



IMPIANTO AGRIVOLTAICO "FERRARA 5"

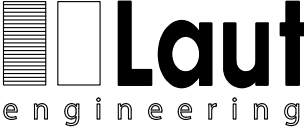


 Comune FERRARA (FE)	Committente JUWI DEVELOPMENT 25 S.R.L. Via Giovanni Battista Pirelli, 30 Milano (MI) - 20124
--	--

PROGETTO DEFINITIVO

Tavola 21R	Scala - Data Dicembre 2025	Titolo STUDIO DI IMPATTO VIABILISTICO
----------------------	--	---

Progetto

**Laut**
engineering

LAUT engineering s.r.l.
sede legale ed operativa:
Via San Crispino, 106
35129 PADOVA
tel. 049/2612374
e-mail: laut@lautengineering.it

Ing. ALBERTO VOLTOLINA



Rev.	Data	Descrizione	Redige	Verifica	Approva
00	12/25	REDAZIONE PROGETTO DEFINITIVO	M.T.	L.M.	A.V.
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					
08					
09					

codice	681.PD	file	681PD21R00.pdf
--------	--------	------	----------------

QUESTO DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO IN TUTTO O IN PARTE SENZA IL CONSENSO SCRITTO DEL PROGETTISTA IL QUALE SI RISERVA L'ASSOLUTA ED ESCLUSIVA PROPRIETA' (legge n° 633 del 22/04/41 - art. 2575 e segg. C.C.)

INDICE

1	PREMESSA	2
1.1	Descrizione dell'intervento	2
2	QUADRO PROGETTUALE	5
2.1	Configurazione finale impianto fotovoltaico	5
2.2	Descrizione degli aspetti tecnologici	5
3	ANALISI VIABILISTICA	6
3.1	Metodi	7
3.2	Livello di Servizio su Tratte Stradali	8
3.3	Determinazione dei LOS su Tratte a Carreggiata Unica	9
3.4	Determinazione dei LOS su Intersezioni a Raso Libere	16
3.5	Metodo di Calcolo per Tratti di Scambio	19
3.6	Equazioni Predittive della Velocità Media dei Flussi	19
3.7	Determinazione del Tipo di Operazione	20
3.8	Raccordo Autostradale RA8	22
3.8.1	Analisi SDF dell'Arco Viario – RA8	22
3.8.2	Analisi SDP dell'Arco Viario – RA8	25
3.9	Strada Provinciale SP22	29
3.9.1	Analisi SDF dell'Arco Viario – SP22	29
3.9.2	Analisi SDP dell'Arco Viario – SP22	32
3.10	Conclusioni	36

	Rev. 00	Dicembre 2025	Impatto Viabilistico	Pag. n. 2
---	---------	---------------	----------------------	-----------

1 PREMESSA

All'interno della Valutazione di Impatto Viabilistico, verranno analizzati i flussi di traffico sulle strade utilizzate per raggiungere il cantiere. Nello specifico verranno analizzati i flussi allo stato di fatto, che verranno confrontati con i flussi previsti in fase (temporanea) di cantiere, al fine di valutare l'impatto dei mezzi di cantiere rispetto ai normali flussi di traffico sulle strade nei pressi dell'area di cantiere, dove è prevista la realizzazione di un parco fotovoltaico, diviso in lotti, nel comune di "Ferrara" (Provincia Ferrara).

1.1 *Descrizione dell'intervento*

Vengono illustrate le scelte progettuali adottate per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico "Ferrara5", proposto dalla società JUWI DEVELOPMENT 25 S.R.L. .

I terreni individuati ricadono nel territorio di Ferrara, comune in provincia di Ferrara (FE), in un'area situata circa 9.5km a Sud-Est dal centro urbano di Ferrara. Nei pressi dei terreni di interesse sono inoltre presenti i comuni di Voghiera, situato 12 km a Sud-Est, e Poggio Renatico Bonassai, a circa 12 Km a Ovest.



Figura 1-1 Inquadramento del progetto su immagine satellitare

L'ipotesi progettuale si sostanzia su una superficie totale di circa 150ha, per una potenza complessiva pari a 118.072,76 kWp.

	Rev. 00	Dicembre 2025	Impatto Viabilistico	Pag. n. 4
---	---------	---------------	----------------------	-----------

L'impianto sarà connesso alla rete elettrica nazionale mediante realizzazione di un nuovo elettrodotto a 36kV che si andrà a connettere su un futuro ampliamento della Stazione Elettrica 380/132kV denominata "Focomorto".

In particolare, l'impianto sarà essenzialmente composto dai seguenti elementi:

- Strutture di sostegno ad inseguimento mono assiale "tracker";
- Pannelli fotovoltaici;
- Quadri elettrici BT;
- Inverter centralizzati per la conversione CC/CA;
- Cabina di raccolta e consegna;
- Cabine di trasformazione (skid);
- Faranno poi parte dell'impianto elementi ausiliari e complementari, quali:
 - o Impianti ausiliari;
 - o Sistema di illuminazione, sicurezza e videosorveglianza;
 - o Viabilità di accesso e strade di servizio;
 - o Recinzione perimetrale

Nei seguenti paragrafi verranno illustrati i principali componenti dell'impianto e la sua configurazione.

2 QUADRO PROGETTUALE

2.1 Configurazione finale impianto fotovoltaico

L'impianto in progetto è di tipo grid - connected e la modalità di connessione è in "Trifase in alta tensione", con potenza complessiva 118.072,76 kWp.

La configurazione finale di impianto è rappresentata dalla seguente figura.

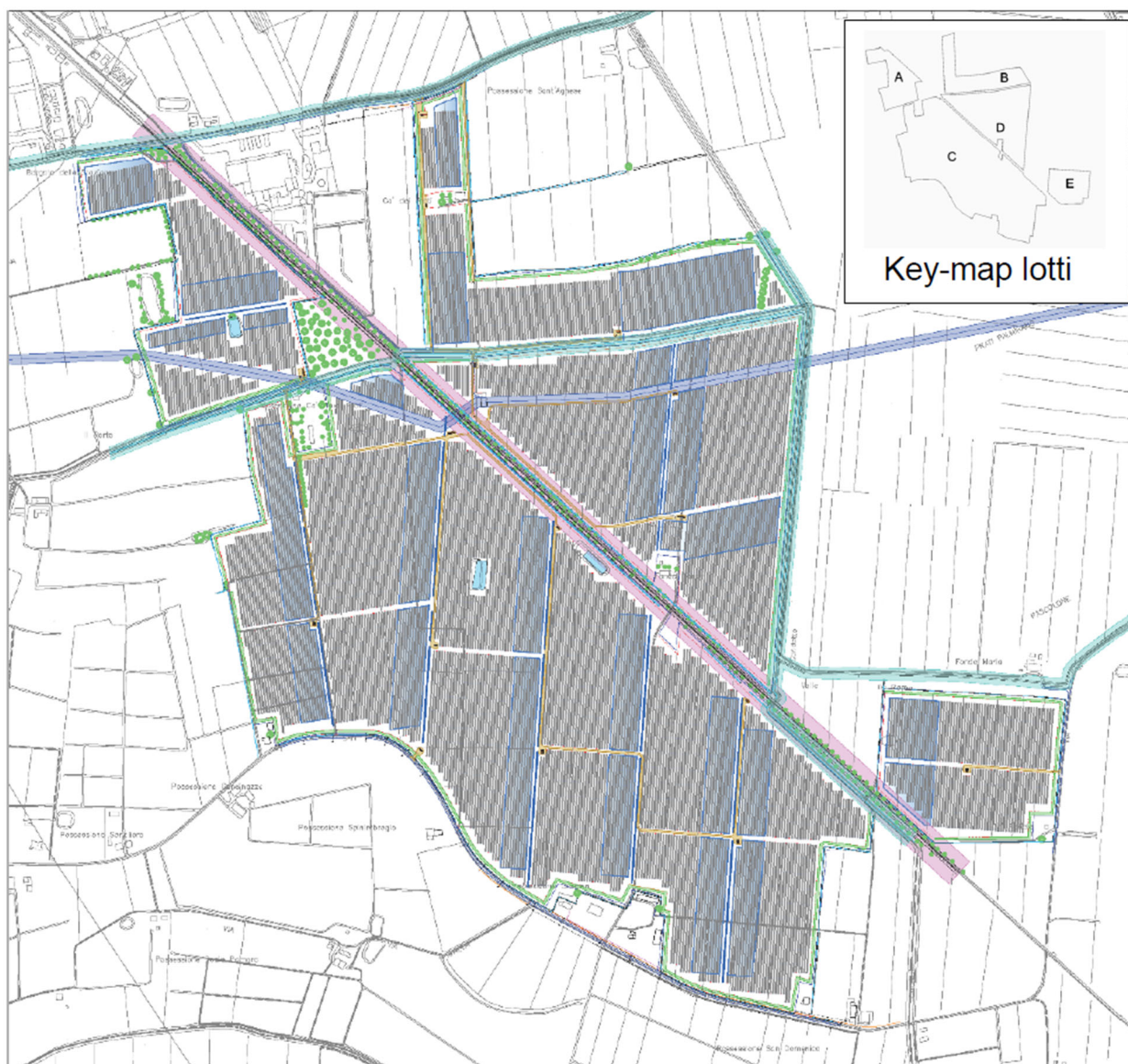


Figura 2-1 - Configurazione dell'impianto

2.2 Descrizione degli aspetti tecnologici

I moduli fotovoltaici saranno disposti su strutture metalliche rotanti monoassiali dette Tracker. Essi sono costituiti da travi metalliche (a sezione H o simili) diretta-

mente infisse nel terreno (tramite macchine battipalo), che sorreggono una trave orizzontale, la quale, mediante un motore centrale, ruota – e con essa i pannelli FTV – da est verso ovest con angoli compresi $\pm 60^\circ$.

Nel progetto in esame il pitch (distanza tra tracker paralleli) è fissato a 5,50m.

Le misure dei tracker, che saranno definite dal fornitore in fase esecutiva, sono le seguenti:

- travi di sostegno infisse ogni 6m circa, ad una profondità di circa 3m;
- altezza asse orizzontale rispetto al suolo: 3.10m

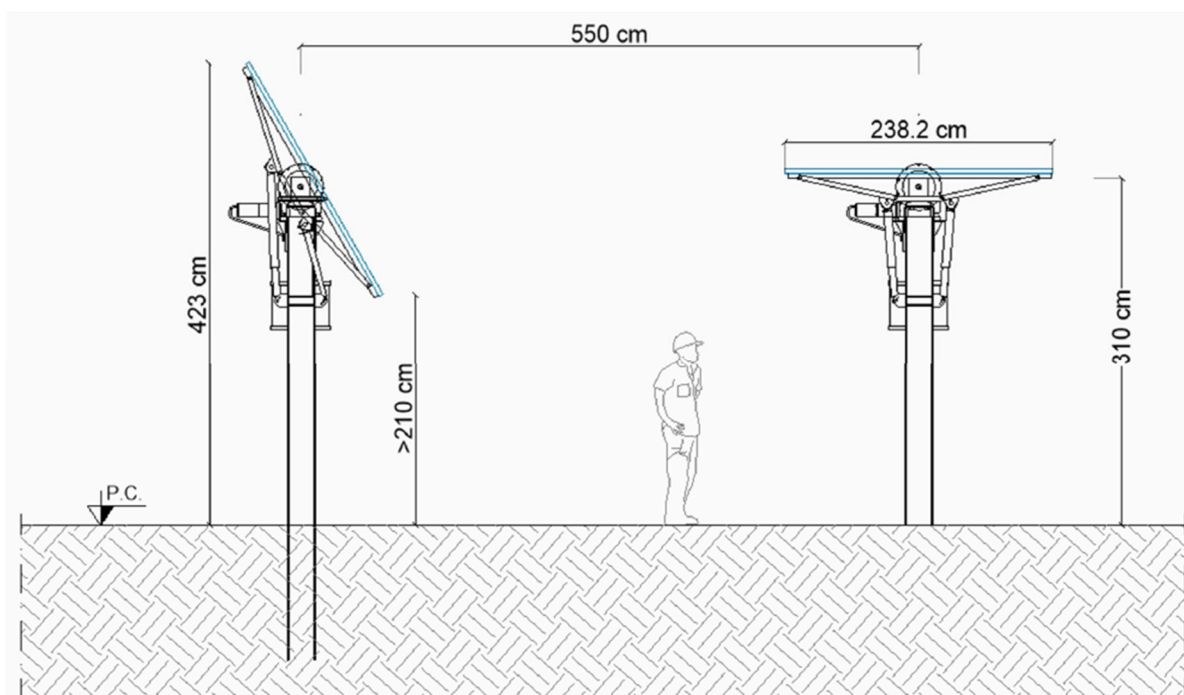


Figura 2-2 layout laterale delle strutture

3 ANALISI VIABILISTICA

L'analisi sarà condotta secondo modelli di stima dei Livelli Operativi di Servizio (L.O.S.) dei tratti rettilinei e delle intersezioni a raso coinvolte dalla nuova proposta progettuale sono derivati da "Highway Capacity Manual".

Si identificano come aree di interesse due tratti di strada. Il tratto iniziale di avvicinamento tramite il raccordo autostradale RA8, e la strada SP22, il tratto di strada

provinciale che si dirama dal raccordo RA8 (facilmente raggiungibile con i mezzi e con caratteristiche tali da garantire lo smaltimento dei flussi);

Si riporta l'identificazione dei tratti di percorsi individuati, che dalla Strada Statale si distaccano per raggiungere le aree di cantiere.

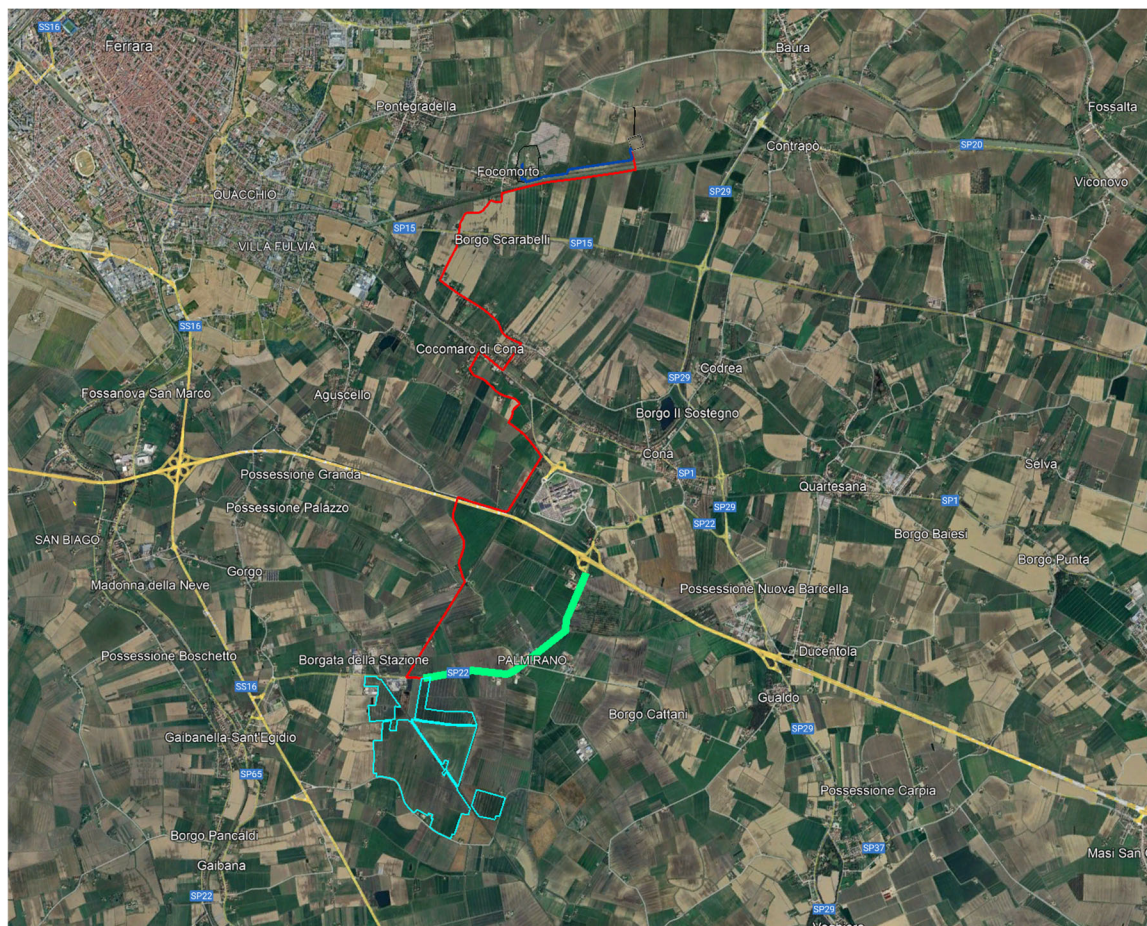


Figura 3-1: Percorso Oggetto di Analisi in verde

3.1 Metodi

Trattando elementi di reti stradali i metodi utilizzati si occupano di verifiche quantitative per archi stradali (tratti rettilinei) e nodi (intersezioni). L'analisi delle prestazioni delle diverse componenti del sistema viario viene sviluppata facendo riferimento a condizioni di

- Flusso ininterrotto (tratte stradali)
- Flusso interrotto (intersezioni)

Nel caso di condizioni di flusso ininterrotto i modelli analitici utilizzati per le verifiche prestazionali sono contenuti nell'Highway Capacity Manual (versioni 1985 e

	Rev. 00	Dicembre 2025	Impatto Viabilistico	Pag. n. 8
---	---------	---------------	----------------------	-----------

2000) per la stima del Livello di Servizio (LdS) di assi stradali con condizioni di flusso ininterrotto.

Per le intersezioni (flusso interrotto), si fa riferimento a specifici modelli analitici presenti in letteratura quali: gli algoritmi e modelli di stima dei Livelli di Servizio su intersezioni a raso libere proposti, ad esempio da H.C.M. 1985 e 2000.

3.2 Livello di Servizio su Tratte Stradali

La metodologia indicata da HCM per la determinazione dei Livelli di Servizio su tratte stradali si suddivide in:

- Metodi per la determinazione dei LOS su tratte a carreggiata separata (Multilane Highway)
- Metodi per la determinazione dei LOS su tratte a carreggiata unica (Two-lane Highway)

Nella metodologia le caratteristiche del deflusso dei veicoli sono analizzate in condizioni di:

- Sottosaturazione
- Scarico di coda
- Sovrasaturazione

Per condizioni di sottosaturazione il deflusso in un punto non è condizionato dalle condizioni di monte o di valle (non si verifica la presenza di onde di shock).

Per condizioni di scarico di coda il deflusso è condizionato dal verificarsi di colli di bottiglia con aumento repentino della portata e della velocità.

Per condizioni di sovrasaturazione il deflusso a monte di un collo di bottiglia o di una interruzione è influenzato dalla perturbazione e l'onda di shock si propaga risalendo la corrente.

La relazione Flusso/Velocità è del tipo:

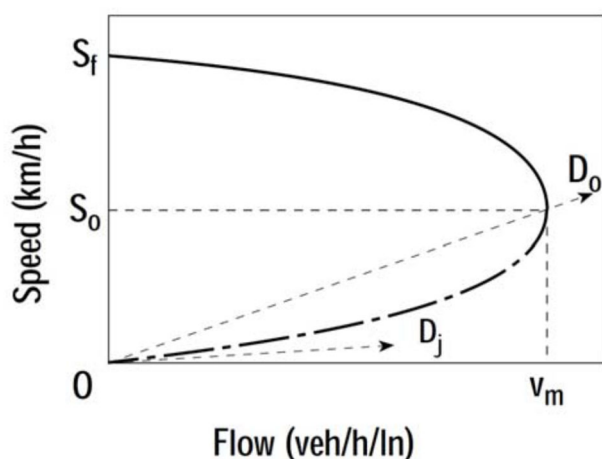


Figura 3-2: Andamento Flusso/Velocità

3.3 Determinazione dei LOS su Tratte a Carreggiata Unica

Per tratte a carreggiata unica valgono le seguenti regole

- strade a carreggiata unica e doppio senso di marcia
- le condizioni di deflusso in una direzione sono influenzate dal flusso in entrambe le direzioni e dalle caratteristiche del tracciato (condizioni di flusso interrotto)

I fattori che influenzano il LOS sono:

- possibilità di superare veicoli più lenti
- entità del flusso
- velocità del flusso
- % di tempo trascorsa in attesa di effettuare un sorpasso (PTSF)
- tipologia di strada (strade principali e strade secondario)

Il meccanismo di sorpasso dipende da

- entità e tipologia flusso opposto
- possibilità di sorpasso (linea mediana continua)
- velocità del veicolo da superare
- caratteristiche del tracciato

Il calcolo di FFS (Free Flow Speed) sarà pari a:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

Dove:

- BFFS = FFS di base (km/h)
- f_{LS} = fattore correttivo per larghezza corsia e banchina
- f_A = fattore correttivo per presenza di accessi a raso

Tabella 3-1: Fattore Correttivo per Larghezza Corsia e Banchina

EXHIBIT 20-5. ADJUSTMENT (f_{LS}) FOR LANE WIDTH AND SHOULDER WIDTH

Lane Width (m)	Reduction in FFS (km/h)			
	Shoulder Width (m)			
	$\geq 0.0 < 0.6$	$\geq 0.6 < 1.2$	$\geq 1.2 < 1.8$	≥ 1.8
$2.7 < 3.0$	10.3	7.7	5.6	3.5
$\geq 3.0 < 3.3$	8.5	5.9	3.8	1.7
$\geq 3.3 < 3.6$	7.5	4.9	2.8	0.7
≥ 3.6	6.8	4.2	2.1	0.0

Tabella 3-2: Fattore Correttivo per Numero di Accessi a Raso

EXHIBIT 20-6. ADJUSTMENT (f_A) FOR ACCESS-POINT DENSITY

Access Points per km	Reduction in FFS (km/h)
0	0.0
6	4.0
12	8.0
18	12.0
≥ 24	16.0

Si potrà poi determinare il tasso di flusso V_p :

$$V_p = \frac{V}{PHF \cdot f_{HV} \cdot f_G}$$

Dove:

- V = flusso orario (veicoli/h)
- PHF = fattore ora di punta
- f_{HV} = fattore correttivo per veicoli pesanti
- f_G = fattore correttivo per pendenza media della strada

Il fattore f_G è determinabile con le seguenti tabelle

Tabella 3-3: Fattore Correttivo per Pendenza Media della Strada

EXHIBIT 20-7. GRADE ADJUSTMENT FACTOR (f_G) TO DETERMINE SPEEDS ON TWO-WAY AND DIRECTIONAL SEGMENTS

Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
		Level	Rolling
0–600	0–300	1.00	0.71
> 600–1200	> 300–600	1.00	0.93
> 1200	> 600	1.00	0.99

EXHIBIT 20-8. GRADE ADJUSTMENT FACTOR (f_G) TO DETERMINE PERCENT TIME-SPENT-FOLLOWING ON TWO-WAY AND DIRECTIONAL SEGMENTS

Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
		Level	Rolling
0–600	0–300	1.00	0.77
> 600–1200	> 300–600	1.00	0.94
> 1200	> 600	1.00	1.00

Il fattore correttivo f_{HV} è determinabile con la relazione:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Dove:

- P_T = frazione percentuale di veicoli pesanti
- P_R = frazione percentuale di veicoli leggeri
- E_T, E_R = fattori di equivalenza in funzione del piano stradale (cfr tabella)

Tabella 3-4: Fattori Riduttivi per Pendenza Media Segmento Stradale

Tipo tracciato	Piano	Ondulato	Montuoso
E _T	1,5	2,5	4,5
E _R	1,2	2,0	4,0

Risulta poi possibile determinare la velocità media di deflusso ATS:

$$ATS = FFS - 0.0125 \cdot V_P - f_{np}$$

Dove:

- ATS = velocità media di deflusso per entrambe le direzioni
- V_P = tasso di flusso
- FFS = velocità di flusso libero
- f_{np} = frazione di strada in cui è impedito il sorpasso

Il coefficiente f_{np} è ricavabile dalla seguente tabella:

Tabella 3-5: Fattore Correttivo per Parte di Strada con Divieto di Sorpasso

EXHIBIT 20-11. ADJUSTMENT (I_{np}) FOR EFFECT OF NO-PASSING ZONES ON AVERAGE TRAVEL SPEED ON TWO-WAY SEGMENTS

Two-Way Demand Flow Rate, v _p (pc/h)	Reduction in Average Travel Speed (km/h)					
	No-Passing Zones (%)					
	0	20	40	60	80	100
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
200	0.0	1.0	2.3	3.8	4.2	5.6
400	0.0	2.7	4.3	5.7	6.3	7.3
600	0.0	2.5	3.8	4.9	5.5	6.2
800	0.0	2.2	3.1	3.9	4.3	4.9
1000	0.0	1.8	2.5	3.2	3.6	4.2
1200	0.0	1.3	2.0	2.6	3.0	3.4
1400	0.0	0.9	1.4	1.9	2.3	2.7
1600	0.0	0.9	1.3	1.7	2.1	2.4
1800	0.0	0.8	1.1	1.6	1.8	2.1
2000	0.0	0.8	1.0	1.4	1.6	1.8
2200	0.0	0.8	1.0	1.4	1.5	1.7
2400	0.0	0.8	1.0	1.3	1.5	1.7
2600	0.0	0.8	1.0	1.3	1.4	1.6
2800	0.0	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4
3000	0.0	0.8	0.9	1.1	1.1	1.3
3200	0.0	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1

	Rev. 00	Dicembre 2025	Impatto Viabilistico	Pag. n. 13
---	---------	---------------	----------------------	------------

Determinazione del tempo speso accodati a veicoli più lenti (PTSF):

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$$

Dove:

- PTSF = percent-time-spent following
- BPTSF = valore di base di PTSF;
- $f_{d/np}$ = fattore correttivo per la frazione di strada in cui è impedito il sorpasso e per la distribuzione del traffico nelle due direzioni;

Il valore di BPTSF si ricava utilizzando:

$$BPTSF = 100 \cdot (1 - e^{-0.00879 \cdot V_p})$$

Il fattore $f_{d/np}$ si ricava dalla seguente tabella:

Tabella 3-6: Fattore Correttivo per la Parte in cui è Impedito il sorpasso e la Distribuzione del Traffico nelle Due Direzioni

EXHIBIT 20-12. ADJUSTMENT ($f_{d/np}$) FOR COMBINED EFFECT OF DIRECTIONAL DISTRIBUTION OF TRAFFIC AND PERCENTAGE OF NO-PASSING ZONES ON PERCENT TIME-SPENT-FOLLOWING ON TWO-WAY SEGMENTS

Two-Way Flow Rate, v_p (pc/h)	Increase in Percent Time-Spent-Following (%)					
	No-Passing Zones (%)					
	0	20	40	60	80	100
Directional Split = 50/50						
≤ 200	0.0	10.1	17.2	20.2	21.0	21.8
400	0.0	12.4	19.0	22.7	23.8	24.8
600	0.0	11.2	16.0	18.7	19.7	20.5
800	0.0	9.0	12.3	14.1	14.5	15.4
1400	0.0	3.6	5.5	6.7	7.3	7.9
2000	0.0	1.8	2.9	3.7	4.1	4.4
2600	0.0	1.1	1.6	2.0	2.3	2.4
3200	0.0	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4
Directional Split = 60/40						
≤ 200	1.6	11.8	17.2	22.5	23.1	23.7
400	0.5	11.7	16.2	20.7	21.5	22.2
600	0.0	11.5	15.2	18.9	19.8	20.7
800	0.0	7.6	10.3	13.0	13.7	14.4
1400	0.0	3.7	5.4	7.1	7.6	8.1
2000	0.0	2.3	3.4	3.6	4.0	4.3
≥ 2600	0.0	0.9	1.4	1.9	2.1	2.2
Directional Split = 70/30						
≤ 200	2.8	13.4	19.1	24.8	25.2	25.5
400	1.1	12.5	17.3	22.0	22.6	23.2
600	0.0	11.6	15.4	19.1	20.0	20.9
800	0.0	7.7	10.5	13.3	14.0	14.6
1400	0.0	3.8	5.6	7.4	7.9	8.3
≥ 2000	0.0	1.4	4.9	3.5	3.9	4.2
Directional Split = 80/20						
≤ 200	5.1	17.5	24.3	31.0	31.3	31.6
400	2.5	15.8	21.5	27.1	27.6	28.0
600	0.0	14.0	18.6	23.2	23.9	24.5
800	0.0	9.3	12.7	16.0	16.5	17.0
1400	0.0	4.6	6.7	8.7	9.1	9.5
≥ 2000	0.0	2.4	3.4	4.5	4.7	4.9
Directional Split = 90/10						
≤ 200	5.6	21.6	29.4	37.2	37.4	37.6
400	2.4	19.0	25.6	32.2	32.5	32.8
600	0.0	16.3	21.8	27.2	27.6	28.0
800	0.0	10.9	14.8	18.6	19.0	19.4
≥ 1400	0.0	5.5	7.8	10.0	10.4	10.7

Con a disposizione i valori della velocità media di deflusso (ATS) e la percentuale di tempo spesa accodati (PTSF) si determina il livello di servizio del tratto di strada considerato:

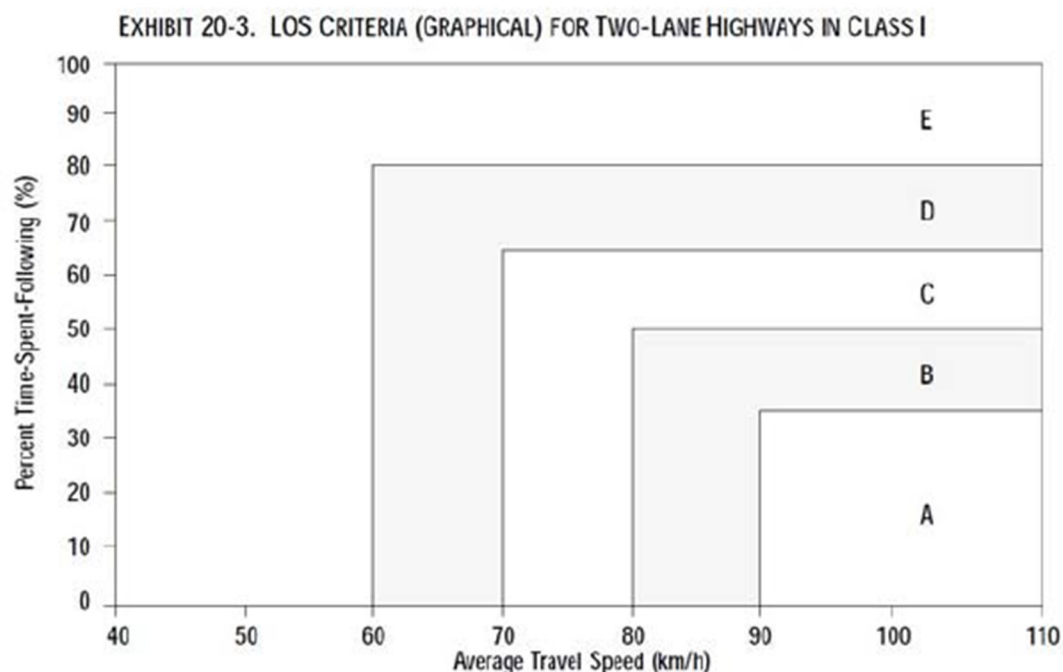


Figura 3-3: Livelli di Servizio per Strade a Carreggiata Unica

Riassumendo, per tratte a carreggiata unica i Livelli di Servizio possono venire stimati in funzione dei due diversi metodi di calcolo proposti da HCM 1985 e HCM 2000 e precisamente:

Tabella 3-7: Livelli di Servizio per Strade a Carreggiata Unica

LIVELLI DI SERVIZIO	HCM 1985		HCM 2000	
	FLUSSO/CAP.	FLUSSO (Veic./H)	PTSF (%)	FLUSSO (Veic./H)
A	0,18	≅ 575	40	≅ 700
B	0,32	≅ 1042	60	≅ 700
C	0,52	≅ 1650	77	≅ 700
D	0,77	≅ 2450	88	≅ 700
E	>0,77	-----	>88	≅ 700

	Rev. 00	Dicembre 2025	Impatto Viabilistico	Pag. n. 16
---	---------	---------------	----------------------	------------

In Europa e in Italia, nel caso di tratte a carreggiata unica viene proposta, da più parti, l'adozione di alcuni adattamenti della modellistica statunitense.

Gli adattamenti sono suggeriti per meglio considerare lo specifico parco veicolare e le specifiche caratteristiche personali europee.

Ad esempio, dalla Regione Lombardia, viene suggerito per HCM 1985 di:

- Utilizzare un valore di Capacità pari a 3200 veicoli/ora e non 2800 veicoli/ora
- Utilizzare rapporti Flussi/Capacità aumentati del 20% rispetto a quelli dell'HCM per determinare il passaggio tra Livelli di Servizio.

Per HCM 2000 viene suggerito di Valutare il Livello di Servizio in funzione del solo parametro PTSF.

3.4 Determinazione dei LOS su Intersezioni a Raso Libere

Il metodo adottato per la verifica dei livelli di servizio su intersezioni a raso libere mette in relazione le geometrie dell'intersezione con le manovre conflittuali e l'intervallo critico. Quest'ultimo è funzione del tipo di disciplina della circolazione adottata e delle velocità di attraversamento dell'intersezione da parte dei veicoli. Dati i volumi di traffico, espressi in veicoli equivalenti, per ogni manovra (vl) la procedura H.C.M. di calcolo delle capacità delle singole manovre e dei relativi LOS si sviluppa in passi successivi:

- In base all'ipotesi che gli intervalli liberi sul flusso principale siano utilizzati in ordine:
 - Per le svolte a destra della strada secondaria (RT);
 - Per le svolte a sinistra dalla strada principale (LTM);
 - Per gli attraversamenti della strada secondaria (TH);
 - Per le svolte a sinistra dalla secondaria (LTm).
- Si determinano, in funzione della geometria dell'intersezione, i volumi di traffico conflittuali per ogni manovra di svolta;
- Si stabilisce il valore dell'intervallo critico per ciascuna manovra in funzione delle caratteristiche dell'intersezione facendo riferimento alla tabella seguente:

Tabella 3-8: Valore Critico per Ogni Manovra

Intervali Critici [s]								
Velocità media strada principale	50 km/h				90 km/h			
Numero totale di corsie sulla principale	2		4		2		4	
Regolamentazione	Stop	Prec.	Stop	Prec.	Stop	Prec.	Stop	Prec.
RT	5,5	5,0	5,5	5,0	6,5	5,5	6,5	5,5
LTM	5,0		5,5		5,5		6,0	
TH	6,0	5,5	6,5	6,0	7,5	6,5	8,0	7,0
LTm	6,5	6,0	7,0	6,5	8,0	7,0	8,5	7,5

A cui si applicano alcune correzioni per meglio determinare la geometria dell'intersezione:

Tabella 3-9: Correzioni per particolarità dell'Intersezione

Correzioni per particolarità dell'intersezione [s]	
Per RT	
Raggio di curvatura > 15m	-0,5
Angolo fra le strade < 60°	-0,5
Presenza di corsia di accelerazione	-1,0
Per tutte le manovre	
Zona con popolazione > 250000 ab.	-0,5
Ridotta distanza di visibilità	1,0

In funzione del volume conflittuale e dell'intervallo critico (espresso in sec.) si ricava dall'abaco il valore della capacità potenziale per ogni singola manovra.

Per tenere conto dell'interazione delle varie svolte si introduce un fattore di impedenza, determinabile in funzione del rapporto tra flusso della i -esima manovra e la sua capacità potenziale, ottenendo la capacità della singola manovra (c_m). Il valore di capacità ottenuto è valido se la manovra è canalizzata in una apposita corsia. Nel caso in cui più manovre impegnano la medesima corsia il valore della capacità effettiva (c_{sh}) è dato dalla:

$$c_{sh} = \frac{vl + vt + vr}{\frac{vl}{c_{ml}} + \frac{vt}{c_{mt}} + \frac{vr}{c_{mr}}}$$

dove:

- csh = capacità
- vl = LT volume di traffico per svolta a sinistra su corsia condivisa
- vt = TH volume di traffico per attraversamenti strada secondaria
- vr = RT volume di traffico per svolta a destra dalla strada secondaria
- cml = capacità della manovra di svolta a sinistra
- cmt = capacità della manovra di attraversamento
- cmr = capacità della manovra di svolta a destra

Dalla capacità si deduce la saturazione e i tempi di ritardo per veicolo che sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 3-10: Livelli di Servizio su Intersezioni a Raso Libere

Livello di servizio	Tempo di attesa per veicolo (secondi)
A	≤ 10
B	$10 \div 15$
C	$15 \div 25$
D	$25 \div 35$
E	$35 \div 50$
F	> 50

	Rev. 00	Dicembre 2025	Impatto Viabilistico	Pag. n. 19
---	---------	---------------	----------------------	------------

3.5 Metodo di Calcolo per Tratti di Scambio

Il calcolo del livello di servizio passa attraverso 4 distinte fasi:

- equazioni predittive della velocità media dei flussi di scambio (S_w) e non di scambio (S_{nw})
- equazioni che descrivono la proporzione di corsie disponibile per i flussi di scambio e non di scambio, in base alle quali si definisce se lo scambio è di tipo limitato o libero
- verifica che i parametri geometrici e di flusso siano compatibili con i limiti del modello
- definizione del livello di servizio attraverso il calcolo della velocità media ponderata dell'area

3.6 Equazioni Predittive della Velocità Media dei Flussi

Le equazioni sono specifiche in funzione del tipo di area (A, B, C) e in funzione della modalità in cui avviene lo scambio (limitato, libero).

Le informazioni necessarie per queste equazioni sono descrittive della geometria dell'area:

- lunghezza dell'area di scambio
- numero di corsie

E delle condizioni di traffico:

- velocità di flusso libero
- flusso totale
- rapporto tra il flusso di scambio e il flusso totale

In genere si nota che:

- al crescere della lunghezza dell'area di scambio, aumenta la velocità media e diminuisce l'intensità degli scambi
- all'aumentare della percentuale dei flussi di scambio sul totale, diminuisce la velocità media a causa dell'aumentare delle turbolenze
- all'aumentare del flusso medio per corsia, diminuisce la velocità media, a causa dell'aumento della densità del flusso

	Rev. 00	Dicembre 2025	Impatto Viabilistico	Pag. n. 20
---	---------	---------------	----------------------	------------

- come anticipato nella descrizione dei parametri fondamentali, in caso di operazioni costrette, si rileva una maggiore differenza tra velocità di scambio e non di scambio
- le aree di tipo B sono più efficienti nel gestire elevati flussi di scambio, si rilevano, infatti, velocità più alte rispetto alle aree di tipo A e C
- la velocità di scambio nelle aree di tipo A è più sensibile all'aumentare della percentuale di flusso di scambio rispetto alle aree di tipo B. Si deduce quindi che le aree di tipo A gestiscono meglio configurazioni con basso volume di flussi scambianti
- le velocità di scambio nelle aree di tipo A sono più sensibili all'aumentare della lunghezza di scambio, mentre le aree di tipo B e C risentono meno di questo parametro in quanto almeno un flusso di scambio avviene senza cambio di corsia

3.7 **Determinazione del Tipo di Operazione**

Per definire se l'operazione di scambio è di tipo limitato o libero si confrontano due variabili:

- N_w : numero di corsie che devono essere usate dai flussi di scambio per poter raggiungere la configurazione bilanciata o non costretta
- $N_w(\max)$: numero di corsie che possono essere usate dai flussi di scambio nella configurazione in esame

Nel caso in cui $N_w \leq N_w(\max)$ l'operazione di scambio è di tipo libero, viceversa ci si trova nel caso di operazione limitata.

In genere si osserva che il valore di $N_w(\max)$ è più restrittivo per le aree di tipo A, in quanto i veicoli scambianti devono occupare esclusivamente le corsie confinati la linea di scambio per effettuare la manovra.

Una volta definite le velocità di scambio e non di scambio, definito se le operazioni sono di tipo costretto o non costretto e verificato il rispetto dei limiti del modello, si calcola la velocità media di tutti i flussi veicolari e di conseguenza la densità media (D) definita come il rapporto tra il flusso medio per corsia e la velocità media. In funzione della densità media e del tipo di strada si definisce il livello di servizio in base alla tabella sottostante (si fa presente che i valori di densità indicati sono espressi in veicoli/miglio/corsia).

Tabella 3-11: Determinazione del Livello di Servizio dell'Area di Scambio (traduzione della tabella 4-6 dell'HCM '97)

Tabella 4-6	Densità massima (veq/miglio/corsia)	
Livello di servizio	Autostrade	Altre strade
	0	0
A	10	12
B	20	24
C	28	32
D	35	36
E	43	40
F	>43	>40

3.8 Raccordo Autostradale RA8

3.8.1 Analisi SDF dell'Arco Viario – RA8

Dai dati storici di traffico, forniti dal dataset Online del Comune di Ferrara, è possibile desumere il carico di traffico per l'arco viario oggetto di analisi.

Tabella 3-12: Profilo di Traffico

Mezzi Leggeri	815
Mezzi Pesanti	1493

Arrotondando per eccesso, la strada risulta essere percorsa in quel punto di rilevamento, in media, su tre ore, da:

- 815 autoveicoli leggeri
- 1493 automezzi pesanti

Il numero medio di veicoli rilevati, su base giornaliera presenta un picco 2308 automezzi, registrati attorno alle ore 09:00. La velocità di percorrenza oscilla tra gli 80km/h e i 100km/h, per una velocità media di 90km/m.

Si noti come il 64.69% dei veicoli rilevati sia di tipo pesante, mentre il 35.31% sia di tipo leggero.

Sull'arco stradale analizzato essendo un tratto ad alto scorrimento, non sono presenti accessi a raso laterali.

La velocità massima percorribile dal mezzo pesante sul raccordo RA8 è pari a 90km/h. Si assume questo come valore di BFFS

Vengono assunti i seguenti valori dei coefficienti correttivi:

$$f_{LS} = 3.8$$

$$f_A = 0$$

Si ottiene quindi

$$FFS = BFFS - f_{Ls} - f_A = 90 - 3.8 - 0 = 86.2 \text{ km/h} = FFS$$

I dati di traffico riportano, per l'ora di picco, con campionamento 15min:

Ora	Traffico
07:00 - 07:15	203.75
07:15 - 07:30	203.75
07:30 - 07:45	203.75
07:45 - 08:00	203.75

Il calcolo del fattore di picco PHF, riferito al flusso grammo con frequenza di campionamento 15min, è possibile calcolarlo, a favore di sicurezza nel momento di picco del traffico, come:

$$PHF = \frac{\text{Hourly Volume}}{4 \cdot \text{Max Volume}_{15}} = \frac{c203.75 + 203.75 + 203.75 + 203.75}{4 \cdot 577} = 1.00$$

I fattori di frazione percentuale, ed i relativi fattori di equivalenza, risultano:

$$P_T = 64.69\%$$

$$P_R = 35.31\%$$

$$E_T = 1.5$$

$$E_R = 1.2$$

È possibile quindi determinare:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0.6469(1.5 - 1) + 0.3531(1.2 - 1)}$$

$$f_{HV} = 0.717$$

Tali valori verranno utilizzati per calcolare:

$$V_p = \frac{V}{PHF \cdot f_{HV} \cdot f_G} = \frac{577}{1.00 \cdot 0.717 \cdot 1} = 402.19$$

	Rev. 00	Dicembre 2025	Impatto Viabilistico	Pag. n. 24
---	---------	---------------	----------------------	------------

Risulta poi possibile determinare anche:

$$ATS = FFS - 0.0125 \cdot V_p - f_{np} = 86.2 - 0.0125 \cdot 402.19 - 0 = 81.17$$

Si possono determinare i successivi parametri:

$$BPTSF = 100 \cdot (1 - e^{-0.00879 \cdot V_p}) = 100 \cdot (1 - e^{-0.00879 \cdot 402.19}) = 97.08$$

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np} = 97.08 + 0 = 97.08$$

Dato che, le basi teoriche di queste formulazioni, sono calibrate sulla rete viaria statunitense, oltre che al loro volume di traffico; si seguono le indicazioni date dalla regione Lombardia, di utilizzare solamente il parametro “PTSF” per la classificazione del livello di servizio, dell’arco stradale indagato.

Si nota come:

$$PTSF = 97.08 > 88 \rightarrow \text{Livello di Servizio E}$$

3.8.2 Analisi SDP dell'Arco Viario – RA8

Durante le fasi di cantiere, si prevede di trasportare i moduli fotovoltaici, i tracker e i materiali per le sottostrutture di supporto; tramite autoarticolati pesanti. Si prevedono i seguenti volumi di traffico asserviti al cantiere:

- Trasporto moduli fotovoltaici: saranno installati 176.228 pannelli fotovoltaici. Per il trasporto dei moduli si prevede l'accesso al sito di circa **581 automezzi** su autoarticolati da 40 piedi.
- Trasporto tracker e strutture di sostegno: in totale saranno installate 6778 stringhe, si stima l'accesso al sito circa **138 automezzi** di categorie N2 e N3 per la fornitura delle strutture metalliche a sostegno dei moduli.
- Trasporto cabine elettrice, inverter, apparecchiature elettromeccaniche di stazione ed esecuzione di opere edili: si stima un accesso di circa **137 automezzi**.
- Trasporto altro materiale: di entità nettamente inferiore:
 - I mezzi per il trasporto delle attrezzature e delle installazioni di cantiere (container, generatori, ecc) si stimano **5 automezzi**
 - I mezzi di trasporto dei rifiuti di cantiere (durante tutto il cantiere); si stimano **2 automezzi**
 - I mezzi di trasporto del personale addetto (durante tutto il cantiere). Si stimano **10 automezzi leggeri ogni giorno**.

Stimando un afflusso per il conferimento dei materiali, a favore di sicurezza, per 22 mesi (4 settimane da 5 giorni lavorativi per ogni mese), gli automezzi leggeri presenti saranno quindi:

$$\text{Automezzi Leggeri} = 10 \cdot (22 \cdot 4 \cdot 5) = 4400$$

Il numero di automezzi aggiuntivi durante le fasi di cantiere può quindi stimarsi nel seguente modo:

Tabella 3-13: Automezzi Aggiuntivi Periodo di Cantiere

Automezzi						
Pesanti					Leggeri	
Moduli Fotovolt.	Tracker	Cabine e Inverter	Attrezzatura Cantiere	Rifiuti	Personal e Addetto	
580.72	137.37	166.5	5	2	4400	totali
1.32	0.31	0.38	0.01	0.00	73.33	giornalieri

Automezzi Giornalieri	
Pesanti	2.03
Leggeri	73.33333333

Il numero di automezzi andrà a sommarsi al profilo di traffico già identificato per lo stato di fatto. A favore di sicurezza si assume che tutto il traffico sia concentrato nel momento di picco massimo, per massimizzare gli effetti.

Il numero totale di autoveicoli sarà quindi

Tipologia	SDF	Aggiuntivi	SDP	%
Leggeri	815	73	888	37.26
Pesanti	1493	2	1495	64.74

Vengono assunti i seguenti valori dei coefficienti correttivi:

$$f_{LS} = 3.8$$

$$f_A = 0$$

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A = 90 - 3.8 - 0 = 86.2 \text{ km/h} = FFS$$

Si ipotizza, di spalmare il traffico durante l'orario lavorativo (8 ore). Si considera quindi a favore di sicurezza che un terzo dei mezzi aggiuntivi (quelli transitanti

nell'orario lavorativo) sia concentrato nel picco di traffico. I dati di traffico riportano, per l'ora di picco, con campionamento 15min:

Ora	Traffico
07:00 - 07:15	577+4+1=582
07:15 – 07:30	577+4+1=582
07:30 – 07:45	577+4+1=582
07:45 – 08:00	577+4+1=582

Il calcolo del fattore di picco PHF, riferito al flusso gramma con frequenza di campionamento 15min, è possibile calcolarlo, a favore di sicurezza nel momento di picco del traffico, come:

$$PHF = \frac{Hourly Volume}{4 \cdot Max Volume_{15}} = \frac{582 + 582 + 582 + 582}{4 \cdot 582} = 1.00$$

I fattori di frazione percentuale, ed i relativi fattori di equivalenza, risultano:

$$P_T = 62.74\% \quad E_T = 1.5$$

$$P_R = 37.26\% \quad E_R = 1.2$$

È possibile quindi determinare:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0.6274(1.5 - 1) + 0.3726(1.2 - 1)}$$

$$f_{HV} = 0.72$$

Tali valori verranno utilizzato per calcolare:

$$V_p = \frac{V}{PHF \cdot f_{HV} \cdot f_G} = \frac{582}{1.00 \cdot 0.72 \cdot 1} = 403.969$$

Risulta poi possibile determinare anche:

$$ATS = FFS - 0.0125 \cdot V_p - f_{np} = 86.2 - 0.0125 \cdot 403.969 - 0 = 81.15$$

Si possono determinare i successivi parametri:

$$BPTSF = 100 \cdot (1 - e^{-0.00879 \cdot V_p}) = 100 \cdot (1 - e^{-0.00879 \cdot 403.969}) = 97.13$$

	Rev. 00	Dicembre 2025	Impatto Viabilistico	Pag. n. 28
---	---------	---------------	----------------------	------------

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np} = 977.13 + 0 = 97.13$$

Dato che, le basi teoriche di queste formulazioni, sono calibrate sulla rete viaria statunitense, oltre che al loro volume di traffico; si seguono le indicazioni date dalla regione Lombardia, di utilizzare solamente il parametro “PTSF” per la classificazione del livello di servizio, dell'arco stradale indagato.

Si nota come:

$$PTSF = 97.13 > 88 \rightarrow \text{Livello di Servizio E}$$

Il livello di servizio della strada rimane lo stesso. Si noti come il valore dell'indicatore PTSF rimanga sostanzialmente invariato, con una variazione dello 0.05%.

Si considera quindi accettabile l'incremento di carico viabilistico, visto anche l'ampio margine prima del cambio di classificazione dell'arco viario; oltre che la temporaneità della situazione.

3.9 Strada Provinciale SP22

3.9.1 Analisi SDF dell'Arco Viario – SP22

Dai dati storici di traffico, forniti dal dataset Online del Comune di Ferrara, è possibile desumere il carico di traffico per l'arco viario oggetto di analisi.

Tabella 3-14: Profilo di Traffico

Mezzi Leggeri	20
Mezzi Pesanti	5

Arrotondando per eccesso, la strada risulta essere percorsa in quel punto di rilevamento, in media, su tre ore, da:

- 20 autoveicoli leggeri
- 5 automezzi pesanti

Il numero medio di veicoli rilevati, su base giornaliera presenta un picco 25 automezzi, registrati attorno alle ore 09:00. La velocità di percorrenza oscilla tra i 40km/h e i 60km/h, per una velocità media di 50km/h.

Si noti come il 20% dei veicoli rilevati sia di tipo pesante, mentre l'80% sia di tipo leggero.

Sull'arco stradale analizzato sono presenti 8.5 accessi a raso per chilometro (in media).

La velocità massima percorribile dal mezzo pesante sulla SP22 è pari a 50km/h. Si assume questo come valore di BFFS

Vengono assunti i seguenti valori dei coefficienti correttivi:

$$f_{LS} = 10.3$$

$$f_A = 5.05$$

Si ottiene quindi

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A = 50 - 10.3 - 5.05 = 34.65 \text{ km/h} = FFS$$

I dati di traffico riportano, per l'ora di picco, con campionamento 15min:

Ora	Traffico
07:00 - 07:15	6.25
07:15 - 07:30	6.25
07:30 - 07:45	6.25
07:45 - 08:00	6.25

Il calcolo del fattore di picco PHF, riferito al flusso gramma con frequenza di campionamento 15min, è possibile calcolarlo, a favore di sicurezza nel momento di picco del traffico, come:

$$PHF = \frac{\text{Hourly Volume}}{4 \cdot \text{Max Volume}_{15}} = \frac{6.25 + 6.25 + 6.25 + 6.25}{4 \cdot 7} = 0.89$$

I fattori di frazione percentuale, ed i relativi fattori di equivalenza, risultano:

$$P_T = 20.00\%$$

$$P_R = 80.00\%$$

$$E_T = 1.5$$

$$E_R = 1.2$$

È possibile quindi determinare:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0.2(1.5 - 1) + 0.8(1.2 - 1)}$$

$$f_{HV} = 0.794$$

Tali valori verranno utilizzati per calcolare:

$$V_p = \frac{V}{PHF \cdot f_{HV} \cdot f_G} = \frac{7}{1.00 \cdot 0.717 \cdot 1} = 9.87$$

	Rev. 00	Dicembre 2025	Impatto Viabilistico	Pag. n. 31
---	---------	---------------	----------------------	------------

Risulta poi possibile determinare anche:

$$ATS = FFS - 0.0125 \cdot V_P - f_{np} = 86.2 - 0.0125 \cdot 9.87 - 0 = 34.53$$

Si possono determinare i successivi parametri:

$$BPTSF = 100 \cdot (1 - e^{-0.00879 \cdot V_P}) = 100 \cdot (1 - e^{-0.00879 \cdot 9.87}) = 8.32$$

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np} = 8.32 + 0 = 8.32$$

Dato che, le basi teoriche di queste formulazioni, sono calibrate sulla rete viaria statunitense, oltre che al loro volume di traffico; si seguono le indicazioni date dalla regione Lombardia, di utilizzare solamente il parametro “PTSF” per la classificazione del livello di servizio, dell’arco stradale indagato.

Si nota come:

$$PTSF = 8.32 < 40 \rightarrow \text{Livello di Servizio A}$$

	Rev. 00	Dicembre 2025	Impatto Viabilistico	Pag. n. 32
---	---------	---------------	----------------------	------------

3.9.2 Analisi SDP dell'Arco Viario – SP22

Durante le fasi di cantiere, si prevede di trasportare i moduli fotovoltaici, i tracker e i materiali per le sottostrutture di supporto; tramite autoarticolati pesanti. Si prevedono i seguenti volumi di traffico asserviti al cantiere:

- Trasporto moduli fotovoltaici: saranno installati 176.228 pannelli fotovoltaici. Per il trasporto dei moduli si prevede l'accesso al sito di circa **581 automezzi** su autoarticolati da 40 piedi.
- Trasporto tracker e strutture di sostegno: in totale saranno installate 6778 stringhe, si stima l'accesso al sito circa **138 automezzi** di categorie N2 e N3 per la fornitura delle strutture metalliche a sostegno dei moduli.
- Trasporto cabine elettrice, inverter, apparecchiature elettromeccaniche di stazione ed esecuzione di opere edili: si stima un accesso di circa **137 automezzi**.
- Trasporto altro materiale: di entità nettamente inferiore:
 - I mezzi per il trasporto delle attrezzature e delle installazioni di cantiere (container, generatori, ecc) si stimano **5 automezzi**
 - I mezzi di trasporto dei rifiuti di cantiere (durante tutto il cantiere); si stimano **2 automezzi**
 - I mezzi di trasporto del personale addetto (durante tutto il cantiere). Si stimano **10 automezzi leggeri ogni giorno**.

Stimando un afflusso per il conferimento dei materiali, a favore di sicurezza, per 22 mesi (4 settimane da 5 giorni lavorativi per ogni mese), gli automezzi leggeri presenti saranno quindi:

$$\text{Automezzi Leggeri} = 10 \cdot (22 \cdot 4 \cdot 5) = 4400$$

Il numero di automezzi aggiuntivi durante le fasi di cantiere può quindi stimarsi nel seguente modo:

Tabella 3-15: Automezzi Aggiuntivi Periodo di Cantiere

Automezzi						
Pesanti					Leggeri	
Moduli Fotovolt.	Tracker	Cabine e Inverter	Attrezzatura Cantiere	Rifiuti	Personal e Addetto	
580.72	137.37	166.5	5	2	4400	totali
1.32	0.31	0.38	0.01	0.00	73.33	giornalieri

Automezzi Giornalieri	
Pesanti	2.03
Leggeri	73.33333333

Il numero di automezzi andrà a sommarsi al profilo di traffico già identificato per lo stato di fatto. A favore di sicurezza si assume che tutto il traffico sia concentrato nel momento di picco massimo, per massimizzare gli effetti.

Il numero totale di autoveicoli sarà quindi

Tipologia	SDF	Aggiuntivi	SDP	%
Leggeri	815	73	888	37.26
Pesanti	1493	2	1495	64.74

Vengono assunti i seguenti valori dei coefficienti correttivi:

$$f_{LS} = 3.8$$

$$f_A = 0$$

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A = 90 - 3.8 - 0 = 86.2 \text{ km/h} = FFS$$

Si ipotizza, di spalmare il traffico durante l'orario lavorativo (8 ore). Si considera quindi a favore di sicurezza che un terzo dei mezzi aggiuntivi (quelli transitanti

nell'orario lavorativo) sia concentrato nel picco di traffico. I dati di traffico riportano, per l'ora di picco, con campionamento 15min:

Ora	Traffico
07:00 - 07:15	6.25+4+1=11.25
07:15 - 07:30	6.25+4+1=11.25
07:30 - 07:45	6.25+4+1=11.25
07:45 - 08:00	6.25+4+1=11.25

Il calcolo del fattore di picco PHF, riferito al flusso gramma con frequenza di campionamento 15min, è possibile calcolarlo, a favore di sicurezza nel momento di picco del traffico, come:

$$PHF = \frac{Hourly Volume}{4 \cdot Max Volume_{15}} = \frac{6.25 + 6.25 + 6.25 + 6.25}{4 \cdot 12} = 0.94$$

I fattori di frazione percentuale, ed i relativi fattori di equivalenza, risultano:

$$P_T = 7\% \quad E_T = 1.5$$

$$P_R = 93\% \quad E_R = 1.2$$

È possibile quindi determinare:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0.07(1.5 - 1) + 0.93(1.2 - 1)}$$

$$f_{HV} = 0.819$$

Tali valori verranno utilizzati per calcolare:

$$V_p = \frac{V}{PHF \cdot f_{HV} \cdot f_G} = \frac{12}{0.94 \cdot 0.819 \cdot 1} = 15.63$$

Risulta poi possibile determinare anche:

$$ATS = FFS - 0.0125 \cdot V_p - f_{np} = 86.2 - 0.0125 \cdot 15.63 - 0 = 34.45$$

Si possono determinare i successivi parametri:

$$BPTSF = 100 \cdot (1 - e^{-0.00879 \cdot V_p}) = 100 \cdot (1 - e^{-0.00879 \cdot 15.63}) = 12.84$$

	Rev. 00	Dicembre 2025	Impatto Viabilistico	Pag. n. 35
---	---------	---------------	----------------------	------------

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np} = 12.84 + 0 = 12.84$$

Dato che, le basi teoriche di queste formulazioni, sono calibrate sulla rete viaria statunitense, oltre che al loro volume di traffico; si seguono le indicazioni date dalla regione Lombardia, di utilizzare solamente il parametro “PTSF” per la classificazione del livello di servizio, dell’arco stradale indagato.

Si nota come:

$$PTSF = 12.84 < 40 \rightarrow \text{Livello di Servizio A}$$

Il livello di servizio della strada rimane lo stesso. Si noti come il valore dell’indicatore PTSF rimanga sostanzialmente invariato, con una variazione dello 35.21%.

Si considera quindi accettabile l’incremento di carico viabilistico, visto anche l’ampio margine prima del cambio di classificazione dell’arco viario; oltre che la temporaneità della situazione.

	Rev. 00	Dicembre 2025	Impatto Viabilistico	Pag. n. 36
---	---------	---------------	----------------------	------------

3.10 Conclusioni

In conclusione, si può affermare che il cantiere, secondo le analisi sopra riportate, impatterà sulla viabilità esistente in misura irrisoria. L'impatto viabilistico si può quindi considerare trascurabile.