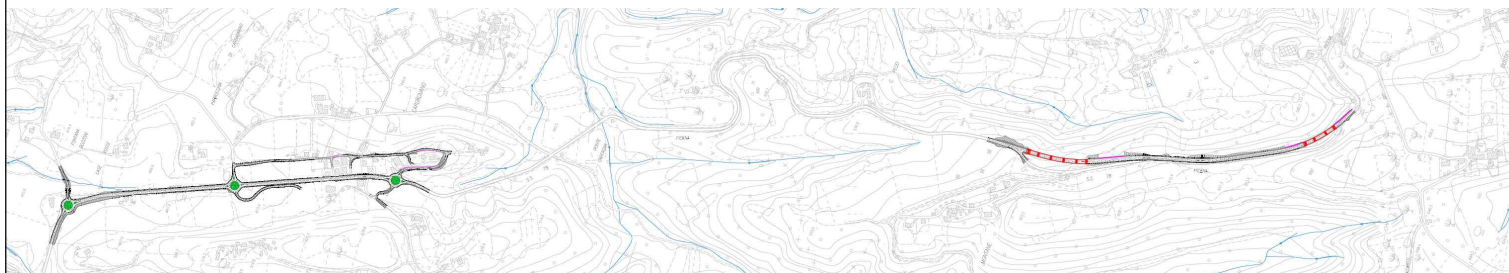


S.S. 78 "SARNANO - AMANDOLA"

LAVORI DI ADEGUAMENTO E/O MIGLIORAMENTO TECNICO FUNZIONALE DELLA SEZIONE STRADALE IN T.S. E POTENZIAMENTO DELLE INTERSEZIONI - 1° STRALCIO



PROGETTO DEFINITIVO

IMPRESA ESECUTRICE



GRUPPO DI LAVORO ANAS

PROGETTAZIONE



RESPONSABILE DEI LAVORI

IL PROGETTISTA

Ing. Valerio BAJETTI
 Ordine degli Ingegneri della
 provincia di Roma n°A26211
 (Diretto tecnico Ingegneria del Territorio)



IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA
 IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Fabrizio BAJETTI
 Ordine degli Ingegneri della
 provincia di Roma n°10112
 (Diretto tecnico Ingegneria del Territorio)



RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Marco MANCINA

PROTOCOLLO

DATA

N. ELABORATO:

R123bis

STUDIO IMPATTO AMBIENTALE

ANALISI AMBIENTALE - Aria

Calcolo della carbon footprint

CODICE PROGETTO

PROGETTO

AN0000D2201

NOME FILE

T00_IA03_AMB_RE02_A

REVISIONE

SCALA:

CODICE
 ELAB.

T00IA03AMBRE02

A

-

D

C

B

A

EMISSIONE PER RICHIESTA INTEGRAZIONE CTVA

LUGLIO
 2023

ING. CAROLINA
 BAJETTI

ING. GIANCARLO
 TANZI

ING. VALERIO
 BAJETTI

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

SOMMARIO

1	Premessa.....	2
2	Stima delle emissioni di CO ₂ per la fase di esercizio.....	3
2.1	Metodologia di analisi	3
2.1.1	La composizione del parco veicolare.....	3
2.1.2	Volumi e velocità del traffico circolante.....	10
2.1.3	I fattori di emissione	10
2.1.4	Analisi delle emissioni generate nella fase di esercizio	10
3	Stima delle emissioni di CO ₂ per la fase di cantiere	13
3.1	Premessa	13
3.2	Emissioni relative allo Scope 1	14
3.3	Emissioni relative allo scope 2	15
3.4	Emissioni relative allo scope 3	16
3.5	Quantificazioni delle emissioni totali	17
1.	compensazione della CO ₂	19
1.1.	Compensazione in fase di esercizio	19
1.2.	Compensazione in fase di cantiere.....	19

1 PREMESSA

Il presente elaborato è stato redatto nell'ambito della richiesta di integrazioni, formulate dalla Commissione Tecnica PNRR_PNIEC con nota n. 8181.14-07-2023, in merito alla procedura di V.I.A. per il progetto denominato "S.S.78 Sarnano-Amandola. Lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in t.s. e potenziamento delle intersezioni - 1° Stralcio" (ID. 9698).

Nello specifico, il presente documento costituisce la risposta alla richiesta di integrazioni n.2.6 che recita quanto segue:

"In riferimento alla sostenibilità del progetto per i lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in t.s. e potenziamento delle intersezioni - 1° Stralcio, nello SIA non è chiaro se è stata eseguita una valutazione sulle emissioni di CO₂ equivalenti generate. Essendo gli obiettivi di sostenibilità orientati a ridurre le emissioni di CO₂, il progetto non può esimersi dal verificare la Carbon Footprint sia per la fase di realizzazione dell'intervento (fase di cantierizzazione che generalmente è quella che produrrà il maggior contributo di emissioni nel ciclo di vita dell'opera) sia per la fase di esercizio nel ciclo di vita dell'opera. Si richiede al Proponente, pertanto, un approfondimento sull'impronta di carbonio del cantiere per mezzo dello standard ISO 14064-1 e di valutare le emissioni di CO₂ equivalenti eliminabili e non eliminabili indicando in quali modi e forme e su quali mezzi di cantiere si intenda intervenire per rendere la realizzazione dell'opera maggiormente sostenibile."

In virtù, dunque, della richiesta formale sopra citata, attraverso il presente documento verrà fornita una stima delle emissioni di anidride carbonica (CO₂) generata nelle diverse fasi, o dimensione di progetto, ovvero:

- Fase costruttiva, associata all'analisi delle attività di cantiere e ai traffici da esse indotte;
- Fase di esercizio, volta a stimare le emissioni di CO₂ generata dal traffico veicolare in transito sul tracciato stradale alla configurazione di progetto.

Nella rendicontazione da effettuare, sulla scorta delle indicazioni del Protocollo di Kyoto, i gas climalteranti che devono essere presi in considerazione per la stima sono: l'anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄), il protossido di azoto (N₂O), gli idrofluorocarburi (HFC), i perfluorocarburi (PFC) e l'esafluoruro di zolfo (SF₆). Inoltre, i risultati devono essere riportati come aggregati, espressi in quantità di CO₂ equivalente, utilizzando i valori di potenziale riscaldamento globale (Global Warming Potential GWP) in rapporto al potenziale dell'anidride carbonica (CO₂). I GWP vengono dunque utilizzati per convertire le emissioni di altri gas serra in termini di CO₂ equivalente. In particolare, i risultati della stima vengono espressi in quantità di CO₂ equivalente considerando il GWP su un orizzonte temporale che solitamente è pari a 100 anni.

Si rimanda, dunque, ai capitoli successivi le risultanze e la metodologia applicata per il calcolo delle emissioni di anidride carbonica in entrambe le fasi considerate.

2 STIMA DELLE EMISSIONI DI CO₂ PER LA FASE DI ESERCIZIO

2.1 Metodologia di analisi

2.1.1 LA COMPOSIZIONE DEL PARCO VEICOLARE

Il calcolo dei contributi emissivi di anidride carbonica derivanti dal traffico veicolare in transito sul tracciato di progetto è stato condotto a partire dal calcolo dei fattori di emissione. Nello specifico, per la loro stima si è fatto riferimento al software di calcolo COPERT 5, standard europeo per la valutazione delle emissioni da traffico veicolare stradale. Lo sviluppo del software COPERT è coordinato dall'Agenzia Europea dell'Ambiente, all'interno delle attività dell'European Topic Centre for Air Pollution and Climate Change Mitigation". Responsabile dello sviluppo scientifico è il European Commission's Joint Research Centre. Il modello è stato realizzato ed è utilizzato per gli inventari delle emissioni stradali degli stati membri.

La metodologia all'interno del modello Copert lega i fattori di emissione alla velocità media tenuta dai veicoli attraverso leggi di regressione determinate empiricamente. Queste equazioni dipendono dal veicolo considerato, in termini di legislazione emissiva e tipologia di veicolo (autoveicolo, veicolo commerciale, cilindrata o peso del mezzo ecc.). Pertanto, uno degli elementi fondamentali per il calcolo delle emissioni è la caratterizzazione del parco veicolare in termini di tipologia di veicoli e di numerosità, che è stata effettuata mediante la rappresentazione del parco veicolare italiano fornito dall'Automobile Club Italia. Nel caso in esame, si è fatto riferimento alla composizione del parco veicolare nella Regione Marche per l'anno 2021, che attualmente risulta essere l'anno più recente per la disponibilità dei dati.

Di seguito, si riporta una breve sintesi della composizione del parco veicolare in esame:

ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	fino a 1400	48,070	8,615	33,680	35,460	71,869	35,214	64,608	297516
	1401 - 2000	12,025	4,519	8,916	4,639	9,978	3,881	6,621	50579
	Oltre 2000	2,661	637	967	757	1,481	339	691	7533
BENZINA Totale		62756	13771	43563	40856	83328	39434	71920	355628
BENZINA E GAS LIQUIDO	fino a 1400	2,968	406	1,335	1,291	16,703	10,929	25,279	58911
	1401 - 2000	3,126	1,017	1,457	879	3,918	2,271	3,573	16241
	Oltre 2000	225	55	128	124	316	32	14	894
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale		6319	1478	2920	2294	20937	13232	28866	76046
BENZINA E METANO	fino a 1400	3,162	880	4,000	3,833	27,032	31,378	29,281	99566
	1401 - 2000	1,985	869	2,342	2,300	5,778	268	226	13768
	Oltre 2000	78	17	53	33	553	82		816
BENZINA E METANO Totale		5225	1766	6395	6166	33363	31728	29507	114150
GASOLIO	fino a 1400	1,072	67	91	9,468	47,032	23,871	15,234	96835
	1401 - 2000	5,265	1,773	12,148	38,002	63,487	68,276	115,223	304174
	Oltre 2000	4,211	1,619	5,429	8,836	9,673	6,906	8,880	45554
GASOLIO Totale		10548	3459	17668	56306	120192	99053	139337	446563
IBRIDO BENZINA	fino a 1400					7	100	8,523	8630
	1401 - 2000					39	548	6,718	7305
	Oltre 2000					42	16	1,049	1107
IBRIDO BENZINA Totale		0	0	0	0	88	664	16290	17042
Marche Totale		84848	20474	70546	105622	257908	184111	285920	1009429

TABELLA 2-1 SUDDIVISIONE AUTOVETTURE, REGIONE MARCHE (FONTE: ELABORAZIONE DA DATI ACI AUTORITRATTO 2021)

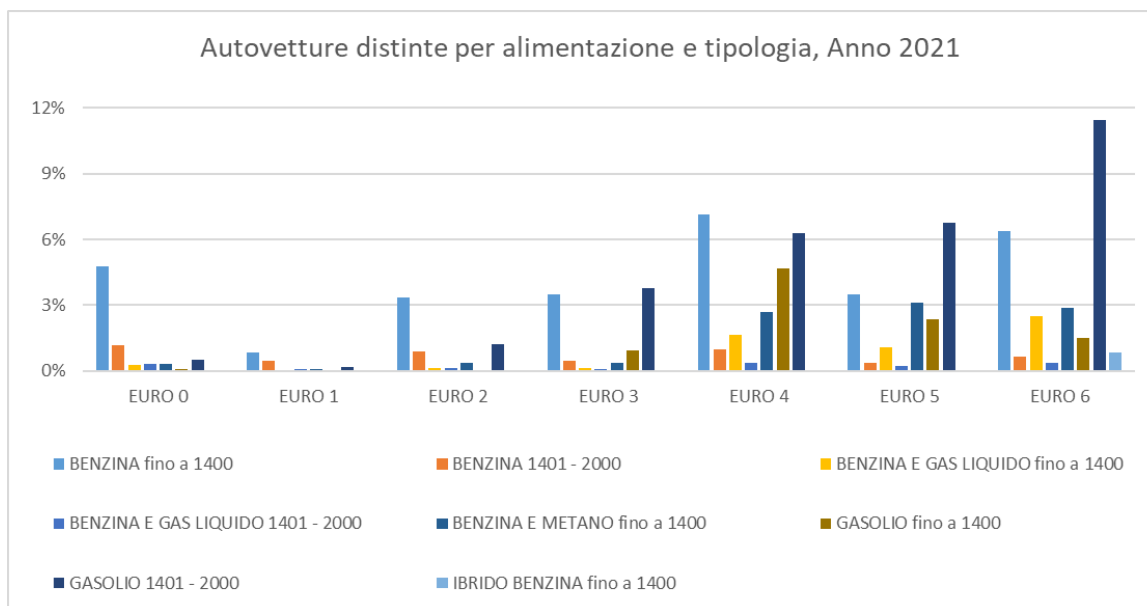


FIGURA 2-1 SUDDIVISIONE PERCENTUALE AUTOVETTURE, REGIONE MARCHE (FONTE: ELABORAZIONE DA DATI ACI AUTORITRATTO 2021)

Veicoli industriali leggeri distinti per regione alimentazione e tipologia. Anno 2021									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	Fino a 3,5	1094	385	663	500	481	259	414	3796
BENZINA E GAS LIQUIDO	Fino a 3,5	289	81	53	58	275	194	443	1393
BENZINA E METANO	Fino a 3,5	212	104	197	238	1530	2100	2062	6443
GASOLIO	Fino a 3,5	11015	7037	14162	22154	20480	11883	18435	105166
IBRIDO BENZINA	Fino a 3,5							96	96
IBRIDO GASOLIO	Fino a 3,5				1			332	333
Marche Totale		12610	7607	15075	22951	22766	14436	21782	117227

TABELLA 2-2 SUDDIVISIONE VEICOLI INDUSTRIALI LEGGERI, REGIONE MARCHE (FONTE: ELABORAZIONE DA DATI ACI AUTORITRATTO 2021)

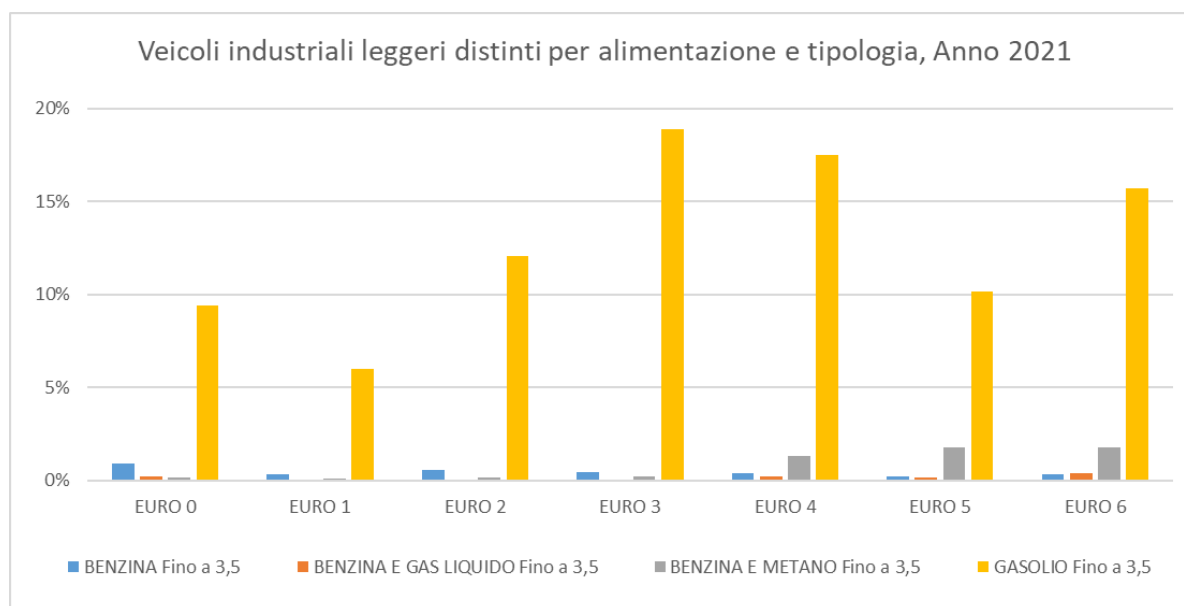


FIGURA 2-2 SUDDIVISIONE PERCENTUALE VEICOLI INDUSTRIALI LEGGERI, REGIONE MARCHE (FONTE: ELABORAZIONE DA DATI ACI AUTORITRATTO 2021)

Veicoli industriali pesanti distinti per regione alimentazione e tipologia. Anno 2021									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	Oltre 3,5	63		3			2		68
GASOLIO	3,6 - 7,5	2238	405	781	855	568	357	367	5571
	7,6 - 12	1561	393	668	625	296	294	281	4118
	12,1 - 14	355	53	53	46	41	55	62	665
	14,1 - 20	775	241	471	505	284	264	317	2857
	20,1 - 26	1605	445	917	1048	423	780	1147	6365
	26,1 - 28	5	1	2	1		1	37	47
	28,1 - 32	11	29	181	370	144	169	169	1073
	Oltre 32	50	11	10	13	8	7	16	115
GASOLIO Totale		6600	1578	3083	3463	1764	1927	2396	20811
Marche Totale		6663	1578	3086	3463	1764	1929	2396	20879

TABELLA 2-3 SUDDIVISIONE VEICOLI INDUSTRIALI PESANTI, REGIONE MARCHE (FONTE: ELABORAZIONE DA DATI ACI AUTORITRATTO 2021)

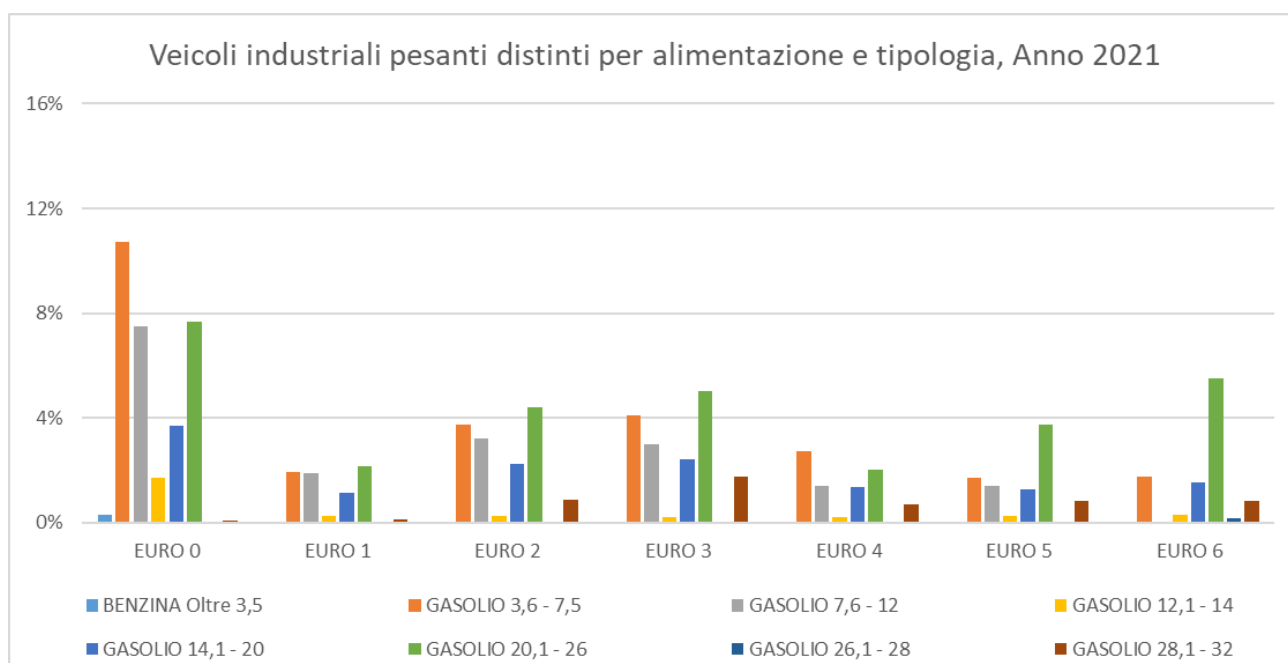


FIGURA 2-3 SUDDIVISIONE PERCENTUALE VEICOLI INDUSTRIALI PESANTI, REGIONE MARCHE (FONTE: ELABORAZIONE DA DATI ACI AUTORITRATTO 2021)

Autobus distinti per regione e uso. Anno 2021								
USO	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
Noleggio	80	42	100	131	52	120	160	685
Privato	111	45	154	134	57	37	53	591
Pubblico	77	22	205	271	238	331	374	1518
Altri usi	12		8	1		5		26
Marche Totale	280	109	467	537	347	493	587	2820

TABELLA 2-4 SUDDIVISIONE AUTOBUS, REGIONE MARCHE (FONTE: ELABORAZIONE DA DATI ACI AUTORITRATTO 2021)

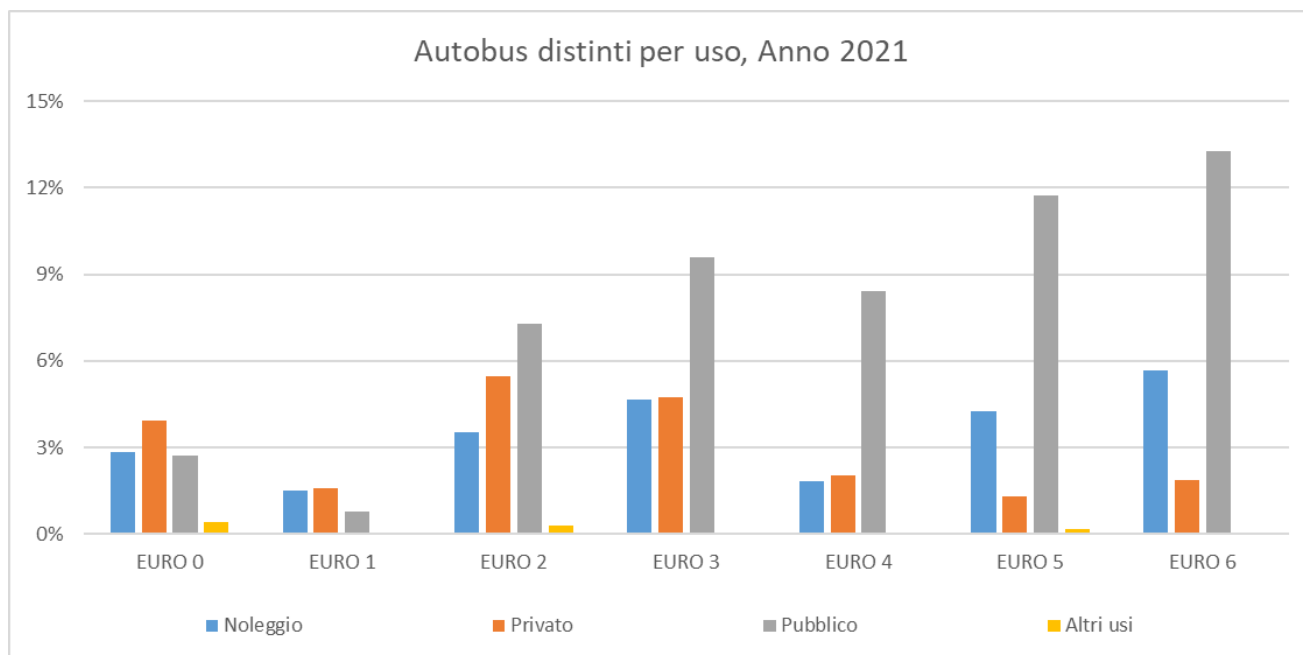


FIGURA 2-4 SUDDIVISIONE PERCENTUALE AUTOBUS, REGIONE MARCHE (FONTE: ELABORAZIONE DA DATI ACI AUTORITRATTO 2021)

Una volta definito il parco veicolare attualmente presente sul territorio di riferimento, è stata condotta un'analisi relativa all'evoluzione del parco veicolare in un arco di tempo che, nel caso specifico, è stato ipotizzato pari a 50 anni.

In particolare, sono state effettuate delle ipotesi attendibili che tenessero in considerazione l'evoluzione e le nuove tecnologie che porteranno negli anni al rinnovamento del parco veicolare, in termini di emissioni generate. In particolare, si è assunto, in via cautelativa, che la classe Euro 0 venisse sostituita, aumentando la numerosità delle Euro 6. Questo assunto appare ampiamente cautelativo considerando che lo standard emissivo Euro 2 è stato codificato nel 1997 e pertanto risulta chiaro come un veicolo Euro 2, una volta terminati i lavori di adeguamento del tracciato, avrebbero minimo 30 anni.

Di seguito si riporta la composizione del parco veicolare, relativo alla Regione Marche, rispetto alla composizione ipotizzata per lo scenario di progetto, sotto forma tabellare e grafica.

Autovetture distinte per regione alimentazione e fascia di cilindrata. Scenario di progetto									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	fino a 1400		8615	33680	35460	71869	35214	112678	297516
	1401 - 2000		4519	8916	4639	9978	3881	18646	50579
	Oltre 2000		637	967	757	1481	339	3352	7533
BENZINA Totale			13771	43563	40856	83328	39434	134676	355628
BENZINA E GAS LIQUIDO	fino a 1400		406	1,335	1,291	16,703	10,929	28,247	58911
	1401 - 2000		1,017	1,457	879	3,918	2,271	6,699	16241
	Oltre 2000		55	128	124	316	32	239	894
BENZINA E GAS LIQUIDO Totale			1478	2920	2294	20937	13232	35185	76046
BENZINA E METANO	fino a 1400		880	4,000	3,833	27,032	31,378	32443	99566
	1401 - 2000		869	2,342	2,300	5,778	268	2211	13768
	Oltre 2000		17	53	33	553	82	78	816
BENZINA E METANO Totale			1766	6395	6166	33363	31728	34732	114150
GASOLIO	fino a 1400		67	91	9,468	47,032	23,871	16306	96835
	1401 - 2000		1,773	12,148	38,002	63,487	68,276	120488	304174
	Oltre 2000		1,619	5,429	8,836	9,673	6,906	13091	45554
GASOLIO Totale			3459	17668	56306	120192	99053	149885	446563
IBRIDO BENZINA	fino a 1400						7	100	8523
	1401 - 2000						39	548	6718
	Oltre 2000						42	16	1049
IBRIDO BENZINA Totale			0	0	0	88	664	16290	17042
Marche Totale			20474	70546	105622	257908	184111	370768	1009429

TABELLA 2-5 SUDDIVISIONE AUTOVETTURE PREVISTE PER LO SCENARIO DI PROGETTO, REGIONE MARCHE (FONTE: ELABORAZIONE DA DATI ACI AUTORITRATTO 2021)

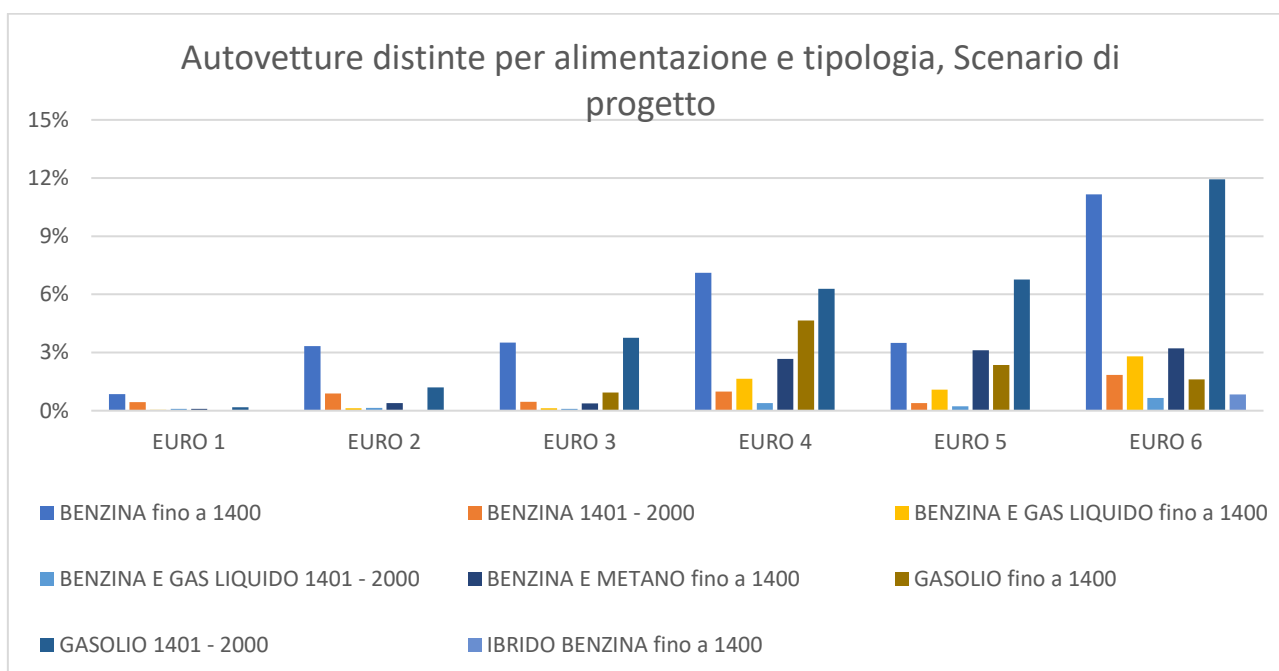


FIGURA 2-5 SUDDIVISIONE PERCENTUALE AUTOVETTURE PREVISTE PER LO SCENARIO DI PROGETTO, REGIONE MARCHE (FONTE: ELABORAZIONE DA DATI ACI AUTORITRATTO 2021)

Veicoli industriali leggeri distinti per regione alimentazione e tipologia. Scenario di progetto									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	Fino a 3,5		385	663	500	481	259	1508	3796
BENZINA E GAS LIQUIDO	Fino a 3,5		81	53	58	275	194	732	1393
BENZINA E METANO	Fino a 3,5		104	197	238	1530	2100	2274	6443
GASOLIO	Fino a 3,5		7037	14162	22154	20480	11883	29450	105166
IBRIDO BENZINA	Fino a 3,5		0	0	0	0	0	96	96
IBRIDO GASOLIO	Fino a 3,5		0	0	1	0	0	332	333
Marche Totale			7607	15075	22951	22766	14436	34392	117227

TABELLA 2-6 SUDDIVISIONE VEICOLI INDUSTRIALI LEGGERI PREVISTI PER LO SCENARIO DI PROGETTO, REGIONE MARCHE (FONTE: ELABORAZIONE DA DATI ACI AUTORITRATTO 2021)

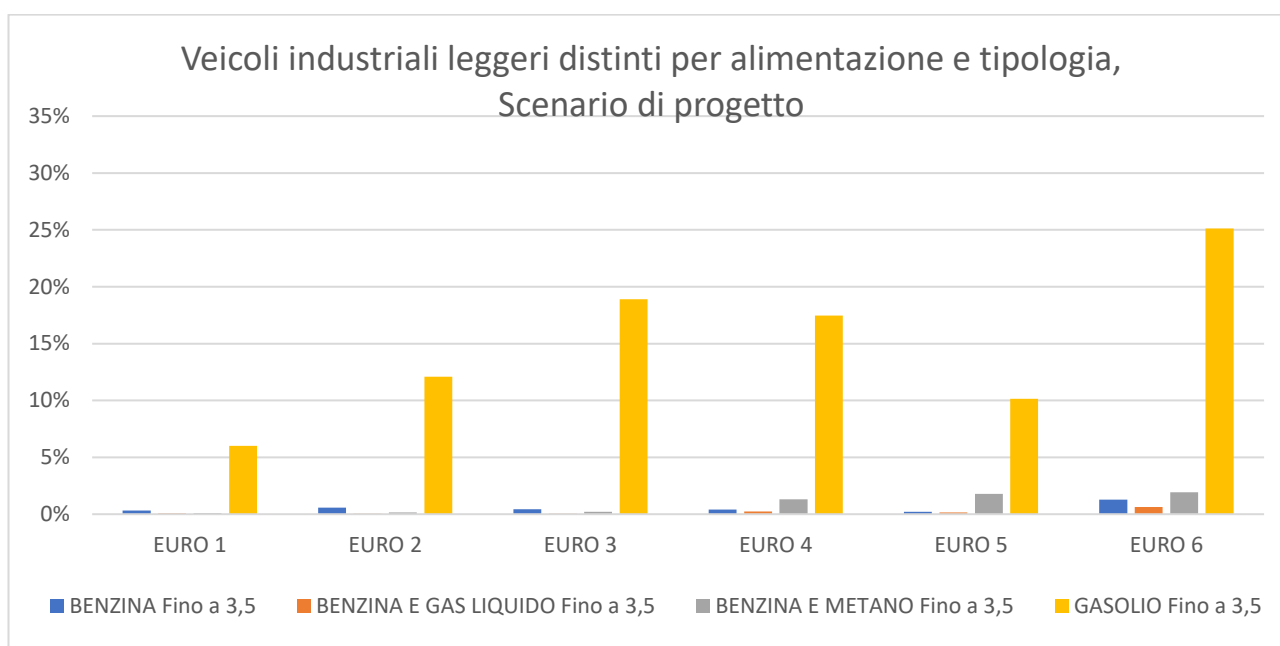


FIGURA 2-6 SUDDIVISIONE PERCENTUALE VEICOLI INDUSTRIALI LEGGERI PREVISTI PER LO SCENARIO DI PROGETTO, REGIONE MARCHE (FONTE: ELABORAZIONE DA DATI ACI AUTORITRATTO 2021)

Veicoli industriali pesanti distinti per regione alimentazione e tipologia. Scenario di progetto									
ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
BENZINA	Oltre 3,5		0	3	0	0	2	63	68
GASOLIO	3,6 - 7,5		405	781	855	568	357	2605	5571
	7,6 - 12		393	668	625	296	294	1842	4118
	12,1 - 14		53	53	46	41	55	417	665
	14,1 - 20		241	471	505	284	264	1092	2857
	20,1 - 26		445	917	1048	423	780	2752	6365
	26,1 - 28		1	2	1	0	1	42	47
	28,1 - 32		29	181	370	144	169	180	1073
Oltre 32		11	10	13	8	7	66	115	
GASOLIO Totale			1578	3083	3463	1764	1927	8996	20811
Marche Totale			1578	3086	3463	1764	1929	9059	20879

TABELLA 2-7 SUDDIVISIONE VEICOLI INDUSTRIALI PESANTI PREVISTI PER LO SCENARIO DI PROGETTO, REGIONE MARCHE (FONTE: ELABORAZIONE DA DATI ACI AUTORITRATTO 2021)

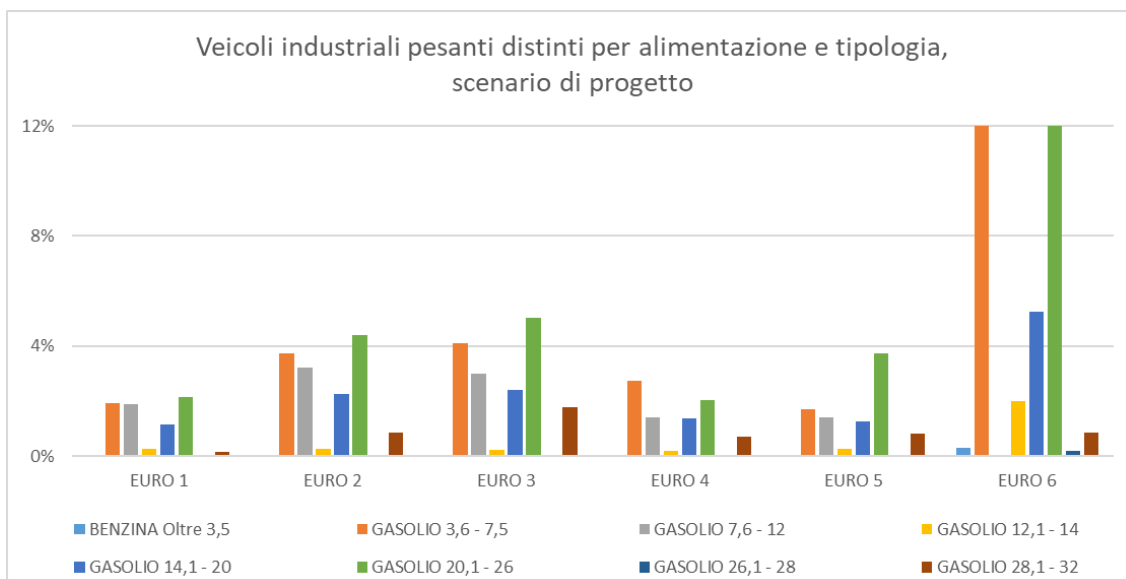


FIGURA 2-7 SUDDIVISIONE PERCENTUALE VEICOLI INDUSTRIALI PESANTI PREVISTI PER LO SCENARIO DI PROGETTO, REGIONE MARCHE (FONTE: ELABORAZIONE DA DATI ACI AUTORITRATTO 2021)

Autobus distinti per regione e uso. Scenario di progetto								
USO	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	TOTALE
Noleggio			3	13	11	30	240	297
Privato			8	3	2	6	164	183
Pubblico			11	11	6	63	451	542
Altri usi				1			12	13
Marche Totale		0	22	28	19	99	867	1035

TABELLA 2-8 SUDDIVISIONE AUTOBUS PREVISTI PER LO SCENARIO DI PROGETTO, REGIONE MARCHE (FONTE: ELABORAZIONE DA DATI ACI AUTORITRATTO 2021)

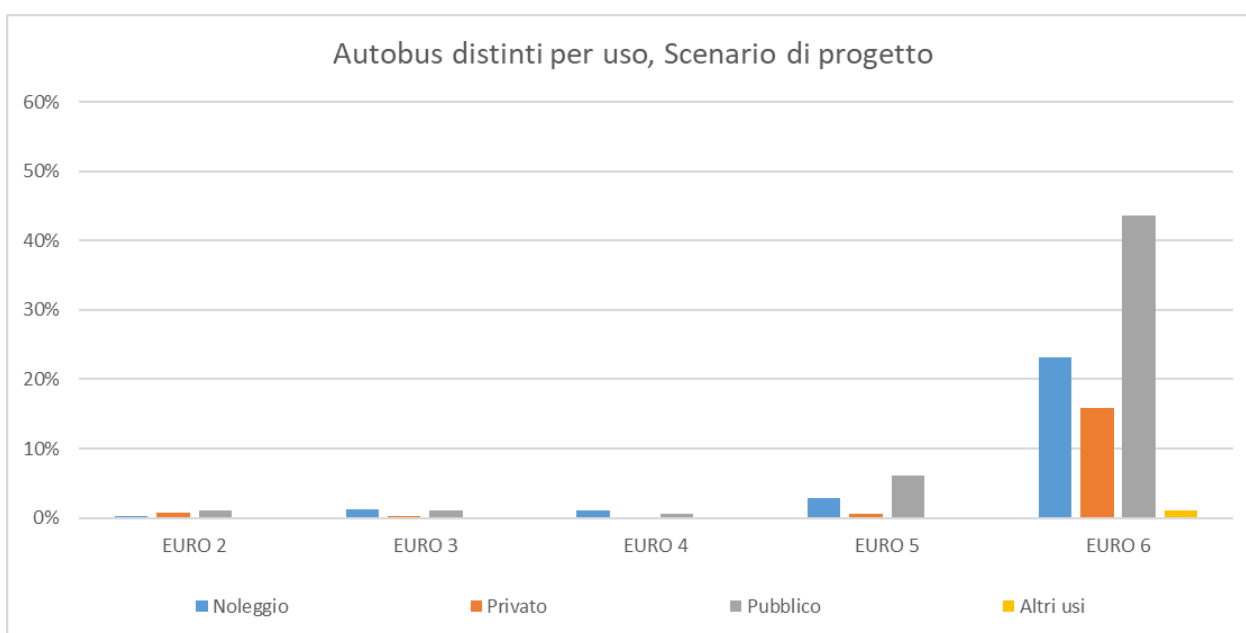


FIGURA 2-8 SUDDIVISIONE PERCENTUALE AUTOBUS PREVISTI PER LO SCENARIO DI PROGETTO, REGIONE MARCHE (FONTE: ELABORAZIONE DA DATI ACI AUTORITRATTO 2021)

2.1.2 VOLUMI E VELOCITÀ DEL TRAFFICO CIRCOLANTE

Un dato progettuale utile al fine di definire l'emissione derivante dal traffico veicolare è dato dalle velocità media ipotizzate lungo il tracciato. Nello specifico, è stata assunta una velocità di percorrenza di 70km/h e 50km/h rispettivamente per i veicoli leggeri e pesanti lungo la sezione stradale di riferimento. Di seguito viene riportato il dato di traffico giornaliero medio distinto tra mezzi leggeri e pesanti lungo il tratto stradale di interesse utilizzato nelle simulazioni modellistiche.

Traffico giornaliero medio (TGM)		
Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	Totale
1188	432	1620

TABELLA 2-9 DATI DI TRAFFICO, ESPRESSO IN TERMINI GIORNALIERI MEDI E DIVISO TRA VEICOLI LEGGERI E PESANTI IN TRANSITO LUNGO IL TRACCIATO DI RIFERIMENTO PER LA SIMULAZIONE ALLO SCENARIO DI PROGETTO

2.1.3 I FATTORI DI EMISSIONE

Come definito nei paragrafi precedenti, dalla conoscenza della tipologia di parco veicolare circolante e dalla velocità è stato possibile determinare i fattori di emissione per la CO₂ equivalente per i veicoli leggeri e pesanti. Tale stima è stata condotta eseguendo una media ponderata dei fattori di emissione associati ad ogni categoria di vettura e di alimentazione, rispetto alla loro composizione percentuale. In particolare, per tale studio sono stati considerati veicoli leggeri le autovetture e i veicoli industriali leggeri, mentre nei veicoli pesanti sono stati considerati i veicoli industriali pesanti e gli autobus.

Nella tabella seguente sono riportati i fattori di emissione relativi agli inquinanti considerati in relazione ad ogni classe di velocità utilizzata per il calcolo emissivo.

Inquinanti	Velocità (km/h)	Fattore di emissione leggeri (g/km*veicolo)	Fattore di emissione pesanti (g/km*veicolo)
CO ₂	50	183,24	634,25
	70	147,87	479,62

TABELLA 2-10 FATTORE DI EMISSIONE BENZENE, CO₂ DI VEICOLI LEGGERI E PESANTI - SCENARIO DI PROGETTO

2.1.4 ANALISI DELLE EMISSIONI GENERATE NELLA FASE DI ESERCIZIO

Attraverso la conoscenza dei fattori di emissione medi ponderati per i veicoli leggeri e pesanti nelle diverse velocità di progetto ipotizzate, è stato possibile calcolare un fattore di emissione medio ponderato incrociando tali valori con i flussi medi giornalieri di traffico in circolo sull'infrastruttura di progetto. Nello specifico, è stato ottenuto un valore per il fattore di emissione della CO₂ pari a 277,57 g/km*veicolo. Tale valore, moltiplicato per la lunghezza del tracciato allo stato di progetto e per l'arco temporale di riferimento restituisce il contributo emissivo derivante dal traffico veicolare in transito. I risultati emersi dallo studio emissivo sono riportati nella seguente tabella.

Inquinanti	Emissione media annua (kt)	Emissione in 50 anni (kt)
CO ₂	0,32	16,08

TABELLA 2-11 STIMA EMISSIVA DEL TRAFFICO CIRCOLANTE SUL TRACCIATO DI PROGETTO PER INTERVALLI TEMPORALE DI 1 ANNO E 50 ANNI

Dai risultati riportati in Tabella 2-11 emerge come la stima di anidride carbonica derivante dal traffico in transito sul tracciato di progetto, considerando un intervallo temporale di 50 anni, risulti essere pari a circa 16kt.

Al fine di valutare se gli impatti legati alla realizzazione del tracciato possono ritenersi trascurabili o meno sulla qualità dell'ambiente, in termini di gas climalteranti, viene effettuata una stima delle emissioni nell'ipotesi di non intervento (anche denominata opzione "zero"). In tal senso, viene valutata l'entità delle variazioni di CO₂ emesse dai veicoli in transito sull'infrastruttura stradale senza considerare alcuna modifica al tracciato attualmente in esercizio.

Ovviamente, al fine di poter condurre delle stime che tengano conto delle medesime condizioni al contorno utilizzate nel caso di intervento, l'analisi viene effettuata anche per l'opzione zero considerando la stessa evoluzione del parco veicolare e lo stesso intervallo di tempo.

Trattandosi di un adeguamento tecnico funzionale in sede della sezione stradale attuale, le variazioni planimetriche legate al nuovo progetto sono minime e riscontrabili unicamente nella realizzazione dei due viadotti in cui si può notare, peraltro, una diminuzione del tracciato rispetto all'attuale (cfr. Figura 2-9). Inoltre, in virtù delle finalità previste dai lavori di adeguamento del tracciato stradale, volto soprattutto a migliorarne la sicurezza e le prestazioni di percorrenza, ne consegue una diminuzione, seppur minima, dei tempi di percorrenza.

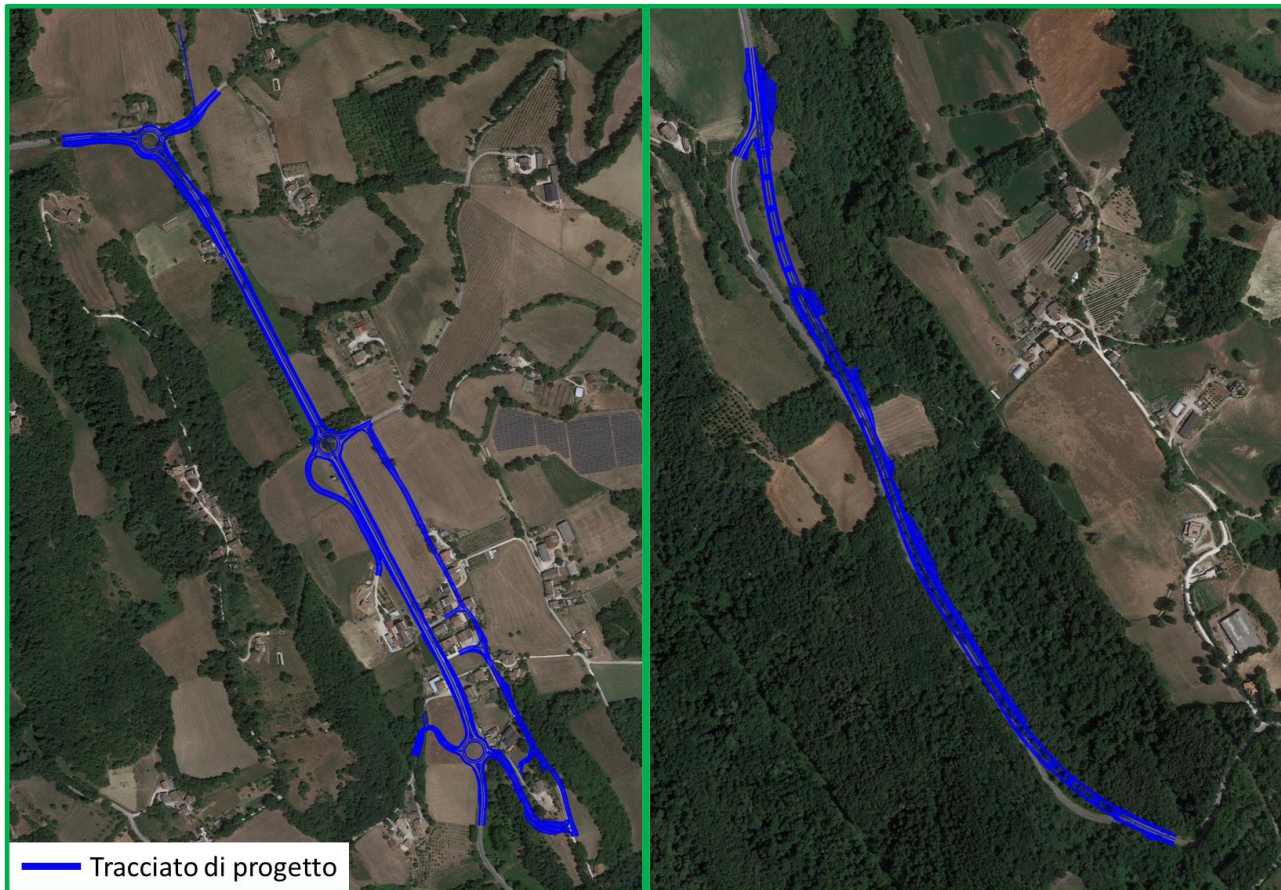


FIGURA 2-9 CONFRONTO TRA STATO ATTUALE E PLANIMETRIA DI PROGETTO

Tali aspetti denotano quindi come le emissioni di CO₂ legate al traffico veicolare lungo il tracciato allo stato di progetto, in virtù della natura degli interventi proposti, siano comparabili a quelle previste nell'ipotesi di non intervento e produrrebbero una diminuzione, seppur non sostanziale, sulle emissioni di gas climalteranti.

In virtù di tali considerazioni, non si ritiene necessario adottare per la fase di esercizio misure volte a compensare il contributo di CO₂ emesso dal traffico veicolare nell'ipotesi di progetto.

3 STIMA DELLE EMISSIONI DI CO₂ PER LA FASE DI CANTIERE

3.1 Premessa

L'analisi seguente è finalizzata alla stima della CO₂, con l'obiettivo di quantificare le emissioni di gas serra associate ai cantieri coinvolti dal progetto in esame ed all'operatività degli stessi. Si ricorda che le emissioni di gas serra associate ad un qualunque processo produttivo, sono generalmente espresse in tonnellate di CO₂ equivalente, ovvero prendendo a riferimento per tutti i gas serra l'effetto associato alla CO₂, assunto pari ad 1, come meglio chiarito nel seguito. Nella presente trattazione la quantificazione delle emissioni di gas serra associate alle lavorazioni e attività di cantierizzazione viene dunque articolata secondo le linee guida del GHG Protocol, uno degli standard internazionali per la contabilizzazione dei gas serra, redatto dalla collaborazione tra il World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) e il World Resources Institute (WRI) 4, rappresenta uno degli standard internazionali per la quantificazione delle emissioni di gas serra, mettendo a disposizione indicazioni, linee guida e strumenti per effettuare il computo.

Nella rendicontazione da effettuare, sulla scorta delle indicazioni del Protocollo di Kyoto, i gas climalteranti che devono essere presi in considerazione per la stima sono: l'anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄), il protossido di azoto (N₂O), gli idrofluorocarburi (HFC), i perfluorocarburi (PFC) e l'esafluoruro di zolfo (SF₆). Inoltre, i risultati devono essere riportati come aggregati, espressi in quantità di CO₂ equivalente, utilizzando i valori di potenziale riscaldamento globale (Global Warming Potential GWP) in rapporto al potenziale dell'anidride carbonica (CO₂). I GWP vengono dunque utilizzati per convertire le emissioni di altri gas serra in termini di CO₂ equivalente. In particolare, i risultati della stima vengono espressi in quantità di CO₂ equivalente considerando il GWP su un orizzonte temporale che solitamente è pari a 100 anni.

Stante quanto premesso, le linee guida del protocollo GHG analizzato prevedono di considerare le emissioni di gas serra suddividendole in tre categorie, secondo la seguente classificazione:

- Scope 1: Emissioni dirette;
- Scope 2: Emissioni indirette;
- Scope 3: Altre emissioni indirette.

Nello scope 1 (emissioni dirette) vengono contabilizzate tutte le emissioni provenienti da fonti/sorgenti proprie dei cantieri o controllate dai cantieri, come ad esempio quelle derivanti dall'utilizzo di combustibili necessari ai vari processi di produzione. Nello specifico, per il caso in esame, sono quantificate le emissioni connesse al consumo di gasolio per il funzionamento dei vari mezzi di cantiere.

Per il secondo scope (emissioni indirette) si richiede di calcolare le emissioni derivanti dall'utilizzo di elettricità prelevata dalla rete e in generale da fonti di energia esterne. Tutte queste fonti producono emissioni indirette in quanto la loro produzione fisica avviene all'esterno del cantiere e non sono sotto il suo diretto controllo.

Il terzo scope (altre emissioni indirette) è connesso all'individuazione delle emissioni derivanti da combustibile utilizzato per il trasporto di materiale destinato all'approvvigionamento ed allo smaltimento rispettivamente verso e dal cantiere.

Nei paragrafi che seguono vengono quantificate le varie emissioni associate a ciascuno degli scope ed alla totalità degli scope.

3.2 Emissioni relative allo Scope 1

Con l'obiettivo di dare contezza del consumo di gasolio attribuito ai mezzi d'opera di cantiere sono stati in primo luogo considerati i diversi macchinari coinvolti dalle lavorazioni previste. Le aree di cantiere ed i relativi mezzi ad esse associate sono riepilogati nella Tabella 4-1.

Tipo	Numero	Pala meccanica	Escavatore	Autocarro	Gruppo elettrogeno	Impianto aria compressa	Rullo compattatore	Macchina per micropali
Campo base	1	1	1	1				
Cantiere operativo	5		1	1	1		1	
Area deposito e stoccaggio	1	1			1	1		
Realizzazione rilevato	1		1	1			1	
Realizzazione viadotti	1		1	1				1

TABELLA 3-1 AREE DI CANTIERE, ANALISI DEI MEZZI IMPIEGATI

Per ogni mezzo di cantiere è stato calcolato il fattore di emissione relativo alla CO₂ attraverso il sito britannico "Greenhouse gas reporting: conversion factors 2020", il quale mette a disposizione gli indicatori espressi in kg CO₂eq/kWh utili per la stima di GHG associati al consumo di gasolio. La consultazione della sopracitata fonte alla voce "Fuels" ed alla sottocategoria "Liquid Fuels" in cui è stato preso in esame il campo "Diesel (100% mineral diesel)" fornisce i fattori di emissione riportati nella tabella che segue.

Sorgente emissive puntuali	Potenza in Kw	Fattore di emissione (Kg CO ₂ eq/kWh)
Pala gommata	128	0,26891
Escavatore	128	
Autocarro	184	
Gruppo elettrogeno	128	
Impianto aria compressa	128	
Rullo compattatore	88	
Macchina per micropali	128	

TABELLA 3-2 FATTORI DI EMISSIONE PER LA CO₂EQ PER LE DIVERSE SORGENTI EMISSIVE ALIMENTATE CON CARBURANTE DIESEL (FONTE: GREENHOUSE GAS REPORTING: CONVERSION FACTORS 2020)

Noti, dunque, i fattori di emissione per ciascuna sorgente puntuale, la potenza associata a ciascun macchinario ed i loro fattori di utilizzo, è stato possibile ricavare le tonnellate di CO₂ equivalente associate al consumo di gasolio per ciascun mezzo. A tal proposito si sottolinea come sia stato considerato un fattore di utilizzo giornaliero dei mezzi pari al 75% (ovvero 6 ore lavorative). L'operatività complessiva in ore del cantiere, sapendo che da cronoprogramma la durata delle lavorazioni è pari a 900 giorni, ammonta dunque a 5.400 ore. In virtù dei dati fin qui esposti, è possibile calcolare le tonnellate di CO₂ equivalente, come sintetizzato nella Tabella sottostante, per ciascuna delle sorgenti puntuali coinvolte.

Sorgenti	Potenza (kW)	Ton CO ₂ eq
Pala gommata	128	204
Escavatore	128	204
Autocarro	184	293
Gruppo elettrogeno	128	204
Impianto aria compressa	128	204
Rullo compattatore	88	140
Macchina per micropali	128	204

TABELLA 3-3 EMISSIONE DI CO₂EQ PER CIASCUNA UNITÀ ASSOCIATA ALLE SORGENTI PUNTUALI PER L'INTERA DURATA DELLE LAVORAZIONI

Volendo quantificare le emissioni in termini di CO₂ equivalente associate a ciascun cantiere, è necessario sommare i contributi di ciascuna sorgente puntuale considerata per ciascun cantiere. Nella Tabella seguente vengono riportati i risultati di tale analisi.

Area Cantiere	Numero aree	CO ₂ eq (kt)
Campo base	1	0,72
Cantiere operativo	5	0,76
Area deposito e stoccaggio	1	0,56
Realizzazione rilevato	1	0,52
Realizzazione viadotto	1	0,15
Totale	9	2.71

TABELLA 3-4 EMISSIONI DI CO₂EQ ASSOCIATA AD OGNI CANTIERE

Sommando il totale dei contributi associati a ciascun'area di cantiere, si ottiene una quantità complessiva pari a 3,09 kilotonnellate di CO₂ equivalente dovuta al consumo di gasolio necessaria al funzionamento dei mezzi di cantiere.

3.3 Emissioni relative allo scope 2

Relativamente alle emissioni indirette di gas serra correlate al consumo di energia elettrica prelevata dalla rete, la stima della CO₂ equivalente prevede in primo luogo la conoscenza dei diversi dati di input relativi

ai cantieri coinvolti. In primo luogo, è necessario stimare la potenza necessaria da fornire in ciascun cantiere, i cui valore nel caso specifico sono sintetizzati nella Tabella seguente.

Aree di cantiere	Numero Aree	Potenza installata (kW)
Campo base	1	100
Cantiere operativo	5	100
Area deposito e stoccaggio	1	100
Realizzazione rilevati	1	100
Realizzazione viadotti	1	100

TABELLA 3-5 STIMA DELLE POTENZE INSTALLATE IN CIASCUN CANTIERE CONSIDERATO

Una volta quantificata la potenza necessaria da installare, attraverso il report ISPRA "Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico", report attraverso il quale vengono forniti i dati tabellati inerenti ai fattori di emissione della produzione elettrica nazionale e dei consumi elettrici espressi in g CO_{2eq}/kWh, è stato possibile quantificare il valore medio, in termini di fattore di emissione per la CO₂, derivante dal consumo di energia elettrica, pari a 0,26 kgCO_{2eq}/kWh¹.

Nella Tabella seguente si riportano i risultati relativi all'emissione di CO₂ equivalente relativamente al consumo di energia elettrica nei cantieri che, complessivamente, ammonta a 1,26 kt di CO_{2eq}.

Aree di cantiere	Numero Aree	CO _{2eq} (kt)
Campo base	1	0,14
Cantiere operativo	5	0,14
Area deposito e stoccaggio	1	0,14
Realizzazione rilevati	1	0,14
Realizzazione viadotti	1	0,14
Totale	9	0,70

TABELLA 3-6 STIMA DELLE EMISSIONI DI CO₂ EQUIVALENTE DERIVANTI DALLA FORNITURA DI ENERGIA ELETTRICA NEI CANTIERI

3.4 Emissioni relative allo scope 3

Con l'obiettivo di quantificare le emissioni di CO₂ equivalente associate al trasporto di materiale da e verso i cantieri, sono state individuate le seguenti tipologie di itinerari:

- Trasporto per approvvigionamento (32.983m³)
- Trasporto di materiale in uscita per cave e siti di demolizione (1.500m³);

¹ Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico - ISPRA (<https://www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/rapporti/r343-2021.pdf>)

A tal proposito, sono stati definiti in primo luogo il numero di viaggi che devono essere compiuti per il trasporto di materiale per demolizione o di quello proveniente da siti di demolizione. Nell'ipotesi di considerare un autocarro con capacità di trasporto pari a 16m³, è stato calcolato il seguente numero di viaggi:

- 1.650 viaggi monodirezionali per approvvigionamento (3.300 bidirezionali);
- 75 viaggi monodirezionali per trasporto di materiale da smaltimento (150 direzionali).

Anche in questo caso, come già valutato per la fase di esercizio, punto di partenza della stima delle emissioni dovute al traffico indotto dalla cantierizzazione è l'individuazione della tipologia di veicolo da considerare, a cui associare conseguentemente un fattore di emissione.

Attraverso il software Copert V, a cui si rimanda per un'analisi di dettaglio al Paragrafo 2.1, è stato unicamente considerato il fattore di emissione associati alla voce "Heavy Duty Trucks Diesel Rigid 20 – 26t Euro IV", a cui corrisponde un valore del fattore di emissione di CO₂ equivalente pari a 672,17 g/km. Infine, sono stati definiti i siti di approvvigionamento del materiale e le cave e discariche per la demolizione del materiale. Dalla definizione dei siti individuati per entrambe le necessità, non essendo a conoscenza della disponibilità associata a ciascuna cava e discarica, nonché la priorità associabile ai siti di approvvigionamento, è stato considerata una distanza media di 50km per i siti di approvvigionamento e di 40km per i siti di conferimento del materiale.

Moltiplicando tale distanza per il numero di viaggi e il fattore di emissione è stato calcolato, infine, il valore della CO₂ equivalente emessa dal traffico di cantiere. Nella Tabella seguente viene riportata un'analisi schematica dei risultati.

Tipologia	Distanza media	N. viaggi bidirezionali	CO ₂ equivalente (kt)
Approvvigionamento	50	3.300	0,111
Cave e discariche	40	150	0,004
Totale	-	3.450	0,115

TABELLA 3-7 ANALISI DELLE EMISSIONI DERIVANTI DAL TRAFFICO INDOTTO DALLA CANTIERIZZAZIONE

Da tali analisi è quindi emerso come le emissioni di CO₂ equivalente dei flussi di traffico indotti dalle lavorazioni per la realizzazione dell'opera risulti essere pari a 0,145 kt.

3.5 Quantificazioni delle emissioni totali

I risultati fin qui ottenuti possono essere sintetizzati nella tabella e nel grafico che seguono, in modo da poter quantificare le emissioni totali per i tre scope esaminati ed analizzare il peso emissivo associato a ciascuno scope rispetto al totale.

Scope	CO _{2eq} (kt)	Contributo (%)
Scope 1	2,71	77%
Scope 2	0,70	20%

Scope	CO ₂ eq (kt)	Contributo (%)
Scope 3	0,12	3%
Totale	3,53	100%

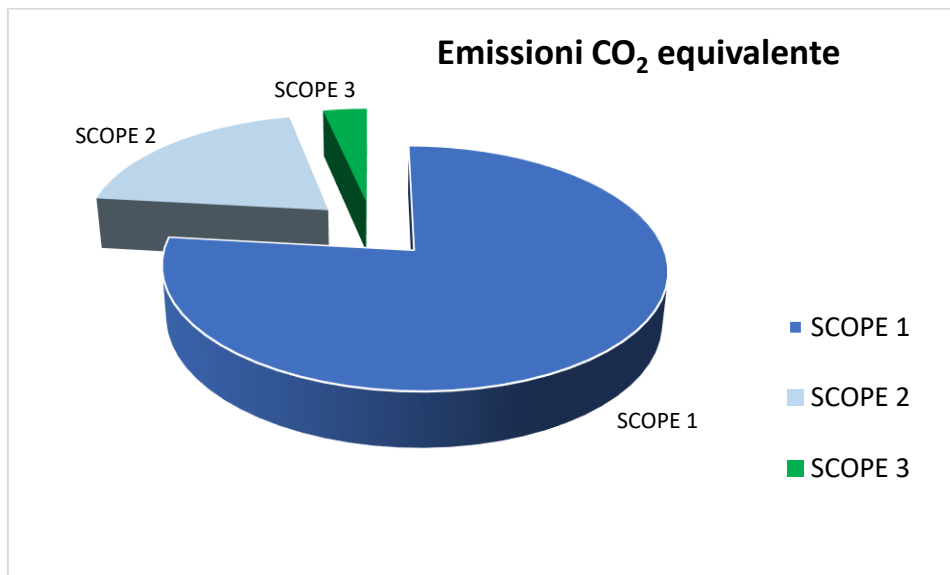


FIGURA 3-1 EMISSIONI DI CO₂ EQUIVALENTE, SUDDIVISIONE NEI TRE SCOPE DI ANALISI

L'analisi ha condotto dunque ad una stima totale di CO₂ equivalente per i tre scope pari a circa 2,7 kilo tonnellate, con il contributo maggiore, pari al 77%, dovuto allo scope 1, seguito dallo scope 2 che ha un peso emissivo pari al 20%. Il contributo minore è invece associato allo scope 3 che contribuisce per il 3% al totale delle emissioni di CO₂ equivalente.

1. COMPENSAZIONE DELLA CO₂

Una volta stimate le emissioni di anidride carbonica equivalente derivanti dalla fase di esercizio e dalle attività di cantiere, è necessario definire le migliori strategie e interventi di mitigazione volti a ridurre le emissioni di CO₂ equivalente stimate. Come già fatto per l'analisi dei livelli emissivi, è necessario distinguere l'analisi di compensazione tra le due fasi sopracitate, in quanto sono associate a periodi temporali differenti e tra loro non consequenziali.

1.1. Compensazione in fase di esercizio

In virtù delle risultanze emerse nell'ambito dell'analisi emissiva legata al traffico veicolare in transito sul tracciato di progetto, è già stato evidenziato nel Paragrafo 2.1.4 come i lavori di adeguamento tecnico funzionale della sezione stradale e la rettificazione del tracciato nella parte sud attraverso l'inserimento di due viadotti consentiranno una diminuzione della lunghezza dell'infrastruttura stradale e un miglioramento delle prestazioni di percorrenza, garantendone dunque una riduzione, seppur minima, dei tempi di percorrenza. Tali aspetti si traducono in termini emissivi in una riduzione, seppur non sostanziale, dei gas climalteranti legati al traffico veicolare lungo il tracciato allo stato di progetto.

In virtù di tali considerazioni, non si ritiene necessario adottare per la fase di esercizio misure volte a compensare il contributo di CO₂ emesso dal traffico veicolare nell'ipotesi di progetto.

1.2. Compensazione in fase di cantiere

Per quanto riguarda l'analisi emissiva relativa alla fase di cantiere, lo studio ha evidenziato come le emissioni di gas climalteranti ammontano, per l'intera durata delle attività di cantiere previste dal progetto ammontano a 3,53kt. Nello specifico, volendo suddividere tale risultato per scope emissivi:

- 2,71 kt di CO₂ equivalente derivanti dalle attività di Scope 1;
- 0,70 kt di CO₂ equivalente derivanti dalle attività di Scope 2;
- 0,12 kt di CO₂ equivalente derivante dalle attività di Scope 3.

A tal proposito vengono di seguito elencate delle azioni volte a ridurre l'impatto ambientale legato alla cantierizzazione, soprattutto in merito al contesto emissivo per quanto riguarda i gas a effetto serra.

- Annullamento del 50% della CO₂ prodotta dal cantiere attraverso l'acquisto di titoli verdi;
- Impiego di macchinari equipaggiati con motori conformi ai più recenti standard di emissione, che permetterà una riduzione del 40% rispetto all'utilizzo di macchinari alimentati a diesel, utilizzati nella presente stima;
- Impiego veicoli per il trasporto del materiale di scavo alimentati con tecnologie a basso impatto ambientale (Eruo VI, Veicoli ibridi o elettrici);
- Fornitura di energia elettrica ai campi base e ai campi operativi di tipo ecompatibile, preferendo l'impiego di pannelli fotovoltaici a copertura di almeno l'80% del fabbisogno energetico del campo.

L'impiego di tali azioni di mitigazione provvederebbe a ridurre di almeno il 70% le emissioni di gas climalteranti da scope 1 e dell'80% i contributi emissivi derivanti dallo Scope 2, passando rispettivamente a 0,81kt e 0,14kt di CO₂ equivalente.

Per quanto riguarda invece il contributo legato al traffico di cantiere, l'utilizzo di veicoli a basso impatto ambientale con alimentazione elettrica consentirebbero inoltre di annullare totalmente le emissioni relative allo scope 3.

In definitiva, si l'impiego delle azioni di mitigazione ambientale nella fase di cantiere porterebbero le emissioni indotte in tale fase da 3,53kt a 0,95kt di CO₂ equivalente.

Si specifica, inoltre, che in fase di progettazione esecutiva verranno eseguite delle stime approfondite volte a ridefinire il calcolo emissivo analizzato in tale fase per gli aspetti legati alla cantierizzazione, al fine di ridurre ulteriormente le emissioni di CO₂ equivalente legate alla cantierizzazione.