

S.S. 78 "SARNANO - AMANDOLA"

LAVORI DI ADEGUAMENTO E/O MIGLIORAMENTO TECNICO FUNZIONALE DELLA SEZIONE STRADALE IN T.S. E POTENZIAMENTO DELLE INTERSEZIONI - 2° STRALCIO

PROGETTO DEFINITIVO

IMPRESA ESECUTRICE		GRUPPO DI LAVORO ANAS:	
			
GRUPPO DI PROGETTAZIONE		RESPONSABILE DEI LAVORI:	
(Mandataria) 		VISTO: RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Ing. Marco Mancina (ANAS S.p.A.)	
(Mandanti)     			
N. ELABORATO: R128		CAPITOLO R – AMBIENTE CAPITOLO R1 – STUDIO IMPATTO AMBIENTALE CALCOLO CARBON FOOTPRINT	

PROTOCOLLO:	DATA:

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	R128-T00_IA06_AMB_RE01_A_Calcolo carbon footprint		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	CODICE ELAB. <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
D					
C					
B					
A	EMISSIONE		Luglio 2023	-	-
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

INDICE

PREMESSA	2
1. INTRODUZIONE	2
1.1 LE EMISSIONI DI GHG E I CAMBIAMENTI CLIMATICI	3
1.2 LE EMISSIONI DI GHG NEI TRASPORTI SU STRADA	3
2. STIMA DELLE EMISSIONI DI GHG PER LA FASE DI ESERCIZIO	4
2.1 METODOLOGIA DI ANALISI	4
2.1.1 LA COMPOSIZIONE DEL PARCO VEICOLARE	4
2.1.2 VOLUMI E VELOCITA' DEL TRAFFICO CIRCOLANTE	8
2.1.3 I FATTORI DI EMISSIONE	8
2.2 EMISSIONI GENERATE NELLA FASE DI ESERCIZIO.....	9
3. STIMA DELLE EMISSIONI DI GHG PER LA FASE DI CANTIERE	10
3.1 METODOLOGIA DI ANALISI	10
3.2 CONFINI OPERATIVI.....	11
3.2.1 EMISSIONI AMBITO 1	12
3.2.2 EMISSIONI AMBITO 2.....	13
3.2.3 EMISSIONI AMBITO 3.....	14
3.2.4 EMISSIONI TOTALI GENERATE NELLA FASE DI CANTIERE.....	16
4. MITIGAZIONE DELLE EMISSIONI	17
4.1 MITIGAZIONE DELLE EMISSIONI NELLA FASE DI ESERCIZIO	17
4.2 MITIGAZIONE DELLE EMISSIONI NELLA FASE DI CANTIERE	18

PREMESSA

Il presente studio è stato redatto da DESAM Ingegneria e Ambiente srl su incarico di S.A.G.I. srl. DESAM, avvalendosi di personale interno e di collaborazioni esterne, con decennale esperienza nel campo della sostenibilità, ed in particolare delle valutazioni di impronta carbonica di prodotti, attività economiche, organizzazioni e processi, nonché attraverso collaborazioni con Centri universitari qualificati, possiede la struttura e le competenze adatte per sviluppare progetti come quello in esame.

Il gruppo di lavoro è costituito da Stefania Grillo, Paolo Criscione e Bianca Pusterla.

1. INTRODUZIONE

L'analisi seguente è finalizzata alla stima delle emissioni di gas a effetto serra (in tonnellate di CO₂ equivalente) relative al 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 – secondo stralcio", che consiste nella realizzazione della variante fuori sede che ricuce le due tratte già avviate dal primo stralcio, chiudendo così, definitivamente, la sistemazione dell'ansa di Montane. L'intervento si collega a nord alla rotatoria già prevista subito dopo l'abitato di Cardagnano Alto (esclusa) e termina a sud, dopo un percorso di 1,9 km circa, sotto l'abitato di Montane, riconnettendosi al secondo tratto di intervento realizzato con il primo stralcio. L'involuppo degli interventi del primo e del secondo stralcio viene così a sistemare definitivamente un tratto di circa 4 km a partire da Sarnano verso Amandola, risolvendo uno dei punti maggiormente critici e meno sicuri dell'intero itinerario.

I lavori comprendono come opere d'arte maggiori due viadotti, di 200 e 160 m rispettivamente, e due gallerie da 30 e 20 m, che hanno il fine principalmente di aggirare l'attuale tortuosità del tracciato. Si tratta in tutto di 5 aree di cantiere, ovvero il campo base e le aree in corrispondenza dei due viadotti e delle due gallerie artificiali da realizzare.

L'intervento rientra tra le iniziative del PNC – PNRR: Piano Nazionale Complementare al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza nei territori colpiti dal sisma 2009-2016, Sub-misura A4, "Investimenti sulla rete stradale statale".

Di seguito si riporta l'inquadramento planimetrico dell'opera in oggetto su CTR (Carta Tecnica Regionale):



Figura 1 - Inquadramento su CTR

1.1 LE EMISSIONI DI GHG E I CAMBIAMENTI CLIMATICI

La comunità scientifica parla chiaro: senza un immediato freno all'immissione in atmosfera dei gas a effetto serra (anche detti GHG, dall'inglese *GreenHouse Gas*) e, ormai, un intervento massiccio di azioni di adattamento ai cambiamenti climatici già innescati, non è possibile assicurare un futuro degno per i quasi dieci miliardi di abitanti della terra dopo il 2050. Già adesso, e non da ieri, gli effetti delle crisi climatiche, energetiche ed ambientali si ripercuotono sulle popolazioni in modo diverso e, all'interno delle società, le fasce più deboli sono le prime a pagarne le conseguenze, con tutto ciò che ne consegue in termini di ingiustizia e destabilizzazione sociale. L'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), il principale organismo internazionale per la valutazione dei cambiamenti climatici, alle cui attività contribuiscono migliaia di ricercatori e ricercatrici di tutto il mondo, esamina e valuta le più recenti informazioni scientifiche, tecniche e socio-economiche elaborate per la comprensione dei cambiamenti climatici. Tra agosto 2021 e marzo 2023 l'IPCC ha completato la pubblicazione del Sesto Rapporto di Valutazione sui Cambiamenti Climatici (AR6), che sottolinea come sia "più probabile che non" che le temperature globali raggiungano un riscaldamento di 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali, ponendoci sulla rotta di un superamento dell'obiettivo fissato dalle Parti alla conferenza sul clima di Parigi del 2015. Sebbene il Rapporto di Sintesi non contenga nuovi dati scientifici, esso raccoglie i contenuti principali della ricerca mondiale sul clima e formula una guida pratica per i governi e i decisori che in tutto il mondo stanno cercando di attuare un cambiamento positivo. Il Rapporto sottolinea che esistono misure politiche sperimentate e collaudate che possono funzionare per ottenere riduzioni consistenti delle emissioni e resilienza climatica, se vengono ampliate e applicate più diffusamente.

La contabilizzazione e rendicontazione delle emissioni di GHG di prodotti, attività economiche, organizzazioni e processi, si inserisce perfettamente in questo contesto, costituendo la base di partenza per l'elaborazione di queste misure di riduzione e adattamento.

1.2 LE EMISSIONI DI GHG NEI TRASPORTI SU STRADA

Il settore dei trasporti è responsabile di circa un quarto delle emissioni totali di GHG in Europa (principalmente CO₂), il 71,7% delle quali viene prodotto dal trasporto stradale, secondo l'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA – *Environmental Energy Agency*). Oltre a ciò, negli ultimi tre decenni è stato l'unico settore a registrare un aumento delle emissioni di GHG, secondo i dati contenuti nel *Transport and environment report*, elaborato dalla EEA.

Di conseguenza, l'UE ha stabilito obiettivi vincolanti per auto e veicoli commerciali, mirando a ridurre costantemente le emissioni dei veicoli ed in particolare quelle dei veicoli pesanti, che contribuiscono per circa un quarto alle emissioni di CO₂ nel trasporto stradale dell'UE.

Da qualche tempo, inoltre, l'industria europea delle pavimentazioni stradali ha iniziato a quantificare il possibile contributo al risparmio di GHG che si otterrebbe da un'efficiente ed estesa manutenzione delle strade. In un *position paper* redatto nel 2016 dalle associazioni di settore EAPA, FEHRL ed EUPAVE dal titolo *Road pavement industries highlight huge CO₂ savings offered by maintaining and upgrading roads*, emerge che pavimentazioni stradali ben mantenute, dotate di manti omogenei e uniformi, portano ad una migliore prestazione dei veicoli per quanto riguarda le emissioni di CO₂; al contrario, il permanere di tratti di rete stradale deteriorata, oltre che portare a lungo termine a costi di manutenzione o ricostruzione estremamente elevati, va nella direzione contraria a tutti gli sforzi messi in atto dalla politica e dalle aziende per ridurre le emissioni dei veicoli.

E' all'interno di questo sforzo collettivo che si inserisce la presente contabilizzazione e rendicontazione delle emissioni dovute ai lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale di una sezione stradale della S.S. 78 "Picena".

In analogia con quanto effettuato 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 – primo stralcio”, nella presente trattazione verranno analizzate le seguenti fasi:

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

Sulla scorta delle indicazioni del Protocollo di Kyoto, i gas a effetto serra presi in considerazione sono: l’anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄), il protossido di azoto (N₂O), gli idrofluorocarburi (HFC), i perfluorocarburi (PFC) e l’esfluoruro di zolfo (SF₆). Inoltre, i risultati saranno riportati in maniera aggregata, espressi in quantità di CO₂eq, utilizzando i valori di potenziale riscaldamento globale (*Global Warming Potential*– GWP) in rapporto al potenziale della CO₂, posto uguale a 1, su un orizzonte temporale di 100 anni. I GWP vengono dunque utilizzati per convertire le emissioni in CO₂eq.

2. STIMA DELLE EMISSIONI DI GHG PER LA FASE DI ESERCIZIO

2.1 METODOLOGIA DI ANALISI

Nei successivi paragrafi sono descritte le risultanze e la metodologia applicata per il calcolo delle emissioni di GHG nella fase di esercizio. Si specifica che essa verrà trattata in completa analogia con il documento “Analisi ambientale – Aria” redatto all’interno della procedura di V.I.A per il primo stralcio di progetto, essendo il tratto di strada interessato dal secondo stralcio compreso tra i due tratti che costituiscono il primo.

Il calcolo dei contributi emissivi di anidride carbonica derivanti dal traffico veicolare in transito sultracciato 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, 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 dello *European Topic Centre for Air Pollution and Climate Change Mitigation*. Responsabile dello sviluppo scientifico è lo *European Commission’s Joint Research Centre (JRC)*. 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.

2.1.1 LA COMPOSIZIONE DEL PARCO VEICOLARE

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 a partire dai dati forniti dall’Automobile Club Italia (ACI) nella pubblicazione annuale “Autoritratto”. Nel caso in esame, si è fatto riferimento alla composizione del parco veicolare nella Regione Marche per l’anno 2021, in analogia con il primo stralcio.

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 1- Suddivisione autovetture (valori assoluti), Regione Marche

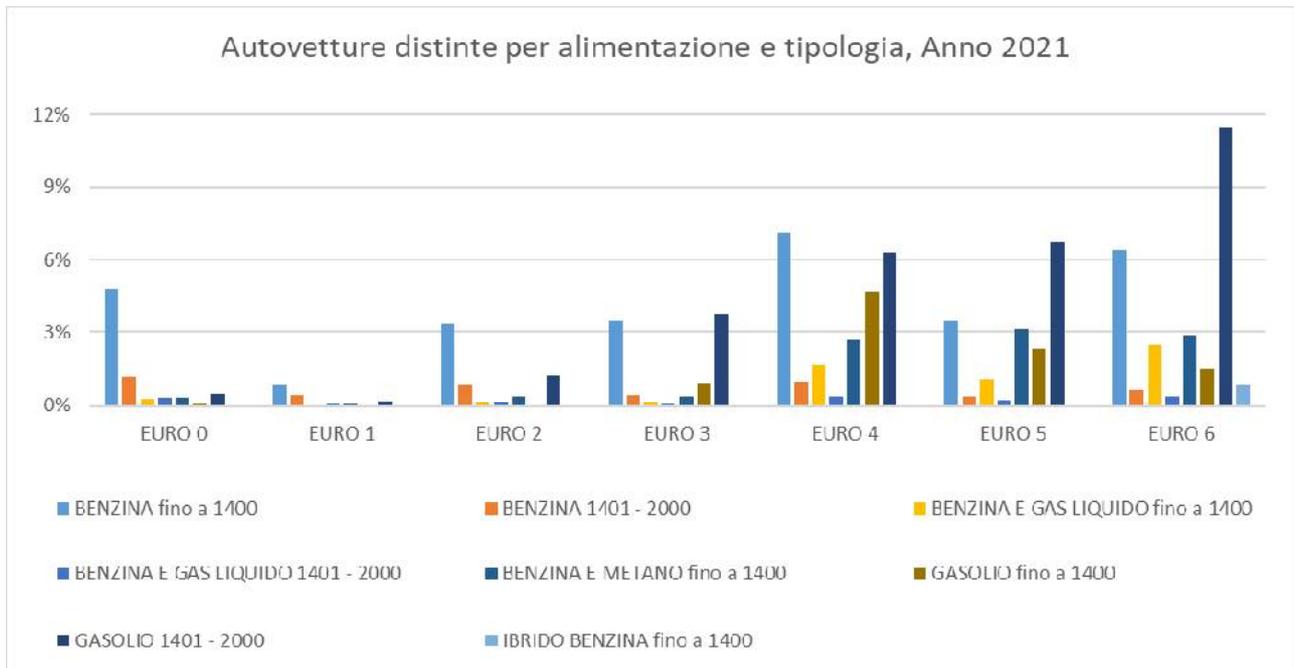


Figura 2 – Suddivisione autovetture (valori relativi), Regione Marche

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 - Suddivisione veicoli industriali leggeri (valori assoluti), Regione Marche

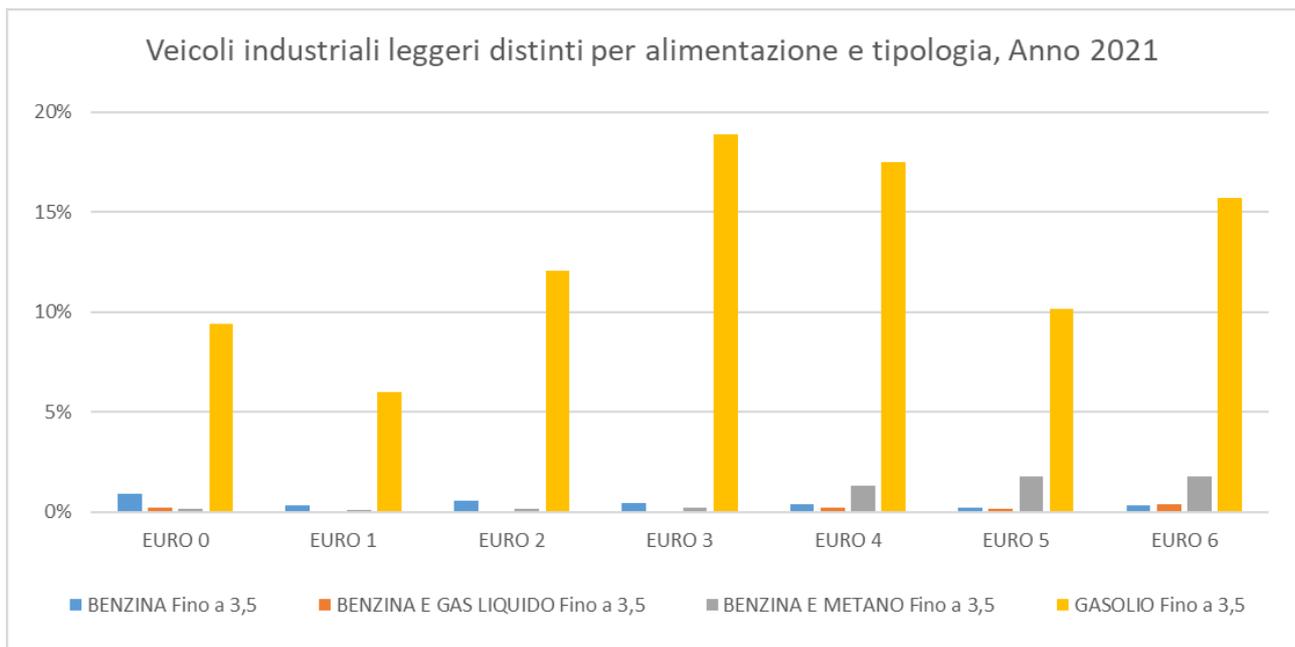


Figura 3 - Suddivisione veicoli industriali leggeri (valori relativi), Regione Marche

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 3 - Suddivisione veicoli industriali pesanti (valori assoluti), Regione Marche

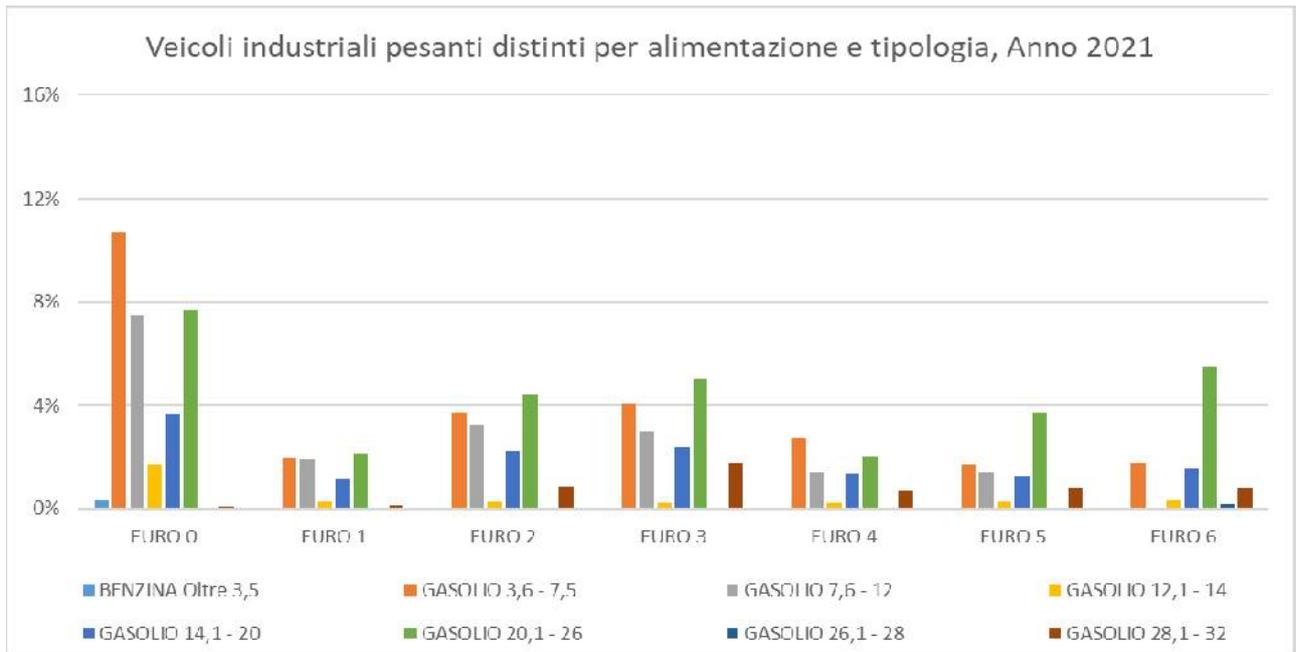


Figura 4 - Suddivisione veicoli industriali pesanti (valori relativi), Regione Marche

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 4 - Suddivisione autobus (valori assoluti), Regione Marche

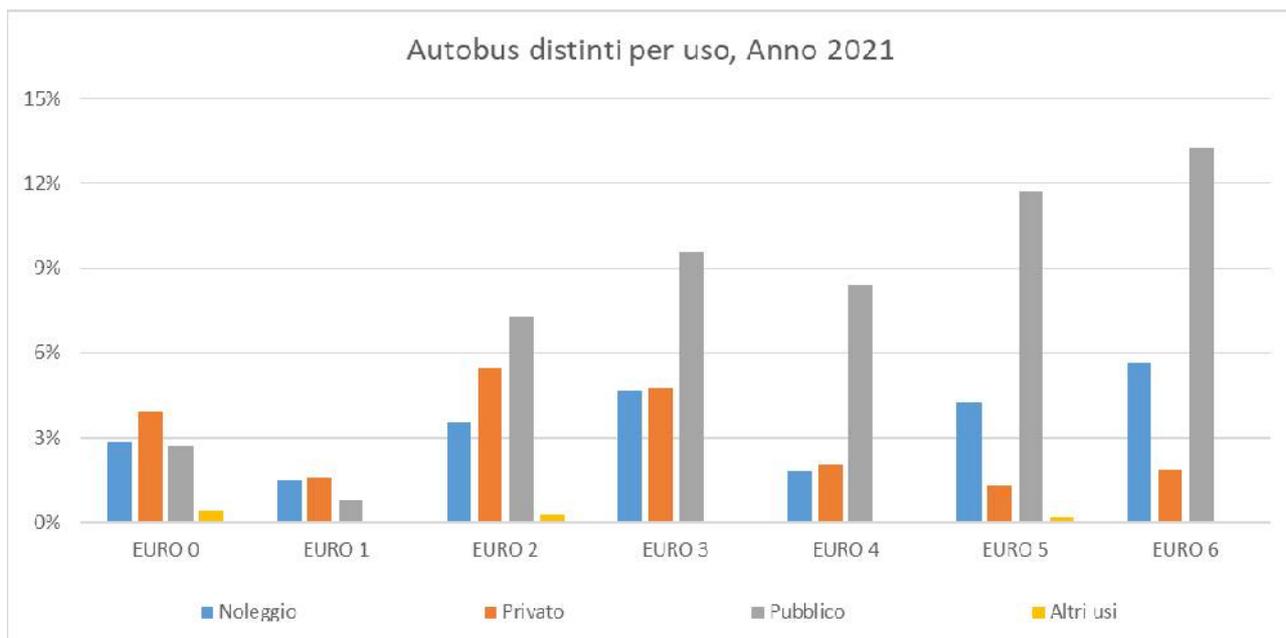


Figura 5 - Suddivisione autobus (valori relativi), Regione Marche

Una volta definito il parco veicolare attualmente presente sul territorio di riferimento, è stata condotta un'analisi relativa alla sua evoluzione in un arco di tempo di 50 anni (vita utile dell'opera). Sono state quindi effettuate delle ipotesi sull'evoluzione delle nuove tecnologie che porteranno, nell'arco di tempo considerato, al rinnovamento del parco veicolare, in termini di emissioni generate. In particolare, si è assunto, in via cautelativa, che la classe Euro 0 venga 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, avrebbe come minimo 30 anni. Il numero complessivo di veicoli circolanti viene assunto restare lo stesso per tutte le tipologie di veicoli.

2.1.2 VOLUMI E VELOCITA' DEL TRAFFICO CIRCOLANTE

Un dato progettuale utile al fine di definire le emissioni derivanti dal traffico veicolare è dato dalle velocità medie ipotizzate lungo il tracciato. Nello specifico, è stata assunta una velocità media 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 (TMG) distinto tra mezzi leggeri e pesanti lungo il tratto stradale di interesse utilizzato nelle simulazioni modellistiche.

	TMG (numero di veicoli)
VEICOLI LEGGERI	1.188
VEICOLI PESANTI	432

Tabella 5 - Dati di traffico (TMG) per veicoli leggeri e pesanti lungo il tracciato – scenario di progetto

2.1.3 I FATTORI DI EMISSIONE

A partire dalle ipotesi di tipologia di parco veicolare circolante e velocità media, è stato possibile determinare i fattori di emissione per i veicoli leggeri e pesanti. Tale stima è stata condotta

eseguendo una media pesata dei fattori di emissione associati ad ogni categoria di veicolo e di alimentazione, rispetto al loro peso sul totale (in percentuale). Inoltre sono stati accorpate nella categoria veicoli leggeri le autovetture e i veicoli industriali leggeri, mentre nei veicoli pesanti sono inclusi i veicoli industriali pesanti e gli autobus.

Nella tabella seguente sono riportati i fattori di emissione considerati per il calcolo emissivo in relazione ad ogni tipologia di veicolo.

	VELOCITA' MEDIA (km/h)	FATTORE DI EMISSIONE – MEDIA PESATA (gCO ₂ eq/km*veicolo)
VEICOLI LEGGERI	70	147,87
VEICOLI PESANTI	50	634,25

Tabella 6 - Fattori di emissione di GHG dei veicoli leggeri e pesanti - scenario di progetto

2.2 EMISSIONI GENERATE NELLA FASE DI ESERCIZIO

Attraverso la conoscenza dei fattori di emissione medi pesati per i veicoli leggeri e pesanti e della velocità media di percorrenza, 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 di ciascuna categoria di veicolo (leggeri e pesanti). Nello specifico, è stato ottenuto un valore per il fattore di emissione di GHG pari a **277,57 gCO₂eq/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.

EMISSIONI MEDIE ANNUE (ktCO ₂ eq/anno)	EMISSIONI IN SCENARIO DI PROGETTO (ktCO ₂ eq)
0,32	16,08

Tabella 7 - Emissioni di GHG nella fase di esercizio – annuali e scenario di progetto

Dai risultati riportati in tabella emerge che la stima di emissioni di gas a effetto serra generate dal traffico intransito sul tracciato di progetto, considerando un intervallo temporale di 50 anni, risulti essere pari a circa **16ktCO₂eq**.

Al fine di valutare se la realizzazione dell'intervento generi un miglioramento delle condizioni di percorrenza del tracciato tali da ridurre le emissioni di GHG, sarebbe opportuno effettuare una stima delle emissioni nell'ipotesi di non intervento (anche denominata "opzione zero"). In tal senso, andrebbe valutata l'entità delle variazioni di GHG emesse dai veicoli in transito sull'infrastruttura stradale senza considerare alcuna modifica al tracciato attualmente in esercizio, 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. Inoltre, in virtù delle finalità previste dai lavori di adeguamento del tracciato stradale, voltosoprattutto a migliorarne la sicurezza e le prestazioni di percorrenza e ad aggirare l'attuale tortuosità del tracciato, è plausibile ipotizzare una diminuzione dei tempi di percorrenza. Pertanto, è corretto ipotizzare, anche alla luce delle considerazioni generali fatte nell'introduzione, che le emissioni di GHG legate al traffico veicolare lungo il tracciato diminuiranno a seguito degli interventi proposti, inserendo quindi l'opera negli obiettivi di sostenibilità che il governo italiano si è dato per raggiungere i target europei.

3. STIMA DELLE EMISSIONI DI GHG PER LA FASE DI CANTIERE

3.1 METODOLOGIA DI ANALISI

In analogia con quanto precedentemente fatto per i tratti a monte e a valle di quello in oggetto della attuale trattazione, la quantificazione delle emissioni di gas a effetto serra associate alle lavorazioni e attività di cantiere viene articolata secondo le linee guida del *GHG Protocol*. Basato su una collaborazione ventennale tra il *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) e il *World Resources Institute* (WRI), è uno degli standard più riconosciuto a livello internazionale ed utilizzato da governi, amministrazioni locali, associazioni industriali e sociali, imprese e altre organizzazioni di tutto il mondo. Il *GHG protocol* delinea un quadro globale completo e standardizzato per misurare e gestire le emissioni di GHG derivanti da operazioni, catene di valore e azioni di mitigazione del settore pubblico e privato.

Il *GHG protocol* richiede la definizione preliminare dei confini operativi dell'attività, ovvero l'identificazione delle fonti di emissioni associate alle attività di cui si vogliono contabilizzare le emissioni, classificandole come emissioni dirette e indirette. Le emissioni dirette di GHG sono quelle provenienti da fonti di proprietà o controllate dall'azienda che svolge l'attività oggetto di contabilizzazione, mentre le emissioni indirette sono una conseguenza delle attività dell'azienda, che tuttavia provengono da fonti esterne all'azienda, non possedute o controllate da essa.

Per aiutare a delineare le fonti di emissione dirette e indirette di GHG, nel *GHG protocol* sono definiti tre "ambiti" (ambito 1, ambito 2 e ambito 3) di contabilizzazione e rendicontazione (Figura 6).

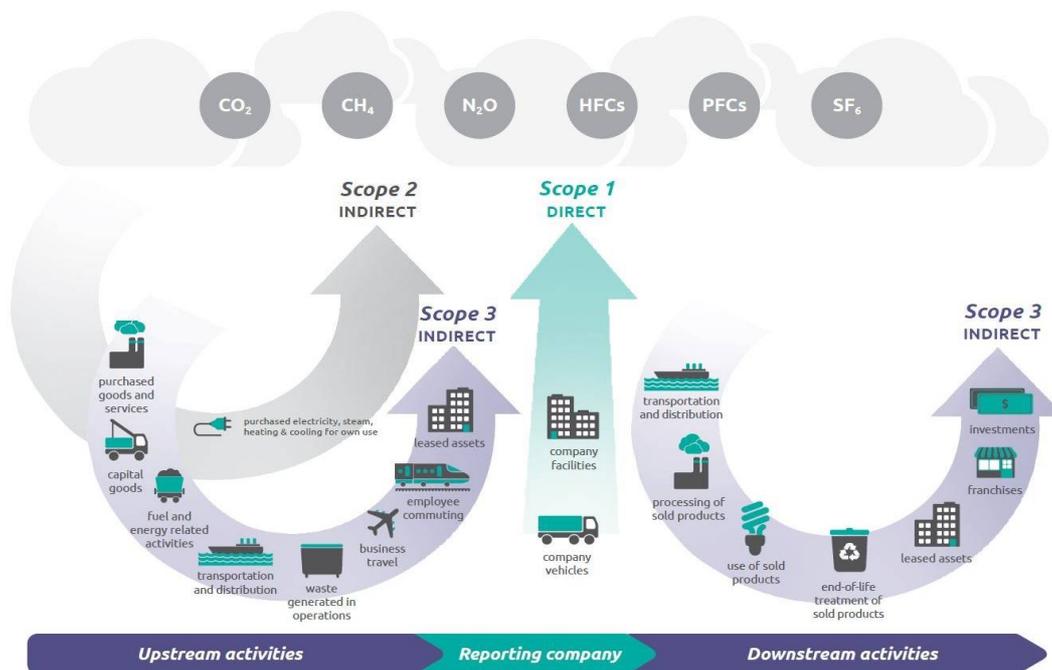


Figura 6- Rendicontazione emissioni di GHG per ambiti nel *GHG protocol*

Ambito 1: emissioni dirette di gas serra

Le emissioni dirette di GHG provengono da fonti di proprietà o controllate dall'azienda ed utilizzate nel processo, ad esempio emissioni da combustione in caldaie, forni, veicoli e simili.

Ambito 2: emissioni indirette di gas serra dovuto all'uso di energia elettrica

L'ambito 2 contabilizza le emissioni di GHG derivanti dalla generazione di elettricità acquistata e consumata dall'azienda o dal processo. Le emissioni dell'ambito 2 si verificano fisicamente presso

la struttura in cui viene generata l'elettricità, ma vengono attribuite alla azienda o al processo che le utilizza, in questo senso sono emissioni indirette.

Ambito 3: Altre emissioni indirette di gas serra

L'ambito 3 è una categoria di contabilizzazione e rendicontazione facoltativa che prende in considerazione tutte le altre emissioni indirette. Le emissioni considerate in questo ambito sono una conseguenza delle attività dell'azienda o del processo, ma provengono da fonti non possedute o controllate dall'azienda o esterne al processo. Alcuni esempi di attività di ambito 3 sono l'estrazione e la produzione e il trasporto dei materiali acquistati, il trasporto di combustibili, la distribuzione dei prodotti e servizi venduti, lo smaltimento dei rifiuti.

Per aderire al *GHG protocol* è necessario contabilizzare e rendicontare separatamente gli ambiti 1 e 2 come minimo, mentre il calcolo dell'ambito 3 è facoltativo.

A partire dall'individuazione delle fonti di emissione, le emissioni di GHG sono calcolate come prodotto tra il dato di attività (consumo di energia elettrica in kWh, km percorsi, ecc.) e il fattore di emissione specifico di quella attività (FE), in CO₂eq. Il fattore di emissione è un coefficiente che consente di convertire i dati dell'attività in emissioni di GHG, ovvero è il tasso di emissione medio di una data fonte, relativo all'unità di attività o processo.

I fattori di emissione della presente trattazione sono stati reperiti da database pubblici e pubblicazioni istituzionali, come il documento "Indicatori di efficienza e de carbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico", redatto annualmente da ISPRA, l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca; il database *UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting*, elaborato ogni anno dal *Department for Energy Security & Net Zero* inglese per facilitare la rendicontazione delle emissioni di GHG da parte delle organizzazioni pubbliche e private; il già citato COPERT, sviluppato dal JRC – *Joint Research Centre* per conto dell'Agenzia Europea per l'Ambiente.

3.2 CONFINI OPERATIVI

L'applicazione del *GHG Protocol* al cantiere in esame ha comportato l'effettuazione di alcune scelte, soprattutto nella fase di definizione dei confini operativi dell'attività, ovvero dell'identificazione delle fonti di emissioni. Si aggiunga il fatto che normalmente la quantificazione delle emissioni avviene a posteriori, basandosi dunque su dati *ex-post*, spesso primari, ovvero misurati o ricavati da dati misurati, mentre in questo caso, essendo nella fase di cantierizzazione, disponiamo esclusivamente di dati *ex-ante*, necessariamente non misurati ma stimati (secondari). Tutte le scelte effettuate sono state guidate dal principio di conservazione, per il quale in assenza di dati reali specifici si è optato per stimare le emissioni per eccesso e non per difetto.

Le fonti identificate sono descritte di seguito, suddividendole per le categorie proprie del *GHG protocol*:

Nell'ambito 1 (emissioni dirette), dove, lo ricordiamo, vengono contabilizzate le emissioni provenienti da fonti proprie del cantiere, sono state quantificate le emissioni dovute al consumo di gasolio per il funzionamento dei mezzi di cantiere.

Nell'ambito 2 (emissioni indirette da consumi energetici) rientrano le emissioni derivanti da energia usata in cantiere ma generata esternamente a questo, e per questo considerate indirette. In particolare, sono state contabilizzate le emissioni relative all'allaccio previsto presso il campo base di una fornitura di 30 kW di energia elettrica, considerato che le altre aree di cantiere non prevedono allacciamenti alla rete elettrica nazionale.

L'ambito 3 (altre emissioni indirette) è connesso all'individuazione delle emissioni derivanti da tutte le fonti di emissioni indirette diverse dall'energia elettrica. Ci si rende conto subito della portata di questo ambito, ma si sottolinea anche che si tratta spesso di emissioni che, in quanto non

controllate direttamente dall'organizzazione che gestisce il processo (in questo caso il cantiere), sono difficili da quantificare e molto difficili da ridurre. E' anche per questo che il *GHG Protocol* lascia facoltativo il calcolo di questo ambito. In questo caso, in analogia con quanto effettuato per i tratti a monte e a valle, sono state calcolate le emissioni derivanti dal combustibile utilizzato per il trasporto di materiale destinato all'approvvigionamento ed allo smaltimento rispettivamente verso e dal cantiere (traffico di cantiere).

Nei paragrafi che seguono vengono quantificate le emissioni di GHG associate a ciascun ambito.

3.2.1 EMISSIONI AMBITO 1

Con l'obiettivo di dare contezza delle emissioni dovute all'utilizzo dei mezzi d'opera di cantiere sono stati in primo luogo considerati i diversi macchinari coinvolti dalle lavorazioni previste. Nella Tabella 8 sono elencate le differenti tipologie di mezzi utilizzati nel cantiere, il loro numero e la potenza del motore:

TIPOLOGIA DI MEZZO	NUMERO	POTENZA (kW)
AUTOGRU 30 TON	2	115
FURGONE TIPO FIAT DOBLO	2	77
FURGONE CASSONATO TIPO IVECO 35	3	120
SOLLEVATORE TELESCOPICO TIPO MANITOU 2150	3	115
TERNA TIPO JCB 3CX	1	55
TERNA TIPO JCB 3CX	1	81
ESCAVATORE TIPO VOLVO EC220E	2	129
ESCAVATORE TIPO VOLVO ECR145E	2	90
ESCAVATORE TIPO VOLVO ECR88D	1	43
AUTOCARRO 4 ASSI TIPO IVECO TRAKKER	3	367
MINIPALA GOMMATA TIPO GEHL R135	1	34,5
FRESATRICE STRADALE	1	470
VIBROFINITRICE	1	55
RULLO	2	98
GRUPPO MOSA	2	6,5
TORRE FARO	3	3,5
BETONIERA	2	330
MOTOCOMPRESSORE	1	2
MOTOCOMPRESSORE	1	3
PERFORATRICE TIPO NCB FD100	1	118
ATTREZZATURA OSSIA CETILENICA	1	4,5

Tabella 8 - Mezzi d'opera impiegati in cantiere e loro potenza

Il fattore di emissione relativo alla CO₂eq emessa dalla combustione di gasolio nei mezzi d'opera di cantiere, è stato reperito nel database britannico *2023 UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting*. Il fattore di emissione corrispondente allo specifico combustibile per ciascuna unità di energia consumata dal mezzo d'opera, espressa in kWh, è **248,81 gCO₂eq/kWh**. Si sottolinea che il fattore di emissione si riferisce all'energia prodotta dai litri di gasolio bruciato, mentre noi stimiamo i consumi a partire dall'unico dato disponibile, allo stato attuale (*ex ante*) ovvero la potenza del motore. Si tratta dunque di una stima di tipo conservativo, essendo le emissioni sovrastimate, che si potrà aggiornare fase *ex post* quando sarà possibile avere i consumi di gasolio come dato di input.

Noto dunque il fattore di emissione e la potenza associata a ciascun macchinario, per ricavare le tonnellate di CO₂eq associate al consumo di gasolio per ciascun mezzo è stato necessario

calcolare il numero di ore di funzionamento di ciascun mezzo per la durata del cantiere. A tal proposito è stato considerato un fattore di utilizzo giornaliero dei mezzi pari al 75% (ovvero 6 ore lavorative al giorno). L'operatività complessiva in ore del cantiere, sapendo che da cronoprogramma la durata delle lavorazioni è pari a 793 giorni, ammonta dunque a **4.758 ore**. In virtù dei dati fin qui esposti, è possibile calcolare le emissioni di ciascun mezzo di cantiere per tutta la durata dello stesso, come riportato nella seguente Tabella 9:

TIPOLOGIA DI MEZZO	CONSUMI STIMATI (kWh)	EMISSIONI (tCO ₂ eq)
AUTOGRU 30 TON	547.170	272,3
FURGONE TIPO FIAT DOBLO	366.366	182,3
FURGONE CASSONATO TIPO IVECO 35	570.960	426,2
SOLLEVATORE TELESCOPICO TIPO MANITOU 2150	547.170	408,4
TERNA TIPO JCB 3CX	261.690	65,1
TERNA TIPO JCB 3CX	385.398	95,9
ESCAVATORE TIPO VOLVO EC220E	613.782	305,4
ESCAVATORE TIPO VOLVO ECR145E	428.220	213,1
ESCAVATORE TIPO VOLVO ECR88D	204.594	50,9
AUTOCARRO 4 ASSI TIPO IVECO TRAKKER	1.746.186	1.303,4
MINIPALA GOMMATA TIPO GEHL R135	164.151	40,8
FRESATRICE STRADALE	2.236.260	556,4
VIBROFINITRICE	261.690	65,1
RULLO	466.284	232,0
GRUPPO MOSA	30.927	15,4
TORRE FARO	16.653	12,4
BETONIERA	1.570.140	781,3
MOTOCOMPRESSORE	9.516	2,4
MOTOCOMPRESSORE	14.274	3,6
PERFORATRICE TIPO NCB FD100	561.444	139,7
ATTREZZATURA OSSIACETILENICA	21.411	5,3
TOTALE		5.177,5

Tabella 9 - Emissioni di GHG di ambito 1

Sommando il totale dei contributi associati a ciascun mezzo, si ottiene una quantità complessiva pari a **5,178 ktCO₂eq** dovuta al consumo di gasolio necessaria al funzionamento dei mezzi d'opera di cantiere.

3.2.2 EMISSIONI AMBITO 2

Relativamente alle emissioni indirette di GHG correlate al consumo di energia elettrica prelevata dalla rete, sulla base della stima di fabbisogno effettuata in fase di progettazione è stata definita la potenza di allaccio della fornitura di elettricità prevista per ciascuna area di cantiere, che in questo caso è solo il campo base, come riportato nella Tabella 10:

AREA DI CANTIERE	POTENZA (kW)
CAMPO BASE	30

Tabella 10 – Potenza fornitura energia elettrica

Una volta quantificata la potenza necessaria, è stata fatta una stima del numero di ore di utilizzo della corrente elettrica in cantiere attraverso il fattore di utilizzo già precedentemente utilizzato per il calcolo delle emissioni di ambito 1. Il fattore di emissione di **253,20 gCO₂eq/kWh** è stato ricavato dal report ISPRA “Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico”, anno 2022, che fornisce i fattori di emissione della produzione elettrica nazionale, caratterizzata da uno specifico mix di fonti energetiche. A partire dai suddetti dati, è stato possibile quantificare il valore delle emissioni di CO₂eq derivante dal consumo di energia elettrica in cantiere.

Nella Tabella 11 si riportano i risultati relativi all’emissione di CO₂eq dovuti al consumo di energia elettrica nel cantiere che, complessivamente, ammonta a **0,036 ktCO₂eq**.

AREA DI CANTIERE	CONSUMI STIMATI (kWh)	EMISSIONI (ktCO ₂ eq)
CAMPO BASE	142.740	0,036

Tabella 11 - Emissioni di GHG di ambito 2

3.2.3 EMISSIONI AMBITO 3

Con l’obiettivo di quantificare le emissioni di CO₂eq associate al trasporto di materiale da e verso il cantiere, sono state individuate le seguenti tipologie di itinerari:

1. trasporto di materiale per approvvigionamento;
2. trasporto di materiale in uscita per cave e siti di demolizione.

Innanzitutto, la maggior parte del materiale per approvvigionamento (83%) proverrà da scavi *in situ*, come si evince dalla Tabella 12:

RILEVATI			
Descrizione	Volume fabbisogno [m ³]	Scavi [m ³]	Fornitura [m ³]
MATERIALI PER PIANO DI POSA ANTICAPILLARE + STAB. CALCE	6.900,00	-	6.900,00
RILEVATI [m ³]	51.800,00	43.700,00	4.100,00
RITOMBAMENTI E RIMODELLAMENTI	2.600,00	2.600,00	-
TERRENO VEGETALE	4.370,00	4.370,00	-
TOTALE	65.670,00	50.670,00	11.000,00

Tabella 12 - Volume del fabbisogno di materiali di approvvigionamento del cantiere

Gli unici movimenti di terre necessari saranno quelli relativi al materiale anticapillare e l’esubero di materiale da rilevato non coperto dalle quantità di terreno rese disponibili *in situ*, per un volume complessivo di **11.000 m³** fornito da cave di prestito.

Si fa inoltre presente che è stata condotta un'accurata caratterizzazione preliminare delle terre con l'obiettivo di limitare l'esubero e dunque lo smaltimento in discarica, proprio nell'ottica di una maggiore sostenibilità dell'intervento. È stata pertanto individuata, attraverso un'indagine geologica, la presenza di materiale idoneo per un utilizzo come rilevato "tal quale", ovvero reimpiegabile, dopo eventuale stoccaggio, senza la necessità di stabilizzazione a calce o a cemento, processo quest'ultimo che richiede l'uso di energia e quindi provocherebbe ulteriori emissioni in atmosfera. Inoltre, tutto il volume di scotico verrà riutilizzato sia come terreno vegetale, sia come materiale per rimodellamento del versante nell'area intorno alla galleria n.2. In questo contesto ideale non saranno previsti materiali da portare a discarica, come si evince dalle Tabelle 13 e 14:

SCAVI				
Descrizione	Volume [mc]	% RIUTILIZZO		
		Rilevati T.Q. [%]	Ritombamento [%]	VEG. [%]
SCOTICO E BONIFICA	6.970,00	0%	0%	100%
SCAVO DI STERRO	18.700,00	100%	0%	0%
SCAVI DA RIPROFILATURA VERSANTE	25.000,00	100%	0%	0%
SCAVI FONDAZIONE OPERE D'ARTE	9.000	100%	0%	0%

Tabella 13 – Destinazione del materiale di scavo (% di riutilizzo)

ESUBERI			
	Volume disponibile [mc]	Volumi riutilizzati in cantiere [mc]	esubero [mc]
IDONEO PER RILEVATI (TAL QUALE)	43.700,00	43.700,00	-
IDONEO PER RITOMBAMENTI E RIMODELLAMENTI	2.600,00	2.600,00	-
TERRENO VEGETALE	4.370,00	4.370,00	-
TOTALE	50.670,00	50.670,00	-

Tabella 14 - Destinazione del materiale di scavo (esuberi)

Pertanto, la contabilizzazione delle emissioni associate al trasporto di materiale da e verso il cantiere è principalmente dovuta all'itinerario 1 (trasporto di materiale per approvvigionamento), relativamente alla fornitura di 11.000 m³ di materiale.

E' stato poi necessario stimare il numero di viaggi che devono essere compiuti per il trasporto del materiale per il cantiere. Nell'ipotesi di considerare un autocarro con capacità di trasporto pari a 16 m³, analogamente all'analisi condotta sulle tratte a valle e a monte della presente, è stato calcolato il seguente numero di viaggi:

- 688 viaggi monodirezionali per approvvigionamento da fornitura (1.375 bidirezionali).

Infine, è stato necessario scegliere la tipologia di veicolo che effettuerà questi viaggi, a cui associare conseguentemente un fattore di emissione. Per questo è stato utilizzato il già citato software COPERT, sviluppato dal JRC – *Joint Research Centre* per conto dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA – *European Environmental Agency*), che costituisce lo standard europeo per la valutazione delle emissioni da traffico veicolare stradale ed è utilizzato per gli inventari delle emissioni stradali degli stati membri. All'interno del database, attraverso opportune valutazioni, è stato individuato il fattore di emissione associato alla voce "Heavy Duty Trucks Diesel Rigid 20 – 26 t Euro IV", pari a **672,17 gCO₂eq/km**.

Per quanto infine riguarda la distanza dei siti di fornitura dal cantiere, in mancanza di dati più puntuali ed in analogia con quanto già calcolato per il primo stralcio, è stata considerata una distanza media di 50 km.

Infine, in ragione dei volumi coinvolti, è stato considerato anche lo spostamento del materiale dagli scavi *in situ* al cantiere, ipotizzando una distanza percorsa di 5 km.

Moltiplicando tali distanze per il numero di viaggi stimati e per il fattore di emissione scelto, è stato calcolato, infine, il valore della CO₂eq emessa dal traffico di cantiere. Nella Tabella 15 viene riportata un'analisi schematica dei risultati.

TIPOLOGIA	DISTANZA (km)	N. VIAGGI	EMISSIONI (ktCO ₂ eq)
APPROVVIGIONAMENTO (FORNITURA)	50	1.375	0,046
APPROVVIGIONAMENTO (SCAVI)	5	6.334	0,021
TOTALE			0,067

Tabella 15 – Emissioni di GHG di ambito 3

Da tali analisi è quindi emerso come le emissioni di CO₂eq dei flussi di traffico indotti dalle lavorazioni per la realizzazione dell'opera risulti essere pari a **0,067 tCO₂eq**.

3.2.4 EMISSIONI TOTALI GENERATE NELLA FASE DI CANTIERE

I risultati fin qui ottenuti possono essere sintetizzati nella Tabella 16 e nella figura 7 che seguono, che restituiscono le emissioni totali suddivise per i tre diversi scope esaminati, in valore assoluto e relativo, in modo da evidenziare il peso emissivo associato a ciascun ambito rispetto al totale.

	EMISSIONI (ktCO ₂ eq)	EMISSIONI (%)
AMBITO 1	5,178	98,0
AMBITO 2	0,036	0,7
AMBITO 3	0,067	1,3
TOTALE	5,281	100,0

Tabella 16 - Emissioni di GHG nella fase di cantiere per ambito (valore assoluto e relativo)

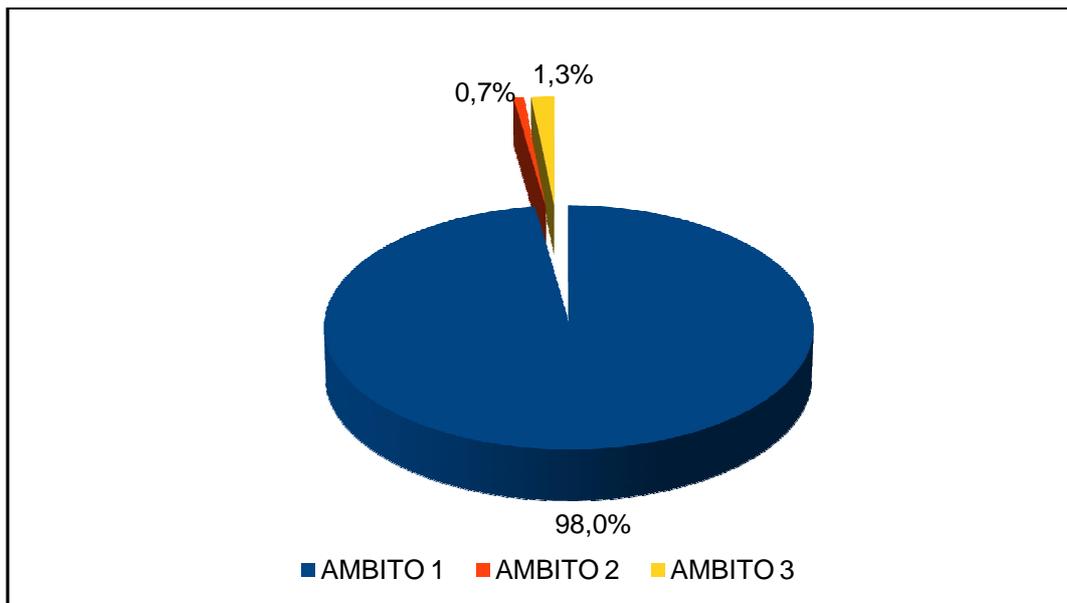


Figura 7 – Ripartizione in ambiti delle emissioni di GHG nella fase di cantiere

L'analisi ha condotto dunque ad una stima totale di CO₂eq per i tre ambiti pari a **5,28 ktCO₂eq**, quasi esclusivamente dovuto alle emissioni di ambito 1, che, con un valore assoluto di 5,178 ktCO₂eq, pesano per un 98,0% sul totale. Seguono le emissioni di ambito 3 (0,067 ktCO₂eq, 1,3% del totale) e quelle di ambito 2 (0,036 ktCO₂eq, pari allo 0,7% del totale).

E' importante sottolineare, come già in precedenza, che le emissioni calcolate sono risultato di una stima a monte, ovvero prima della realizzazione dell'opera del cantiere, quindi i calcoli si basano su stime di consumi energetici e non su effettivi consumi rilevati. Sarebbe interessante intraprendere una operazione di contabilizzazione di questi ultimi durante la fase di cantiere, per verificarne la veridicità e correggere le eventuali stime errate.

4. MITIGAZIONE DELLE EMISSIONI

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 stimate. Come già fatto per l'analisi dei livelli emissivi, è necessario distinguere l'analisi tra le due fasi sopracitate, in quanto sono associate a periodi temporali differenti e tra loro non consequenziali.

4.1 MITIGAZIONE DELLE EMISSIONI NELLA 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 l'eliminazione delle tortuosità, consentiranno una diminuzione della lunghezza dell'infrastruttura stradale e un miglioramento delle prestazioni di percorrenza, garantendone dunque una riduzione dei tempi di percorrenza. Tali aspetti si traducono in termini emissivi in una riduzione dei gas climalteranti legati al traffico veicolare lungo il tracciato allo stato di progetto.

Si aggiunga a questo l'impegno di ANAS per la sostenibilità: secondo il Rapporto GHG delle FS, 2021, ANAS acquista, dal 2020, energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili per le infrastrutture stradali, mentre un progetto prevede l'utilizzo di lampade LED di ultima generazione per l'illuminazione di tutte le gallerie in sua gestione.

4.2 MITIGAZIONE DELLE EMISSIONI NELLA FASE DI CANTIERE

A livello nazionale, è in corso di elaborazione lo schema di decreto con i Criteri Ambientali Minimi (CAM) relativi ai servizi di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali. I CAM definiscono i requisiti ambientali per le varie fasi del processo di acquisto di beni o servizi, volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita, tenuto conto della disponibilità di mercato. Si tratta dunque di un provvedimento prioritario per orientare le scelte della PA verso tecnologie e soluzioni innovative e circolari a ridotto impatto ambientale, nonché per stimolare il mercato al raggiungimento di tali obiettivi.

In generale, un'ottima azione è quella di ridefinire gli standard della gestione della catena di approvvigionamento, in chiave di sostenibilità ambientale, attraverso ad esempio linee guida rinnovate con l'obiettivo di integrare ogni aspetto economico, sociale e ambientale nella fase di acquisto e analizzare le prestazioni di tutta la catena produttiva.

Nel caso in esame, considerato che la maggior parte delle emissioni di GHG provengono dall'ambito 1 e sono conseguenza del consumo di gasolio per il funzionamento dei mezzi d'opera in cantiere, si potrebbe prevedere l'utilizzo di macchinari e mezzi di ultima generazione (BAT – *Best Available Technology*), ad alta efficienza motoristica, consentendo un abbattimento dei livelli stimati di GHG. Si potrebbe inoltre considerare l'adozione di mezzi e/o macchinari elettrici, ad oggi disponibili e facilmente reperibili in commercio ed aventi zero emissioni dirette in atmosfera, se non quelle legate alla ricarica delle batterie tramite rete elettrica nazionale.

Anche i veicoli impiegati per il trasporto del materiale di scavo possono essere scelti tra quelli più a basso impatto ambientale possibile (Euro VI, Veicoli ibridi o elettrici), consentendo un abbattimento delle emissioni di ambito 3 legate ai trasporti.

Infine, analogamente a quanto già previsto da ANAS per la gestione della fase di esercizio della rete stradale, come riportato più sopra, gli approvvigionamenti di energia di cantiere possono essere scelti privilegiando forniture derivanti da fonti rinnovabili.