

ALLEGATO

Metodologia per la determinazione dei risparmi di CO₂ dei sistemi di illuminazione a LED efficienti valutati in riferimento alla procedura di prova armonizzata a livello mondiale per i veicoli leggeri

1. INTRODUZIONE

Al fine di determinare le riduzioni di emissioni di CO₂ ascrivibili ai sistemi di illuminazione a LED efficienti costituiti da una combinazione adeguata di luci a LED per l'illuminazione esterna da utilizzare nei veicoli M1 a combustione interna e nei veicoli M1 elettrici ibridi a ricarica non esterna è necessario stabilire quanto segue:

- (1) le condizioni di prova;
- (2) le apparecchiature di prova;
- (3) la procedura per determinare i risparmi di energia;
- (4) la procedura per determinare i risparmi di CO₂;
- (5) la procedura per determinare l'incertezza dei risparmi di CO₂.

2. SIMBOLI, PARAMETRI E UNITÀ

Simboli latini

AFS	—	Sistema di fari direzionali anteriori
B	—	Scenario di riferimento
CO ₂	—	Biossido di carbonio
C _{CO₂}	—	Risparmi di CO ₂ [g CO ₂ /km]
C	—	Numero di classi del sistema di fari direzionali anteriori
CF	—	Fattore di conversione (l/100 km) - (g CO ₂ /km) [gCO ₂ /l]
EI	—	Ecoinnovativo
HEV	—	Veicolo elettrico ibrido
K _{CO₂}	—	Coefficiente di correzione del CO ₂ $\left[\left(\frac{\text{gCO}_2}{\text{km}} \right) / \left(\frac{\text{Wh}}{\text{km}} \right) \right]$, quale definito nel regolamento (UE) 2017/1151, suballegato 8, appendice 2
$\overline{K}_{\text{CO}_2}$	—	Media dei valori T di K _{CO₂} $\left[\left(\frac{\text{gCO}_2}{\text{km}} \right) / \left(\frac{\text{Wh}}{\text{km}} \right) \right]$
m	—	Numero di luci a LED efficienti per l'illuminazione esterna che compongono il dispositivo
SM	—	Soglia minima di riduzione [g CO ₂ /km]
n	—	Numero di misurazioni del campione
NOVC	—	Veicolo a ricarica non esterna
P	—	Consumo energetico della luce del veicolo [W]
P _{B_i}	—	Consumo energetico della luce i corrispondente di un veicolo di riferimento [W]
P _{c_n}	—	Consumo energetico del campione n corrispondente per ciascuna classe di veicolo [W]
\overline{P}_c	—	Consumo energetico per ciascuna classe di veicolo (media delle n misurazioni) [W]
P _{EI,AFS}	—	Consumo energetico del sistema AFS a fascio anabbagliante [W]
\overline{P}_{EI}	—	Consumo energetico medio della luce corrispondente del veicolo ecoinnovativo [W]

ΔP_i	— Risparmi energetici di ciascuna luce a LED efficiente per l'illuminazione esterna [W]
s_{CO_2}	— Deviazione standard del risparmio complessivo di CO ₂ [g CO ₂ /km]
$s_{K_{CO_2}}$	— Deviazione standard del K _{CO₂} $\left[\left(\frac{gCO_2}{km} \right) / \left(\frac{Wh}{km} \right) \right]$
$s_{\overline{K_{CO_2}}}$	— Deviazione standard della media dei valori T di K _{CO₂} $\left[\left(\frac{gCO_2}{km} \right) / \left(\frac{Wh}{km} \right) \right]$
$s_{\overline{P_c}}$	— Deviazione standard del consumo energetico medio per ciascuna classe di veicolo [W]
$s_{P_{EI}}$	— Deviazione standard del consumo energetico della luce a LED nel veicolo ecoinnovativo [W]
$s_{\overline{P_{EI}}}$	— Deviazione standard del consumo energetico medio della luce a LED nel veicolo ecoinnovativo [W]
$s_{\overline{P_{EIAFS}}}$	— Incertezza o deviazione standard del consumo energetico medio dell'AFS a fascio anabbagliante [W]
T	— Numero di misurazioni eseguite dal costruttore per l'estrapolazione del K _{CO₂}
t	— Durata del tempo di guida del ciclo di prova per i veicoli leggeri armonizzato a livello mondiale (WLTC) [s] che è pari 1 800 s
UF	— Fattore di utilizzazione della luce del veicolo [-] quale definito nella tabella 6
v	— Velocità media di guida del ciclo di prova per i veicoli leggeri armonizzato a livello mondiale (WLTC) [km/h]
V_{pe}	— Consumo di energia effettiva [l/kWh]
share _c	— % della durata per gruppo di velocità in ciascuna classe di veicolo
$\frac{\partial C_{CO_2}}{\partial P_{EI}}$	— Sensibilità dei risparmi di CO ₂ calcolati rispetto al consumo energetico delle luci a LED
$\frac{\partial C_{CO_2}}{\partial K_{CO_2}}$	— Sensibilità dei risparmi di CO ₂ calcolati rispetto al coefficiente di correzione del CO ₂
η_A	— Efficienza dell'alternatore [-]
η_{DCDC}	— Efficienza del convertitore CC-CC [-]

Pedici

L'indice c) si riferisce al numero della classe del sistema di fari direzionali anteriori del campione

L'indice i) si riferisce a ciascuna luce del veicolo

L'indice j) si riferisce alla misurazione del campione

L'indice t) si riferisce a ciascun numero di misurazioni di T

3. CONDIZIONI DI PROVA

Le condizioni di prova devono soddisfare le prescrizioni dei regolamenti UN/ECE n. 4 ⁽¹⁾, 6 ⁽²⁾, 7 ⁽³⁾, 19 ⁽⁴⁾, 23 ⁽⁵⁾, 38 ⁽⁶⁾, 48 ⁽⁷⁾, 100 ⁽⁸⁾, 112 ⁽⁹⁾, 119 ⁽¹⁰⁾ e 123 ⁽¹¹⁾. Il consumo di energia è determinato in riferimento al punto 6.1.4 del regolamento UN/ECE n. 112, e all'allegato 10, punti 3.2.1 e 3.2.2, dello stesso regolamento.

⁽¹⁾ GUL 4 del 7.1.2012, pag. 17.

⁽²⁾ GUL 213 del 18.7.2014, pag. 1.

⁽³⁾ GUL 285 del 30.9.2014, pag. 1.

⁽⁴⁾ GUL 250 del 22.8.2014, pag. 1.

⁽⁵⁾ GUL 237 del 8.8.2014, pag. 1.

⁽⁶⁾ GUL 148 del 12.6.2010, pag. 55.

⁽⁷⁾ GUL 323 del 6.12.2011, pag. 46.

⁽⁸⁾ GUL 302 del 28.11.2018, pag. 114.

⁽⁹⁾ GUL 250 del 22.8.2014, pag. 67.

⁽¹⁰⁾ GUL 89 del 25.3.2014, pag. 101.

⁽¹¹⁾ GUL 222 del 24.8.2010, pag. 1.

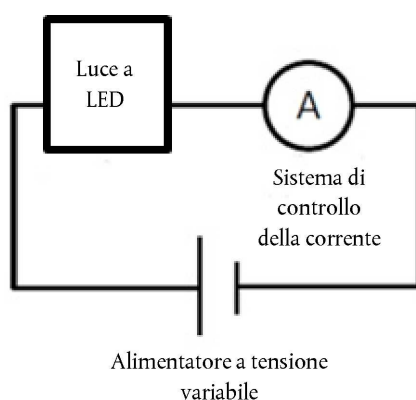
Per il sistema AFS a fascio anabbagliante che rientra in almeno due delle classi C, E, V o W di cui al regolamento UN/ECE n. 123, a meno che non sia stato concordato con il servizio tecnico che la classe C è l'intensità luminosa rappresentativa/media dei LED destinati al veicolo, le misurazioni del consumo energetico vanno effettuate all'intensità di LED di ciascuna classe (P_c), quale definita nel regolamento UN/ECE n. 123. Se la classe C è l'intensità rappresentativa/media dei LED destinati al veicolo, le misurazioni del consumo sono effettuate con le stesse modalità utilizzate per qualsiasi altra luce a LED per l'illuminazione esterna inclusa nella combinazione.

Apparecchiatura di prova

Si utilizzano le apparecchiature seguenti, come illustrato nella figura sotto:

- un'unità di alimentazione (ossia, un alimentatore a tensione variabile);
- due multimetri digitali, uno per misurare la corrente continua, l'altro per misurare la tensione di corrente continua. La figura sotto illustra una possibile configurazione dell'apparecchiatura di prova in cui il multimetro per misurare la corrente continua è integrato nell'unità di alimentazione.

Configurazione di prova



Misurazioni e determinazione dei risparmi di energia

Per ciascuna luce LED efficiente per l'illuminazione esterna inclusa nella combinazione, la misurazione della corrente è effettuata come illustrato nella figura a una tensione di 13,2 V. I moduli LED attivati da un congegno elettronico di regolazione della sorgente luminosa sono misurati in base alle istruzioni del richiedente.

Il costruttore può chiedere che siano eseguite altre misurazioni della corrente a tensioni diverse. In tal caso, il costruttore trasmette all'autorità di omologazione una documentazione certificata riguardo la necessità di eseguire le ulteriori misurazioni in questione. Le misurazioni della corrente a ciascuna di queste tensioni aggiuntive sono effettuate consecutivamente almeno cinque volte. L'esatta tensione installata e la corrente misurata sono registrate al quarto decimale.

Il consumo energetico è determinato moltiplicando la tensione installata per l'intensità della corrente misurata. Si calcola il consumo energetico medio di ciascuna luce a LED efficiente per l'illuminazione esterna ($\overline{P_{E_L}}$). Ogni valore è espresso al quarto decimale. Quando vengono utilizzati un motore passo-passo o una centralina elettronica per l'alimentazione delle luci LED, il carico elettrico di questa componente deve essere escluso dalla misurazione.

Misurazioni aggiuntive per il sistema di fari direzionali anteriori (AFS) a fascio anabbagliante

Tabella 1

Classi del sistema AFS a fascio anabbagliante

Classe	Cfr. il punto 1.3 e la nota a piè di pagina n. 2 del regolamento UN/ECE n. 123	% di intensità del LED	Modalità di attivazione (*)
C	Fascio anabbagliante di base (campagna)	100 %	50 km/h < velocità < 100 km/h o se nessun modo di un'altra classe di fasci anabbaglianti è attivato (V, W, E)

Classe	Cfr. il punto 1.3 e la nota a piè di pagina n. 2 del regolamento UN/ECE n. 123	% di intensità del LED	Modalità di attivazione (*)
V	Città	85 %	Velocità < 50 km/h
E	Autostrada	110 %	Velocità >100 km/h
W	Condizioni meteorologiche sfavorevoli	90 %	Tergicristallo attivo per > 2min

(*) Le velocità di attivazione devono essere controllate per ciascun veicolo ai sensi del regolamento UN/ECE n. 48, sezione 6, capitolo 6.22, punti 6.22.7.4.1 (classe C), 6.22.7.4.2 (classe V), 6.22.7.4.3 (classe E), 6.22.7.4.4 (classe W).

Quando sono necessarie le misurazioni del consumo energetico all'intensità LED di ciascuna classe, dopo aver effettuato le misurazioni di ciascun P_c , il consumo energetico del sistema AFS a fascio anabbagliante (P_{EiAFS}) è calcolato come una media ponderata del consumo energetico del LED nelle classi di velocità del ciclo WLTC, mediante la formula 1 riportata qui di seguito.

Formula 1

$$P_{EiAFS} = \sum_{c=1}^c \text{WLTC_share}_c \cdot \bar{P}_c$$

in cui:

\bar{P}_c è il consumo energetico (media delle misurazioni n) per ciascuna classe;

WLTC_share_c è la percentuale della durata del ciclo WLTC per gruppo di velocità in ciascuna classe (durata totale del WLTC: 1 800 s):

Tabella 2

Classe di velocità	Durata	(%)
< 50 km/h:	1 058 s	0,588 (58,8 %)
50 ± 100 km/h	560 s	0,311 (31,1 %)
> 100 km/h	182 s	0,101 (10,1 %)

Quando il sistema AFS a fascio anabbagliante comporta solo 2 classi che non coprono tutte le velocità del ciclo WLTC (ad esempio C e V), la ponderazione del consumo energetico della classe C deve includere anche la durata del ciclo WLTC non coperta dalla 2ª classe (ad esempio, la durata «t» della classe C = 0,588 + 0,101).

I risparmi energetici di ciascuna luce LED efficiente per l'illuminazione esterna (ΔP_i) ottenuti sono calcolati mediante la formula 2 riportata qui di seguito:

Formula 2

$$\Delta P_i = P_{B_i} - \bar{P}_{Ei}$$

in cui il consumo energetico della luce corrispondente del veicolo di riferimento è definito nella tabella 3:

Tabella 3

Consumo energetico dei differenti tipi di luci del veicolo di riferimento

Luce del veicolo	Potenza elettrica totale (P_B) [W]
Proiettore anabbagliante	137
Proiettore abbagliante	150

Luce del veicolo	Potenza elettrica totale (P _e) [W]
Luce di posizione anteriore	12
Luce di illuminazione della targa	12
Proiettore fendinebbia anteriore	124
Proiettore fendinebbia posteriore	26
Indicatore di direzione anteriore	13
Indicatore di direzione posteriore	13
Luce di retromarcia	52
Luce d'angolo	44
Luce di curva statica	44

4. CALCOLO DEI RISPARMI DI CO₂ E MARGINE STATISTICO

4.1. Calcolo dei risparmi di CO₂

Il risparmio complessivo di CO₂ del dispositivo di illuminazione è calcolato in funzione del gruppo propulsore specifico del veicolo (ossia convenzionale o NOVC-HEV).

4.1.1. Veicoli convenzionali (unicamente motore a combustione interna)

I risparmi di CO₂ sono calcolati mediante la formula 3 riportata qui di seguito:

Formula 3

$$C_{CO_2} = \left(\sum_{i=1}^m \Delta P_i \cdot UF_i \right) \cdot \frac{V_{pe}}{\eta_A} \cdot \frac{CF}{v}$$

In cui:

v: velocità media di guida nel ciclo WLTC [km/h], pari a 46,60 km/h

η_A: efficienza dell'alternatore, pari a 0,67

V_{pe}: consumo di potenza effettiva quale definito nella tabella 4

Tabella 4

Consumo di potenza effettiva

Tipo di motore	Consumo di potenza effettiva (V _{pe}) [l/kWh]
Benzina	0,264
Benzina turbo	0,280
Gasolio	0,220

CF: Fattore di conversione (l/100 km) - (g CO₂/km) [gCO₂/l] quale definito nella tabella 5:

Tabella 5

Fattore di conversione dei carburanti

Tipo di carburante	Fattore di conversione (l/100 km) - (g CO ₂ /km) (CF) [gCO ₂ /l]
Benzina	2 330
Gasolio	2 640

UF_i: Fattore di utilizzazione delle luci del veicolo [-] quale definito nella tabella 6.

Tabella 6

Fattore di utilizzazione delle diverse luci del veicolo

Luce del veicolo	Fattore di utilizzazione (UF) [-]
Proiettore anabbagliante	0,33
Proiettore abbagliante	0,03
Luce di posizione anteriore	0,36
Luce di illuminazione della targa	0,36
Proiettore fendinebbia anteriore	0,01
Proiettore fendinebbia posteriore	0,01
Indicatore di direzione anteriore	0,15
Indicatore di direzione posteriore	0,15
Luce di retromarcia	0,01
Luce d'angolo	0,076
Luce di curva statica	0,15

4.1.2. Veicoli ibridi (unicamente NOVC-HEV)

I risparmi di CO₂ sono calcolati mediante la formula 4 riportata qui di seguito:

Formula 4

$$C_{CO_2} = \frac{\sum_{i=1}^m \Delta P_i \cdot UF_i}{v \cdot \eta_{DCDC}} \cdot K_{CO_2}$$

in cui:

η_{DCDC} : efficienza del convertitore CC-CC

K_{CO_2} : coefficiente di correzione del CO₂ $\left[\left(\frac{gCO_2}{km} \right) / \left(\frac{Wh}{km} \right) \right]$, quale definito all'allegato XXI, suballegato 8, appendice 2, punto 2.2, del regolamento (UE) 2017/1151.

L'efficienza del convertitore CC-CC (η_{DCDC}) è valutata tenendo conto dell'architettura adeguata del veicolo, come indicato nella tabella 7:

Tabella 7

Fattore di utilizzazione delle diverse luci del veicolo

#	Architettura	η_{DCDC}
1	Luci collegate in parallelo alla batteria a bassa tensione (luci alimentate direttamente dalla batteria ad alta tensione attraverso convertitore CC-CC)	0,xx
2	Luci collegate in serie dopo la batteria a bassa tensione e la batteria a bassa tensione collegata in serie alla batteria ad alta tensione	1
3	Le batterie ad alta tensione e a bassa tensione hanno esattamente la stessa tensione (12V, 48V,...) delle luci	1

Nel caso dell'architettura #1 l'efficienza del convertitore CC-CC (η_{DCDC}) è il valore più elevato risultante dalle prove di efficienza eseguite nell'intervallo delle correnti elettriche operative. L'intervallo di misurazione deve essere pari o inferiore al 10 % dell'intervallo delle correnti elettriche operative.

4.2. Calcolo del margine statistico

Il margine statistico del dispositivo di illuminazione è calcolato in funzione del gruppo propulsore specifico del veicolo (convenzionale o NOVC-HEV).

4.2.1. Veicoli convenzionali (unicamente motore a combustione interna)

Occorre quantificare il margine statistico dei risultati del metodo di prova dovuto alle misurazioni. Per ciascuna luce LED efficiente per l'illuminazione esterna inclusa nel dispositivo di illuminazione la deviazione standard è calcolata mediante la formula 5:

Formula 5

$$s_{P_{Ei}} = \frac{S_{P_{Ei}}}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (P_{Eij} - \bar{P}_{Ei})^2}{n(n-1)}}$$

in cui:

n: numero di misurazioni del campione, pari almeno a 5

Se la deviazione standard del consumo energetico di ciascuna luce LED efficiente per l'illuminazione esterna ($s_{P_{Ei}}$) determina un errore nei risparmi di CO₂ ($s_{C_{CO_2}}$), l'errore in questione deve essere calcolato mediante la formula 6.

Formula 6

$$s_{C_{CO_2}} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial C_{CO_2}}{\partial P_{Ei}} \cdot s_{P_{Ei}} \right)^2} = \frac{V_{Pe} \cdot CF}{\eta_A \cdot v} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m (UF_i \cdot s_{P_{Ei}})^2}$$

4.2.2. Veicoli ibridi (unicamente NOVC-HEV)

Occorre quantificare il margine statistico dei risultati del metodo di prova dovuto alle misurazioni. Per ciascuna luce LED efficiente per l'illuminazione esterna inclusa nel dispositivo di illuminazione la deviazione standard è calcolata mediante la formula 7:

Formula 7

$$s_{\overline{P_{Eli}}} = \frac{s_{P_{Eli}}}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (P_{Eli_j} - \overline{P_{Eli}})^2}{n(n-1)}}$$

in cui:

n: numero di misurazioni del campione, pari almeno a 5

Il coefficiente di correzione delle emissioni di CO₂ K_{CO₂} è determinato in base a una serie di misurazioni T eseguite dal costruttore, conformemente all'allegato XXI, suballegato 8, appendice 2, punto 2.2, del regolamento (UE) 2017/1151. Per ciascuna misurazione devono essere registrati il bilanciamento elettrico durante la prova e le emissioni di CO₂ misurate.

Al fine di valutare l'errore statistico di K_{CO₂}, sono utilizzate tutte le combinazioni T senza ripetizioni delle misurazioni T-1 per estrapolare i diversi valori T di K_{CO₂} (ossia K_{CO_{2t}}). L'estrapolazione deve essere effettuata conformemente al metodo di cui all'allegato XXI, suballegato 8, appendice 2, punto 2.2, del regolamento (UE) 2017/1151.

La deviazione standard of K_{CO₂} (s_{k_{CO₂}}) è calcolata secondo la formula 8.

Formula 8

$$s_{k_{CO_2}} = \frac{s_{K_{CO_2}}}{\sqrt{T}} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (K_{CO_{2t}} - \overline{K_{CO_2}})^2}{T(T-1)}}$$

in cui:

T: numero di misurazioni effettuate dal costruttore per l'estrapolazione del K_{CO₂} a norma dell'allegato XXI, suballegato 8, appendice 2, punto 2.2, del regolamento (UE) 2017/1151.

$\overline{K_{CO_2}}$: media dei valori T di K_{CO_{2t}}

Se la deviazione standard del consumo energetico di ciascuna luce LED efficiente per l'illuminazione esterna (s_{P_{Eli1}}) e la deviazione standard del k_{CO₂} (s_{k_{CO₂}}) determinano un errore nei risparmi di CO₂ (s_{C_{CO₂}}), l'errore in questione deve essere calcolato mediante la formula 9.

Formula 9

$$s_{C_{CO_2}} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial C_{CO_2}}{\partial P_{Eli_i}} \cdot s_{P_{Eli_i}} \right)^2 + \left(\frac{\partial C_{CO_2}}{\partial K_{CO_2}} \cdot s_{k_{CO_2}} \right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{K_{CO_2}}{v \cdot \eta_{DCDC}} \right)^2 \cdot \sum_{i=1}^m (UF_i \cdot s_{P_{Eli_i}})^2 + \left(\sum_{i=1}^m s_{P_{Eli_i}} \cdot UF_i \right)^2 \cdot \left(\frac{K_{CO_2}}{v \cdot \eta_{DCDC}} \right)^2}$$

4.3. Margine statistico per il sistema AFS a fascio anabbagliante

In presenza del sistema AFS a fascio anabbagliante, la formula 9 è adattata per tenere conto delle misurazioni supplementari necessarie.

Il valore dell'incertezza ($s_{PEI_{AFS}}$) da utilizzare per il sistema AFS a fascio anabbagliante è calcolato mediante le formule 10 e 11 riportate qui di seguito:

Formula 10

$$s_{\bar{P}_c} = \frac{s_{P_c}}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (P_{c_n} - \bar{P}_c)^2}{n(n-1)}}$$

Formula 11

$$s_{PEI_{AFS}} = \sqrt{\sum_{c=1}^C (WLTC_share_c \cdot s_{\bar{P}_c})^2}$$

in cui:

n: numero di misurazioni del campione, pari almeno a 5

\bar{P}_c : media dei valori n di P_c

5. ARROTONDAMENTO

Il valore calcolato dei risparmi di CO₂ (C_{CO_2}) e il margine statistico del risparmio di CO₂ ($s_{c_{CO_2}}$) sono arrotondati al massimo al secondo decimale.

Ciascun valore utilizzato per il calcolo dei risparmi di CO₂ può essere applicato senza arrotondamenti o arrotondandolo al numero minimo di decimali che consente di ottenere un impatto combinato di tutti i valori arrotondati sui risparmi inferiore a 0,25 g CO₂/km.

6. SIGNIFICATIVITÀ STATISTICA

Per ciascun tipo, variante e versione di un veicolo provvisto del sistema di illuminazione LED efficiente occorre dimostrare che l'incertezza dei risparmi di CO₂ calcolati applicando la formula 6 o la formula 9 non è superiore alla differenza tra il risparmio complessivo di CO₂ e la soglia minima di riduzione di cui all'articolo 9, paragrafo 1, del regolamento di esecuzione (UE) n. 725/2011 della Commissione (cfr. formula 12).

Formula 12

$$MT < C_{CO_2} - s_{c_{CO_2}}$$

in cui:

SM: soglia minima di riduzione [g CO₂/km]

C_{CO_2} : risparmi complessivi di CO₂ [g CO₂/km]

$s_{c_{CO_2}}$: deviazione standard dei risparmi complessivi di CO₂ [g CO₂/km]

Quando i risparmi complessivi delle emissioni di CO₂ del sistema di illuminazione LED efficiente, determinati applicando la metodologia di prova di cui al presente allegato, sono inferiori alla soglia di riduzione specificata nell'articolo 9, paragrafo 1, lettera b), del regolamento di esecuzione (UE) n. 725/2011, si applica l'articolo 11, paragrafo 2, secondo comma, dello stesso regolamento.