> ideale e COPERT (benzina Euro 4 < 1.4 l)

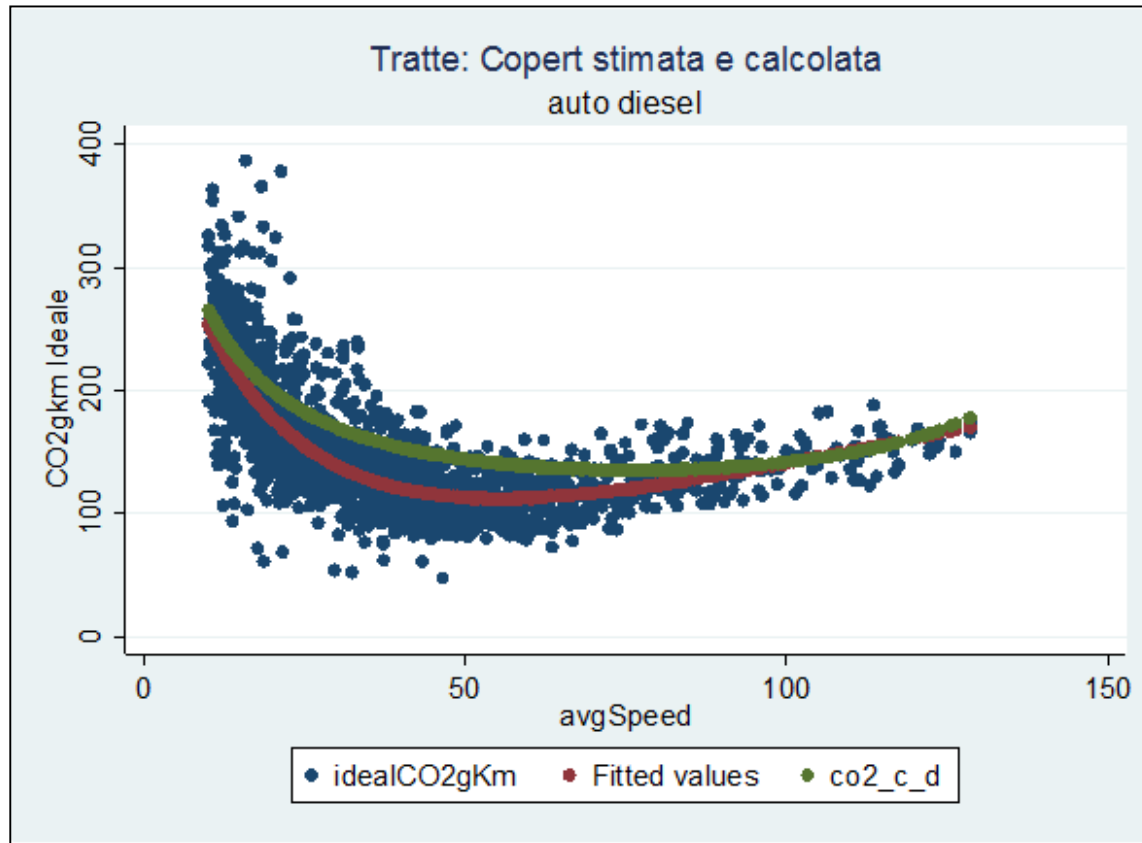


- Riduzione massima: 60 g/km (30 %)
- Errore medio fitting (RMSE): 32.9 g/km (-10 % rispetto alle emissioni reali misurate)

## Riduzione massima teorica emissioni di CO2 veicoli benzina Euro 4 < 1.4 l

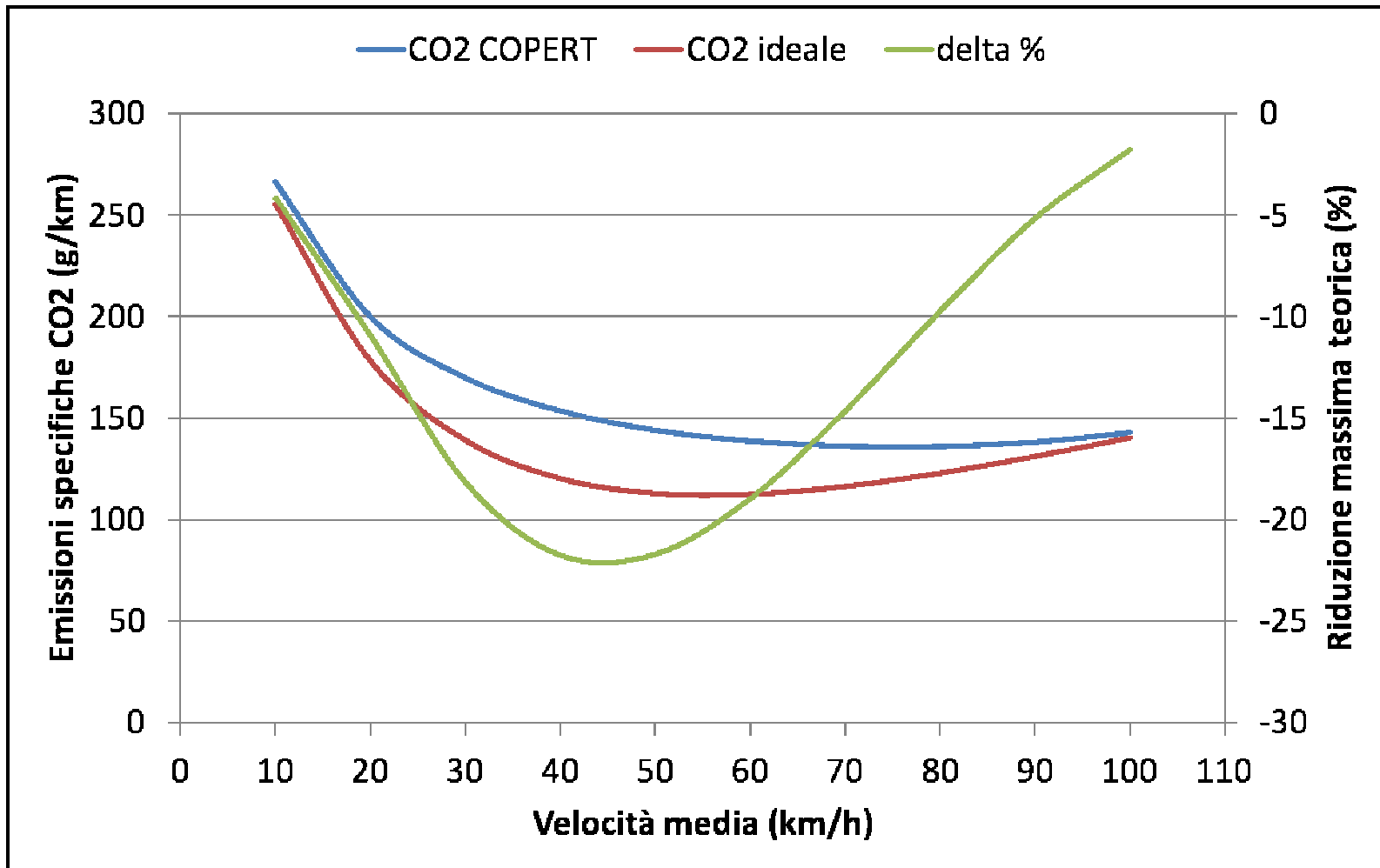


## Confronto fra CO<sub>2</sub> ideale e COPERT (diesel Euro 4 < 2 l)



- Riduzione massima: 40 g/km (22 % circa)
- Errore medio fitting (RMSE): 30.7 g/km (-16 % rispetto alle emissioni reali misurate)

## Riduzione massima teorica emissioni di CO2 veicoli diesel Euro 4 < 2 l



## Conclusioni (1/2)

- In questa ricerca sono stati classificati gli stili di guida attraverso un unico parametro, sviluppato dal CTL, denominato Ecoindex.
- L'Ecoindex valuta l'efficienza dello stile di guida del conducente confrontando il consumo misurato con il consumo minimo ideale che si sarebbe potuto ottenere seguendo le regole dell'Ecodriving.
- L'Ecoindex varia tra 0 e 1 può essere interpretato come l'aliquota minima di combustibile idealmente necessaria rispetto a quella realmente consumata.
- L'indice viene calcolato con un algoritmo che modifica il diagramma di marcia originale imponendo a posteriori le regole dell'Ecodriving e preservando tutti i vincoli del percorso.



## Conclusioni (2/2)

- È stata realizzata una campagna di monitoraggio con 10 veicoli, 120.000 km percorsi e 278 conducenti diversi.
- Sono stati calcolati consumi, emissioni inquinanti ed Ecoindex di tutte le tratte acquisite.
- I risultati ottenuti in termini di consumi e CO<sub>2</sub> sono sovrapponibili con COPERT (benzina Euro 4 < 1.4 l e diesel Euro 4 < 2 l).
- Per velocità medie basse la riduzione media di consumi (e CO<sub>2</sub>) ottenibile guidando in maniera più efficiente può arrivare anche al 30% per auto a benzina e oltre il 20% per auto diesel.