

# POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Energetica e Nucleare**

Tesi di Laurea Magistrale

**Soluzioni tecniche per la ricezione dei crediti europei per la  
riduzione delle emissioni della CO<sub>2</sub>: incapsulamento del motore e sue  
applicazioni**



**Relatore**

prof. Carlo Marco Masoero

**Candidato**

Michaela Blandini

**Tutor aziendale FCA**

Ing. Matteo Gautero



Settembre 2018

## Sommario

0. Introduzione	5
1. Background	7
1.1. Le azioni della comunità internazionale - Procedimenti normativi	18
1.1.1. Protocollo di Kyoto	21
La Strategia Europea	24
1.1.2. Cop18 a Doha e Cop21 di Parigi	26
1.1.3. National Inventory Report 2017	27
2. Regolamentazione	37
2.1. Regolamento (EC) No 443/2009	37
2.2. Regolamento (EU) No 510/2011	41
2.3. Eco-innovazioni	42
2.3.1. Classi di potenziali tecnologie ecoinnovative	45
2.4. Il ciclo di prova	47
2.5. Procedura di calcolo	48
2.5.1. Metodologia	49
3. Sistema di accumulo di energia: accumulo di calore del motore	51
4. Che cosa è l'Incapsulamento del motore?	53

4.1.	<i>Incapsulamento sotto cofano</i>	53
4.2.	<i>Incapsulamento del corpo motore</i>	54
4.3.	<i>Materiali usati</i>	55
5.	<i>Applicazione dell'incapsulamento del motore su vettura</i>	59
5.1.	<i>Inizio dei test</i>	63
5.1.1.	<i>Prova su vettura n°1</i>	63
5.1.2.	<i>Prova su vettura n°2</i>	65
5.1.2.1	<i>Prova nella cella di Mirafiori</i>	70
5.1.2.2.	<i>Prova nella cella di Orbassano</i>	76
5.1.2.3	<i>Confronto tra prova a Mirafiori e prova ad Orbassano</i>	82
6.	<i>Conclusioni</i>	84
	<i>Indice</i>	87
	<i>Indice delle tabelle</i>	87
	<i>Indice delle figure</i>	87
	<i>Bibliografia</i>	90

*Un giorno ti porterò  
In una città di mare  
Dove sulla spiaggia  
Si trovano tutte le poesie  
Scritte e poi stracciate  
La meravigliosa solitudine  
Delle persone tristi  
I capelli annodati delle ragazze  
Milioni di impronte sulla riva  
Solo per mostrarti che il mondo  
È pieno di poesia  
Le poesie più belle  
Sono le persone*

*(Jake Matthews)*

*A chi c'è stato, sempre, e a me.*

## 0. Introduzione

**L**'inquadramento di suddetta argomentazione si inserisce in ambito europeo sotto due regolamentazioni che riportando le linee guide tecniche da seguire. Si sta parlando del regolamento (EC) No 443/2009 e del regolamento (EU) No 510/2011. L'articolo 12 del regolamento (EC) No 443/2009 e del regolamento (EU) No 510/2011 prevede che i fornitori o i produttori possono ridurre le loro emissioni di CO<sub>2</sub> utilizzando tecnologie innovative, allo scopo di rientrare nello specifico target di emissioni di CO<sub>2</sub>.

Alla base di questo studio vi è un'analisi approfondita su quali sono stati i vari passaggi che hanno portato oggi i paesi industrializzati a collaborare per il raggiungimento di un obiettivo comune: la salvaguardia dell'ambiente. Dall'istituzione della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (ben nota come Accordi di Rio), al protocollo di Kyoto, fino alla Cop21 svoltasi a Parigi per la determinazione degli obiettivi comunitari fino al 2020 e fino al 2050: un aumento massimo di +2 °C della temperatura media globale (rispetto all'età pre-industriale).

L'Europa decise di impegnarsi con la comunità globale attuando il "pacchetto clima 20-20-20"; cioè un insieme di misure pensate per il periodo successivo al termine del Protocollo di Kyoto, (scadenza al termine del 2012). Il "pacchetto", contenuto nella Direttiva 2009/29/CE, è entrato in vigore nel giugno 2009 e sarà valido dal gennaio 2013 fino al 2020. In estrema sintesi il contenuto del pacchetto clima è il seguente: riduzione delle emissioni di gas serra del 20 %, aumento fino al 20 % della quota di energia prodotta da fonti rinnovabili e miglioramento dell'efficienza energetica del 20 %: il tutto entro il 2020.

Per lo sviluppo della trattazione, l'attenzione si è concentrata soprattutto verso il settore dei trasporti, il quale rappresenta più di un quarto delle emissioni in Europa di gas serra e dal 1990 (anno di riferimento) ad oggi non ha mai presentato margini di miglioramento, anzi le sue emissioni sono aumentate del 20%.

Le emissioni prodotte da questo settore sono la causa principale di inquinamento nelle città. Entro la metà del secolo, le emissioni di gas a effetto serra dovute al trasporto dovranno essere inferiori almeno del 60% rispetto a quelle del 1990 e proseguire saldamente verso lo zero.

In collaborazione con FCA e grazie alle strutture messe a disposizione, si sono potute applicare le regolamentazioni annunciate a determinati veicoli per testare l'efficacia dell'utilizzo di una nuova tecnologia in commercio: incapsulamento del motore attraverso materiali performanti termicamente e acusticamente per ridurre il consumo di combustibile e, dunque le emissioni di CO<sub>2</sub>.

Il concetto di fondo dalla quale si è partiti è che il calore è energia. Recuperare il calore disperso è un buon modo per ottenere un guadagno netto in termini di efficienza. Nonostante tutti i buoni sforzi nella gestione del calore, c'è ancora molto calore prezioso che va perso.

Ogni volta che il motore subisce un avviamento a freddo, che in genere significa un avvio vicino alla temperatura ambiente, vi è una quantità significativa di energia aggiuntiva richiesta (e quindi di carburante consumato). La ragione di ciò è che l'olio è più denso alle basse temperature, il che aumenta l'attrito dei componenti interni del motore e quindi la quantità di lavoro che deve eseguire. Un sistema di incapsulamento del vano motore consente di ridurre la perdita di calore dopo lo spegnimento del veicolo, isolandolo e quindi impedendo al motore di raffreddarsi troppo rapidamente, quando non è in funzione, contribuendo a ridurre il consumo di carburante e le emissioni.

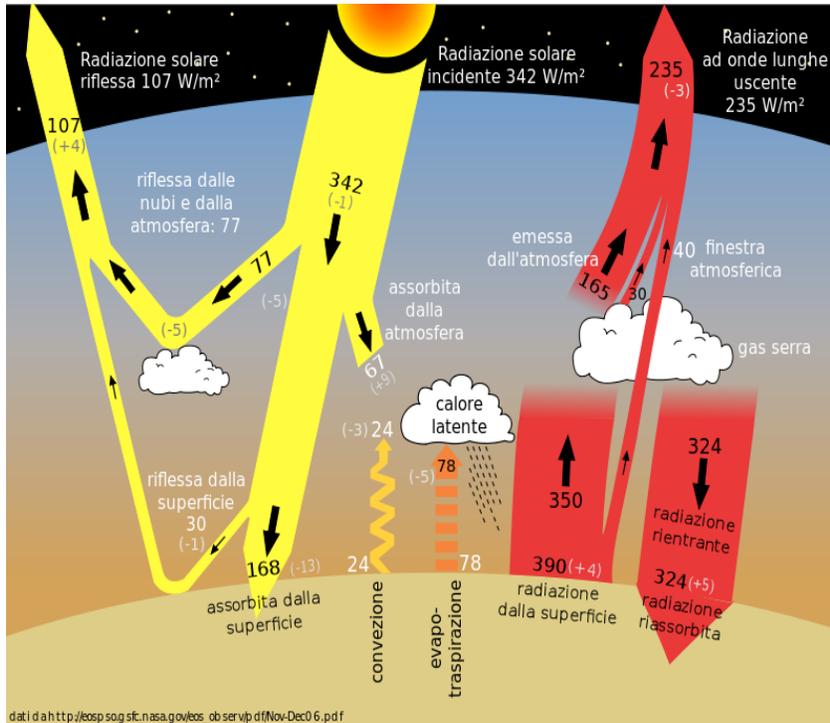
## 1. Background

*'Pinguini reali: colonie in pericolo per i cambiamenti climatici e la pesca industriale. Uno studio pubblicato da Nature rivela che l'habitat dei pinguini reali si restringe, costringendoli a spostarsi sempre più verso il Polo Sud in cerca di cibo.'* (Caputo, 2018). È questo il titolo di un articolo di EarthDay.it, il quale continua così: *"Più del 70% della popolazione globale di pinguini reali potrà essere nulla più che un ricordo nel giro di poche decine di anni. Man mano che il riscaldamento globale spingerà questi uccelli marini a spostarsi verso Sud o, nella peggiore delle ipotesi, a scomparire"*. È un modo semplice ed forse incisivo per spiegare il background nel quale si inserisce lo sviluppo di questa tesi.

Dunque di cosa stiamo parlando? Il grande problema del secolo, il fardello sulla coscienza del genere umano è il **riscaldamento globale** o **cambiamento climatico**. In generale il cambiamento climatico comprende più genericamente le fasi di raffreddamento globale e la modifica dei regimi di precipitazione. Infatti la paleoclimatologia, cioè una branca delle scienze della terra e della climatologia che analizza l'andamento del clima nelle epoche passate, ci dice che la Terra attraversa continue fasi di cambiamenti climatici, passando dalle Ere Glaciali a quelle Interglaciali. Dunque, la Convenzione quadro delle Nazioni Unite (United Nations Framework Convention on Climate Change o UNFCCC) fa una piccola distinzione sui cambiamenti climatici chiamando mutamenti climatici quelli prodotti dall'uomo, e usa il termine variabilità climatica per quelli generati da cause naturali. (Wikipedia, Cambiamento climatico, 2018).

Quando oggi si parla di riscaldamento globale si fa riferimento ai mutamenti climatici del XX secolo, dunque all'innalzamento della temperatura media globale della superficie della Terra a causa dell'aumento dei gas serra nell'atmosfera. Secondo il quarto rapporto del Intergovernmental Panel on

Climate Change (IPCC) del 2007 la **temperatura media della superficie terrestre è aumentata di  $0.74 \pm 0.18$  °C** durante il XX secolo. (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).



**Figura 1** Scambi radiativi sulla superficie terrestre

I **gas serra** sono dei gas presenti nell'atmosfera e sono **vapore acqueo (H<sub>2</sub>O)**, **anidride carbonica (CO<sub>2</sub>)**, **metano (CH<sub>4</sub>)**, **protossido di azoto (N<sub>2</sub>O)**, **ozono (O<sub>3</sub>)** e **esafluoruro di zolfo (SF<sub>6</sub>)**. Oltre a questi gas di origine sia naturale che antropica, esistono molti altri gas di origine esclusivamente antropica, gli **alocarburanti**, come i **clorofluorocarburanti (CFC)**. Tutti

questi gas vengono chiamati gas serra perché sono trasparenti alla radiazione solare in entrata sulla Terra ma assorbono la radiazione infrarossa emessa dalla superficie del corpo celeste (caratterizzata da una lunghezza d'onda di circa 15 micron, maggiore della lunghezza d'onda della radiazione entrante). **Figura 1 Scambi radiativi sulla superficie terrestre**(Figura 1). Dunque, questo loro comportamento a specifiche lunghezze d'onda è responsabile del fenomeno noto come **'effetto serra'**, cioè quel fenomeno che causa l'aumento della temperatura dell'atmosfera e riduce le escursioni termiche che in assenza del fenomeno sarebbero molto più intense, in quanto il calore assorbito viene ceduto più lentamente verso l'esterno. Si valuta l'incidenza di un gas serra su questo fenomeno considerando sia la forzante radiativa del gas, sia la sua concentrazione atmosferica, sia la sua permanenza in atmosfera. Per

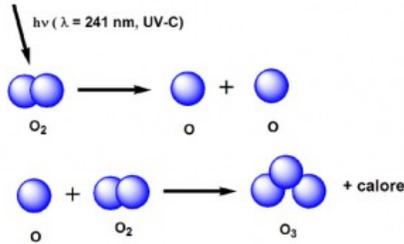
le analisi in materia si usa un indice, il **global warming potential (GWP)**, in italiano potenziale di riscaldamento globale, il quale esprime in contributo all'effetto serra di un gas serra paragonato all'effetto della CO<sub>2</sub>, con potenziale di riferimento pari ad 1. Ogni valore di GWP è calcolato per uno specifico intervallo di tempo (in genere 20, 100 o 500 anni).

I principale gas serra responsabili del riscaldamento globale sono anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) prodotte dall'uomo attraverso varie attività, deforestazione, utilizzo di combustibili fossili come petrolio e carbone, allevamenti intensivi.

L'**anidride carbonica** è responsabile del 5%-20% dell'effetto serra naturale, infatti i serbatoi naturali di CO<sub>2</sub> sono oceani, sedimenti fossili, biosfera e atmosfera (gran parte dell'anidride carbonica degli ecosistemi viene immessa nell'atmosfera). Parte della CO<sub>2</sub> viene assimilata da un certo numero di organismi, ad esempio le piante, attraverso la fotosintesi clorofilliana, che combinano anidride carbonica e acqua in presenza di energia solare e producono sostanze organiche (principalmente carboidrati, fondamentali per la vita della pianta) e ossigeno che liberano nell'atmosfera. Gli oceani assorbono e rilasciano anidride carbonica in quanto è solubile in acqua, mantenendo dunque equilibrata la concentrazione di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera. Questo bilancio naturale, in assenza di attività antropica, in prima approssimazione, è sempre in pareggio. Tuttavia, per quanto piccole rispetto al totale, le emissioni antropiche sono sufficienti a squilibrare l'intero sistema. L'anidride carbonica prodotta dall'uomo deriva dall'uso intensivo di combustibili fossili, dai fenomeni di deforestazione e dall'uso improprio dei terreni agricoli. (Wikipedia, Gas serra, 2018)

Il **metano** è considerato responsabile per l'8% e deriva dalla degradazione di materiale organico in ambiente anaerobico. Le principali fonti di metano sono i terreni paludosi (25-170 Tg annui; 1 Tg o teragrammo =  $1 \times 10^{12}$  grammi), le risaie (40-179 Tg), la fermentazione del concime organico (40-110

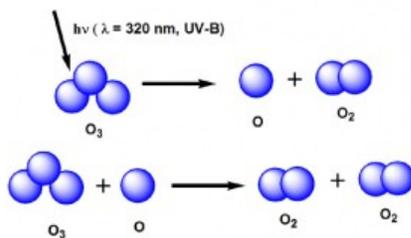
Tg), la degradazione in ambiente riducente della biomassa (30-110 Tg), la produzione e la distribuzione di gas naturale (20-50 Tg), l'estrazione del carbone (10-40 Tg) e le termiti (5-45 Tg) (perdonami ma cos



**Figura 3 Fotosintesi dell'ozono**

intendi per termiti?), per un incremento dello 0.6% annuo. È inoltre opportuno notare il forte aumento delle emissioni di metano da parte delle discariche; inoltre si è avuto un aumento delle emissioni provenienti dal settore energetico, e una diminuzione di quelle del settore agricolo. (Wikipedia, Gas serra, 2018). Quando si parla di **Ozono (O<sub>3</sub>)** si fa riferimento solitamente

ad un fenomeno noto come Buco dell'ozono o più nello specifico 'depauperamento dell'ozono'. Questo gas raggiunge la sua concentrazione massima negli strati alti dell'atmosfera concentrandosi soprattutto a

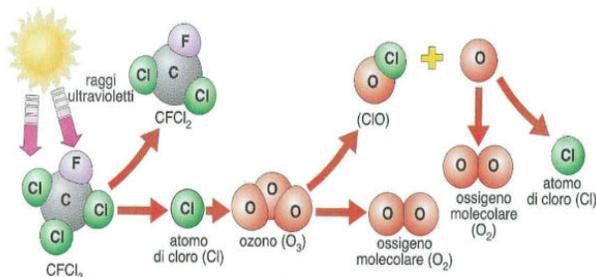


**Figura 2 Fotodissociazione dell'ozono**

25 km di altezza, nell'ozonosfera (strato della stratosfera compresa tra i 25 e i 30 km dalla superficie terrestre). Sotto questa quota le concentrazioni diminuiscono rapidamente. Nonostante sia classificato tra i gas serra, a differenza di questi l'ozono assorbe e trattiene parte dell'energia

proveniente direttamente dal Sole. Nella stratosfera l'ozono è prezioso per la capacità di schermare in maniera praticamente completa la radiazione ultravioletta, infatti la presenza di questa elevata concentrazione di ozono deriva proprio dalla presenza dell'intensa radiazione UV di origine solare. La radiazione solare provoca la dissociazione dell'ossigeno presente, rarefatto, in atomi che si combinano con le molecole secondo le reazioni  $O_2+h\nu \rightarrow 2O$  ,  $O+O_2 \rightarrow O_3$  (fotosintesi) Figura 3. La velocità di produzione cresce con l'altitudine. L'ozono che così si forma, a causa del suo forte potere di assorbimento delle radiazioni UV, subisce una decomposizione  $O_3+ h\nu \rightarrow O_2+O$  ,  $O_3+O \rightarrow 2O_2$  (fotodissociazione) Figura 2, il tempo di dimezzamento diminuisce con la quota. Si verifica così un equilibrio tra l'ozono che si forma e quello che si decompone. Il 'buco dell'ozono' è stato scoperto

tramite osservazioni dalla stazione di Halley Bay, in Antartide, dagli studiosi del British Antarctic Survey.



**Figura 4** Distruzione dell'ozono da parte dei CFC

Queste osservazioni hanno messo in evidenza che, a partire dagli anni '70, si era verificata una progressiva diminuzione del contenuto colonnare di  $\text{O}_3$  nella regione antartica. I dati raccolti indussero ben presto a individuare

come responsabili delle sostanze capaci di spostarsi dall'atmosfera alla stratosfera e che avessero la possibilità di reagire con l'ozono stratosferico e di distruggerlo. Le sostanze imputate furono i **clorofluorocarburi CFC**, gas composti di cloro, fluoro e carbonio, usati per le bombolette spray, nei circuiti refrigeranti dei frigoriferi e dei condizionatori d'aria e come schiumogeni per la fabbricazione di materiali come il polistirolo espanso. Quando un CFC raggiunge quelle altitudini viene decomposto dalle forti radiazioni UV presenti, liberando atomi di Cloro. Il Cloro messo in libertà dalla fotolisi consuma ozono per formare  $\text{ClO}$ :  $\text{Cl} + \text{O}_3 \rightarrow \text{ClO} + \text{O}_2$ . Il  $\text{ClO}$  si combina con l'ossigeno atomico messo in libertà dalla reazione di fotosintesi dell'ozono per riformare nuovamente atomi di Cl che riprendono il ciclo di distruzione dell'ozono:  $\text{ClO} + \text{O} \rightarrow \text{Cl} + \text{O}_2$ . In questo modo ogni atomo di Cloro può distruggere molte molecole di ozono. Questo detto si ripete per i composti con altri alogeni (Bromo, Fluoro). Dunque per questi tipi di gas, per tenere conto del diverso ruolo nel depauperamento dell'ozono, si ricorre all'indice ODP (Ozono Depletion Potential) ovvero potenziale di depauperamento dell'ozono di ogni singola sostanza in rapporto al potenziale del triclorofluorometano (R11),

In un quadro molto più ampio, allontanandoci dalla definizione esatta di gas serra, i gas che vengono imputati come responsabili dell'**inquinamento atmosferico** (cioè qualsiasi sostanza direttamente o indirettamente immessa dall'uomo nell'aria che può avere effetti nocivi sulla salute umana o sull'ambiente nel complesso) sono **Biossido di Zolfo ( $\text{SO}_2$ )**, **Biossido di Azoto o Ossidi di Azoto ( $\text{NO}_2$ ,**

**NO<sub>x</sub>**), Monossido di Carbonio (CO), **Ozono (O<sub>3</sub>)**, **particolato fine (PM10)**, e particelle sospese. L'anidride carbonica non è considerata tra gli inquinamenti atmosferici perché affinché si abbiano sintomi di asfissia occorre che si raggiunga il 16% di aria respirabile. In Europa le emissioni di molti inquinanti sono diminuite molto negli ultimi decenni, migliorando la qualità dell'aria. Purtroppo in molte città le concentrazioni di inquinanti sono ancora molto elevate. *‘L'inquinamento atmosferico sta danneggiando la salute umana e gli ecosistemi. Larghe fasce della popolazione non vivono in un ambiente sano, in base alle norme attuali. Per imboccare un cammino sostenibile, l'Europa dovrà essere ambiziosa e andare oltre la legislazione attuale.’* Si esprime così Hans Bruyninckx, direttore esecutivo dell'AEA (Agenzia Europea dell'Ambiente).

Ma quali sono le principali cause di inquinamento, sia di natura antropica che naturale?

- Utilizzo dei combustibili fossili per la produzione di energia elettrica, per i trasporti, per l'industria e per il riscaldamento delle abitazioni;
- Processi industriali e utilizzo di solventi, come nell'industria chimica e mineraria;
- Agricoltura;
- Trattamento dei rifiuti;
- Eruzioni vulcaniche, polveri, emissioni di composti organici volatili (VOC) delle piante.

Legambiente, con il rapporto scientifico *‘Mal'aria 2018’* (Andrea Minutolo, Giorgio Zampetti – Ufficio scientifico Legambiente, 2018), ha scattato una fotografia allarmante sulla situazione attuale italiana. Grazie al lavoro dell'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) svolto annualmente, è possibile avere un quadro nazionale delle emissioni prodotte dai diversi tipi di settori, determinando il peso di ciascuno di essi per ogni tipologia di inquinante. Nella figura seguente sono

indicati gli inquinanti in funzione delle diverse cause che li hanno prodotti. Sono: ossidi di zolfo (SOx), ossidi di azoto (NOx), particolato atmosferico (PM10) e ammoniaca (NH<sub>3</sub>).

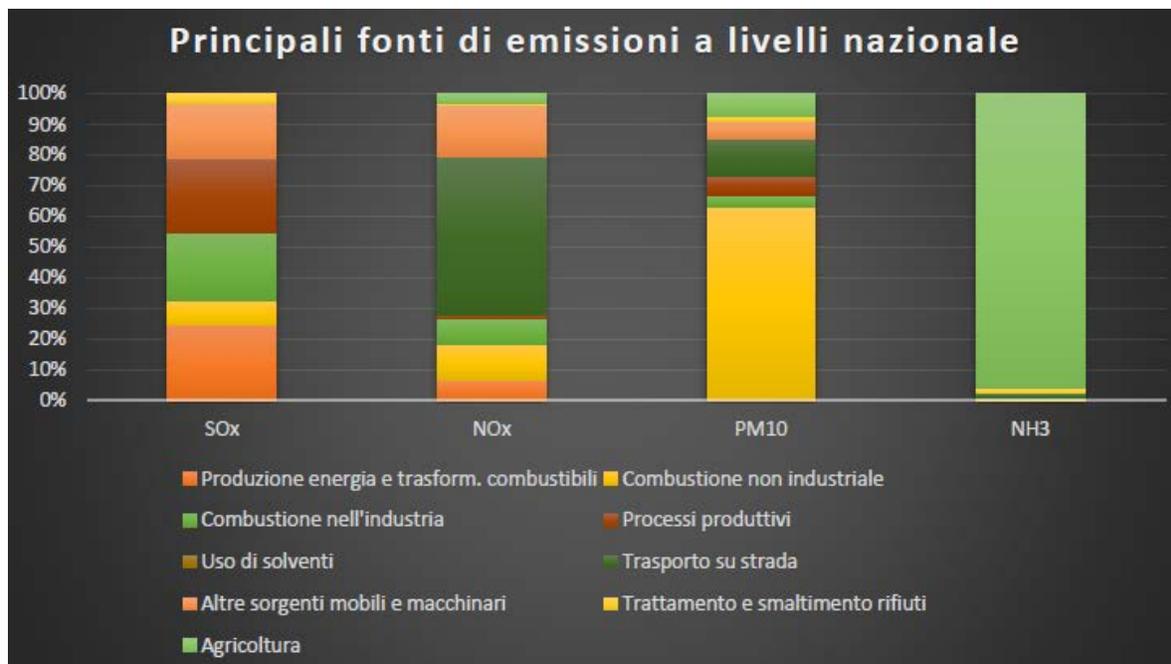


Figura 5 Principali fonti di emissioni a livelli nazionale

Nella seguente tabella, tratta sempre da Mal'aria 2018 dai dati di ISPRA sulle emissioni, si può facilmente intuire quale categoria influisce maggiormente sulle emissioni dei vari inquinanti.

Per gli **SOx** si notano un 24% derivante dalla produzione di energia e dalla trasformazione di combustibili, un altro 24% imputabile ai processi produttivi e un 22% alla combustione dell'industria, inoltre il 18% di emissioni di ossidi di azoto deriva dalle sorgenti mobili e macchinari, riferito al trasporto navale.

Per quanto riguarda gli **NOx** abbiamo subito un 52% di emissioni derivante da trasporto su strada (di cui i motori diesel sono tra le cause principali); altre fonti significative sono altre sorgenti mobili e macchinari (17%) e la combustione non industriale (11%) ossia processi di combustione per produzione di calore non industriali.

Per i **PM10** la combustione non industriale è responsabile del 63% sul totale delle emissioni di particolato atmosferico, seguito tra un lontano dal 12% del trasporto su strada.

Per ultima l'ammoniaca (**NH<sub>3</sub>**) viene emessa principalmente dall'agricoltura (96%).

2015	SOx		NOx		PM10		NH3	
	Gg	%	Gg	%	Gg	%	Gg	%
Produzione energia e trasform. Combustibili	30	24%	52	7%	1	1%	0,2	0,1%
Combustione non industriale	10	8%	87	11%	112	63%	1,7	0,4%
Combustione nell'industria	27	22%	65	9%	7	4%	0,7	0,2%
Processi produttivi	30	24%	9	1%	11	6%	0,5	0,1%
Uso di solventi	0	0%	0	0%	0,01	0%	0	0%
Trasporto su strada	0	0%	394	52%	22	12%	6,2	1,6%
Altre sorgenti mobili e macchinari	22	18%	129	17%	10	6%	0	0%
Trattamento e smaltimento rifiuti	4	3%	2	0%	3	2%	6,2	1,6%
Agricoltura	0	0%	25	3%	13	7%	378	96%
<b>Totale</b>	<b>123</b>	<b>100%</b>	<b>763</b>	<b>100%</b>	<b>179,01</b>	<b>100%</b>	<b>393,5</b>	<b>100%</b>

Fonte: ISPRA

**Tabella 1** Dati sulle emissioni nazionali dei principali inquinanti atmosferici, riferiti all'anno 2015, e suddivisi per categorie

I dati presentati, se riferiti ad un contesto urbano o regionale, mostrano naturalmente delle discordanze. Esempio: per il PM10 il distacco tra la percentuale di emissioni prodotte dalla combustione non industriale e il trasporto su strada diminuisce se si considerano città fortemente congestionate dal traffico come Milano per cui le due percentuali praticamente si invertono; invece per città in cui le industrie hanno un peso rilevante come Taranto e Aosta il particolato è emesso per la maggior parte dalle industrie stesse.

Per la trattazione è utile ora concentrarsi sulle **cause di inquinamento provocate dai veicoli**, dunque trasporto su strada e guida urbana. Automobili, camion e motorini oggi inquinano molto meno di venticinque anni fa (sono quelli che vengono classificati come Euro 0), ma dallo scandalo Dieselgate è emerso che alcune case produttrici hanno sviluppato sistemi atti a alterare le misurazioni effettuate dagli enti omologativi statali: in alcuni casi quindi l'effettivo inquinamento dell'autovettura non è stato valutato correttamente.



Cosa esce effettivamente dal tubo di scarico delle nostre vetture? Dalla combustione nel motore fino allo scarico, ogni automobile (o camion, o scooter...) emette in ambiente una miscela di sostanze, '**gas di scarico**'. Di questa miscela principalmente composta da azoto acqua e anidride carbonica, una percentuale è nociva per l'ambiente e, dunque, anche per l'uomo. La miscela velenosa è formata da **monossido di Carbonio (CO)**, **idrocarburi non combustibili (HC)**, **Ossidi di Azoto (NOx)**, **Ossidi di Zolfo (SOx)** e **di Particolato carbonioso (PMx)**.

Il **monossido di carbonio (CO)** è un gas incolore, inodore e insapore. Si forma durante i processi di combustione di sostanze organiche, quando questa è incompleta, per difetto di ossigeno o per le basse temperature. È un gas tossico e molto insidioso se inspirato, infatti il CO ha la proprietà di fissarsi all'emoglobina del sangue, impedendo il normale trasporto dell'ossigeno nelle varie parti del corpo. Gli organi più colpiti sono il sistema nervoso e il sistema cardiovascolare. Le emissioni di CO derivano principalmente dal trasporto stradale, infatti da un'analisi sulle fonti di emissioni di CO il trasporto veicolare pesa circa il 50% sugli altri. Nel corso degli anni si è avuta una fortissima riduzione di questo

inquinante dovuto in gran parte al rinnovo del parco veicolare e all'introduzione del trattamento dei gas esausti con convertitori catalitici a tre vie.

Gli **idrocarburi non combustibili (HC)** sono composti organici costituiti da carbonio (C) e idrogeno (H). Sono immagazzinatori di energia, cioè liberano energia quando vengono bruciati. Alcuni di essi sono però cancerogeni, come il composto aromatico Benzene ( $C_6H_6$ )

L'esposizione, anche per soli 15 minuti, a concentrazioni di **NOx** maggiori di 5 ppm determina tosse persistente e irritazione delle mucose delle vie aeree. Tra le varie fonti di inquinamento, gli NOx giocano un ruolo predominante nel trasporto stradale, infatti le emissioni derivano principalmente da questo settore e in seconda battuta dalle reazioni di combustione nelle centrali termoelettriche e nel riscaldamento domestico.

Il **biossido (SO<sub>2</sub>)** e il **triossido di zolfo (SO<sub>3</sub>)** sono i principali inquinanti atmosferici a base di zolfo. La principale fonte di inquinamento è costituita dalla combustione di combustibili fossili (carbone e derivati del petrolio) nei quali lo zolfo è presente come impurità. È un irritante per gli occhi, la gola e le vie respiratorie, un'esposizione prolungata può provocare naso-faringiti, tosse insistente, affaticamento e disturbi all'apparato sensoriale.

Ossidi di Azoto e ossidi di Zolfo sono i maggiori responsabili delle piogge acide, le quali acidificano sia i corpi idrici che il suolo. Nei suoli poveri di calcare gli inquinanti acidi possono provocare la liberazione di ioni metallici che risultano spesso tossici per le piante, e quindi indirettamente anche per l'uomo. Le nazioni più colpite sono quelle sulle quali, per effetto dei venti dominanti, si scaricano nubi acide prodotte anche in altri paesi. Il problema è particolarmente grave per il Canada che riceve piogge acide statunitensi, mentre in Europa quelle più colpite sono quelle scandinave. Le reazioni chimiche che interessano queste molecole sono:

$2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$  (anidride solforosa);  $\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_4$  (acido solforico);  $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$  (ioni solfati)

$2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HNO}_3 + \text{HNO}_2$  (acido nitroso+acido nitrico);  $\text{HNO}_3 \rightleftharpoons \text{NO}_3^- + \text{H}^+$   $\text{HNO}_2 \rightleftharpoons \text{NO}_2^- + \text{H}^+$  (ioni nitrati e nitriti)

Il **particolato sospeso** è costituito da tutto il materiale non gassoso presente in sospensione nell'aria, viene generato nel processo di combustione e portato in sospensione nell'aria dai gas di scarico. Diverso il livello di pericolosità per la salute umana, che dipende dal diametro medio delle particelle. Tre le classi principali: 1) diametro > 10µm: le particelle vengono filtrate dall'apparato respiratorio; 2) diametro 0,5µm-10µm: particelle con velocità di sedimentazione tale da favorire la loro deposizione sulle pareti degli alveoli polmonari; 3) diametro < 0.5µm: particelle che possono diffondere attraverso le pareti alveolari ed essere rimosse dai polmoni. Il particolato esercita sia un'azione chimica e sia un'azione fisica sull'apparato respiratorio, per l'effetto abrasivo esercitato dalle particelle sulle mucose. Le particelle più pericolose per la salute umana sono quelle comprese fra 0.5 e 10 µm di diametro (corrispondenti alla cosiddetta frazione respirabile del PM10), che determinano patologie acute e croniche a carico dell'apparato respiratorio (asma, bronchiti, allergia, tumori) e cardio-circolatorio (aggravamento dei sintomi cardiaci nei soggetti predisposti). Il particolato emesso dagli autoveicoli, essendo costituito da particelle carboniose, esercita anche un'azione cancerogena.

L'**ozono** nella troposfera è un inquinante secondario, ovvero si forma, a partire dalla presenza di alcuni inquinanti primari, a seguito di reazioni fotochimiche. Ad esempio reagisce con gli ossidi di azoto e con i composti organici volatili (VOC), che provengono dal traffico e dalle industrie, in presenza di luce solare. L'insieme dei prodotti di queste reazioni costituisce lo smog fotochimico, o smog estivo. È una nebbia ossidante di colore marrone, tipico delle grandi aree metropolitane e si forma nel periodo tra aprile e settembre, quando la radiazione solare diventa sempre più presente e costante. Gli effetti dell'ozono

troposferico sulla salute dipendono molto dalla concentrazione di ozono e di altri ossidanti fotochimici. Tali agenti causano irritazioni degli occhi e delle vie respiratorie. Le piante sono quelle più vulnerabili all'ozono.

### 1.1. Le azioni della comunità internazionale - Procedimenti normativi

Cosa ha deciso di fare, dunque, la comunità mondiale per affrontare queste tematiche? L'emergenza climatica è una drammatica realtà. Gli scienziati dell'**IPCC**, il gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (**Intergovernmental Panel on Climate Change**) fondato nel 1988 da due organismi delle Nazioni Unite, l'Organizzazione meteorologica mondiale (WMO) e il Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP) allo scopo di studiare il riscaldamento globale, dichiarano che non è più possibile continuare su questa strada.

I cosiddetti 'rapporti di valutazione' dell'IPCC, diffusi periodicamente, derivano da accordi mondiali quali la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici e il Protocollo di Kyoto che l'attua. Nel primo rapporto, nel 1990, l'IPCCC evidenziò il rischio di un riscaldamento globale con effetti sul clima a causa dell'aumento delle emissioni antropogeniche di gas serra, causato principalmente dall'uso di combustibile fossile

Ma quando si è iniziato effettivamente a trattare il riscaldamento globale come una cosa seria? Sfortunatamente è storia moderna, anzi più che moderna, infatti basta andare dietro solo di un paio di decine di anni. Correva l'anno 1992 quando si svolse la prima conferenza con i grandi capi della terra a Rio de Janeiro, il ben noto Summit della Terra. Precisamente in questa occasione nacque la **Convenzione**



United Nations  
Framework Convention on  
Climate Change

Figura 6 Logo UNFCCC

**delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici** (in inglese **United Nations Framework Convention on Climate Change** da cui

l'acronimo **UNFCCC** o **FCCC**), conosciuta anche come Accordi di Rio,

la quale è un accordo ambientale internazionale che ha come obiettivo quello di raggiungere 'la stabilizzazione delle concentrazioni dei gas serra in atmosfera a un livello abbastanza basso per prevenire interferenze antropogeniche dannose per il sistema climatico terrestre' (art. 2). L'UNFCCC fu aperto alle ratifiche il 9 maggio 1992 ed entrò in vigore il 21 marzo 1994, avendo ricevuto le ratifiche di più di 50 paesi. Come stipulato all'origine, l'accordo non poneva limiti obbligatori per le emissioni dei gas serra, legalmente era un accordo non vincolante, ma prevedeva che le parti firmatarie nelle cosiddette Cop (Conference of Parties) avrebbero dovuto porre degli obiettivi di riduzione delle emissioni.

L'accordo si basa sull'acquisita consapevolezza dei cambiamenti climatici e dell'influenza delle attività antropiche su tali cambiamenti e sul riscaldamento globale in atto, come dichiarato nel primo rapporto dell'IPCCC. Tra i principi cardine della convenzione (elencati nell'articolo 3), ci sono:

- la protezione del sistema climatico, e quindi la lotta ai cambiamenti climatici ed ai loro effetti avversi;
- la consapevolezza dei particolari bisogni e condizioni dei paesi in via di sviluppo, particolarmente vulnerabili nei confronti dei cambiamenti climatici;
- il fatto che la mancanza di una piena certezza scientifica non è una ragione per posporre misure di prevenzione e mitigazione.

I paesi firmatari sono suddivisi in tre gruppi:

- Paesi dell'Allegato I (Paesi industrializzati e paesi ex socialisti ad economia in transizione: 40 stati e l'Unione Europea)
- Paesi dell'Allegato II (Paesi industrializzati che sono 24, nazioni sviluppate che pagano per i costi dei PVS)

- Paesi in via di sviluppo.

I paesi industrializzati e quelli in via di transizione sono responsabili della stragrande maggioranza delle emissioni e sono dunque tenuti a ridurre le loro emissioni (in particolare di biossido di carbonio) di almeno il 5,2% rispetto al 1990. Se non possono farlo, devono acquistare crediti di emissione (carbon credits) o investire nella conservazione; al contrario posso guadagnare carbon credits esportando tecnologie pulite e cioè aiutando i PVS a evitare emissioni inquinanti. I paesi firmatari andranno incontro a sanzioni se mancheranno di raggiungere gli obiettivi. Sostanzialmente, ai fini dell'accordo e della comunicazione sulla realizzazione della convenzione, come prescritto nell'art. 12, questi paesi devono comunicare regolari report in cui sono descritte le politiche e le misure adottate per la riduzione delle emissioni; devono altresì comunicare l'inventario nazionale delle emissioni.

La Convenzione quadro sui cambiamenti climatici è stata ratificata in **Italia** nel 1994, con la legge n. 65 del 15/01/1994. L'ISPRA è responsabile della redazione dell'inventario nazionale delle emissioni di gas serra, attraverso la raccolta, l'elaborazione e la diffusione dei dati.

I paesi in via di sviluppo non hanno restrizioni immediate rispetto all'UNFCCC dato che l'inquinamento è fortemente correlato con la crescita industriale e dunque non si possono apportare dei vincoli sulle loro industrie e economia, in modo da non ostacolare il loro progresso socioeconomico. Inoltre non hanno



*Figura 7 | Don't Believe in Global Warming, Londra, 2011*

restrizioni per impedire la vendita dei loro crediti di emissione alle nazioni industrializzate per permettere a queste ultime di inquinare ulteriormente e per ottenere denaro e tecnologie dai paesi dell'Allegato I.

Nello sviluppare questa suddivisione e nell'approvare i rispettivi obblighi sono state molte le opinioni contrastanti, alcune nazioni ritengono che i costi per ottenere gli obiettivi espressi nella Convenzione possano stressare la loro economia e che la suddivisione tra i Paesi dell'Allegato I e i Paesi in via di sviluppo non sia corretta dal punto di vista concorrenziale dichiarando che entrambi debbano ridurre le loro emissioni. Ad esempio, dato che gli obblighi nazionali di riduzione sono stati determinati sulla base dei dati del 1990, conseguentemente, per Paesi come la Cina, India e Brasile, che all'epoca erano considerati alla stregua dei Paesi in via di sviluppo, non è stato previsto alcun obbligo anche se oggi sono diventati responsabili di una larga fetta delle emissioni correnti. Tra l'altro, l'ex presidente degli Stati Uniti, George W. Bush, nel 2001 decise di non aderire al primo e più famoso accordo internazionale, noto come protocollo di Kyoto, il quale ha imposto legalmente un obbligo di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> ai paesi più ricchi e più responsabili, ribaltando la decisione della precedente amministrazione di Bill Clinton e del vicepresidente Al Gore (il quale ha ricevuto un Nobel ed un Oscar per il suo impegno sulla tematica dei cambiamenti climatici). Per l'America, oggi la 'vecchia' storia di Bush si ripresenta nelle vesti di Donald Trump che ha ufficializzato l'uscita degli Stati Uniti d'America dall'accordo di Parigi del 2015, nel quale tutti i paesi (Annex I e PVS) sono d'accordo ad essere uniti per fare fronte all'aumento della temperatura globale.

### **1.1.1. Protocollo di Kyoto**

I nominati protocollo di Kyoto e accordo di Parigi fanno parte della Cop, cioè conferenze delle parti, in cui i paesi si incontrano annualmente per analizzare i progressi predeterminati e prefissarne/discuterne dei nuovi.

La svolta decisiva nella politica dei cambiamenti climatici si è avuta nel 1997, durante la Cop 3 nella quale si adottò il **Protocollo di Kyoto** dopo tese negoziazioni. Fu il primo accordo vincolante per i paesi partecipanti, fu stilato un protocollo comune di riduzione delle emissioni totali dei gas serra del 5,2%

rispetto al 1990 entro il periodo 2008-2012 (detto periodo di adempimento) , per i paesi industrializzati e quelli ad economia di transizione. La ripartizione degli obblighi di riduzione delle emissioni degli inquinanti tiene conto del livello di crescita economica, dell'efficienza del sistema energetico e produttivo e della struttura industriale dei diversi paesi. Per l'Unione Europea era prevista una riduzione del'8%. L'Unione Europea ha ripartito, secondo la decisione del Consiglio 2002/358/EC, l'obbligo richiesto dal Protocollo di Kyoto tra i diversi Stati Membri, in questo modo: i maggiori oneri di riduzione risultano a carico dei paesi che nel 1990 avevano una struttura produttiva a bassa efficienza e ad alto impiego di carbone:

- Gran Bretagna -12.5%
- Germania -21%
- Lussemburgo -28%

Ai paesi con elevata efficienza energetica, è stato attribuito un obiettivo di riduzione più modesto:

- **Italia -6.5%** (legge 120/2002, da 520 a 483 Mt/a)
- Olanda -6%

Per altri Paesi, che devono recuperare un gap di sviluppo rispetto alla media Europea, è stato stabilito un limite alla crescita delle emissioni:

- Portogallo +28%
- Grecia +25%
- Spagna +15%
- Irlanda +13%

Non tutti i paesi aderenti però risultarono firmatari, alcuni grandi paesi come Russia, Australia e Stati Uniti si ritirarono, negarono di fatto l'entrata in vigore del protocollo. Gli Stati Uniti avrebbero dovuto ridurre le loro emissioni totali del 7% rispetto ai loro livelli del 1990, tant'è che l'Amministrazione di Bill Clinton, nel budget del 2001 incluse i finanziamenti per l'iniziativa per le tecnologie indirizzate a fronteggiare il cambiamento climatico (Climate Change Technology Initiative, CCTI). Solo il 16 febbraio 2005, con la firma da parte della Russia e quindi con il raggiungimento di almeno 55 paesi firmatari e un totale delle emissioni dei gas serra del 55%, il protocollo di Kyoto è entrato ufficialmente in vigore. (L'Australia ha aderito alla Conferenza di Poznan, Polonia, del 2008).

Come si attua realmente il protocollo di Kyoto? Previsti dalle Direttive di attuazione sono i meccanismi di cooperazione internazionale, i cosiddetti meccanismi flessibili, oltre agli interventi di politica nazionale volti a tagliare le emissioni dei gas climalteranti prodotte dal proprio paese. Alcuni di questi interventi sono di sicuro l'aumento dell'efficienza energetica con lo sviluppo dell'uso delle energie rinnovabili e di tecnologie per la cattura della CO<sub>2</sub>, predisporre progetti di protezione per i 'serbatoi di carbone' e incentivare progetti sostenibili di gestione forestale, di afforestazione e riforestazione; promuovere forme di agricoltura sostenibile e recupero delle emissioni di metano nel settore della gestione dei rifiuti e della produzione e distribuzione dell'energia. I meccanismi flessibili invece possono svolgersi all'interno dei paesi sviluppati o tra paesi sviluppati e paesi in via di sviluppo:

- JI - Joint Implementation, Applicazione Congiunta (tra i paesi sviluppati e quelli in via di transizione): il meccanismo consente l'attuazione congiunta di programmi di cooperazione. In altre parole i paesi industrializzati possono realizzare progetti di riduzione delle emissioni in altri paesi, dove è economicamente più conveniente. Attraverso questi programmi si possono acquistare o cedere delle quote di riduzione (ERU - Emissions Reduction Units, 1 quota =1 tonnellata di CO<sub>2</sub>), corrispondente alla riduzione realizzata con il progetto.

- CDM - Clean Development Mechanism, Meccanismo di Sviluppo Pulito (tra i paesi sviluppati e quelli in via di sviluppo): i PI possono acquisire quote di riduzione delle emissioni, i cosiddetti CERs (Certified Emission Reductions), che possono utilizzare per raggiungere i propri obiettivi nazionali o rivendere sul mercato internazionale, e promuovere allo stesso tempo lo sviluppo sostenibile nei paesi terzi (senza vincoli di riduzione); questo è attuabile attraverso la realizzazione nei PVS, a costi più bassi, di progetti di sviluppo 'pulito', cioè basati sull'innovazione tecnologica e sulle nuove tecnologie ad alta efficienza e a basse emissioni di gas serra.
- ET - Emissions Trading, Commercio dei diritti di emissione (tra i paesi sviluppati): i PI possono attuare i loro impegni non solo attraverso la cooperazione sui progetti congiunti (JI), ma attraverso l'economia di mercato: l'ET permette a un paese di acquistare a prezzi di mercato la parte di quota di emissioni non utilizzabile da un altro Paese.

Gli Stati che non dovessero riuscire a raggiungere gli obiettivi di riduzione o limitazione per essi fissati, incorrono in due tipologie di sanzioni:

1. L'ammontare percentuale in eccesso rispetto agli obiettivi fissati, maggiorato del 30%, va a cumularsi con l'ammontare percentuale di emissioni previsto per la seconda fase di attuazione del protocollo (post 2012)
2. Lo Stati inadempiente può inoltre essere escluso dalla partecipazione ad uno o più meccanismi flessibili.

### **La Strategia Europea**

La strategia realizzata dall'Unione Europea per l'attuazione del protocollo di Kyoto (riduzione delle emissioni totali dei gas serra dell'8%) venne deliberata nella **Direttiva UE 2003/87/CE** (attualmente in

vigore), in cui venne istituito un mercato per lo scambio di quote di emissioni (EU ETS – Emission Trading Scheme) per raggiungere l’obiettivo con costi complessivi minori.

Una **quota di emissione** è il diritto ad emettere una tonnellata di biossido di carbonio equivalente per un periodo determinato; le quote di emissione sono assegnate ad alcuni settori produttivi (circa 12.000 impianti che producono quasi la metà delle emissioni totali di CO<sub>2</sub> dell’Europa), come a quello termoelettrico, agli impianti di combustione con potenza superiore ai 20 MW (inclusi quelli chimici, alimentari, tessili, del legno e metalmeccanici), alle raffinerie e cokerie e agli impianti di produzione e trasformazione dei metalli ferrosi, ghisa, acciaio e minerali metallici, cemento, calce, prodotti ceramici e laterizi, vetro e cartiere.

Gli operatori di questi impianti potranno partecipare, a certe condizioni, al mercato dei certificati di emissione, vendendo o acquistando certificati a seconda delle emissioni emesse. Per ogni tonnellata equivalente di CO<sub>2</sub> emessa in eccesso dagli operatori, essi dovranno pagare una multa pari a 40 euro nel periodo 2005-2007 e una multa pari a 100 euro a tonnellata nei periodi successivi. Si tratta di una sanzione estremamente importante, soprattutto perché il valore che si stima avrà una tonnellata di CO<sub>2</sub> sul mercato delle quote di emissione nella fase iniziale è tra gli 8 e i 10 euro. Dunque la multa è pari circa 4 o 5 volte il valore di mercato di un corrispondente certificato di emissione. Questa sanzione, oltre a costituire uno stimolo ulteriore per gli Stati UE e a dare attuazione agli obiettivi di riduzione, potrebbe avere importanti effetti sul mercato dei ‘credits’. Infatti qualora un numero importanti di Stati europei si dovessero ritrovare con emissioni superiori alle quote di emissione stabiliti per loro, essi sarebbero fortemente motivati a ricorrere in massa all’acquisto di ‘credits’ di emissione sul mercato e ne spingerebbero in alto il prezzo (acquistare un ‘credits’ rimane conveniente se questo rimane sotto i 40 euro/100 euro). In definitiva, il grande peso dei paesi UE per l’attuazione del Protocollo di Kyoto unito alla **“multa europea”** potrebbero far lievitare notevolmente il prezzo delle quote di emissione. La

conseguenza potrebbe quindi essere un forte stimolo per gli Stati a ridurre le emissioni, perché il costo delle ristrutturazioni necessarie a livello di processi produttivi e modelli di consumo risulterebbe più basso del prezzo dei permessi di emissione, a causa degli effetti indotti dalla multa europea. (Direttiva 2003/87/CE, 2003)

La **direttiva 2009/29/CE** (in vigore dal 2013) estende il mercato delle emissioni, oltre all'anidride carbonica, già prevista dalla direttiva 2003/87/CE, anche al protossido di azoto e ai perfluorocarburi e a nuovi settori, come quello della produzione di alluminio, dell'acciaio, dell'essiccazione e calcinazione del gesso, dell'industria chimica e agli impianti di cattura e stoccaggio di carbonio. (Direttiva 2009/29/CE, 2009).

#### **1.1.2. Cop18 a Doha e Cop21 di Parigi**

Un nuovo accordo globale fu raggiunto a Parigi, nel dicembre 2015 per gli obiettivi dopo il 2020. Prima di arrivare a ciò, ci furono la **Cop13 a Bali** nel 2007 e la mediatica **Cop15 di Copenaghen** nel 2009.

Dopo il protocollo di Kyoto, durante la Cop13 si inizia a pensare a produrre un piano d'azione volto a raggiungere un accordo globale; dunque un accordo che avrebbe dovuto includere i nuovi paesi con economie emergenti (Cina, India, Brasile) per bloccare la crescita esponenziale delle loro emissioni e aumentare gli obblighi di riduzione della CO<sub>2</sub> dei paesi più ricchi. Ecco perché l'onda mediatica colpì la Cop15 di Copenaghen, la quale avrebbe dovuto adottare il trattato della Cop a Bali. Purtroppo le aspettative mondiali caddero brutalmente perché la Cop si concluse con un mero accordo politico, senza alcun vincolo legale e concreto. L'obiettivo comune si attestò comunque a contenere l'aumento della temperatura media globale al di sotto dei due gradi.

Nel 2012 si conclude il primo periodo di adempimento del protocollo di Kyoto, dunque il nuovo compito della Convenzione sarebbe stato definire gli impegni di contenimento dei Paesi industrializzati e adesso

anche quelli dei Paesi in via di sviluppo. L'UNFCCC nel 2012 si riunisce a **Doha**, in Qatar, in occasione della **Cop18**, durante la quale parteciparono 1700 rappresentanti ed esperti e 194 nazioni, di questi solo il 20% aderì all'obiettivo di rinnovare il protocollo di Kyoto. L'IPCCC afferma che per contenere l'aumento della temperatura di 2°C, i paesi industrializzati dovrebbero ridurre del 25-40% le emissioni entro il 2020 e dell'80-90% entro il 2050. (l'Europa ha deciso di raggiungere il -20% nel 2020 rispetto al 1990 con il pacchetto clima energia 20-20-20).

Finalmente nel 2015, dal 30 novembre all'11 dicembre, si tiene la **Cop21 a Parigi**; 196 paesi, quasi tutta la comunità mondiale, hanno deciso di impegnarsi per mantenere l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto dei 2°C. L'accordo di Parigi entrò in vigore il 4 Novembre 2016.

### **1.1.3. National Inventory Report 2017**

Ogni Paese che partecipa alla Convenzione oltre a fornire annualmente l'inventario nazionale delle emissioni dei gas serra, secondo i formati richiesti, deve certificare in un report, il cosiddetto National Inventory Report (NIR), le politiche ambientali di pianificazione e attuazione da parte delle istituzioni centrali e periferiche, le metodologie di stima, le fonti dei dati di base e dei fattori di emissione utilizzati, e deve illustrare il sistema di *Quality Assurance/Quality Control* cui è soggetto l'inventario. Insieme al NIR (National Inventory Report) viene presentato anche il CRF (Common Reporting Format), il quale contiene tabellate tutte le emissioni dei gas ad effetto serra.

Il rapporto (ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, 2017) fornisce un'analisi dell'inventario delle emissioni di GHG (green house gases) in Italia dell'anno 2017, incluso l'aggiornamento dell'anno 2015 e la revisione della serie storica 1990-2014; questo rapporto viene poi comunicato alla Convenzione Quadro delle Nazioni Unite e alla Commissione Europea.

Da un'analisi di sintesi della serie storica dei dati di emissione dal 1990 al 2015<sup>1</sup>, si evidenzia che, nel 2015, le emissioni nazionali totali di gas serra, espresse in CO<sub>2</sub> equivalente, al netto delle emissioni ed assorbimenti di gas serra dall'uso del suolo, dai cambiamenti dell'uso del suolo e dalle foreste (LULUCF, land use, land-use change and forestry), sono diminuite del 16,7% rispetto all'anno 1990 (da 520 a 433 milioni di tonnellate equivalenti di CO<sub>2</sub>).

In particolare, il più importante dei gas ad effetto serra, la CO<sub>2</sub>, che rappresenta l'82,5% del totale delle emissioni, mostra una diminuzione del 17,9% rispetto al 1990. CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O (10,0% e 4,2% del totale), invece, sono diminuite rispettivamente del 20,3% e 32,5%. Nella tabella sottostante sono illustrati i trend delle emissioni dei gas serra tra il 1990 e il 2015, espressi in termini di CO<sub>2</sub> equivalenti, mentre nei grafici a torte sono rappresentate le percentuali di incidenza di un gas ad effetto serra rispetto ad un altro.

GHG emissions	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<i>Gg CO<sub>2</sub> equivalent</i>										
CO <sub>2</sub> excluding net CO <sub>2</sub> from LULUCF	434,968	447,513	466,241	491,570	425,304	412,906	390,325	362,936	347,071	357,199
CO <sub>2</sub> including net CO <sub>2</sub> from LULUCF	429,383	424,409	448,393	462,220	392,706	385,668	369,634	328,345	311,813	320,136
CH <sub>4</sub> excluding CH <sub>4</sub> from LULUCF	54,242	52,199	53,067	50,979	48,694	46,964	47,556	45,356	44,225	43,212
CH <sub>4</sub> including CH <sub>4</sub> from LULUCF	55,759	52,548	54,001	51,337	49,048	47,533	48,764	45,543	44,561	43,500
N <sub>2</sub> O excluding N <sub>2</sub> O from LULUCF	26,949	28,318	29,347	28,319	19,537	18,990	19,608	18,645	18,153	18,203
N <sub>2</sub> O including N <sub>2</sub> O from LULUCF	27,761	29,129	30,018	28,926	20,172	19,658	20,362	19,200	18,737	18,759
HFCs	444	820	2,105	6,060	9,581	10,154	10,687	11,383	11,928	12,264
PFCs	2,907	1,492	1,488	1,940	1,520	1,661	1,499	1,705	1,564	1,688
SF <sub>6</sub>	408	679	603	547	391	438	442	418	356	430
NF <sub>3</sub>	NA,NO	77	13	33	20	28	25	26	28	28
<b>Total (excluding LULUCF)</b>	<b>519,917</b>	<b>531,098</b>	<b>552,864</b>	<b>579,449</b>	<b>505,047</b>	<b>491,142</b>	<b>470,142</b>	<b>440,470</b>	<b>423,324</b>	<b>433,025</b>
<b>Total (including LULUCF)</b>	<b>516,662</b>	<b>509,153</b>	<b>536,621</b>	<b>551,064</b>	<b>473,438</b>	<b>465,141</b>	<b>451,414</b>	<b>406,622</b>	<b>388,987</b>	<b>396,806</b>

**Tabella 2 Emissioni totali e assorbimenti di gas serra in CO<sub>2</sub> equivalenti [Gg CO<sub>2</sub> eq]**

<sup>1</sup> Sono i dati dell'inventario 1990-2017 comunicati alla Unione europea e all'UNFCCC e sono disponibili al seguente indirizzo web pubblico: <https://unfccc.int/process/transparency-and-reporting/greenhouse-gas-data/ghg-data-unfccc/ghg-data-from-unfccc>

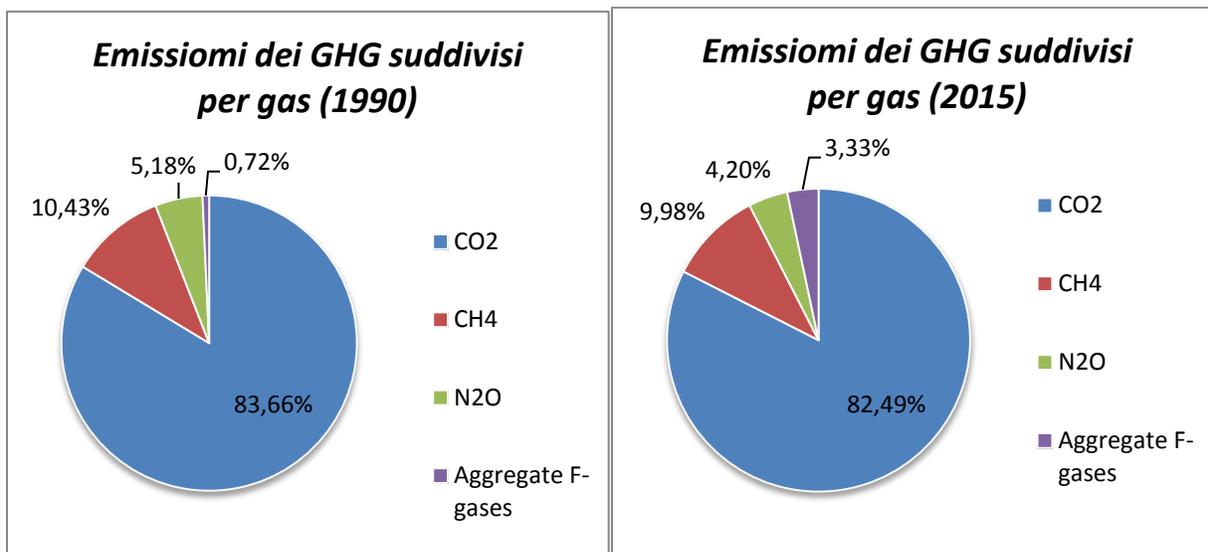


Figura 8 Distribuzione percentuale dei GHG nel 1990 e nel 2015 (Fonte Ispra)

Nella tabella che segue e prima nel grafico a torta, nel quale si leggono le incidenze di ogni settore sulle emissioni di GHG, invece, sono evidenziati i trend delle emissioni dal 1990 al 2015 suddivisi per settore e per ogni gas ad effetto serra, (sono stati presi alcuni anni come riferimento per la trattazione); nel grafico successivo viene espressa la variazione delle emissioni dei gas serra tra l'anno di riferimento (1990) e il 2015.

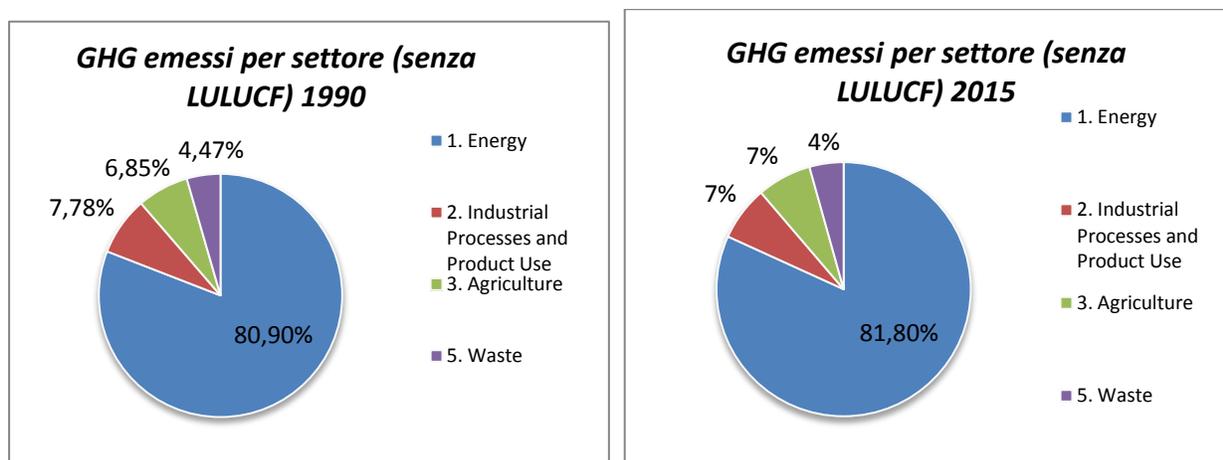
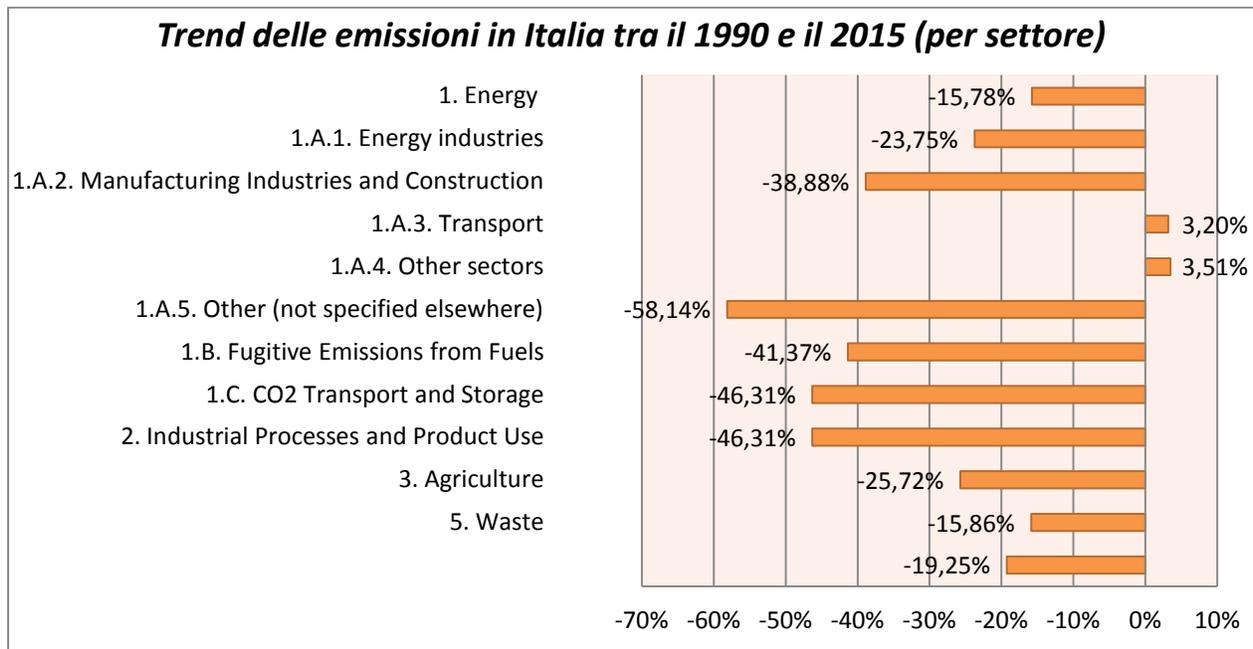


Figura 9 Percentuale di GHG emessi per settore nel 1990 e nel 2015 (Fonte Ispra)

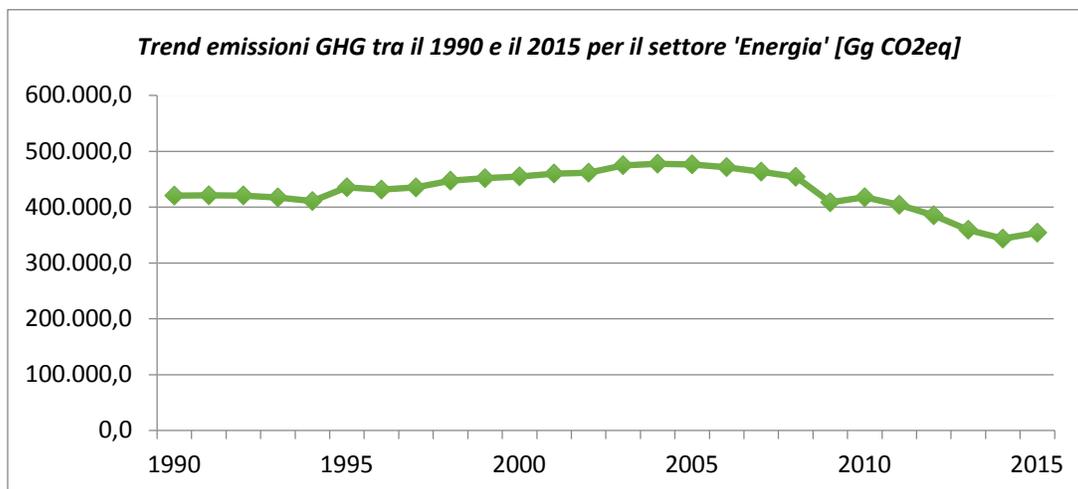
Category	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<i>Gg CO<sub>2</sub> equivalent</i>										
<b>1A. Energy: fuel combustion</b>	407,721	423,362	444,264	467,125	408,780	395,387	376,767	350,924	335,540	346,686
<i>CO<sub>2</sub>: 1. Energy Industries</i>	138,145	141,479	152,311	160,179	134,061	132,015	127,085	107,930	99,238	105,321
<i>CO<sub>2</sub>: 2. Manufacturing Industries and Construction</i>	84,535	84,347	82,120	78,386	60,167	59,839	53,520	50,062	50,813	51,515
<i>CO<sub>2</sub>: 3. Transport</i>	100,771	111,969	121,643	126,392	113,807	112,817	105,325	102,687	107,502	104,836
<i>CO<sub>2</sub>: 4. Other Sectors</i>	76,093	75,972	79,480	93,344	91,742	83,276	82,763	81,961	70,236	76,962
<i>CO<sub>2</sub>: 5. Other</i>	1,070	1,495	837	1,232	651	515	334	584	573	459
<i>CH<sub>4</sub></i>	2,508	2,780	2,518	2,300	3,132	2,300	2,981	3,035	2,726	2,976
<i>N<sub>2</sub>O</i>	4,598	5,320	5,355	5,294	5,220	4,625	4,758	4,665	4,452	4,616
<b>1B2. Energy: fugitives from oil &amp; gas</b>	12,877	12,126	10,818	9,380	8,818	8,690	8,565	8,498	8,052	7,550
<i>CO<sub>2</sub></i>	4,014	3,971	3,236	2,537	2,600	2,593	2,507	2,678	2,500	2,573
<i>CH<sub>4</sub></i>	8,852	8,144	7,570	6,830	6,207	6,086	6,047	5,810	5,543	4,967
<i>N<sub>2</sub>O</i>	12	12	12	13	12	11	11	10	9	10
<b>2. Industrial processes</b>	40,453	38,215	38,762	45,660	34,556	34,496	31,572	30,707	30,229	30,049
<i>CO<sub>2</sub></i>	29,366	27,314	25,882	28,754	21,760	21,310	18,028	16,351	15,674	14,983
<i>CH<sub>4</sub></i>	129	134	73	74	60	66	63	51	48	42
<i>N<sub>2</sub>O</i>	7,199	7,701	8,599	8,251	1,224	838	827	773	631	613
<i>HFCs</i>	444	820	2,105	6,060	9,581	10,154	10,687	11,383	11,928	12,264
<i>PFCs</i>	2,907	1,492	1,488	1,940	1,520	1,661	1,499	1,705	1,564	1,688
<i>SF<sub>6</sub></i>	408	679	603	547	391	438	442	418	356	430
<i>NF<sub>3</sub></i>	N.A.N.O	77	13	33	20	28	25	26	28	28
<b>3. Agriculture</b>	35,601	35,568	34,914	32,712	30,527	30,862	31,455	30,253	29,758	29,953
<i>CO<sub>2</sub>: Liming</i>	1	1	2	14	18	25	16	14	12	14
<i>CO<sub>2</sub>: Urea application</i>	465	512	525	507	335	351	551	450	411	425
<i>CH<sub>4</sub>: Enteric fermentation</i>	15,491	15,331	15,140	13,797	13,613	13,623	13,599	13,759	13,650	13,774
<i>CH<sub>4</sub>: Manure management</i>	3,934	3,749	3,733	3,612	3,510	3,362	3,322	3,039	2,942	2,978
<i>CH<sub>4</sub>: Rice Cultivation</i>	1,876	1,989	1,656	1,752	1,822	1,805	1,789	1,661	1,613	1,674
<i>CH<sub>4</sub>: Field Burning of Agricultural Residues</i>	15	15	15	16	15	15	16	15	15	16
<i>N<sub>2</sub>O: Manure management</i>	2,885	2,688	2,639	2,445	2,375	2,301	2,290	2,159	2,087	2,109
<i>N<sub>2</sub>O: Agriculture soils</i>	10,929	11,279	11,200	10,565	8,834	9,375	9,868	9,151	9,024	8,960
<i>N<sub>2</sub>O: Field Burning of Agricultural Residues</i>	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>4A. Land-use change and forestry</b>	-3,256	-21,944	-16,242	-28,385	-31,609	-26,000	-18,728	-33,849	-34,337	-36,218
<i>CO<sub>2</sub></i>	-5,585	-23,104	-17,848	-29,351	-32,598	-27,238	-20,691	-34,591	-35,258	-37,063
<i>CH<sub>4</sub></i>	1,518	349	934	358	354	570	1,208	187	336	288
<i>N<sub>2</sub>O</i>	812	811	672	607	635	668	755	555	585	556
<b>6. Waste</b>	23,265	21,826	24,105	24,571	22,366	21,707	21,784	20,088	19,745	18,787
<i>CO<sub>2</sub></i>	507	454	204	226	162	165	197	219	112	111
<i>CH<sub>4</sub></i>	21,435	20,057	22,363	22,598	20,335	19,706	19,738	17,986	17,687	16,784
<i>N<sub>2</sub>O</i>	1,323	1,315	1,538	1,746	1,869	1,836	1,849	1,884	1,946	1,891
<b>Total emissions (with LULUCF)</b>	516,662	509,153	536,621	551,064	473,438	465,141	451,414	406,622	388,987	396,806
<b>Total emissions (without LULUCF)</b>	519,917	531,098	552,864	579,449	505,047	491,142	470,142	440,470	423,324	433,025

 Tabella 3 Sommario dei trend delle emissioni in funzione della sorgente e dei gas in CO<sub>2</sub> equivalenti [Gg CO<sub>2</sub> eq]



**Figura 10 Trend delle emissioni per ogni settore tra il 1990 e il 2015 in Italia (Fonte Ispra)**

Il settore energetico è il più grande contributore alle emissioni totali nazionali di gas serra con una quota, nel 2015, dell'81,8% (Figura 9). Le emissioni da questo settore sono diminuite del 15,8% dal 1990 al 2015, come si legge anche nella figura sopra, e nello specifico nell'andamento della figura sottostante.



**Figura 11 Dati di emissioni dei GHG tra il 1990 e il 2015 per il settore 'Energia' (Fonte Ispra)**

In questo settore le emissioni di CO<sub>2</sub> rappresentano il 96,5% del totale delle emissioni emesse, ma tra il 1990 e il 2015 si sono ridotte del 15,6% ; il metano CH<sub>4</sub> in questi anni, in questo settore ha mostrato una riduzione del 30,1% ma la sua quota rispetto al totale settoriale è solo del 2,2%; invece l’N<sub>2</sub>O ha mostrato un aumento dello 0,3% dal 1990 al 2015, contando l’1,3% del totale.

Nei seguenti grafici a torta, si mette in evidenza quanto pesano le emissioni di GHG da parte dei sotto settori di ‘Energia’; contributo rilevante è offerto dal settore energetico industriale e dal settore dei trasporti.

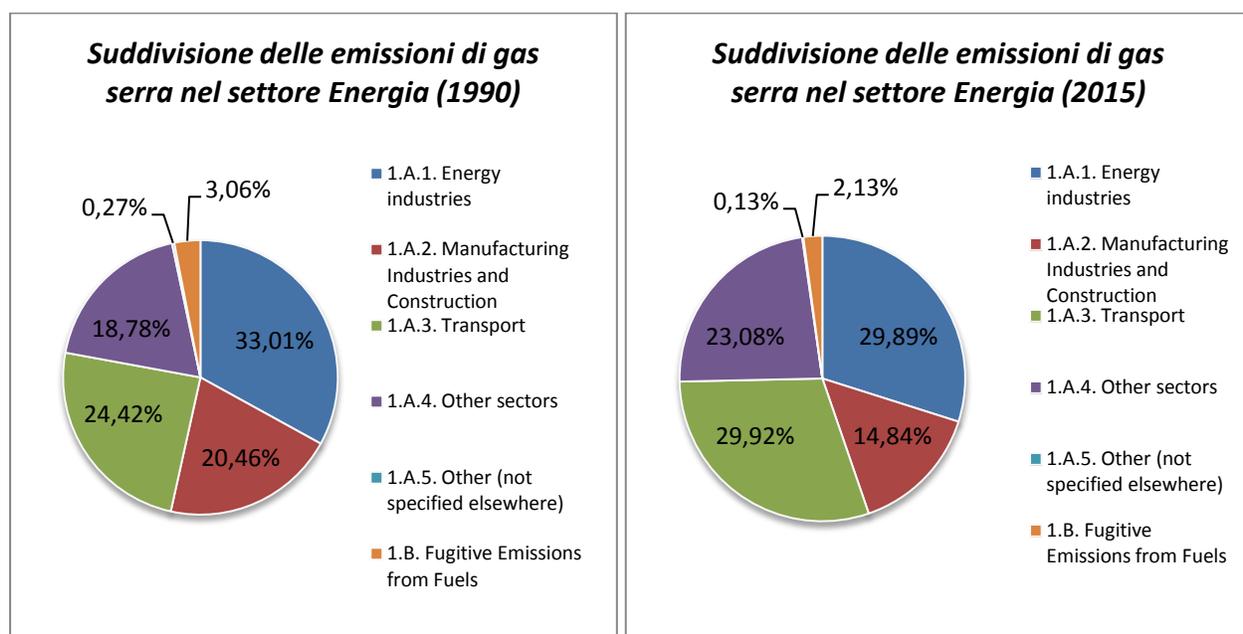


Figura 12 GHG emessi dai sotto settori di ‘Energia’ nel 1990 e nel 2015 (Fonte Ispra)

Specificamente, in termini di CO<sub>2</sub> totale equivalente, è stato osservato un aumento delle emissioni nel settore dei trasporti, circa il 3,2%, dal 1990 al 2015 (Figura 10); nel 2015 questo settore ha rappresentato il 29,9% delle emissioni totali.

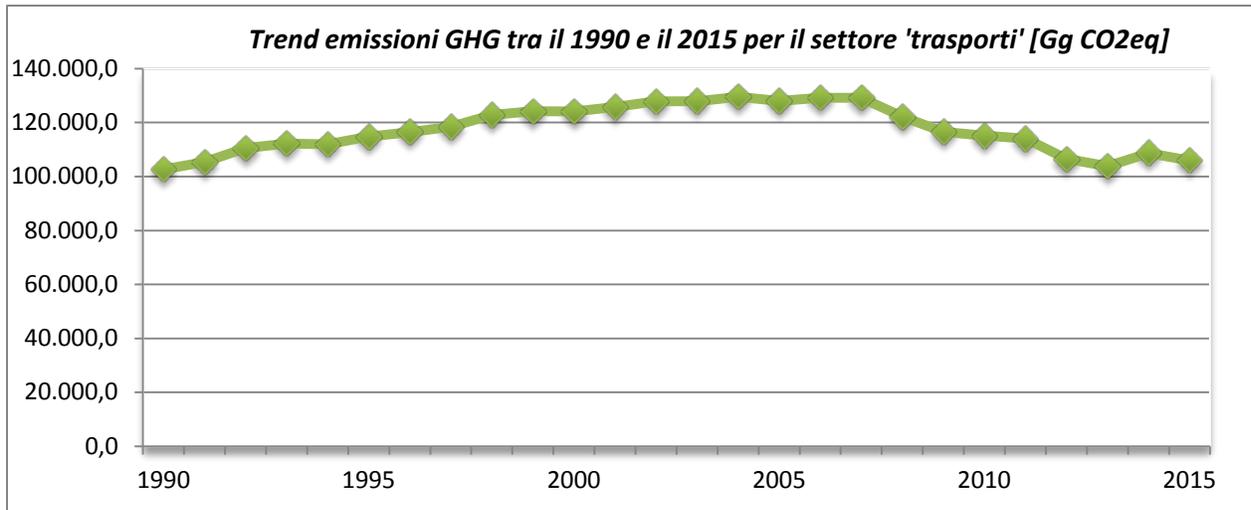


Figura 13 Dati di emissioni dei GHG tra il 1990 e il 2015 per il settore 'Trasporti' (Fonte Ispra)

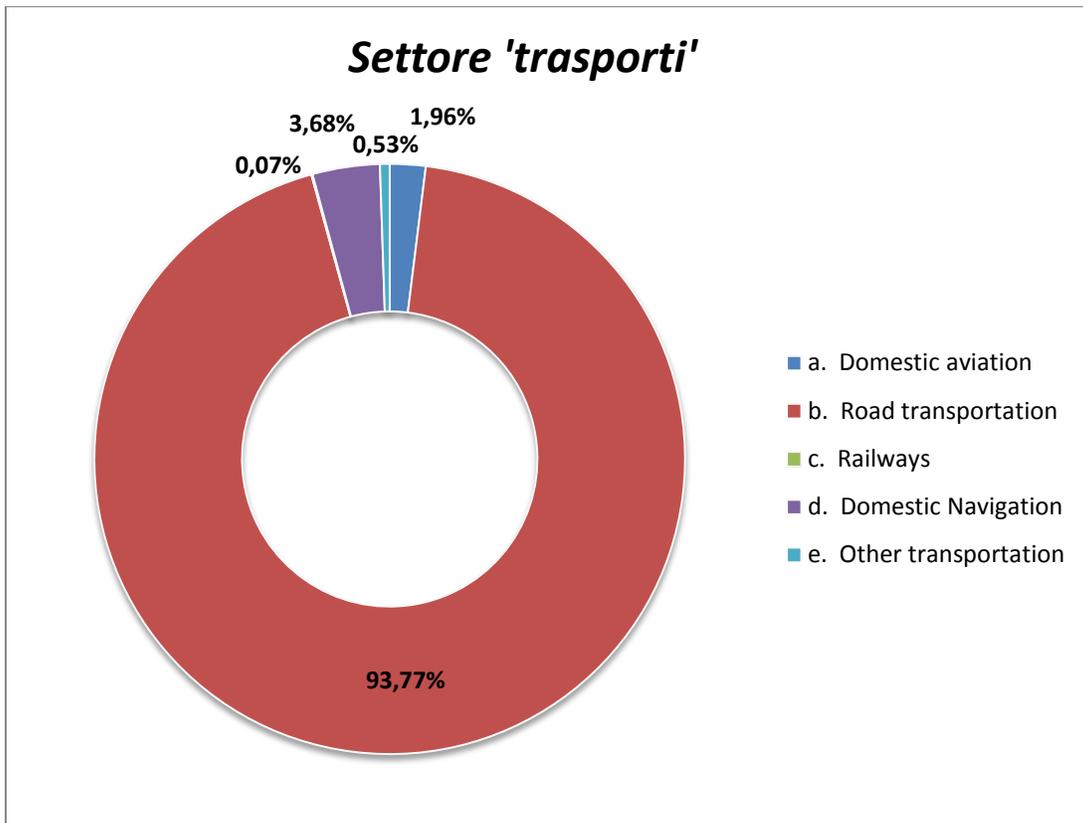


Figura 14 Percentuali di CO2 emessi dai vari sotto settori di 'Trasporti' 2015 (Fonte Ispra)

Analizzando ogni sotto voce del settore 'Trasporti', quasi il 94% delle emissioni di CO<sub>2</sub> è dovuto dal trasporto su strada, per il 62,75% composto da automobili e un moderato 22% derivante dal trasporto su

camion e bus pesanti. Le emissioni del biossido di carbonio derivano soprattutto dall'utilizzo di combustibili come il diesel (66578.7 Gg CO<sub>2</sub>) e il gasolio (24524.21 Gg CO<sub>2</sub>). Il dettaglio nelle figure a seguire.

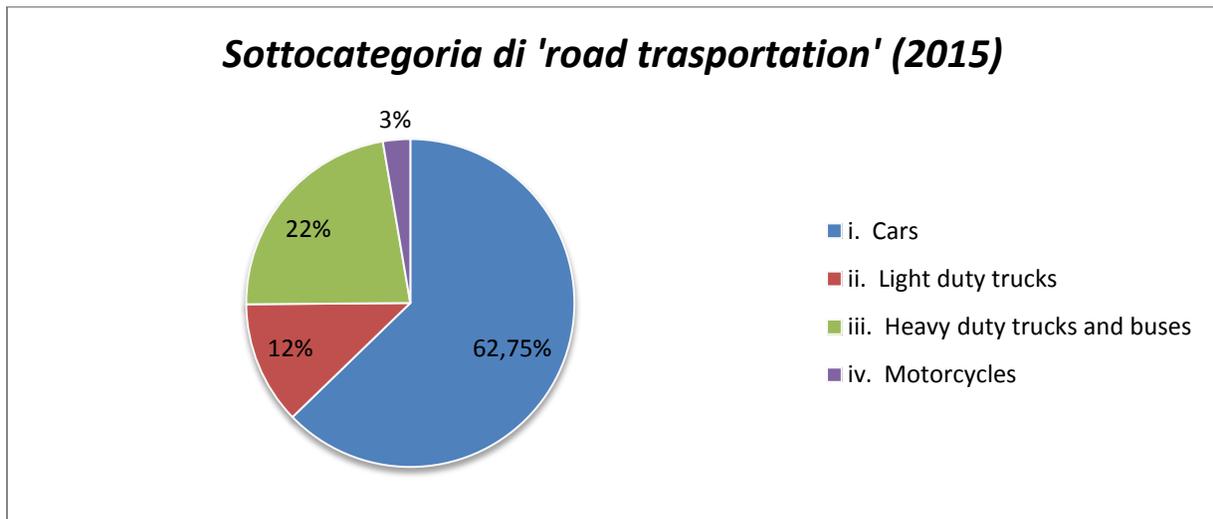


Figura 15 Sottocategorie di 'trasporto su strada' (Fonte Ispra)

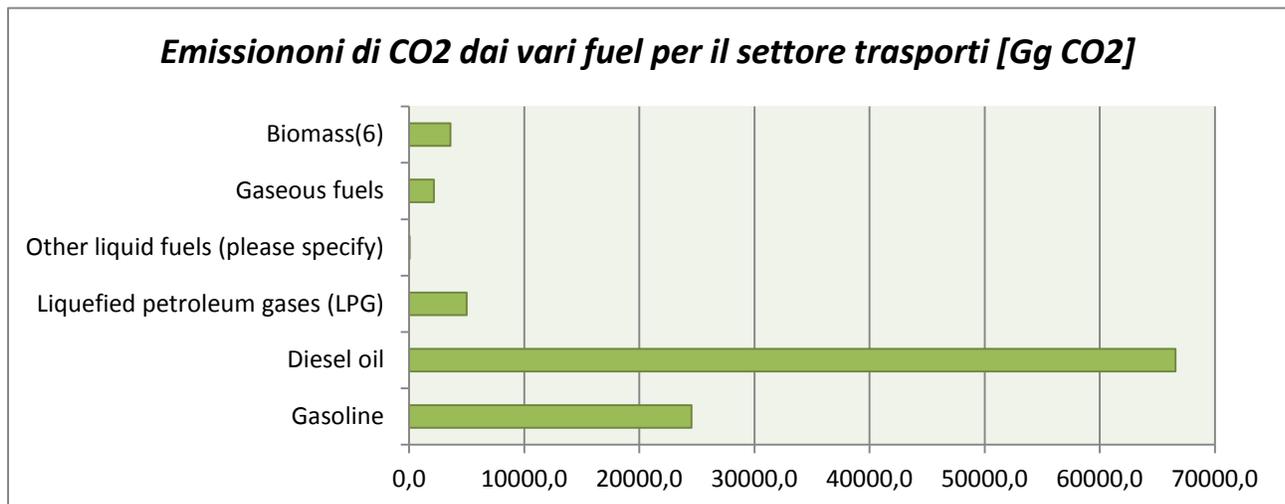
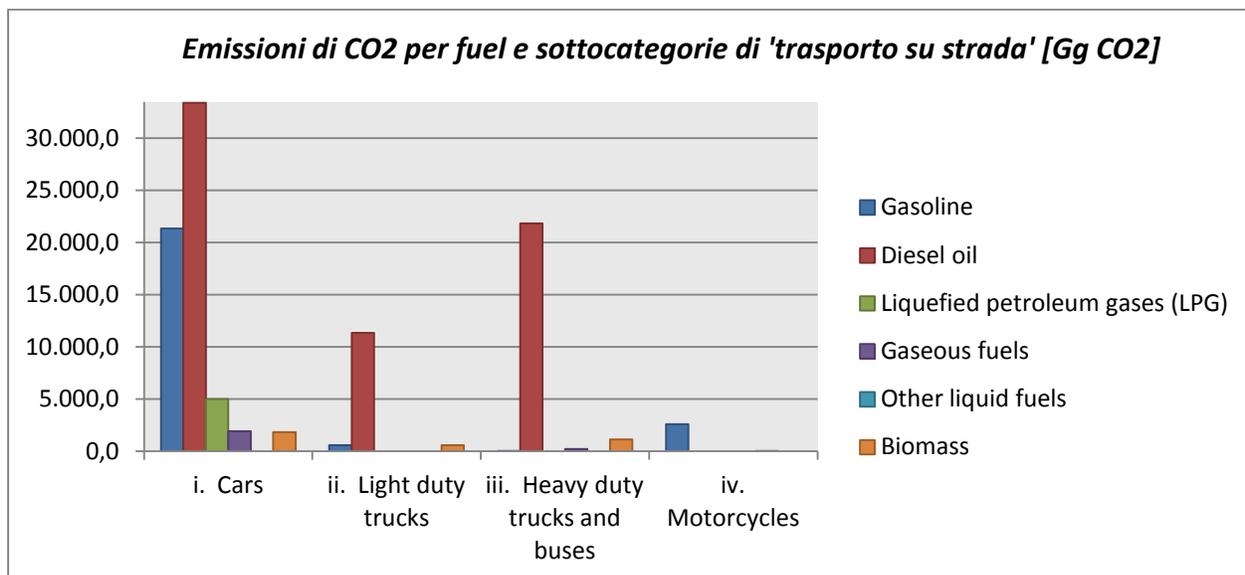


Figura 16 Emissioni di CO2 da diversi tipi di fuel [Gg CO2] (Fonte Ispra)



**Figura 17 Emissioni di CO2 per fuel e sottocategorie di 'trasporto su strada' [Gg CO2]**

Per il settore dei processi industriali, le emissioni hanno registrato un calo del 25,7% dal 1990 al 2015. In particolare, analizzando per sostanza, le emissioni di CO2 rappresentano il 49,9% e hanno mostrato un calo del 49,0%, il CH4 è diminuito del 67,1%, ma rappresenta solo lo 0,1%, mentre N2O, i cui livelli condividono il 2,0% del totale delle emissioni industriali, è diminuito del 91,5%. Il calo delle emissioni è dovuto principalmente a una diminuzione nell'industria chimica (per la tecnologia di abbattimento operativo nell'industria degli acidi adipici) e alle emissioni di produzione di minerali e metalli. Questa riduzione, riscontrata in particolare dal 2008, è conseguenza sia della riduzione dei consumi energetici e delle produzioni industriali a causa della crisi economica e della delocalizzazione di alcuni settori produttivi, sia della crescita della produzione di energia da fonti rinnovabili (idroelettrico ed eolico) e di un incremento dell'efficienza energetica. Un notevole aumento è stato osservato nelle emissioni di gas fluorurati (circa 283,4%), il cui livello sul totale settoriale delle emissioni è del 48,0%.

Per l'agricoltura, le emissioni si riferiscono principalmente ai livelli di CH4 e N2O, che rappresentano il 61,6% e il 37,0% del totale settoriale, rispettivamente; CO2, d'altra parte, condivide solo l'1,4% del

totale. La diminuzione osservata in le emissioni totali (-15,9%) sono dovute principalmente alla diminuzione delle emissioni di CH<sub>4</sub> dalla fermentazione enterica (-11,1%), che rappresentano il 46,0% delle emissioni settoriali e la diminuzione di N<sub>2</sub>O dai terreni agricoli (-18,0%), che rappresenta il 29,9% delle emissioni settoriali. Per quanto riguarda LULUCF(Land Use, Land-Use Change and Forestry), dal 1990 al 2015 gli assorbimenti totali di CO<sub>2</sub> equivalenti sono aumentati considerevolmente; la CO<sub>2</sub> rappresenta quasi il totale delle emissioni e degli assorbimenti del settore (97,8%). Infine, le emissioni del settore dei rifiuti sono diminuite del 19,3% tra il 1990 e il 2015, principalmente a causa di una diminuzione delle emissioni derivanti dallo smaltimento dei rifiuti solidi a terra (-22,3%), che rappresentano il 75,1% delle emissioni di rifiuti. Il gas serra più importante in questo settore è il CH<sub>4</sub>, che rappresenta l'89,3% delle emissioni settoriali e mostra una diminuzione del 21,7% dal 1990 al 2015. I livelli di emissione di N<sub>2</sub>O sono aumentati del 43,0%, mentre la CO<sub>2</sub> diminuito del 78,1%; questi gas rappresentano rispettivamente il 10,1% e lo 0,6% nel settore.

Nella tabella 4 sono sintetizzati i trend delle emissioni di NO<sub>x</sub>, CO, COVNM (o in inglese NMVOC) e SO<sub>2</sub> dal 1990 al 2015. Tutti i gas hanno mostrato una significativa riduzione nel corso degli anni 1990-2015. La massima riduzione si è osservata per SO<sub>2</sub> (-93,1%), mentre le emissioni di CO e NO<sub>x</sub> si sono ridotte rispettivamente di circa il 67,5% e il 62,3%; i livelli di composti organici volatili non metanici (COVNM) hanno mostrato una diminuzione del 56,5%.

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	Gg									
NO <sub>x</sub>	2,035	1,910	1,457	1,238	955	921	857	803	791	766
CO	7,258	7,302	4,930	3,445	3,080	2,423	2,669	2,490	2,258	2,356
NMVOC	1,935	1,967	1,515	1,231	1,001	910	906	876	820	841
SO <sub>2</sub>	1,784	1,322	755	409	218	196	177	146	131	123

*Tabella 4 Sommario dei trend delle emissioni dei gas serra indiretti e SO<sub>2</sub> [Gg]*

## 2. Regolamentazione

L'inquadramento di suddetta argomentazione si inserisce in ambito europeo sotto due regolamentazioni che riportando le linee guide tecniche da seguire. Si sta parlando del regolamento (EC) No 443/2009 e del regolamento (EU) No 510/2011.

### 2.1. Regolamento (EC) No 443/2009

Il regolamento (EC) No 443/2009 del 23 Aprile 2009 stabilisce *' norme di efficienza delle emissioni per le autovetture nuove immatricolate nella Comunità, che fanno parte dell'approccio integrato della Comunità per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> dei veicoli leggeri, garantendo nel contempo il corretto funzionamento del mercato interno '.*

Come detto ampiamente nei capitoli precedenti, ogni decisione in ambito climatico si inserisce nelle decisioni della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite, approvata a nome della Comunità europea con la decisione 94/69/CE del Consiglio del 15 dicembre 1993, la quale richiede a tutte le parti firmatarie di attuare opere di mitigazione nazionali (e/o regionali) per contenere i cambiamenti climatici.

Come detto, l'Unione Europea si impegna in una riduzione del 20% delle emissioni di gas serra entro il 2020 rispetto al 1990. Una delle implicazione di tale impegno è che tutti gli Stati membri riducano in modo significativo le emissioni nel campo veicolare, considerando soprattutto che il trasporto su strada è il secondo settore di emissione di gas a effetto serra nell'Unione e le sue emissioni continuano a salire. Ciò detto si evince perfettamente nei grafici rappresentati di seguito. Le emissioni causate dal trasporto su strada causano il 28% delle emissioni del settore dell'energia e dal 1990 ad oggi sono aumentate del 18,35%, è l'unico settore che dall'inizio della storia sui provvedimenti per la salvaguardia del clima non ha mostrato margini di miglioramento. (UNFCCC)

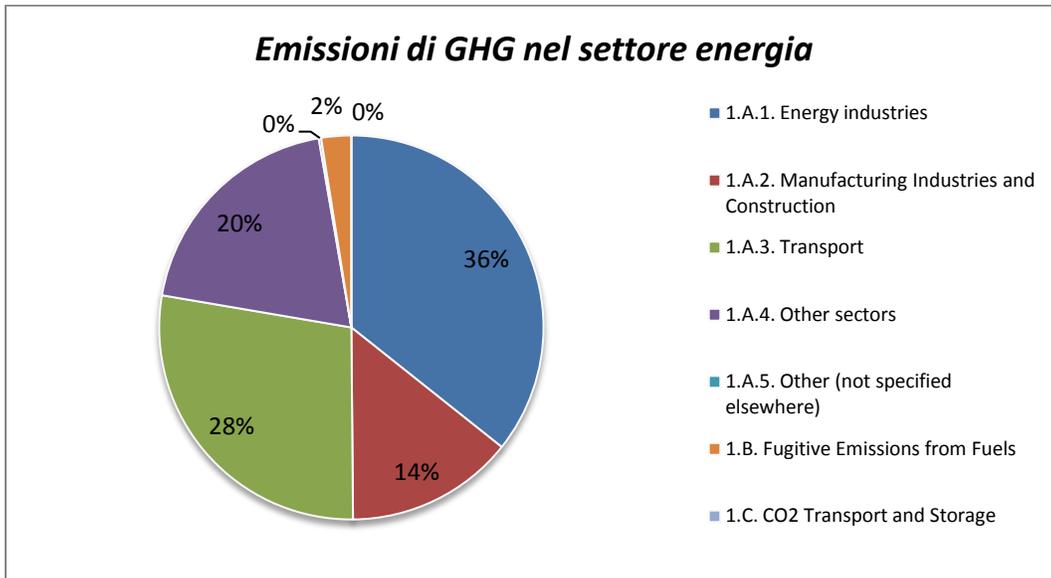


Figura 18 GHG emessi dai sotto settori di 'Energia' nel 1990 e nel 2015 (Fonte Ispra)

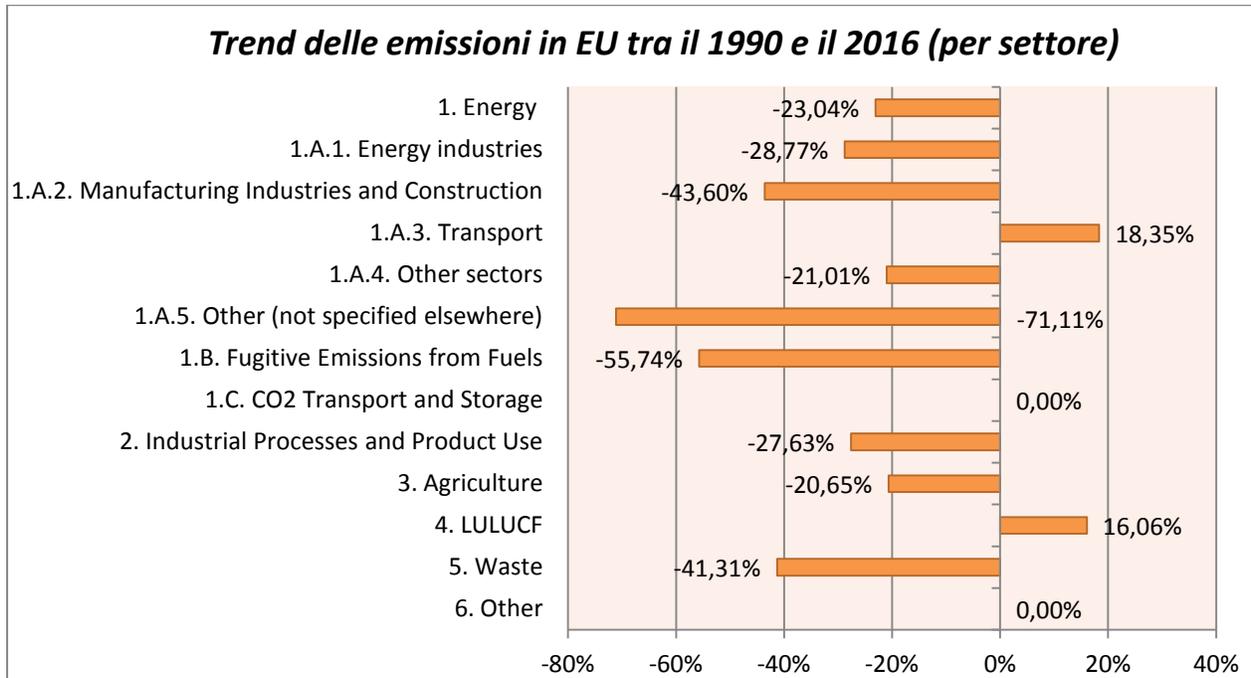


Figura 19 Trend delle emissioni per ogni settore tra il 1990 e il 2016 in Europa (Fonte Ispra)

Gli obiettivi comunitari per le autovetture nuove forniscono ai fabbricanti una maggiore certezza di pianificazione e una maggiore flessibilità per soddisfare i requisiti di riduzione di CO<sub>2</sub>. Nel fissare gli standard di prestazione delle emissioni, è importante tenere conto delle implicazioni per i mercati e della competitività dei produttori, dei costi diretti e indiretti imposti alle imprese e dei benefici che derivano dal stimolare l'innovazione e ridurre il consumo di energia.

Il suddetto regolamento si basa su un processo consolidato di misurazione e monitoraggio delle emissioni di CO<sub>2</sub> dei veicoli immatricolati nella Comunità, conformemente alla decisione n. 1753/2000 / CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 22 giugno 2000, che istituisce un regime di controllo per le emissioni specifiche medie di CO<sub>2</sub> delle autovetture nuove . È importante che l'impostazione dei requisiti di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> continui a fornire prevedibilità e sicurezza di pianificazione a livello comunitario per i costruttori di autoveicoli nel loro nuovo parco auto nella Comunità.

Il presente regolamento si applica ai veicoli a motore di categoria M1 di cui all'allegato II della direttiva 2007/46/CE («autovetture»), che siano immatricolati per la prima volta nella Comunità e che non siano stati precedentemente immatricolati al di fuori del territorio comunitario («autovetture nuove»). Non si applica ai veicoli per uso speciale di cui all'allegato II, parte A, punto 5, della direttiva 2007/46/CE.

Le origini del presente regolamento si trovano in una strategia adottata dall'UE nel 1995 volta a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> attraverso tre pilastri: un impegno volontario da parte dei produttori di autovetture a ridurre le emissioni; la promozione di autovetture efficienti attraverso misure fiscali; l'informazione dei consumatori attraverso etichette con l'indicazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> di una determinata autovettura, come riportato nel dettaglio nella direttiva 1999/94/CE.

Il limite per le emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) per le nuove autovetture attuale è fissato all'emissione di 130 grammi di CO<sub>2</sub> per chilometro. Il limite verrà ridotto a 95 grammi di CO<sub>2</sub> per chilometro entro l'anno 2021.

I punti chiave del regolamento:

3. Il limite di 130 g/km è stato introdotto fra il 2012 e il 2015. Ogni anno di tale periodo la percentuale di autovetture prodotte che deve rispettare il limite aumenta. A partire dal 2015, il 100 % delle autovetture deve rispettarlo (rispetto al 75 % del 2013 e all'80 % del 2014).
4. Se la media di emissioni di CO<sub>2</sub> di un certo numero di autovetture di un determinato produttore supera il limite di emissione, verrà emessa una sanzione. Per ogni autovettura, il produttore deve pagare 5 euro per il primo g/km oltre il limite, 15 euro per il secondo, 25 euro per il terzo e 95 euro per ogni g/km dal quarto in poi. Dal 2019 ogni g/km oltre il limite sarà multato di 95 euro.
5. I piccoli produttori che immatricolano nell'UE meno di 1000 autovetture all'anno sono esenti dal presente regolamento, mentre coloro che immatricolano fra 1000 e 10 000 autovetture all'anno possono proporre obiettivi di riduzione delle emissioni personalizzati. Al contempo, i produttori che si attestano fra le 10 000 e le 300 000 autovetture all'anno possono richiedere un obiettivo di riduzione fisso.
6. Un sistema di crediti e supercrediti di emissione riconosce le innovazioni ecologiche attuate dai produttori di autovetture. (I supercrediti sono incentivi riconosciuti ai produttori per l'immatricolazione di autovetture a basse emissioni. In questo modo, le autovetture che producono 50 g/km di CO<sub>2</sub> o meno vengono contate come 1,5 autovetture fino al 2016. Ciò, d'altra parte, dà ai produttori più flessibilità in termini di produzione di un numero minore di autovetture efficienti).

(dal Testo rilevante ai fini del SEE della gazzetta ufficiale dell'Unione Europea) (Parlamento europeo, REGOLAMENTO (CE) n. 443/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO, 2009).

## **2.2. Regolamento (EU) No 510/2011**

Regolamento (EU) No 510/2011 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 maggio 2011, che *'definisce le norme di prestazione in materia di emissioni per i veicoli commerciali leggeri nuovi come parte dell'approccio integrato dell'Unione per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> dei veicoli leggeri'*.

Il livello medio delle emissioni di CO<sub>2</sub> di questi veicoli non deve superare i 175 grammi di CO<sub>2</sub> per chilometro a partire dal 2017 (il requisito sarà introdotto gradualmente a partire dal 2014). Dal 2020, il livello non deve superare i 147 grammi di CO<sub>2</sub> per chilometro.

I veicoli interessati dal presente regolamento sono quelli della categoria N1, ossia i veicoli progettati e costruiti per il trasporto di merci (furgoni), con un peso massimo di 3,5 tonnellate, non superiore a 2610 kg quando sono a vuoto.

Il presente regolamento conferisce ai produttori di furgoni ulteriori vantaggi per la produzione di veicoli a basse emissioni (meno di 50 grammi per chilometro). Ogni veicolo a basse emissioni conta come 3,5 veicoli nel 2014 e nel 2015, come 2,5 veicoli nel 2016 e 1,5 veicoli nel 2017. Questo approccio aiuterà i produttori a ridurre ulteriormente le emissioni medie dei nuovi veicoli. Potranno richiedere questo credito "extra" per un massimo di 25.000 furgoni tra il 2014 e il 2017.

Dal 2014, se le emissioni dei veicoli superano gli obiettivi, i produttori devono pagare un premio calcolato in base alle emissioni in eccesso.

Se le emissioni medie di CO<sub>2</sub> del parco auto di un costruttore superano la soglia per un anno a partire dal 2014, il costruttore dovrà pagare un premio sulle emissioni in eccesso registrate per ciascun furgone.

L'importo del premio è di 5 EUR per il primo grammo per chilometro superato, 15 EUR per il secondo, 25 EUR per il terzo e 95 EUR per ogni chilometro supplementare. Dal 2019 il superamento del primo grammo per chilometro avrà un costo di 95 EUR. Tale importo è lo stesso del premio per le auto private. (Parlamento europeo, REGOLAMENTO (UE) n. 510/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO, 2011)

### 2.3. Eco-innovazioni

L'articolo 12 del regolamento (EC) No 443/2009 e del regolamento (EU) No 510/2011 prevedono che i fornitori o i produttori possono ridurre le loro emissioni di CO<sub>2</sub> utilizzando tecnologie innovative, allo scopo di rientrare nello specifico target di emissioni di CO<sub>2</sub>. L'importo totale, che queste tecnologie contribuiscono alla riduzione dell'obiettivo di emissioni specifiche, per un produttore può essere fino a 7 grammi di CO<sub>2</sub> / km.

*[Articolo 12 - Innovazioni ecocompatibili (eco-innovations):*

*1. Su richiesta da parte di un fornitore o un costruttore, si esaminano i risparmi di CO<sub>2</sub> realizzati attraverso l'uso di tecnologie innovative. Il contributo totale di tali tecnologie intese a ridurre l'obiettivo di emissioni specifiche di un produttore può giungere ad un massimo di 7 g CO<sub>2</sub>/km.*

*2. Entro il 2010 la Commissione adotta le disposizioni dettagliate in vista di una procedura volta ad approvare tali tecnologie innovative secondo la procedura di regolamentazione di cui all'articolo 14, paragrafo 2. Tali disposizioni dettagliate si basano sui seguenti criteri per le tecnologie innovative:*

*a) il fornitore o il costruttore deve essere responsabile per i risparmi di CO<sub>2</sub> realizzati attraverso l'uso di tecnologie innovative;*

*b) le tecnologie innovative devono fornire un contributo comprovato alla riduzione di CO<sub>2</sub>;*

*c) le tecnologie innovative non devono essere interessate dal normale ciclo di prova relativo alla misurazione del CO<sub>2</sub> o dalle disposizioni obbligatorie dovute ad ulteriori misure complementari nel rispetto di 10 g CO<sub>2</sub>/km di cui all'articolo 1 o essere obbligatorie in virtù di altre disposizioni del diritto comunitario.*

*3. Un fornitore o un costruttore che chiede che una misura venga approvata come tecnologia innovativa presenta alla Commissione una relazione, comprendente una relazione di verifica effettuata da un organismo indipendente e certificato. Nel caso di una possibile interazione tra la misura e un'altra tecnologia innovativa già approvata, la relazione fa riferimento a tale interazione e la relazione di verifica valuta in che misura l'interazione modifica la riduzione realizzata da ciascuna misura.*

*4. La Commissione approva la riduzione realizzata sulla base dei criteri di cui al paragrafo 2.]*  
(Parlamento europeo, REGOLAMENTO (CE) n. 443/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO, 2009)

Il regolamento di esecuzione (UE) N. 725/2011 della Commissione europea del 25 luglio 2011 stabilisce una procedura di approvazione e certificazione delle tecnologie innovative per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> delle autovetture a norma del regolamento (CE) n. 443/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio, in particolare l'articolo 12, paragrafo 2. L'articolo 2 del suddetto regolamento di esecuzione fissa l'ambito di applicazione di esso, e parla così:

*[Articolo 2 - Ambito di applicazione:*

1. *Non sono considerate tecnologie innovative le tecnologie che rientrano nel campo di applicazione delle seguenti misure interessate dall'approccio integrato di cui all'articolo 1 del regolamento (CE) n. 443/2009:*

*a) miglioramenti nell'efficienza dei sistemi di condizionamento;*

*b) sistemi di controllo della pressione dei pneumatici rientranti nell'ambito di applicazione del regolamento (CE) n. 661/2009;*

*c) resistenza al rotolamento dei pneumatici rientranti nell'ambito di applicazione del regolamento (CE) n. 661/2009 e del regolamento (CE) n. 1222/2009;*

*d) indicatori di cambio di marcia rientranti nell'ambito di applicazione del regolamento (CE) n. 661/2009;*

*e) uso di biocarburanti.*

2. *È possibile presentare una richiesta per una tecnologia, purché siano soddisfatte le seguenti condizioni:*

*a) la tecnologia è stata applicata su una percentuale pari o inferiore al 3 % di tutte le nuove autovetture immatricolate nel 2009;*

*b) la tecnologia è intrinsecamente legata ad un efficiente funzionamento del veicolo ed è compatibile con la direttiva 2007/46/CE.]*

La richiesta e i relativi documenti giustificativi vengono inoltre trasmessi via posta elettronica o supporto elettronico oppure caricati su un server gestito dalla Commissione. Nella richiesta, oltre ai dati del richiedente, si presenta la descrizione della tecnologia innovativa e il modo con cui è stata applicata al

veicolo, di cui il metodo di prova che dimostri la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> conseguita. Il metodo di prova deve fornire risultati verificabili, ripetibili e confrontabili. Inoltre deve essere presentata una stima della quantità dei veicoli su cui è ipotizzabile o è prevista l'applicazione, più una stima della riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Oltre al veicolo sui cui è stata applicata l'innovazione ecocompatibile si designa un veicolo di riferimento non provvisto di tale tecnologia innovativa, ma identico in tutti gli altri aspetti, per un confronto sulle emissioni. (Parlamento europeo, REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) N. 725/2011 DELLA COMMISSIONE, 2011)

### 2.3.1. Classi di potenziali tecnologie ecoinnovative

Dalla *'Linee guida tecniche per la preparazione delle domande di omologazione di tecnologie innovative ai sensi del regolamento (CE) n. 443/2009 e del regolamento (UE) n. 510/2011'* (Commissione europea, Ottobre 2015): le potenziali tecnologie di eco-innovazione sono state raggruppate in classi di caratteristiche tecniche e caratteristiche simili. Il seguente elenco descrive lo stato attuale delle conoscenze,(non deve essere considerato come finalizzato o completato e non dovrebbe escludere potenziali tecnologie appartenenti ad altre classi).

*Classe 1:*        **componenti elettrici migliorati** (il carico di lavoro meccanico all'alternatore si riduce e il consumo di carburante e le emissioni di CO<sub>2</sub> diminuiscono)

*Classe 2:*        **componenti meccanici migliorati** (ogni miglioramento dei componenti meccanici, che migliorano l'efficienza del motore, ad esempio della resistenza al rotolamento, della resistenza aerodinamica o dell'attrito dei dispositivi meccanici, porta direttamente alla riduzione del consumo di carburante e delle emissioni di CO<sub>2</sub>)

*Classe 3:*        **utilizzo di fonti di energia dall'ambiente** (se le fonti di energia ambientale, oltre ad essere trasformate in energia utilizzabile da dispositivi speciali, fossero utilizzate

direttamente per la propulsione del veicolo o trasformate in energia elettrica, il fabbisogno di energia di carburante verrebbe ridotto)

*Classe 4:* **sistemi di accumulo dell'energia termica** (L'energia termica, che non può essere utilizzata o utilizzata solo ad un livello energetico più basso in un dato momento, può essere immagazzinata e utilizzata successivamente. Per esempio, l'accumulo di calore mediante misure di isolamento può aumentare la temperatura delle parti del veicolo e, quindi, ridurre l'attrito dei componenti meccanici)

*Classe 5:* **sistemi di accumulo di energia cinetica** (come per l'uso del calore ad un livello energetico più basso)

*Classe 6:* **energia termica da convertire in energia elettrica** (Il calore residuo proveniente dallo scarico o dal liquido di raffreddamento può essere trasformato in elettricità e può quindi ridurre il carico di lavoro all'alternatore. Le tecnologie possibili sono: - Scambiatore di calore, turbina e generatore – Turbo compressore e generatore - Scambiatore di calore e semiconduttore termoelettrico)

*Classe 7:* **energia cinetica da convertire in energia elettrica** (L'energia cinetica può essere trasformata in energia elettrica addizionale in modi diversi)

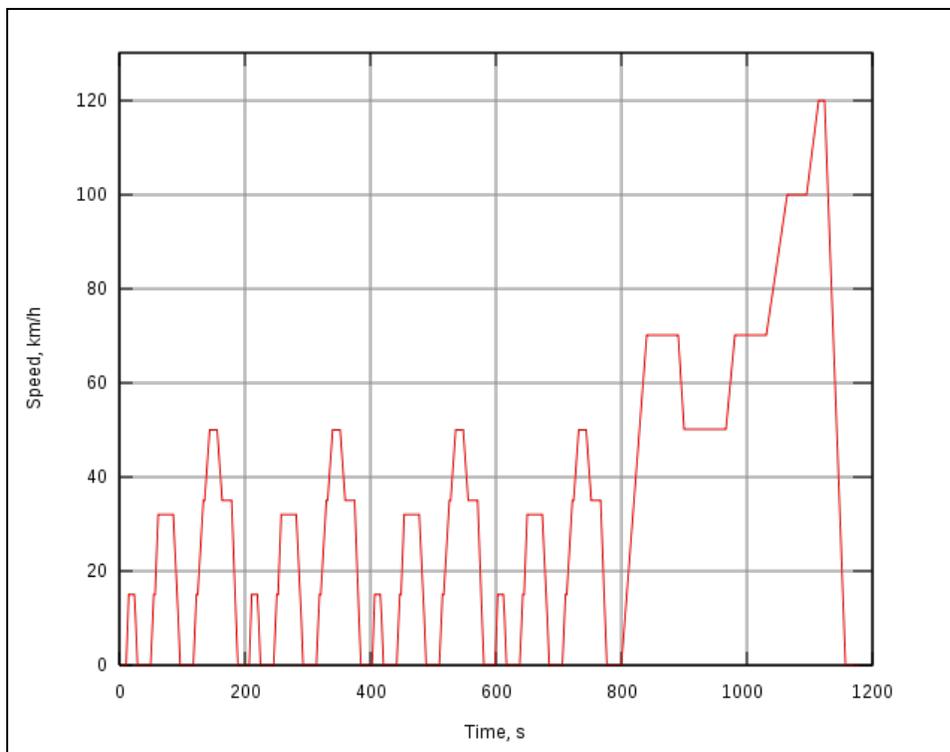
*Classe 8:* **misure che abbassano la velocità del motore** (Le misure che abbassano la velocità del motore possono includere variazioni nei rapporti di trasmissione, diverse strategie di cambio marcia o spegnimento del motore durante le fasi di minimo)

*Classe 9:* **aerodinamica attiva** (Dispositivi che adattano il veicolo in modo aerodinamico alle condizioni ambientali o ai parametri dei veicoli, ad esempio velocità, temperatura

ambiente, temperatura del motore. Questi dispositivi possono modificare la resistenza e, di conseguenza, la curva di decelerazione.

## 2.4. Il ciclo di prova

Per garantire parità di condizioni e per avere comuni riferimenti per l'applicazione della tecnologia innovativa proposta, dunque per validarla, il ciclo di prova che è stato certificato dalle direttive comunitarie è l'NEDC (New European Driving Cycle).



**Figura 20 Nuovo ciclo di guida europeo**

Il Nuovo ciclo di guida europeo è costituito dalla ripetizione di quattro cicli "urbani", ECE-15 driving cycle, a una velocità massima di 50 km/h e uno extraurbano, Extra-Urban driving cycle, alla velocità massima di 120 km/h. Il ciclo si propone di rappresentare l'uso tipico di una vettura in Europa ed è utilizzato, tra l'altro, per valutare i livelli di emissioni inquinanti dei veicoli e per il consumo di carburante.

La durata complessiva del ciclo è di 1180 s (circa 20 minuti), la distanza percorsa è di 11,023 km. Il ciclo è effettuato con vettura a motore inizialmente a temperatura ambiente, questa è di circa 22 °C. I punti di cambiata sono predefiniti per vetture con cambio manuale, liberi per quelle con cambio automatico.

Il ciclo, il cui ultimo aggiornamento risale al 1997, è considerato poco realistico in quanto le accelerazioni presenti sono piuttosto blande e poco rappresentative della guida reale. Esso è piuttosto da intendersi come strumento per effettuare confronti dei consumi e delle emissioni tra diverse vetture, essendo il ciclo normato e riproducibile.

Dal 1° settembre 2017 è stato rimpiazzato dal successore, denominato WLTC (Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycles), che è parte della più ampia Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure (WLTP).

## 2.5. Procedura di calcolo

La procedura generica per determinare i risparmi di CO<sub>2</sub> di una particolare tecnologia innovativa è descritta dall'equazione 1. Questa procedura, compresa la prova del veicolo su un banco dinamometrico, può essere utilizzata da un richiedente nell'ambito del processo di "metodologia globale" o "approccio semplificato"(vedere di seguito la differenza tra le due metodologie). Le condizioni di prova (ad esempio condizioni ambientali, temperature, attivazione di dispositivi di sicurezza, pressione dei pneumatici) specificate per la metodologia di prova di una tecnologia innovativa possono essere modificate da quelle definite per l'omologazione.

**Equazione 1:**

$$C_{CO_2} = [(B_{MC} - E_{MC}) - (B_{TA} - E_{TA})] * UF$$

$C_{CO_2}$ : risparmio di CO<sub>2</sub> [g CO<sub>2</sub> / km]

**B<sub>MC</sub>**: emissioni di CO<sub>2</sub> del veicolo tecnologico di base in condizioni di test modificate [*g CO<sub>2</sub> / km*]

**E<sub>MC</sub>**: emissioni di CO<sub>2</sub> del veicolo con tecnologia di ecoinnovazione in condizioni di prova modificate [*g CO<sub>2</sub> / km*]

**B<sub>TA</sub>**: emissioni di CO<sub>2</sub> del veicolo tecnologico di base in condizioni di omologazione [*g CO<sub>2</sub> / km*]

**E<sub>TA</sub>**: emissioni di CO<sub>2</sub> del veicolo con tecnologia di ecoinnovazione in condizioni di omologazione [*gCO<sub>2</sub> / km*]

**UF**: fattore di utilizzo (quota media di utilizzo della tecnologia in normali condizioni operative) [-]

I fattori di utilizzo descrivono la quota media di utilizzo di una particolare tecnologia nell'uso totale del veicolo e derivano da indagini e dati esterni.

Ciascuno dei quattro valori di emissione di CO<sub>2</sub> (B<sub>MC</sub>, E<sub>MC</sub>, B<sub>TA</sub> ed E<sub>TA</sub>) rappresentano una media aritmetica di una serie di misurazioni individuali e consecutive. Le condizioni di prova (ad esempio temperatura e umidità nella cella di prova) dovrebbero essere uguali per tutte e quattro le serie di misure e dovrebbero essere simili alle condizioni di prova delle misurazioni di omologazione (eccetto quei parametri che influenzano naturalmente le prestazioni della tecnologia innovativa).

I risparmi di CO<sub>2</sub> di un'ecoinnovazione dovrebbero essere verificabili. Il risparmio dovrebbe essere calcolato secondo la procedura descritta nell'equazione e dovrebbe essere pari a 1 g CO<sub>2</sub> / km o più affinché la tecnologia sia idonea. Per questo confronto, i valori di risparmio di CO<sub>2</sub> calcolati devono essere arrotondati per eccesso e espressi con un massimo di due cifre decimali.

### 2.5.1. Metodologia

L'applicazione per l'approvazione di una tecnologia innovativa come eco-innovazione deve includere una metodologia di test adatta a determinare e quantificare l'effetto di risparmio di CO<sub>2</sub> della tecnologia. La

metodologia dovrebbe fornire risultati accurati e verificabili. Esistono due approcci diversi per presentare una metodologia di test: l'approccio semplificato o la metodologia globale.

Le caratteristiche principali dell'approccio semplificato sono:

- Funzioni e fattori mediati (ad esempio definiti nel testo delle linee guida citato, standard tecnico).
- possibilità di introduzione di protocolli di prova certificati, delle misurazioni, dell'analisi statistica e della determinazione dell'errore nel risparmio di CO<sub>2</sub>.
- Margini di sicurezza inclusi per garantire la copertura di tutti i veicoli potenzialmente qualificanti, incertezze di misurazione / modellazione ed effetti di deterioramento.

Invece quelle principali della metodologia globale sono:

- Misure o modellizzazione o una combinazione di entrambi.
- I risultati dei test del veicolo e dell'hardware dovrebbero, in linea di principio, essere riproducibili da una terza parte con tecniche di misurazione standard.
- I risultati della modellizzazione dovrebbero in linea di principio essere riproducibili da una terza parte con Software di simulazione di veicoli commerciali.
- Il richiedente potrebbe dover fornire hardware (sia per la tecnologia baseline che per quella di eco-innovazione) per la convalida.
- Il richiedente potrebbe dover fornire dati completi sui veicoli da utilizzare per approcci di modellizzazione.

### 3. Sistema di accumulo di energia: accumulo di calore del motore

Il calore è energia. Recuperare il calore disperso è un buon modo per ottenere un guadagno netto in termini di efficienza, sia che si sfrutti quell'energia attraverso la sovralimentazione turbo, sia che si recuperi energia utile estraendola da una quota di quella che, normalmente, si dissipa in calore durante il rallentamento del veicolo (diminuzione di energia cinetica).

Nonostante tutti i buoni sforzi nella gestione del calore, c'è ancora molto calore prezioso che va perso.

Ogni volta che il motore subisce un avviamento a freddo, che in genere significa un avvio vicino alla temperatura ambiente, vi è una quantità significativa di energia aggiuntiva richiesta (e quindi di carburante consumato). La ragione di ciò è che l'olio è più denso alle basse temperature, il che aumenta l'attrito dei componenti interni del motore e quindi la quantità di lavoro che deve eseguire.

Il sistema di accumulo termico del motore è stato approvato come eco-innovazione dalle decisioni della Commissione 2013/451 / UE37.

Esistono diversi modi di utilizzare il calore del motore. Uno di questi è l'incapsulamento del motore.



*Figura 21 Esempio su Fiat Punto di engine encapsulation (prima e dopo)*

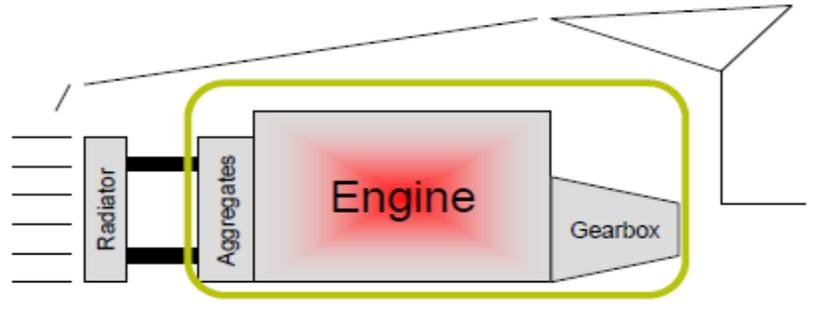
Un sistema di incapsulamento del vano motore consente di ridurre la perdita di calore dopo lo spegnimento del veicolo, isolandolo e quindi impedendo al motore di raffreddarsi troppo rapidamente, quando non è in funzione, contribuendo a ridurre il consumo di carburante e le emissioni

La temperatura di esercizio ottimale del motore dovrebbe essere raggiunta rapidamente. L'energia termica all'interno del motore viene mantenuta a lungo, le perdite per attrito sono quindi ridotte e la fase di avviamento a freddo è più breve, grazie alle migliori prestazioni dell'olio di lubrificazione a temperature più elevate. Un'altra conseguenza è il rapido riscaldamento dell'abitacolo. Inoltre, dai benefici acustici dell'incapsulamento del motore è possibile ottenere un risparmio di peso, grazie al mancato impiego dei componenti ridondanti.

Ricapitolando, i maggiori benefici dell'incapsulamento del motore sono:

- minori emissioni di CO<sub>2</sub> e consumo di carburante grazie allo stoccaggio del calore
- riduzione del rumore del motore: beneficio acustico per il rumore interno ed esterno
- opportunità di risparmio di peso grazie all'ottimizzazione del pacchetto acustico completo
- migliore confort termico in cabina

#### 4. Che cosa è l'Incapsulamento del motore?



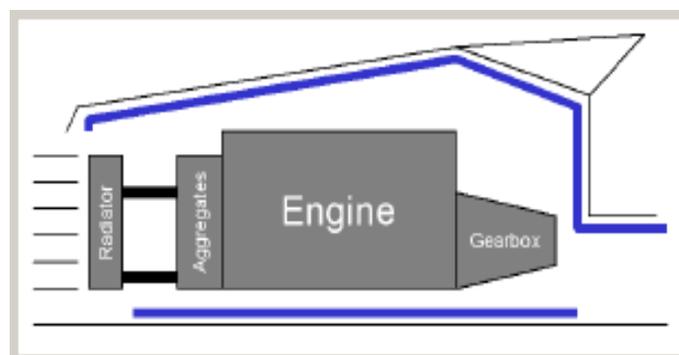
*Figura 22 Idea di incapsulamento motore*

L'idea iniziale, di incapsulare il motore con un 'maglione' per trattenere il calore nel vano motore il più tempo possibile, è stata avuta da varie case automobilistiche tra cui BMW a FCA. Dall'idea all'interpretazione fino alla progettazione si sono susseguiti vari tentativi di approccio all'argomento.

Due sono le strategie principali per il montaggio:

- ✚ Incapsulamento sotto cofano
- ✚ Incapsulamento del corpo motore

##### 4.1. Incapsulamento sotto cofano



*Figura 23 Incapsulamento Body Mounted*

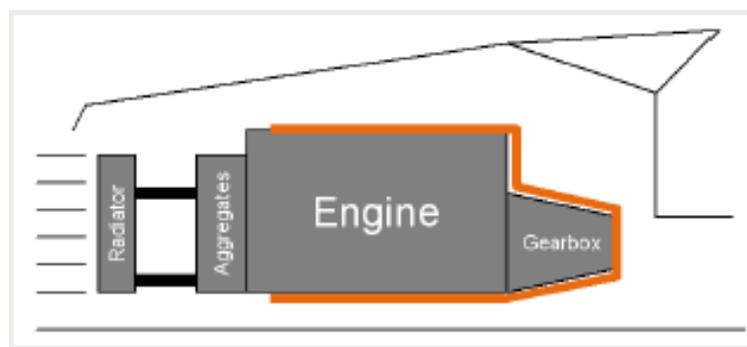
Vantaggi:

- Ben compatibile con gli attuali processi di sviluppo del veicolo
- Incapsulamento lontano da calore e vibrazioni
- Estensione del pacchetto acustico
- Facile manutenzione del motore

Svantaggi

- Riduce al minimo le perdite d'aria nelle mangiatoie
- Sequenza di montaggio complessa a causa del poco spazio disponibile
- Superficie ampia da isolare
- Possibili problemi di sicurezza termica

#### 4.2. Incapsulamento del corpo motore



*Figura 24 Incapsulamento engine-mounted*

Vantaggi:

- Piccola superficie da isolare → Minore utilizzo del materiale
- Più vicino al calore e alla sorgente di rumore → Efficienza

- Stesso layout per lo stesso tipo di motore su diverse piattaforme

#### Svantaggi

- Maggiori esigenze a fatica, più calore e vibrazioni → sviluppo di nuovi materiali
- Più difficile da realizzare a causa di geometrie e interfacce complesse
- Poco spazio per l'incapsulamento
- Difficile la manutenzione del motore (accessibilità del servizio)
- Possibili problemi di sicurezza termica

### 4.3. Materiali usati

I componenti usati, che fungono sia da incapsulamento che da isolante acustico, sono spesso realizzati in lana di vetro o feltro di cotone, con resina fenolica come legante, ricoperta di non tessuti trattati. Oltre ad essere abbastanza economici, questi materiali forniscono nel complesso buona resistenza all'infiammabilità. L'inconveniente della resina è l'odore e l'emissione dei VOC (composti organici volatili). Dagli studi di Rieter, produttore di macchine tessili e componenti automobilistici, condotti su questo campo, si sono sviluppati materiali acustici con sufficiente resistenza meccanica. Un esempio è "KEST", un materiale di fibra agugliato consistente di una combinazione di polipropilene e una variabile quantità di fibre di vetro per bilanciare proprietà acustiche e meccaniche. Rieter afferma, tuttavia, che tali materiali non sono adatti alle alte temperature vicino al motore poiché sono limitati a 140 ° C. Dovette quindi sviluppare materiali che combinano resistenza meccanica, efficacia acustica, isolamento termico e stabilità al calore. (Maurizio MANTOVANI Hermann DE CIUTIIS Pierre DANIERE Yoshihiro SHIRAHASHI, 2010)

In definitiva, un materiale leggero e multifunzionale. Alcuni esempi di schede tecniche:

Autoneum Italy s.p.a.		<b>autoneum</b>	
DEC Leini Divisione Auto	<b>NOTIZIE TECNICHE</b>		Eseguito: Visto:
Data: 03/04/2013	Prodotto CFK High Thermic	Descrizione Feltro Termoformabile per alte Temperature	N :
 <p style="text-align: center;">Fig 1. Pannello piano termoformato</p>			
<b>ASPETTO :</b>	Semilavorato: materassino costituito da fibre di vetro e poliestere con legante fenolico Componente: geometria secondo disegno con possibilità di rivestimento superficiale estetico/funzionale di caratteristiche appropriate al particolare utilizzo (idrooleo repellenza , autoestinguenza , etc.)		
<b>FUNZIONE :</b>	Fonoassorbente per alte temperature, Termoisolante		
<b>APPLICAZIONE :</b>	Zone piane e preformate tipiche dell'ambiente vano motore		
<b>PROPRIETA' ACUSTICHE :</b>	Misure ASTM E 1050 ( tubo di KUNDT ) e Resistività al passaggio dell'aria in funzione della densità ,su richiesta vengono allegate .		
<b>UTILIZZO :</b>	Temperatura minima di manipolazione > 18°C.		
<b>CARATTERISTICHE :</b>	<b>Composizione :</b>	Miscela di fibre di vetro e poliestere legate con resine termoindurenti fenoliche additivate con flame retardant.	
	<b>Vantaggi :</b>	Eccellenti caratteristiche di fonoassorbimento del rumore unite ad ottime proprietà meccaniche oltre ad una elevata resistenza alle alte temperatura e alla fiamma del particolare finito.	
	<b>Spessore :</b>	( mm ) variabile In funzione della grammatura e del disegno .	
	<b>Densità :</b>	60 - 480 kg/m <sup>3</sup>	
	<b>Peso :</b>	900 - 1800 gr/mq	
	<b>Dimensioni :</b>	Larghezza massima ottenibile 2200 mm	
	<b>Legante :</b>	Resina termoindurente fenolica Flame Retardant	

Figura 25 Prodotto CFK high temperature di Autoneum



Figura 26 Theta-Fiber di Autoneum

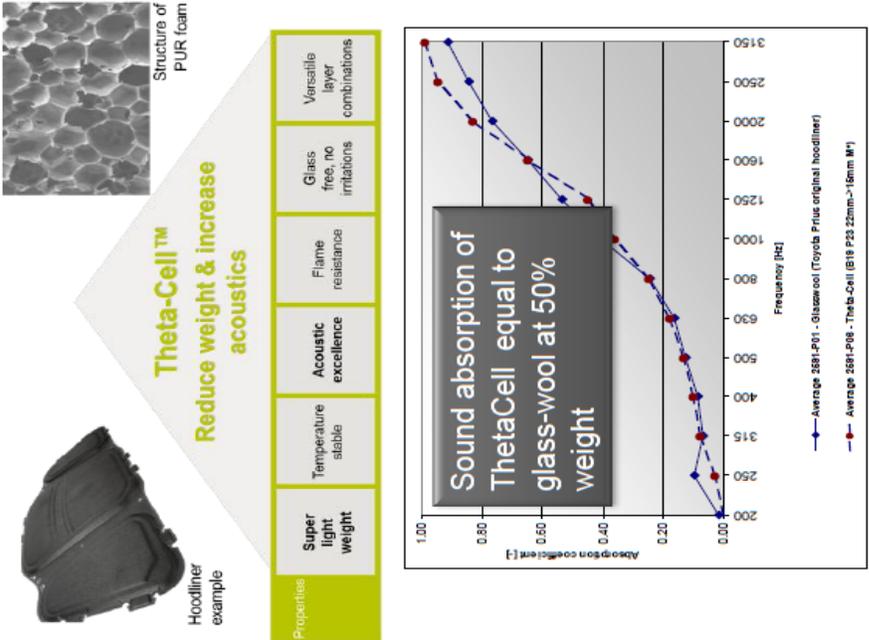


Figura 27 Theta-Cell di Autoneum



Il prodotto più leggero sul mercato per  
schermatura aerodinamica integrata e  
acustica



Figura 28 Rus di Atonuem

## Theta-FiberCell Bill of material

autoneum

- High Mechanical properties
- Resistance after ageing
- Optimal acoustic performances
- Heat storage
- Resistance to vibration
- Flammability
- High self-ignition temperature
- Design flexibility
- Eco-friendliness

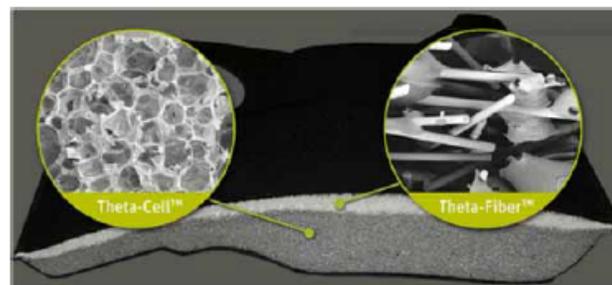
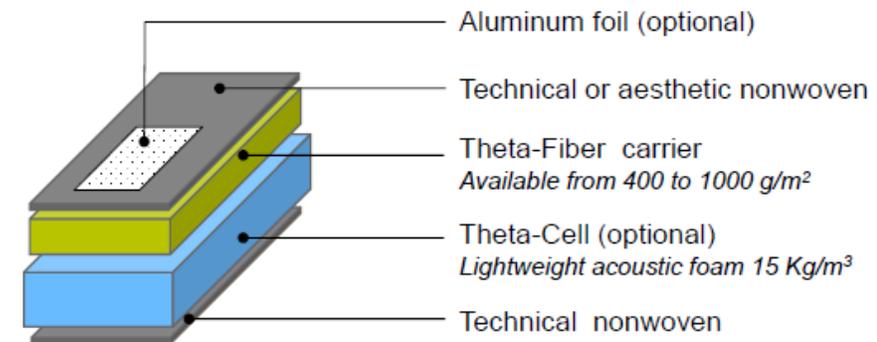


Figura 29 Theta-FiberCell di Atoneum

## 5. Applicazione dell'incapsulamento del motore su vettura

Avendo inquadrato l'argomento, analizzati li scenari possibili, spinti dal fatto di dover rientrare nei limiti di emissione del 2020, con FCA si è pensato di verificare su delle vetture la possibilità di utilizzare l'ecoinnovazione proposta dalla regolamentazione europea 443/2009.

Come si procede per la conduzione dell'attività:

- scelta della vettura sulla quale analizzare il comportamento dell'ecoinnovazione
- scelta del materiale opportuno per l'isolamento termico e acustico
- individuazione della strategia da usare per l'incapsulamento delle parti critiche del motore
- montaggio delle parti
- inizio con metodologia di prova

Secondo le linee guide tecniche sulla Regolamentazione (EC) 443/2009 paragrafo 9.3.1, la metodologia di prova include i seguenti passaggi (Commissione europea, Ottobre 2015):

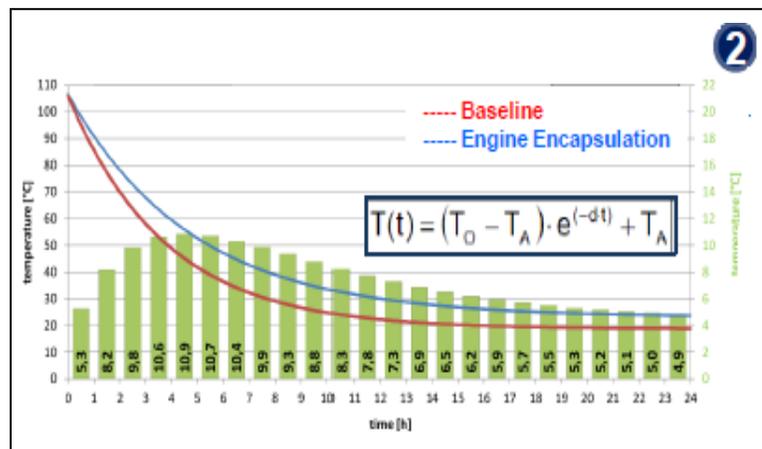
- **Step1:** determinazione sperimentale delle curve di raffreddamento (cool-down curves) su 24 ore sia per la vettura con l'incapsulamento sia per la vettura senza.



*Figura 30 Esempio di incapsulamento della vettura*

Questo per determinare le caratteristiche della vettura riguardanti la capacità termica, l'imballaggio del vano motore e l'isolamento termico del motore. Le misurazioni devono essere eseguite in una cella climatica certificata per garantire l'uniformità dei dati e la verificabilità. La temperatura del liquido di raffreddamento va misurata per mezzo di una termocoppia ad una temperatura ambiente costante di almeno 14 ° C su 24 ore. Il motore deve essere riscaldato fino alla temperatura massima del liquido di raffreddamento, quindi bisogna ripetere un numero sufficiente di cicli NEDC. Tra l'altro la misura deve essere fatta con tutte le pompe e i ventilatori spenti, quindi a motore spento e chiave del cruscotto estratta. Il cofano della macchina deve essere chiuso completamente. Ogni sistema di ventilazione artificiale all'interno della cella di prova devono essere spenti. (Commissione europea, Ottobre 2015)

- **Step 2:** Determinazione delle costanti di decadimento delle curve di raffreddamento sia per la versione base che per quella incapsulata della vettura.



**Figura 31** Esempio di curve di raffreddamento per le due versioni della vettura

Effettuate le misure come previsto, si utilizza l'equazione riportata nella figura sopra per descrivere il fenomeno, presente anche nella linea guida. Per l'analisi dei dati è necessario trovare la costante di decadimento che rappresenta il fenomeno. Il metodo dei minimi quadrati dovrebbe essere usato per il settaggio delle due curve. Per fare ciò, i dati di misurazione della

temperatura dei primi minuti (20 minuti circa) dopo lo spegnimento del motore dovrebbero essere tagliati a causa del comportamento atipico della temperatura del liquido di raffreddamento dopo lo spegnimento del circuito del liquido di raffreddamento. L'equazione è:

**Equazione 2**

$$T(t) = T_A + (T_0 - T_A)e^{-d*t}$$

T (t): temperatura nel tempo [° C]

T<sub>0</sub>: temperatura operativa del motore [° C]

T<sub>A</sub>: temperatura ambiente [° C]

d: costante di decadimento [1 / h]

(Commissione europea, Ottobre 2015)

- **Step3:** Determinazione del beneficio di avviamento a caldo (HSB Hot Start Benefit)

Il risparmio di CO<sub>2</sub> ottenibile con la nuova applicazione dipende dalla differenza di temperatura tra le due configurazioni, riferito ad un lasso di tempo di una sosta per il parcheggio. Infatti esiste una relazione stretta tra l'emissione di CO<sub>2</sub> e la temperatura del veicolo all'accensione (CO<sub>2</sub>↓ se T<sub>0</sub>↑). HSB è calcolato sperimentalmente come la differenza di temperatura tra la partenza del veicolo a freddo e la partenza del veicolo a caldo, pesata su quella a freddo, per un test omologato NEDC:

**Equazione 3**

$$HSB = 1 - \frac{CO_2(hot)}{CO_2(cold)}$$

HSB: Beneficio di avviamento a caldo [-]

CO<sub>2</sub> (hot): emissioni di CO<sub>2</sub> alla temperatura del motore a caldo [gCO<sub>2</sub> / km]

CO<sub>2</sub> (cold): emissioni di CO<sub>2</sub> alla temperatura del motore a freddo [gCO<sub>2</sub>/km]

(Commissione europea, Ottobre 2015)

- **Step 4:** Calcolo del risparmio totale di CO<sub>2</sub>, ponderato sulla distribuzione del tempo di parcheggio (presente nella guida tecnica).

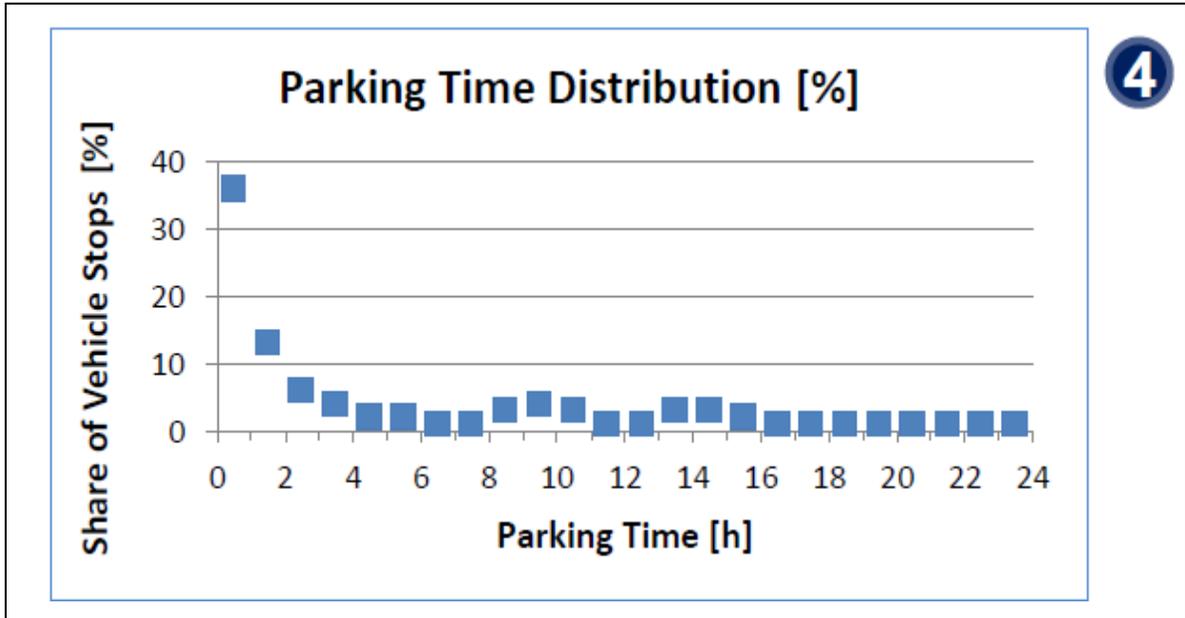


Figura 32 Distribuzione del tempo di parcheggio definito dall'UE nelle linee guida

La linea guida dell'ottobre del 2015 propone un'equazione per il calcolo del potenziale di riduzione delle emissioni ( $\Delta CO_2$ ) ponderato sulla distribuzione temporale del parcheggio:

**Equazione 4**

$$\Delta CO_2(t_{pt}) = 1.443 * \ln \left( \frac{e^{-d_E * t_{pt}} + 1}{e^{-d_B * t_{pt}} + 1} \right) * HSB$$

$d_E$ : costante di decadimento del veicolo con l'ecoinnovazione [1/h]

$d_B$ : costante di decadimento del veicolo di riferimento (senza incapsulamento) [1/h]

$t_{pt}$ : tempo di parcheggio [h]

Da qui il risparmio totale di CO<sub>2</sub>:

**Equazione 5:**

$$C_{CO_2} = TA_{CO_2} * \sum_{pt=1}^{24} \Delta CO_2(t_{pt}) * SVS_{pt}$$

CO<sub>2</sub>: risparmio di CO<sub>2</sub> [g CO<sub>2</sub> / km]

TA<sub>CO<sub>2</sub></sub>: emissione di CO<sub>2</sub> in base alla procedura di omologazione [gCO<sub>2</sub>/km]

SVS<sub>pt</sub>: distribuzione del tempo di parcheggio [-]

(Commissione europea, Ottobre 2015)

## 5.1. Inizio dei test

Le prime prove si sono svolte presso la galleria aerodinamica di FCA ad Orbassano nel periodo di febbraio/marzo in una cella climatica certificata per la procedura descritta nelle linee guide per la regolamentazione EC 443/2009; dotata di rulli per la simulazione del ciclo NEDC. La durata della prova deve comprendere almeno 4 cicli NEDC da 20 minuti l'uno (per stabilizzare bene la temperatura del motore), per un totale di circa 80 minuti, più la fase di raffreddamento a motore spento e cella spenta di circa 24 ore.

### 5.1.1. Prova su vettura n°1

I primi test sono stati condotti su una vettura a benzina di piccola cilindrata con un motore in alluminio. I risultati ottenuti non hanno portato verso buone conclusioni, ma ci si è potuti indirizzare verso altre strategie. La prima grande domanda, che i primi risultati hanno fatto sorgere è su quale tipo di veicolo fosse possibile ottenere un vero guadagno dall'utilizzo di questa eco-innovazione.

Avendo usato per la prima prova una vettura con un motore a benzina di nuova generazione di piccola cilindrata in alluminio, si è pensato di rivolgersi verso motori con una massa maggiore e in ghisa; quindi che fossero più pesanti e con una capacità termica maggiore. Cosa succede con in motori in alluminio? Essendo l'alluminio un buon conduttore e soprattutto il meccanismo propulsore molto prestante e efficiente, il motore tende a riscaldarsi in fretta durante la fase di warm up, e conseguentemente a raffreddarsi ugualmente in fretta durante la fase di cool-down. Il sistema di incapsulamento tendeva a fare bene il suo lavoro ( $\Delta T_{msx} \cong 5^{\circ}\text{C}$ ), cioè quello di trattenere il calore per un tempo maggiore, ma il guadagno totale di  $\text{CO}_2$  non superava i 25 punti percentuali, perché la fase di raffreddamento avveniva comunque troppo velocemente. Nella figura che segue sono rappresentate le curve di cool-down della vettura nelle due configurazioni:

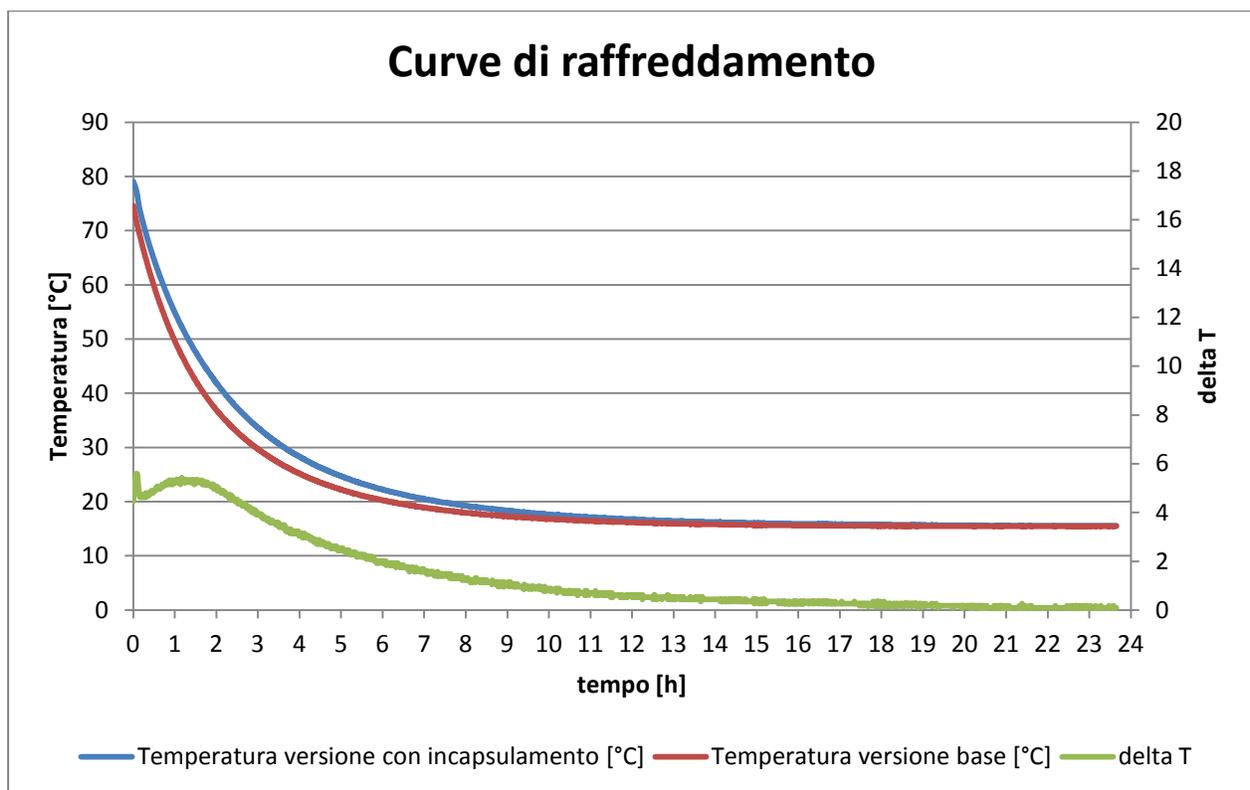


Figura 33 Curve di raffreddamento per la prova sulla prima vettura

(fase di warm up = 4 cicli NEDC (20 min a ciclo) circa 80 min)

(fase di cool down = 24 ore )

(per il grafico: sono stati tolti i primi venti minuti dopo lo spegnimento della vettura)

### 5.1.2. Prova su vettura n°2

Come si è deciso di proseguire?

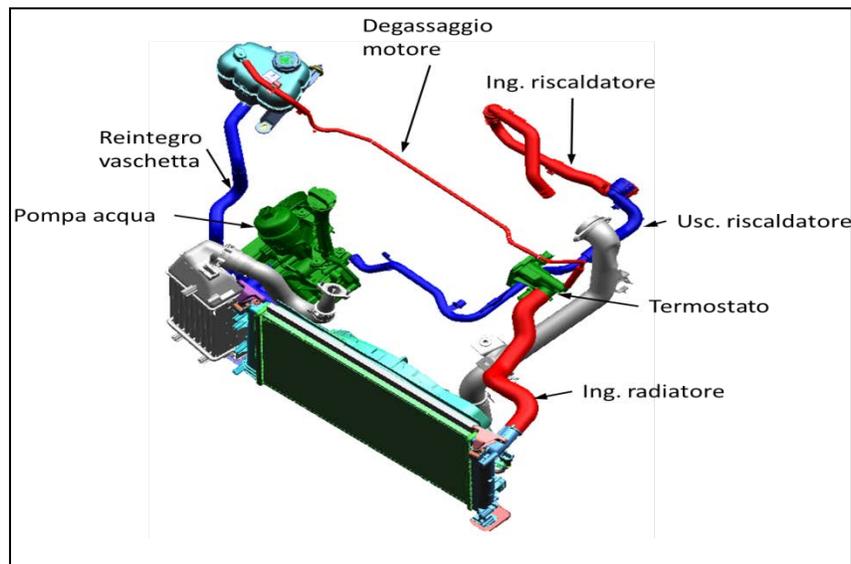
La strategia seguita è stata, come detto: usare un motore in ghisa, quindi più pesante e di cilindrata maggiore. Le prove condotte si sono svolte in due celle diverse dalla prima non omologate al ciclo NEDC, ma i risultati possono essere comparati tra di loro perché la procedura di test è stata normalizzata sulle caratteristiche delle linee guida proposte per la regolamentazione EC 443/2009; i risultati saranno non omologativi ma significativi.

La vettura in questione è Renegade 520 1.6MJet 120cv MT Euro 6d.

La scelta delle termocoppie da usare è stata la seguente:

1. Acqua ingresso radiatore
2. Acqua uscita radiatore
3. Olio motore
4. Aria ingresso filtro
5. Aria uscita elettroventola
6. Ambiente esterna
7. Centralina motore
8. Centralina cavi iniettori

La termocoppia, in grado di dare un'informazione precisa su quale sia la Temperatura operativa del motore (la  $T_0$  dell'equazione proposta dalla normativa, *equazione 2*) è la prima, cioè 'acqua ingresso radiatore'. Perché? Guardando l'intero sistema di raffreddamento del veicolo: al centro (non rappresentato) c'è il motore, in rosso le tubazioni di mandata che dal motore vanno verso altri componenti, in blu le tubazioni di ritorno dai componenti al motore e in grigio i componenti riguardanti il trattamento dell'aria di aspirazione (intercooler).



**Figura 34 sistema raffreddamento di una vettura**

L'intero processo viene regolato dal dispositivo centrale, il termostato, il quale è sensibile ad una temperatura ottimale per la quale il termostato 'si apre' e fa circolare il refrigerante ( $H_2O$  + antigelo) per il raffreddamento del motore. Quando il motore è freddo, nessun liquido refrigerante attraversa il radiatore, il quale ha il compito di smaltire il calore dal liquido che asporta calore dal motore. Il liquido, dunque, nella prima fase circola solo tra il motore e il riscaldatore per il sistema di riscaldamento dell'autoveicolo; raggiunta la temperatura di circa  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$  la sezione di passaggio del termostato inizia ad aumentare regolando così la quantità di liquido da far passare per il raffreddamento del motore.

Dunque il punto in cui posizionare la termocoppia in grado di misurare bene la temperatura interna del motore è proprio quello all'ingresso del radiatore, nella cui tubazione circola effettivamente il liquido che arriva proprio dal motore. Anche la termocoppia sull'ingresso del riscaldatore individuerrebbe la temperatura operativa del motore.

Le due versioni della vettura (incapsulata e non) sono rappresentate nelle foto sottostanti:

Elemento iniziale a contatto con il motore:



**Figura 35 Cover esteso in materiale plastico**

Secondo materiale aggiunto, con proprietà ad elevata resistenza termica e acustica



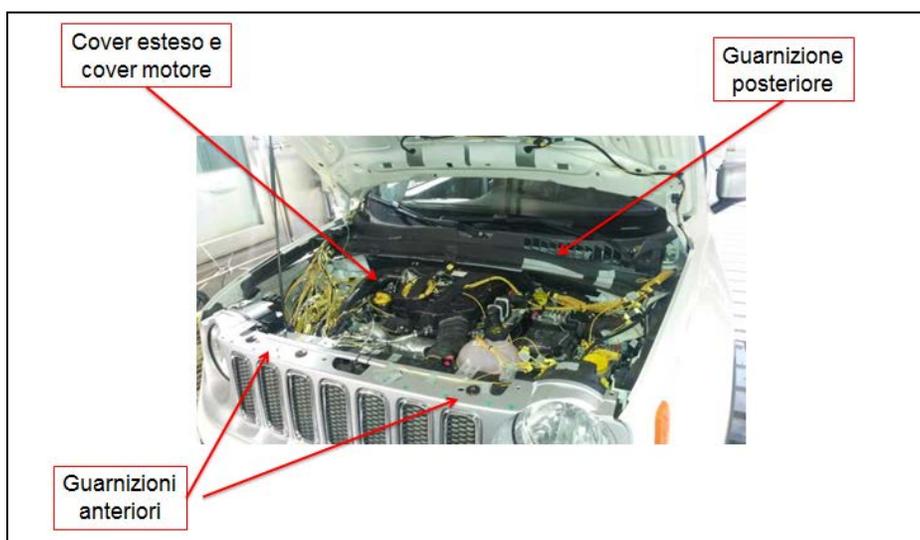
**Figura 36 Cover esteso in simil tessuto**

Sono stati poi montati anche dei ripari laterali, inserti nella scocca appena dietro ai passaruota anteriori (Figura 37), e il riparo sotto motore (Figura 39)



*Figura 37 Ripari laterali*

Per le prove con la vettura in configurazione omologativa/base (NAKED) sono stati rimossi i due cover, quello in plastica e quello in tessuto; le guarnizioni anteriori e posteriori; i ripari laterali con i passaruota anteriori; il riparo sotto cofano insonorizzante, il riparo sotto motore più la griglia anteriore:



*Figura 38 Elementi eliminati per passare dalla versione incapsulata a quella non incapsulata*



Figura 39 Elementi eliminati per passare dalla versione incapsulata a quella non incapsulata

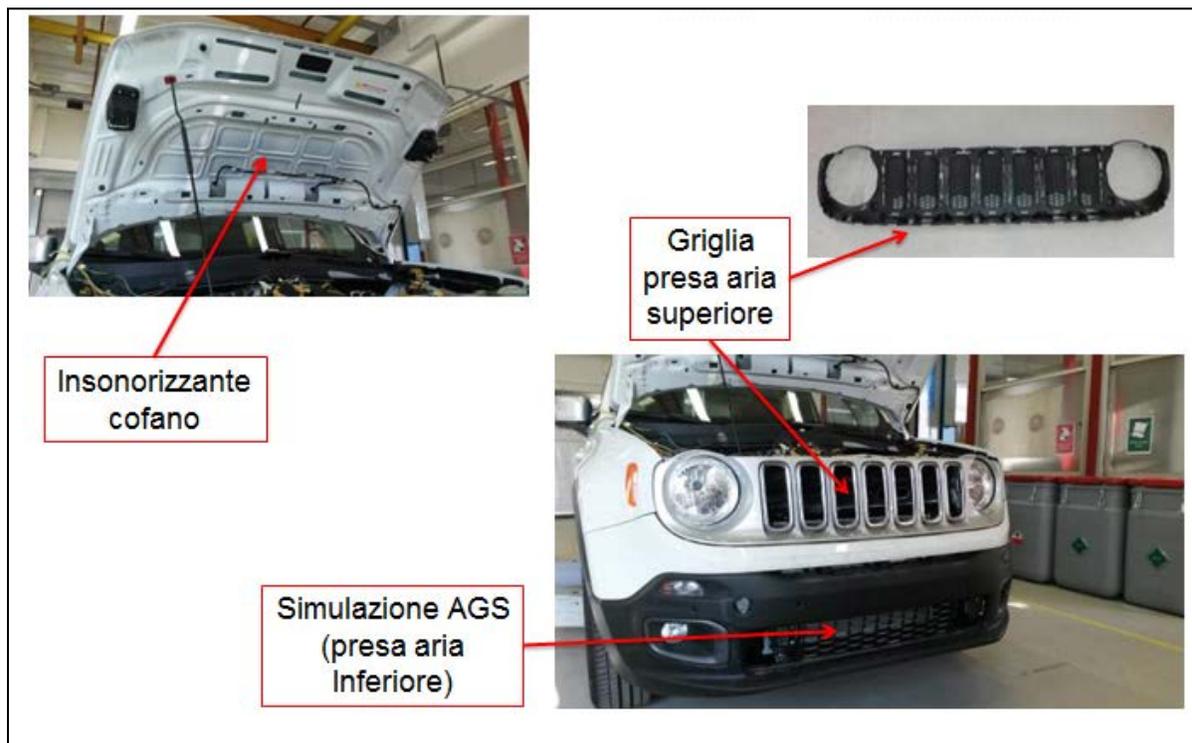
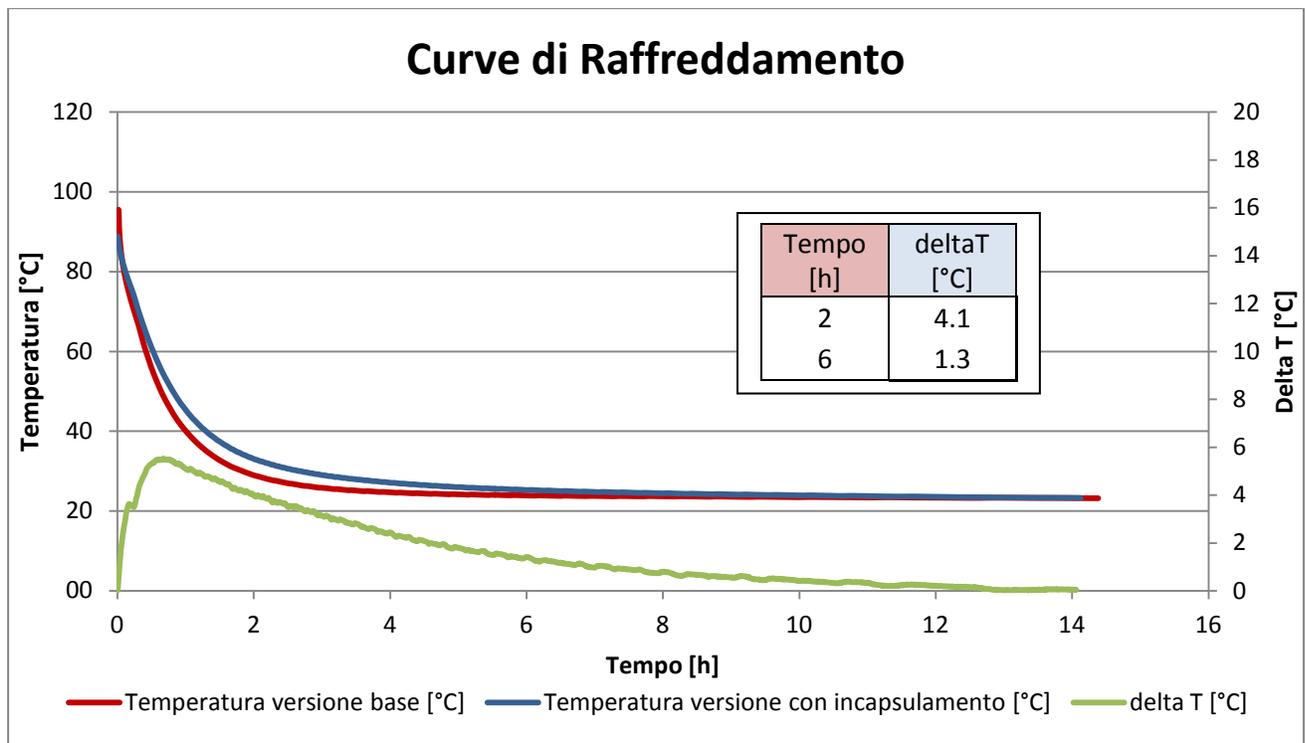


Figura 40 Elementi eliminati per passare dalla versione incapsulata a quella non incapsulata

**5.1.2.1 Prova nella cella di Mirafiori**

Le prove sulla vettura nelle due configurazioni sono state condotte tra la fine di giugno e l’inizio di luglio nella sede di Mirafiori di FCA, considerevolmente in una stagione calda e umida. Per questo motivo si è tentato di procedere con lo svolgere le prove di notte, per risentire meno dell’influenza della temperatura esterna.

La prova senza ripari è stata effettuata il giorno 27 Giugno 2018 dalle 17:00 alle 7:00 del mattino, seguita da quella con i ripari il 3 Luglio 2018 (le foto dei componenti montati e smontati nel paragrafo precedente). Le due curve di raffreddamento determinate sperimentalmente sono le seguenti:



*Figura 41 Curve di raffreddamento per Renegade 520 1.6MJet 120cv MT Euro 6d (prova a Mirafiori)*

La metodologia usata per il calcolo del risparmio di CO<sub>2</sub> è stata quella di seguire l’"approccio semplificato" proposto dalla linea guida dell’ottobre 2015, quindi l’utilizzo di funzioni e fattori mediati

esplicitati nella guida e prima menzionati (Applicazione dell'incapsulamento del motore su vettura, step1, step2, step3, step4).

Il beneficio di CO2 deve essere calcolato dalla costante di decadimento del raffreddamento di 24 ore, ponderato sulla distribuzione temporale del parcheggio (dalla linea guida).

**Parking time distribution (share of vehicle stops)**

Parking time [h]	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5
SVS [%]	36	13	6	4	2	2	1	1	3	4	3	1
Parking time [h]	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	19,5	20,5	21,5	22,5	23,5
SVS [%]	1	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1

**Figura 42 Distribuzione temporale del parcheggio (Commissione europea, Ottobre 2015)**

La formula proposta dalla normativa nella linea guida (*Equazione 2*) fa riferimento ad una sola costante di decadimento che rappresenta l'intero fenomeno. Purtroppo approcciandosi ai dati con il semplice strumento di calcolo di Excel, si è visto che l'interpolazione proposta non era per nulla affidabile; in poche parole nessuna curva di tendenza approssimava i dati in modo affidabile.

Poiché la temperatura esterna non è costante, l'interpolazione non può essere accurata: un errore di 1 °C nella temperatura ambiente fa una differenza del 25% nella riduzione delle emissioni di CO2 calcolate.

Dunque, il beneficio di CO2 varia se la temperatura iniziale del refrigerante viene calcolata mediante la procedura di interpolazione o viene imposta in base ai dati misurati.

Una procedura alternativa, pienamente coerente con le linee guida, consiste nell'adattare l'equazione che esprime il raffreddamento (*Equazione 2*) con la formula di base indicata dalla normativa, ma includendo la variazione di tempo sia per la costante di decadimento sia per la temperatura ambiente. In

questo modo si tiene conto dell'effetto della variazione della temperatura ambiente; inoltre, gli errori nella procedura di adattamento diminuiscono significativamente.

FORMULA DELLA LINEA GUIDA	FORMULA PROPOSTA
$T(t) = T_A + (T_0 - T_A)e^{-k \cdot t}$	$T(t) = T_A(t) + (T_0 - T_A(t))e^{-k(t) \cdot t}$
$\Delta CO_2(t) = 1.443 \cdot \left( \frac{e^{(-k_s \cdot t)} + 1}{e^{(-k_b \cdot t)} + 1} \right) \cdot HS$	$\Delta CO_2(t) = 1.443 \cdot \left( \frac{e^{(-k_s(t) \cdot t)} + 1}{e^{(-k_b(t) \cdot t)} + 1} \right) \cdot HS$
$Credit_{CO_2} = TA_{CO_2} * \sum_{t=1}^{24} \Delta CO_2(t) \cdot SVS(t)$	$Credit_{CO_2} = TA_{CO_2} * \sum_{t=1}^{24} \Delta CO_2(t) \cdot SVS(t)$

*Tabella 5 Sintesi delle formule proposte usate per i calcoli*

Attraverso l'utilizzo di software, come Scilab 5.5.2 in questo caso, si è impostato un programma di calcolo numerico che estrapola una curva per approssimare quella dei dati sperimentali e per ottenere in output proprio la costante di decadimento del raffreddamento. L'extrapolazione viene fatta attraverso interpolazione non lineare, adattando i dati in base alla formula specificata nelle Linee guida tecniche.

L'interpolazione può essere seguita utilizzando diversi metodi:

- a) Temperatura ambiente e temperatura iniziale del refrigerante imposte
- b) Temperatura ambiente interpolata dai dati, temperatura iniziale del refrigerante imposta (interpolazione a due parametri)
- c) Temperatura ambiente e temperatura iniziale del refrigerante interpolati dai dati (interpolazione a tre parametri)

Tra le tre modalità di interpolazione, quella risultante più congruente è l'interpolazione a tre parametri.

Nella tabella sotto sono riportati i valori ottenuti con le interpolazioni a due e tre parametri, sia della costante di decadimento sia del beneficio di CO<sub>2</sub> per l'utilizzo della tecnologia innovativa :

	Base				Incapsulato			
	T0 [°C]	TA [°C]	db [1/h]	CCO2 [g/km]	T0 [°C]	TA [°C]	de [1/h]	CCO2 [g/km]
Interpolazione 2 par	74.83	23.79	1.31	-	77.60	24.52	1.02	0.579799
Interpolazione 3 par	73.79	23.77	1.28	-	74.84	24.43	0.96	0.623982

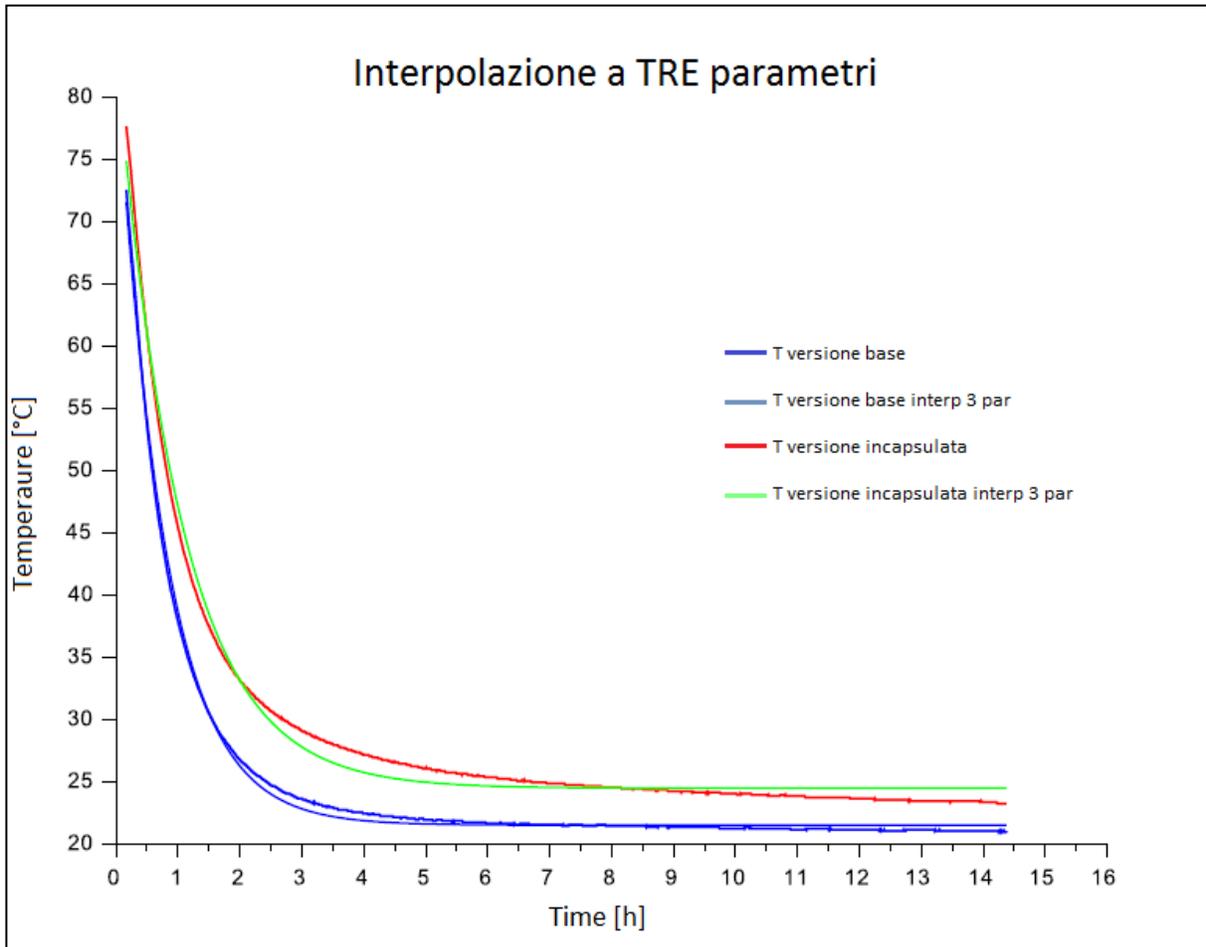
Tabella 6 Dati delle interpolazioni a due e tre parametri

		3 parametri	
Delta consumo %	10.5		[-]
HSB	0.105		[-]
TACO2	117		[g/km]
de	0.96		[1/h]
db	1.28		[1/h]
<b>CCO2</b>	<b>0.623982</b>		<b>[g/km]</b>
Parking time [h]	SVS[%]	Delta CO2 da interp	Delta CO2 pesato
0.5	36	0.008911827	0.003208258
1.5	13	0.01159326	0.001507124
2.5	6	0.007154709	0.000429283
3.5	4	0.003485335	0.000139413
4.5	2	0.001531508	3.06302E-05
5.5	2	0.000638819	1.27764E-05
6.5	1	0.000258737	2.58737E-06
7.5	1	0.00010292	1.0292E-06
8.5	3	4.04627E-05	1.21388E-06
9.5	4	1.57828E-05	6.31312E-07
10.5	3	6.12282E-06	1.83685E-07
11.5	1	2.36627E-06	2.36627E-08
12.5	1	9.12027E-07	9.12027E-09
13.5	3	3.50846E-07	1.05254E-08
14.5	3	1.34781E-07	4.04344E-09
15.5	2	5.17267E-08	1.03453E-09
16.5	1	1.98377E-08	1.98377E-10
17.5	1	7.60406E-09	7.60406E-11
18.5	1	2.91367E-09	2.91367E-11
19.5	1	1.11614E-09	1.11614E-11
20.5	1	4.27478E-10	4.27478E-12

21.5	1	1.637E-10	1.637E-12
22.5	1	6.26815E-11	6.26815E-13
23.5	1	2.39993E-11	2.39993E-13
		<b>2 parametri</b>	
Delta consumo %	10.5	[-]	
HSB	0.105	[-]	
TACO2	117	[g/km]	
de	1.02	[1/h]	
db	1.31	[1/h]	
		<b>CCO2</b>	
	<b>0.579799</b>	<b>[g/km]</b>	
		<b>0.579799</b>	
Parking time [h]	SVS[%]	Delta CO2 da interp	Delta CO2 pesato
0.5	36	0.007862841	0.002830623
1.5	13	0.009772958	0.001507124
2.5	6	0.00571197	0.000429283
3.5	4	0.002631998	0.000139413
4.5	2	0.001094022	3.06302E-05
5.5	2	0.000431514	1.27764E-05
6.5	1	0.000165143	2.58737E-06
7.5	1	6.20137E-05	1.0292E-06
8.5	3	2.29946E-05	1.21388E-06
9.5	4	8.45214E-06	6.31312E-07
10.5	3	3.08755E-06	1.83685E-07
11.5	1	2.36627E-06	2.36627E-08
12.5	1	9.12027E-07	9.12027E-09
13.5	3	3.50846E-07	1.05254E-08
14.5	3	1.34781E-07	4.04344E-09
15.5	2	5.17267E-08	1.03453E-09
16.5	1	1.98377E-08	1.98377E-10
17.5	1	7.60406E-09	7.60406E-11
18.5	1	2.91367E-09	2.91367E-11
19.5	1	1.11614E-09	1.11614E-11
20.5	1	4.27478E-10	4.27478E-12
21.5	1	1.637E-10	1.637E-12
22.5	1	6.26815E-11	6.26815E-13
23.5	1	2.39993E-11	2.39993E-13

**Tabella 7 calcoli excel per la determinazione del guadagno di CO<sub>2</sub> (interpolazione a tre parametri e due parametri)**

Le curve rappresentanti il raffreddamento e le loro interpolazioni con la curva teorica estrapolata sono le seguenti:



**Figura 43** Curve di raffreddamento con interpolazione a tre parametri

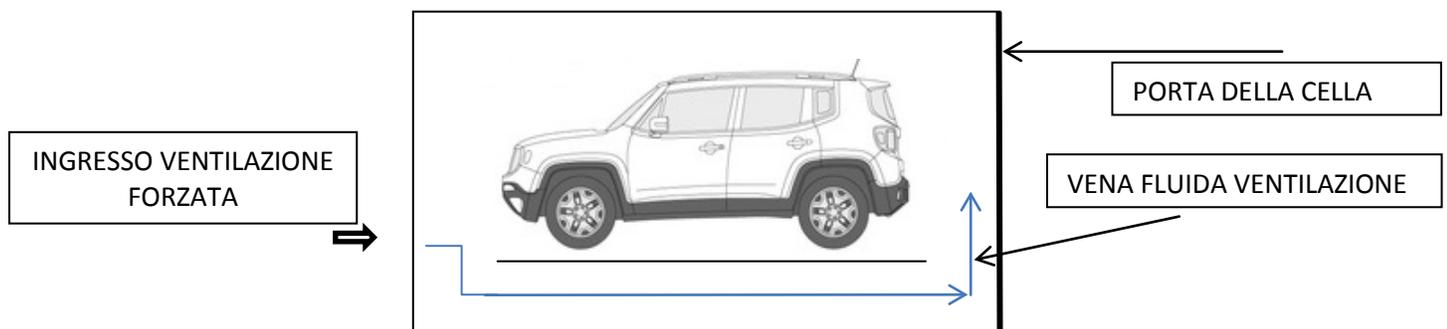
L'approssimazione risulta adeguata alla rappresentazione della curva empirica dei dati.

Come riportato nella tabella 5, l'utilizzo di questa tecnologia ha portato ad un guadagno di CO<sub>2</sub> di 0,62 g CO<sub>2</sub>/Km, siamo lontani del 40% circa dal 1 g CO<sub>2</sub>/Km richiesto dalla normativa per il ricevimento dei crediti. Un altro punto discordante di queste prove è proprio la temperatura ambiente, infatti invece di mantenersi sui 14°C, alla fine del processo si stabilizza sopra i 20°C (più di 6°C oltre il limite)

### 5.1.2.2. Prova nella cella di Orbassano

Al fine di rendere la temperatura ambiente il più costante possibile, è stato pensato di mettere la cella sotto ventilazione forzata. Quindi di accendere la climatizzazione nella cella per tenere la temperatura ambiente almeno a 14 °C come previsto dalla regolamentazione.

Questa volta le prove sono state condotte presso una cella climatica del CRF ad Orbassano, come detto in una cella non omologata per il ciclo NEDC ma i risultati possono essere comparati tra di loro perché la procedura di test è stata normalizzata sulle caratteristiche delle linee guida proposte per la regolamentazione EC 443/2009; i risultati saranno non omologativi ma significativi.

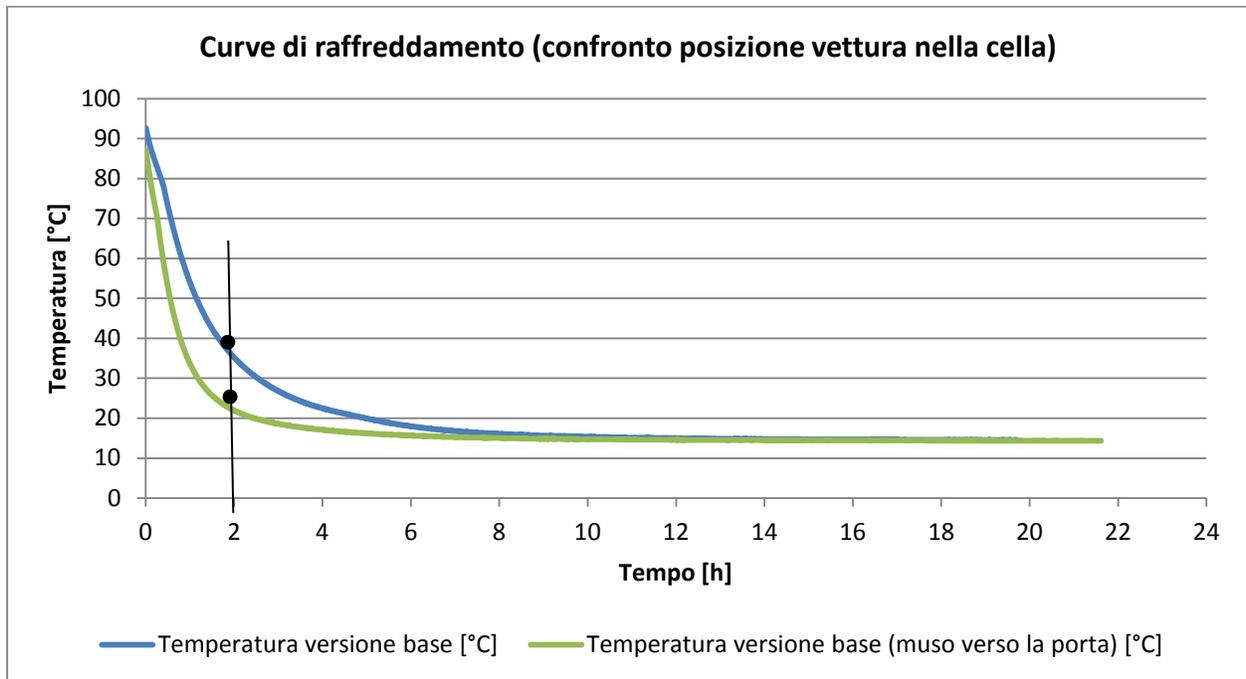


**Figura 44** Rappresentazione vettura nella cella climatica

La vettura è stata posizionata con il muso dalla parte opposta all'ingresso della cella. La bocchetta di espulsione per l'aria della ventilazione forzata è proprio sotto il muso dell'auto. In questa configurazione, rispetto a quella con il muso verso la porta, il vano motore risente meno della ventilazione forzata. Lo si evince bene nel grafico riportato sotto (*Figura 45*); la temperatura del vano motore viene abbattuta prima nel caso in cui la vettura sia con il muso verso la porta che verso la bocchetta di espulsione (*Tabella 8*): trascorse 2 ore, in un caso la  $T_0$  è già a 22°C circa nell'altro caso a 35°C.

Tempo [h]	Temperatura versione base (muso verso la porta) [°C]	Temperatura versione base [°C]
2	21.95742733	35.22423133

*Tabella 8 Differenza tra vettura con muso verso la porta e muso verso la bocchetta*



*Figura 45 Curve di raffreddamento per vettura con muso verso la porta e muso verso la bocchetta*

Determinata la configurazione da usare per il posizionamento della vettura, si è proceduto nella stessa maniera delle prove precedenti; prova con incapsulamento e prova senza:

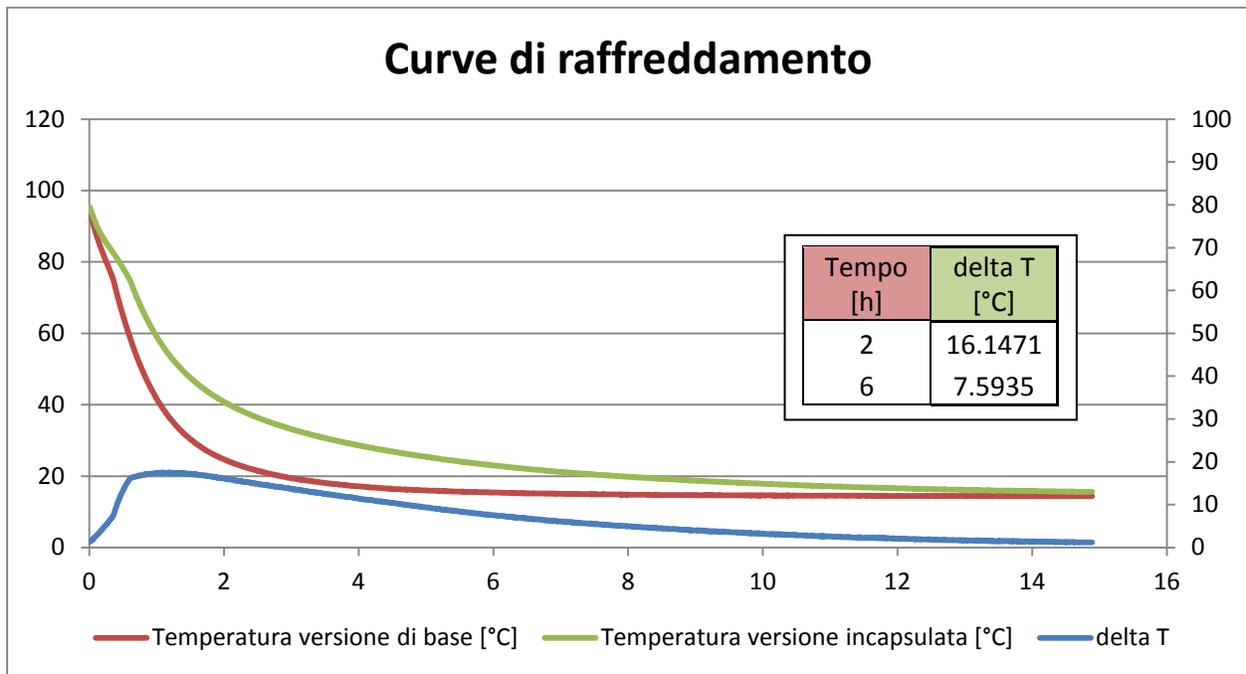


Figura 46 Curve di raffreddamento per vettura incapsulata e vettura in versione base

Come per le prove condotte a Mirafiori, è stato calcolato il guadagno di CO<sub>2</sub> determinando prima la costante di decadimento della curva, analizzando l'interpolazione a due e tre parametri. Nella tabella sotto sono riportati i valori ottenuti con le interpolazioni a due e tre parametri, sia della costante di decadimento sia del beneficio di CO<sub>2</sub> per l'utilizzo della tecnologia innovativa :

	Base				Incapsulato			
	T0 [°C]	TA [°C]	db [1/h]	CCO2 [g/km]	T0 [°C]	TA [°C]	de [1/h]	CCO2 [g/km]
Interpolazione 2 par	83.666	14.686	1.064	-	87.942	16.279	0.510	1.528
Interpolazione 3 par	84.710	14.700	1.082	-	82.694	16.025	0.463	1.759

Tabella 9 Dati delle interpolazioni a due e tre parametri

Le curve rappresentanti il raffreddamento e le loro interpolazioni con la curva teorica estrapolata sono le seguenti:

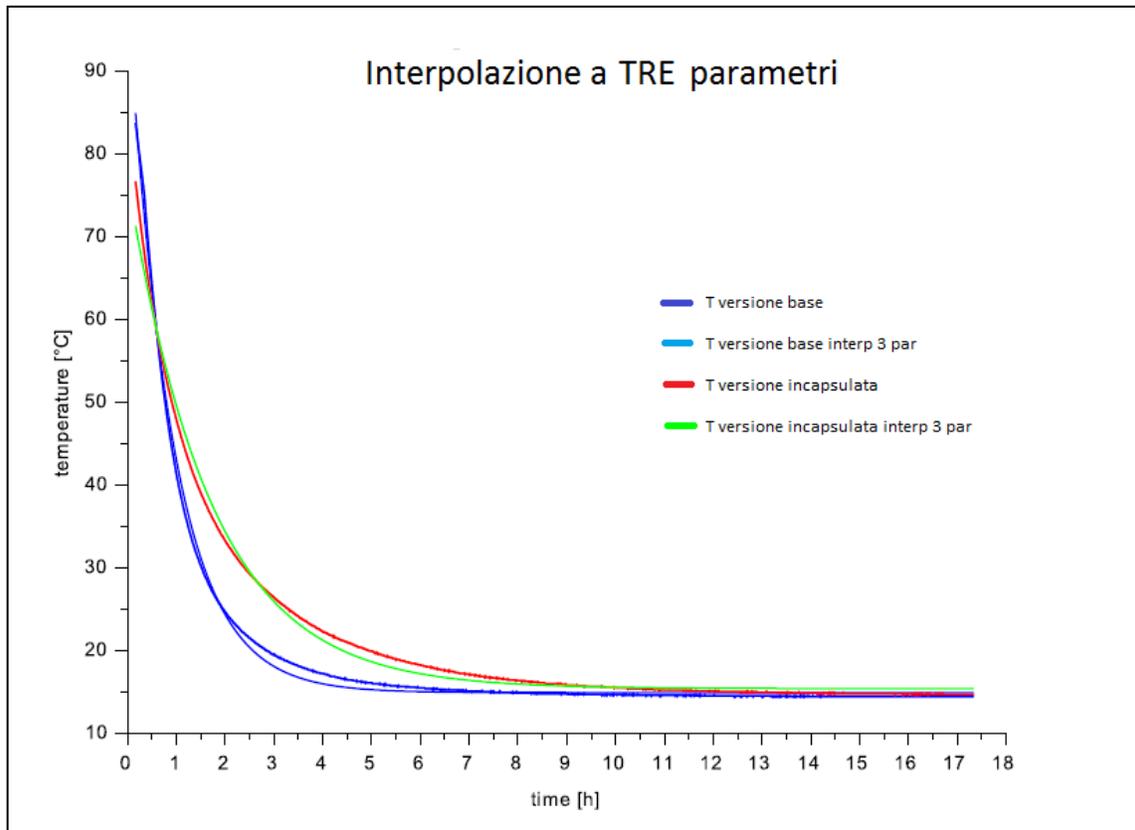


Figura 47 Curve di raffreddamento con interpolazione a tre parametri

L'approssimazione risulta adeguato alla rappresentazione della curva empirica dei dati.

Di seguito invece i calcoli specifici per il guadagno di CO<sub>2</sub> ottenuto

	3 parametri		
Delta consumo %	10.5	[-]	
HSB	0.105	[-]	
TACO2	117	[g/km]	
de	0.463	[1/h]	
db	1.082	[1/h]	
<b>CCO2</b>	<b>1.758659</b>	<b>[g/km]</b>	
Parking time [h]	SVS[%]	Delta CO2 da interp	Delta CO2 pesato
0.5	36	0.018995408	0.006838347
1.5	13	0.03411356	0.004434763
2.5	6	0.031639489	0.001898369
3.5	4	0.023991591	0.000959664

4.5	2	0.016654092	0.000333082
5.5	2	0.011064874	0.000221297
6.5	1	0.00718236	7.18236E-05
7.5	1	0.004602582	4.60258E-05
8.5	3	0.002927987	8.78396E-05
9.5	4	0.001854865	7.41946E-05
10.5	3	0.001172176	3.51653E-05
11.5	1	0.000739687	7.39687E-06
12.5	1	0.000466374	4.66374E-06
13.5	3	0.0002939	8.817E-06
14.5	3	0.000185154	5.55463E-06
15.5	2	0.000116624	2.33248E-06
16.5	1	7.34504E-05	7.34504E-07
17.5	1	4.62564E-05	4.62564E-07
18.5	1	2.91294E-05	2.91294E-07
19.5	1	1.83434E-05	1.83434E-07
20.5	1	1.1551E-05	1.1551E-07
21.5	1	7.27376E-06	7.27376E-08
22.5	1	4.5803E-06	4.5803E-08
23.5	1	2.88421E-06	2.88421E-08
<b>2 parametri</b>			
Delta consumo %	10.5	[-]	
HSB	0.105	[-]	
TACO2	117	[g/km]	
de	0.510	[1/h]	
db	1.064	[1/h]	
<b>CCO2</b>	<b>1.527968799</b>	<b>[g/km]</b>	
Parking time [h]	SVS[%]	Delta CO2 da interp	Delta CO2 pesato
0.5	36	0.016912401	0.006088464
1.5	13	0.029916143	0.003889099
2.5	6	0.027077201	0.001624632
3.5	4	0.019873908	0.000794956
4.5	2	0.013275649	0.000265513
5.5	2	0.008455653	0.000169113
6.5	1	0.005249516	5.24952E-05
7.5	1	0.003212899	3.2129E-05
8.5	3	0.001950531	5.85159E-05
9.5	4	0.001178641	4.71456E-05
10.5	3	0.00071029	2.13087E-05

11.5	1	0.000427372	4.27372E-06
12.5	1	0.000256908	2.56908E-06
13.5	3	0.000154354	4.63061E-06
14.5	3	9.27084E-05	2.78125E-06
15.5	2	5.56726E-05	1.11345E-06
16.5	1	3.34286E-05	3.34286E-07
17.5	1	2.00709E-05	2.00709E-07
18.5	1	1.20503E-05	1.20503E-07
19.5	1	7.23472E-06	7.23472E-08
20.5	1	4.34349E-06	4.34349E-08
21.5	1	2.60767E-06	2.60767E-08
22.5	1	1.56554E-06	1.56554E-08
23.5	1	9.39889E-07	9.39889E-09

**Tabella 10 calcoli excel per la determinazione del guadagno di CO<sub>2</sub> (interpolazione a tre parametri e due parametri)**

Con le prove condotte in questa cella, e dunque con la ventilazione forzata, sembrerebbe che il guadagno di CO<sub>2</sub> da ottenere viene verificato (CCO<sub>2</sub>=1,76 gCO<sub>2</sub>/Km), anzi siamo abbondantemente oltre l'unità.

Ma la presenza una forte ventilazione nella camera climatica CRF aumenta gli scambi di calore con l'ambiente: dopo poche ore le temperature del refrigerante raggiungono lo stato stazionario. Il modo in cui questo effetto influenza i risultati della riduzione di CO<sub>2</sub> deve ancora essere accertato.

5.1.2.3 Confronto tra prova a Mirafiori e prova ad Orbassano

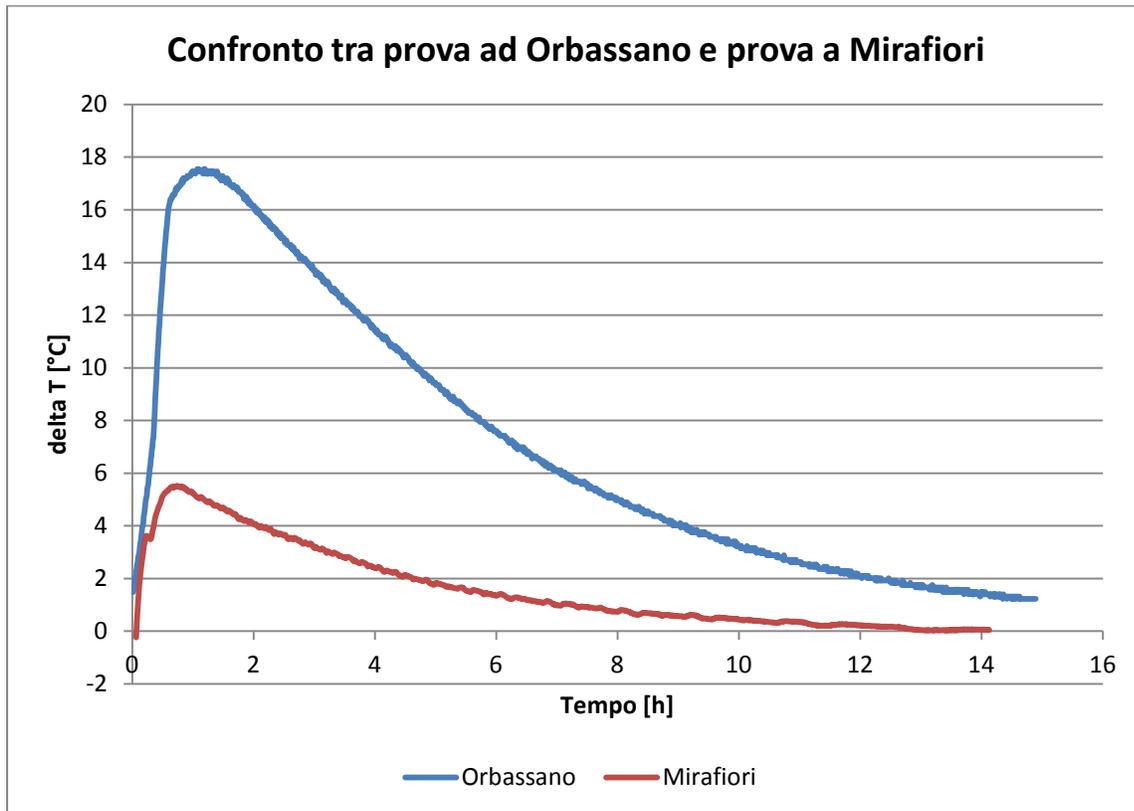


Figura 48 Confronto dei delta T tra la prova a Mirafiori e la prova ad Orbassano

Il grafico riportato fa evincere le differenze tra la prova condotta nella cella a Mirafiori e l'altra condotta ad Orbassano.

Le differenze sostanziali:

- Utilizzo di celle con metratura diversa (cella di Orbassano più piccola della cella di Mirafiori)
- Presenza della ventilazione forzata nella cella di Orbassano

Queste differenze hanno mostrato la loro rilevanza durante il raffreddamento della vettura dopo la fase di stabilizzazione del warm-up. Come si ricava dalla Figura 48 il delta T, che ricordiamo è la differenza tra

la temperatura della vettura nella versione incapsulata e la temperatura della vettura nella versione base, ha uno scalino ben evidente (circa 12 °C) tra le due prove nelle due celle.

max delta T Orbassano	max delta T Mirafiori
17.5	5.5

**Tabella 11 I massimi del delta T delle due prove (Mirafiori-Orbassano)**

Sicuramente le dimensioni della cella influiscono tanto durante la fase di raffreddamento, essendo quella di Orbassano una cella molto piccola, di dimensioni quasi quanto la vettura, trattiene quindi la temperatura del vano motore più a lungo. L'ambiente esterno (quello della cella) ne risente, tende a riscaldarsi, ma allo stesso è raffreddato dal sistema di condizionamento azionato per tenere la temperatura della cella almeno a 14 °C. Si instaura questo bilancio di scambi termici che in qualche modo tende a verificare questo fenomeno ed ad influenzare la temperatura del vano motore.

Invece la cella di Mirafiori, avendo dimensioni notevolmente maggiori, funge quasi da simulatore di Temperatura esterna e quindi non influisce sulle temperature del vano motore (gli scambi con l'ambiente esterno non influiscono sulla temperatura della vettura).

Indicativamente la cella di Mirafiori dovrebbe falsare meno i risultati rispetto a quella di Orbassano.

## 6. Conclusioni

Questo studio ha cercato di rispondere essenzialmente ad una domanda: riusciamo a recuperare  $1\text{gCO}_2/\text{Km}$  con l'utilizzo di questa tecnologia? A tal fine è stata condotta un'analisi empirica, svolgendo diverse prove su due vetture e in due luoghi diversi, applicando la regolamentazione (EC) No 443/2009 per i veicoli leggeri.

Le prove hanno avuto una sequenza dettata dai risultati che si riuscivano ad ottenere volta per volta; dunque per la prima prova si è scelta una vettura benzina con un motore molto performante sulla quale l'inserimento del materiale per incapsulare il motore ha portato come beneficio di risparmio delle emissioni solo  $0,23\text{gCO}_2/\text{Km}$ . Dunque si cercato di cambiare strategia e di passare verso motori a diesel con basamento in ghisa. Effettivamente in questo caso si sono iniziati a vedere dei risultati più consistenti e quindi rilevanti per lo studio da condurre.

Il grande ostacolo presentatosi per la comparazione delle varie prove condotte è appunto l'uniformità esatta delle condizioni di prova; purtroppo per i tempi delimitati e per i vari limiti aziendali ci si è dovuti adattare e quindi utilizzare delle celle climatiche non omologabili per il ciclo NEDC. Le condizioni per le prove, prescritte dalla linea guida dell'ottobre del 2015 (stabilizzazione della temperatura motore, ecc..) per la regolamentazione EC 443/2009, sono state rispettate in misura accettabile. Le varie prove, non avendo dunque l'una con l'altra condizioni iniziali esattamente uguali, non sono perfettamente sovrapponibili.

Nonostante questa grande difficoltà, sono emerse delle ipotesi da sviluppare molto interessanti. Ad esempio per quanto riguarda l'influenza della temperatura esterna sulle condizioni di prova, bisognerebbe dunque determinare quali sono i casi limite per cui la temperatura esterna influenzi la prova a tal punto da cambiarne i risultati. Intuitivamente il caso limite sarebbe rappresentato dalla

stagione invernale per cui le condizioni esterne creano una differenza di temperatura con il vano motore rilevante (il  $\Delta T$  tra l'ambiente circostante e la temperatura sotto cofano è la forzante dell'equazione dello scambio termico). Ma invece cosa succede d'estate? Naturalmente il  $\Delta T$  si riduce rispetto al caso invernale, ma quando le temperature estive nelle ore di punta raggiungono valori elevanti e l'irraggiamento è nel suo valore massimo, emerge un altro problema: la temperatura nel vano motore rimane troppo alta a causa dell'incapsulamento e delle condizioni estreme all'esterno. In questo caso dunque si potrebbero avere problemi di gestione termica dei vari componenti racchiusi sotto il cofano. Sarebbe allora interessante valutare questi casi limite attraverso un'analisi più approfondita, partendo magari da un'analisi superficiale ad infrarossi per finire ad una simulazione di questo comportamento con uno dei programmi come RadTherm (è uno strumento di modellazione termica progettato per la progettazione e l'analisi complete della gestione del calore).

Cosa si potrebbe fare altro per approfondire l'argomento? Naturalmente analizzare vari tipi di incapsulamento, provare attraverso vari step ad introdurre volta per volta componenti di incapsulamenti nuovi per stabilire quale sia la priorità di montaggio, quale siano quelli realmente essenziali e quale siano i materiali adatti (sicuramente leggeri e multifunzionali).

La procedura attuale per la valutazione del vantaggio di incapsulamento richiede che sia presa in considerazione solo la temperatura dell'acqua del motore. La temperatura dell'olio motore è influenzata anche dall'incapsulamento, ma le linee guida affermano che, a causa di una certa correlazione tra acqua del motore e olio motore durante il raffreddamento, questo effetto è già preso in considerazione dalla formula basata solo sulla temperatura dell'acqua. Questa considerazione sarebbe comunque da verificare in quanto partire con un olio per il cambio "caldo" dopo il tempo di parcheggio ha un impatto positivo sul consumo di carburante. Si potrebbe sviluppare una procedura per tenere conto del vantaggio extra di un incapsulamento del riduttore nei crediti di CO<sub>2</sub> rivendicabili.

Tra l'altro varie tipi di prove si potrebbero introdurre all'interno di un'analisi facente parte di in una metodologia strutturata nota come DFSS (Design for Six Sigma), metodologia impostata per concentrarsi sull'eliminazione dei difetti e nell'anticipare il problema qualitativo piuttosto che reagire per risolverlo; dunque sulla ricerca di quali sono effettivamente le richieste essenziali da dover soddisfare ed evitare quelle inutili. Il metodo è utilizzato sia per lo sviluppo di nuovi prodotti e processi sia per il re-design di quelli esistenti.

A concludere la trattazione sarebbe necessario fare anche un'analisi dei costi completa, sia del risparmio effettivo di carburante, ma soprattutto del costo dell'acquisto e del montaggio dell'incapsulamento.

## Indice

### Indice delle tabelle

<i>Tabella 1 Dati sulle emissioni nazionali dei principali inquinanti atmosferici, riferiti all'anno 2015, e suddivisi per categorie.....</i>	14
<i>Tabella 2 Emissioni totali e assorbimenti di gas serra in CO<sub>2</sub> equivalenti [Gg CO<sub>2</sub> eq].....</i>	28
<i>Tabella 3 Sommario dei trend delle emissioni in funzione della sorgente e dei gas in CO<sub>2</sub> equivalenti [Gg CO<sub>2</sub> eq].....</i>	30
<i>Tabella 4 Sommario dei trend delle emissioni dei gas serra indiretti e SO<sub>2</sub> [Gg] .....</i>	36
<i>Tabella 5 Sintesi delle formule proposte usate per i calcoli .....</i>	72
<i>Tabella 6 Dati delle interpolazioni a due e tre parametri.....</i>	73
<i>Tabella 7 calcoli excel per la determinazione del guadagno di CO<sub>2</sub> (interpolazione a tre parametri e due parametri) .....</i>	74
<i>Tabella 8 Differenza tra vettura con muso verso la porta e muso verso la bocchetta.....</i>	77
<i>Tabella 9 Dati delle interpolazioni a due e tre parametri.....</i>	78
<i>Tabella 10 calcoli excel per la determinazione del guadagno di CO<sub>2</sub> (interpolazione a tre parametri e due parametri) .....</i>	81
<i>Tabella 11 I massimi del delta T delle due prove (Mirafiori-Orbassano).....</i>	83

### Indice delle figure

<i>Figura 1 Scambi radiativi sulla superficie terrestre .....</i>	8
<i>Figura 2 Fotodissociazione dell'ozono .....</i>	10
<i>Figura 3 Fotosintesi dell'ozono .....</i>	10

<i>Figura 4</i> Distruzione dell'ozono da parte dei CFC .....	11
<i>Figura 5</i> Principali fonti di emissioni a livelli nazionale .....	13
<i>Figura 6</i> Logo UNFCCC.....	18
<i>Figura 7</i> I Don't Believe in Global Warming, Londra, 2011 .....	20
<i>Figura 8</i> Distribuzione percentuale dei GHG nel 1990 e nel 2015 (Fonte Ispra).....	29
<i>Figura 9</i> Percentuale di GHG emessi per settore nel 1990 e nel 2015 (Fonte Ispra) .....	29
<i>Figura 10</i> Trend delle emissioni per ogni settore tra il 1990 e il 2015 in Italia (Fonte Ispra) .....	31
<i>Figura 11</i> Dati di emissioni dei GHG tra il 1990 e il 2015 per il settore 'Energia' (Fonte Ispra) .....	31
<i>Figura 12</i> GHG emessi dai sotto settori di 'Energia' nel 1990 e nel 2015 (Fonte Ispra) .....	32
<i>Figura 13</i> Dati di emissioni dei GHG tra il 1990 e il 2015 per il settore 'Trasporti' (Fonte Ispra) .....	33
<i>Figura 14</i> Percentuali di CO2 emessi dai vari sotto settori di 'Trasporti' 2015 (Fonte Ispra) .....	33
<i>Figura 15</i> Sottocategorie di 'trasporto su strada' (Fonte Ispra) .....	34
<i>Figura 16</i> Emissioni di CO2 da diversi tipi di fuel [Gg CO2] (Fonte Ispra).....	34
<i>Figura 17</i> Emissioni di CO2 per fuel e sottocategorie di 'trasporto su strada' [Gg CO2].....	35
<i>Figura 18</i> GHG emessi dai sotto settori di 'Energia' nel 1990 e nel 2015 (Fonte Ispra) .....	38
<i>Figura 19</i> Trend delle emissioni per ogni settore tra il 1990 e il 2016 in Europa (Fonte Ispra).....	38
<i>Figura 20</i> Nuovo ciclo di guida europeo .....	47
<i>Figura 21</i> Esempio su Fiat Punto di engine encapsulation (prima e dopo) .....	51
<i>Figura 22</i> Idea di incapsulamento motore .....	53
<i>Figura 23</i> Incapsulamento Body Mounted .....	53
<i>Figura 24</i> Incapsulamento engine-mounted .....	54
<i>Figura 25</i> Prodotto CFK high temperature di Autoneum.....	56
<i>Figura 26</i> Theta-Fiber di Autoneum.....	57
<i>Figura 27</i> Theta-Cell di Autoneum.....	57

<i>Figura 28 Rus di Atonuem .....</i>	58
<i>Figura 29 Theta-FiberCell di Atoneum.....</i>	58
<i>Figura 30 Esempio di incapsulamento della vettura .....</i>	59
<i>Figura 31 Esempio di curve di raffreddamento per le due versioni della vettura .....</i>	60
<i>Figura 32 Distribuzione del tempo di parcheggio definito dall'UE nelle linee guida .....</i>	62
<i>Figura 33 Curve di raffreddamento per la prova sulla prima vettura .....</i>	64
<i>Figura 34 sistema raffreddamento di una vettura .....</i>	66
<i>Figura 35 Cover esteso in materiale plastico.....</i>	67
<i>Figura 36 Cover esteso in simil tessuto .....</i>	67
<i>Figura 37 Ripari laterali.....</i>	68
<i>Figura 38 Elementi eliminati per passare dalla versione incapsulata a quella non incapsulata.....</i>	68
<i>Figura 39 Elementi eliminati per passare dalla versione incapsulata a quella non incapsulata.....</i>	69
<i>Figura 40 Elementi eliminati per passare dalla versione incapsulata a quella non incapsulata.....</i>	69
<i>Figura 41 Curve di raffreddamento per Renegade 520 1.6MJet 120cv MT Euro 6d (prova a Mirafiori) ....</i>	70
<i>Figura 42 Distribuzione temporale del parcheggio (Commissione europea, Ottobre 2015).....</i>	71
<i>Figura 43 Curve di raffreddamento con interpolazione a tre parametri.....</i>	75
<i>Figura 44 Rappresentazione vettura nella cella climatica .....</i>	76
<i>Figura 45 Curve di raffreddamento per vettura con muso verso la porta e muso verso la bocchetta.....</i>	77
<i>Figura 46 Curve di raffreddamento per vettura incapsulata e vettura in versione base .....</i>	78
<i>Figura 47 Curve di raffreddamento con interpolazione a tre parametri.....</i>	79
<i>Figura 48 Confronto dei delta T tra la prova a Mirafiori e la prova ad Orbassano.....</i>	82

## Bibliografia

- Andrea Minutolo, Giorgio Zampetti – Ufficio scientifico Legambiente. (2018, Gennaio 29). *Mal'aria 2018 - L'Europa chiama, l'Italia risponde?* Tratto il giorno Aprile 23, 2018 da Legambiente: [https://www.legambiente.it/sites/default/files/images/malaria\\_2018.pdf](https://www.legambiente.it/sites/default/files/images/malaria_2018.pdf)
- Caputo, D. (2018, Febbraio 28). *Ecosistemi e Biodiversità*. Tratto il giorno Aprile 12, 2018 da EarthDay.it: <http://www.earthday.it/Ecosistemi-e-biodiversita/Pinguini-reali-colonie-in-pericolo-per-i-cambiamenti-climatici-e-la-pesca-industriale>
- Commissione europea. (Ottobre 2015). *Technical Guidelines for the preparation of applications for the approval of innovative*.
- Direttiva 2003/87/CE. (2003, Ottobre 13). *direttiva che istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nella Comunità e che modifica la direttiva 96/61/CE del Consiglio*. Tratto da Gazzetta ufficiale dell'Unione europea: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=celex%3A32003L0087>
- Direttiva 2009/29/CE. (2009, Aprile 23). *Direttiva che modifica la direttiva 2003/87/CE al fine di perfezionare ed estendere il sistema comunitario per lo scambio di quote di emissione di gas ad effetto serra*. Tratto da Gazzetta ufficiale dell'Unione europea: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0063:0087:it:PDF>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007, Maggio 31). *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the*. Tratto il giorno aprile 12, 2018 da Climate Change 2007: The Physical Science Basis: <http://www.slwvd.com/agendas/Full/2007/06-07-07/Item%2010b.pdf>

ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. (2017). *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2015. National Inventory Report 2017*. Roma: ISPRA, Rapporti 261/2017.

Maurizio MANTOVANI Hermann DE CIUTIIS Pierre DANIERE Yoshihiro SHIRAHASHI. (2010). Innovative concepts for thermo-acoustic engine compartment encapsulation. *Cover story Acoustics*.

Parlamento europeo, C. d. (2009). *REGOLAMENTO (CE) n. 443/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO*. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea.

Parlamento europeo, C. d. (2011). *REGOLAMENTO (UE) n. 510/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO*. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea.

Parlamento europeo, C. d. (2011). *REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) N. 725/2011 DELLA COMMISSIONE*. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea.

UNFCCC. (s.d.). *Greenhouse Gas Inventory Data - Detailed data by Party*. Tratto da UNFCCC Sites and platforms: [http://di.unfccc.int/detailed\\_data\\_by\\_party](http://di.unfccc.int/detailed_data_by_party)

Wikipedia. (2018, marzo 25). *Cambiamento climatico*. Tratto il giorno aprile 12, 2018 da Wikipedia, l'enciclopedia libera: [https://it.wikipedia.org/wiki/Cambiamento\\_climatico#cite\\_note-1](https://it.wikipedia.org/wiki/Cambiamento_climatico#cite_note-1)

Wikipedia. (2018, Marzo 8). *Gas serra*. Tratto il giorno Aprile 13, 2018 da Wikipedia, L'enciclopedia libera: [https://it.wikipedia.org/wiki/Gas\\_serra](https://it.wikipedia.org/wiki/Gas_serra)