

Regione  
Puglia



Provincia di Bari



Comune di  
Gravina



# IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI 67MWp SITO NEL COMUNE DI GRAVINA (PU) E RELATIVE OPERE CONNESSE

PROGETTISTA INCARICATO:

Ing. Riccardo Clementi  
Pec: riccardo.clementi@ingpec.eu



Scala

Titolo elaborato:

Formato

TECNICI COINVOLTI



CODICE ELABORATO

PROGETTO	CLASSE	TIPO	PROG.
SPFVPU04			

Rev.	Data	Descrizione	Redige	Verifica	Approva
00					
01					
02					
03					
04					
05					
06					

GESTORE RETE ELETTRICA



SOCIETA' PROPONENTE:

OPR SUN 26 SRL  
Via Ceresio, 7, Milano  
PEC: oprsun26srl@pecimprese.it

SOCIETA' di PROGETTAZIONE:





## INDICE

1	PREMESSA	3
1.1	Descrizione dell'intervento	4
2	QUADRO PROGETTUALE	6
2.1	Configurazione finale impianto fotovoltaico	6
2.2	Descrizione degli aspetti tecnologici	8
3	ANALISI VIABILISTICA	9
3.1	Metodi	10
3.2	Livello di Servizio su Tratte Stradali	10
3.3	Determinazione dei LOS su Tratte a Carreggiata Unica	11
3.4	Determinazione dei LOS su Intersezioni a Raso Libere	18
3.5	Metodo di Calcolo per Tratti di Scambio	21
3.6	Equazioni Predittive della Velocità Media dei Flussi	21
3.7	Determinazione del Tipo di Operazione	22
3.8	Analisi dello Stato di Fatto dell'Arco Viario	24
3.9	Analisi dello Stato di Progetto dell'Arco Viario	28

 <b>Laut</b> engineering	Rev. 00	Agosto 2023	Impatto Viabilistico	Pag. n. 3
--	---------	-------------	----------------------	-----------

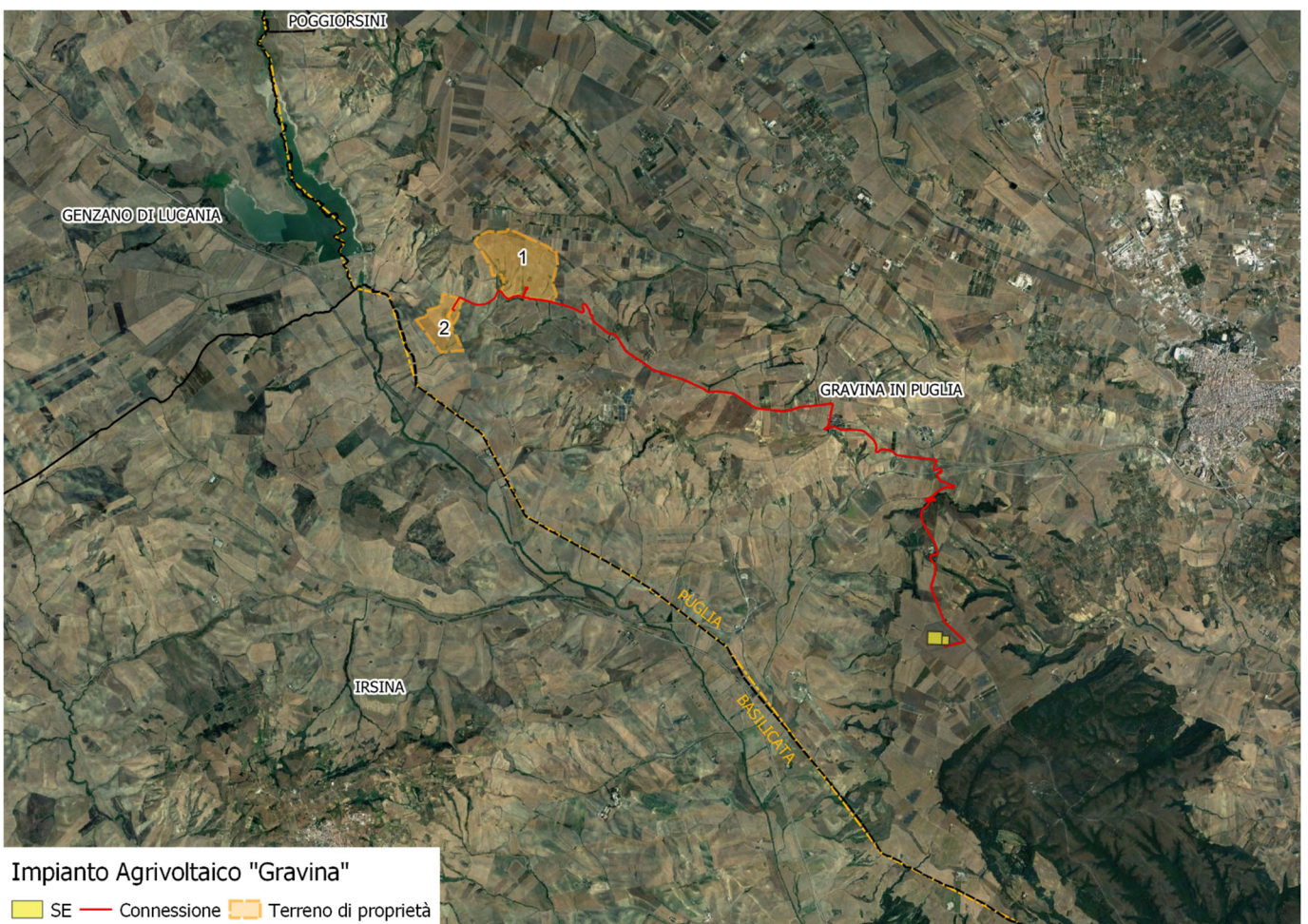
## 1 PREMESSA

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 agrivoltaico, nel comune di "Gravina di Puglia" (Città Metropolitana di Bari).

### 1.1 Descrizione dell'intervento

Vengono illustrate le scelte progettuali adottate per la realizzazione dell'impianto agrivoltaico "Gravina", proposto dalla società OPR SUN 26 s.r.l.

Il terreno individuato ricade nel territorio di Gravina in Puglia, comune in provincia di Bari (PUG), in un'area situata circa 11,5 Km ad Ovest rispetto al centro urbano. Nei pressi del terreno di interesse sono inoltre presenti i comuni di Poggiorsini, situato 7,5 km a Nord, ed Irsina, a circa 8 Km a Sud, quest'ultimo ricadente in provincia di Matera (BAS).



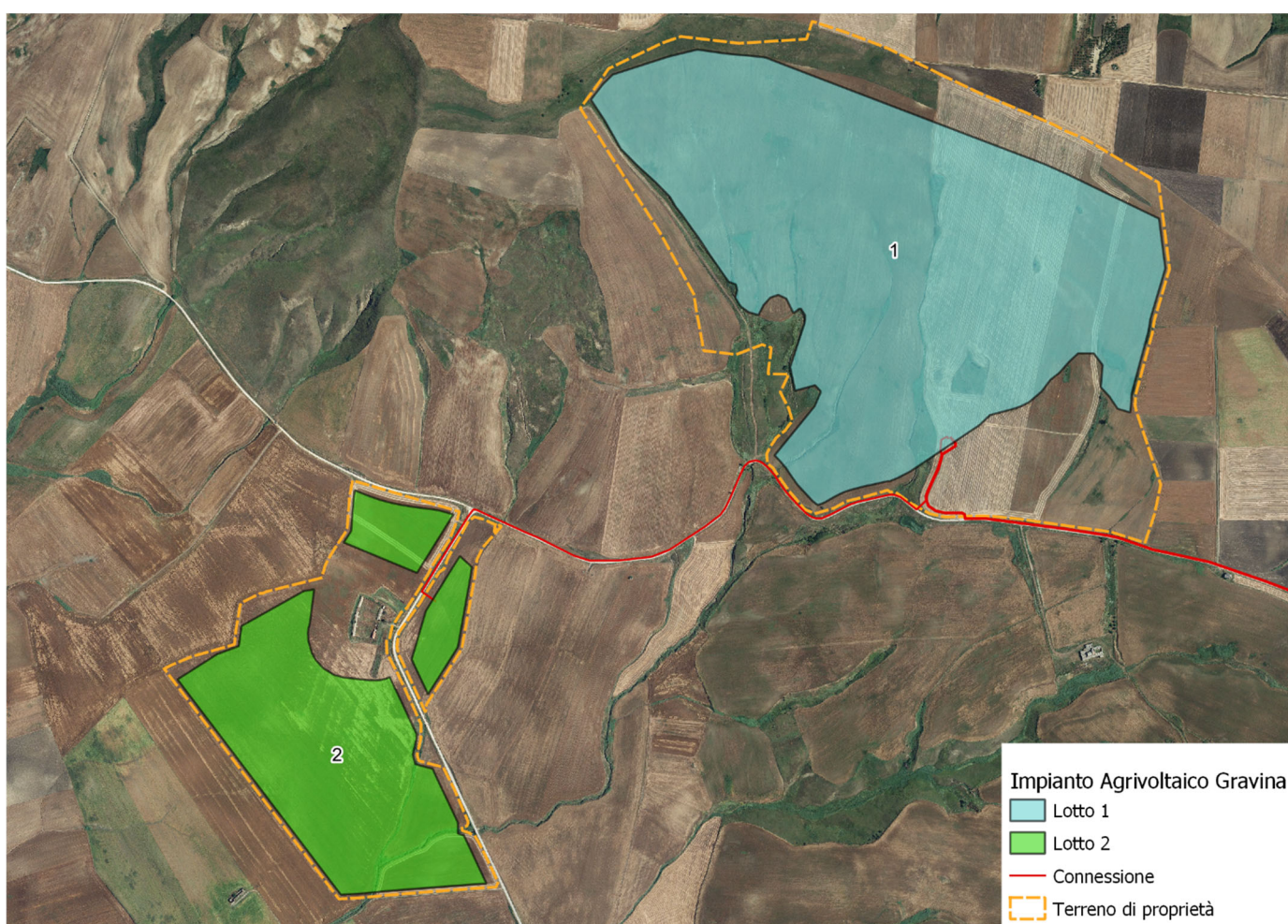
**Figura 1-1 Inquadramento del progetto su immagine satellitare**

L'ipotesi progettuale si sostanzia in due lotti di impianti, posti all'interno di un'area agricola, che si sviluppano su di una superficie totale di circa 156 ettari e con potenza di picco complessiva pari a 67.051,6 kWp.



In particolare, il lotto 1 (“Nord”) si estende per circa 118 ha mentre il lotto 2 (“Sud”) per circa 38 ha, come da dettaglio seguente.

Si nota come il terreno nella disponibilità della società proponente sia maggiore rispetto a quello effettivamente occupato dai pannelli in progetto, in quanto in fase di progettazione si è voluto evitare situazioni di rischio, in particolare dai punti di vista idrogeologico ed archeologico, e di limitare dunque l’estensione del parco agrivoltaico, mantenendo la restante parte a scopo agricolo.



**Figura 1-2 Inquadramento dei terreni su cartografia IGM (fonte: MinAmbiente)**

	Rev. 00	Agosto 2023	Impatto Viabilistico	Pag. n. 6
---	---------	-------------	----------------------	-----------

La connessione alla rete elettrica nazionale avverrà mediante realizzazione di un nuovo elettrodotto a 36kV, che si andrà a connettere in antenna alla futura Stazione Elettrica 380/150/36 kV denominata “GRAVINA”, da inserire in entra-esce alla linea RTN a 380 kV “Genzano 380 – Matera 380”.

In particolare, l’impianto sarà composto dai seguenti elementi:

- Strutture di sostegno (“tracker”) ad inseguimento mono assiale;
- Pannelli fotovoltaici;
- Quadri elettrici BT;
- Inverter di stringa per la conversione CC/CA;
- Cabine di raccolta;
- Cabine di trasformazione (“skid”);

Faranno poi parte dell’impianto elementi ausiliari e complementari, quali:

- Sistema di sicurezza e sorveglianza;
- Opere civili di supporto (piazzali, regimazione idraulica, pali per illuminazione)
- Viabilità di accesso e strade di servizio;
- Recinzione perimetrale

## 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 pari a 67.051,6 kWp. La configurazione finale di impianto è rappresentata dalle seguenti figure. Come già osservato in precedenza, l’impianto occupa due terreni separati, uno più a Nord ed uno a Sud-Ovest dello stesso.

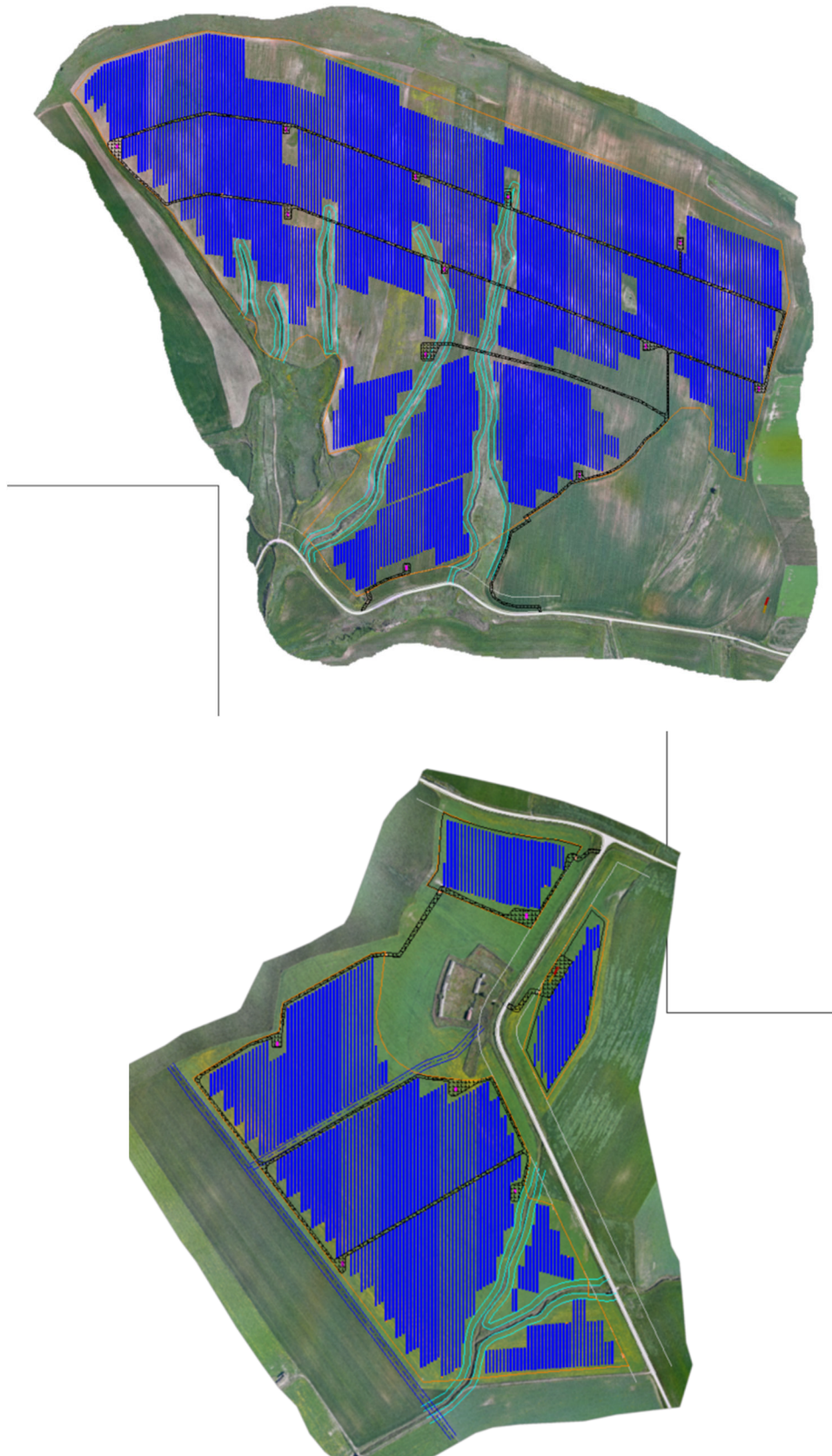


Figura 2-1 - Configurazione sezioni Nod (sopra) e Sud (sotto) dell'impianto



## 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) direttamente 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 tra  $\pm 60^\circ$ . Nel progetto in esame il pitch (distanza tra tracker paralleli) è fissato a 6m. 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: 2,5m

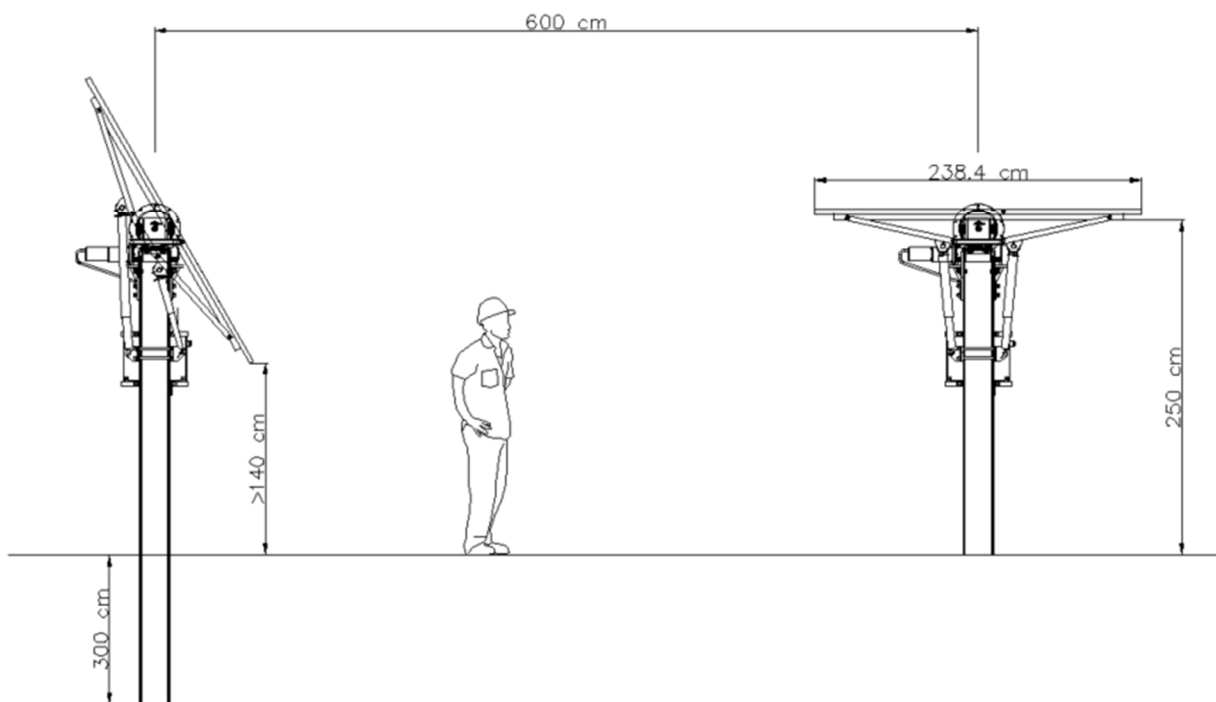


Figura 2-2 layout laterale delle strutture

Le misure sopra indicate permettono il passaggio dei mezzi agricoli e le normali attività di coltivazione del terreno, rispettando perciò i requisiti minimi della definizione di agrivoltaico.

### 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 identifica come area di interesse il tratto di strada che si dirama dalla Strada Statale (facilmente raggiungibile con i mezzi e con caratteristiche tali da garantire lo smaltimento dei flussi). Si riporta l'identificazione del tratto di percorso individuato, che dalla Strada Statale si distacca (diventando Strada Provinciale SP203) per raggiungere le aree di cantiere.

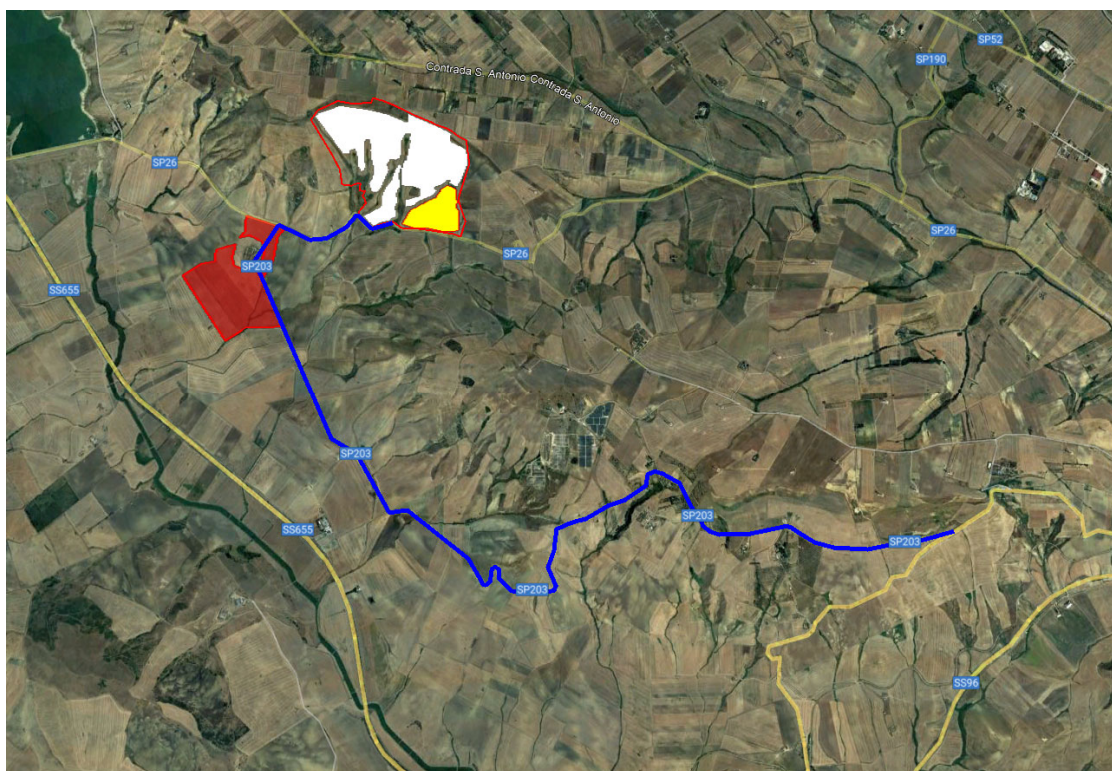


Figura 3-1: Percorso Oggetto di Analisi

	Rev. 00	Agosto 2023	Impatto Viabilistico	Pag. n. 10
---	---------	-------------	----------------------	------------

### 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 vengono sviluppate 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 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:

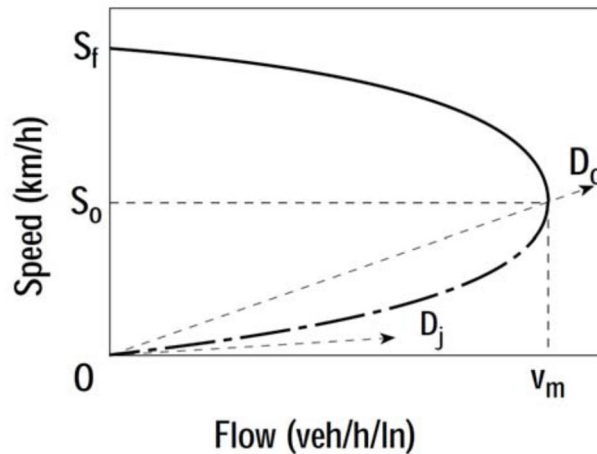


Figura 3-2: Andamento Flusso/Velocità

### 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)			
	$\geq 0.0 < 0.6$	$\geq 0.6 < 1.2$	$\geq 1.2 < 1.8$	$\geq 1.8$
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
$\geq 3.6$	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
$\geq 24$	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 ( $f_{np}$ ) 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

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
<b>Directional Split = 50/50</b>						
≤ 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
<b>Directional Split = 60/40</b>						
≤ 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
<b>Directional Split = 70/30</b>						
≤ 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
<b>Directional Split = 80/20</b>						
≤ 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
<b>Directional Split = 90/10</b>						
≤ 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:

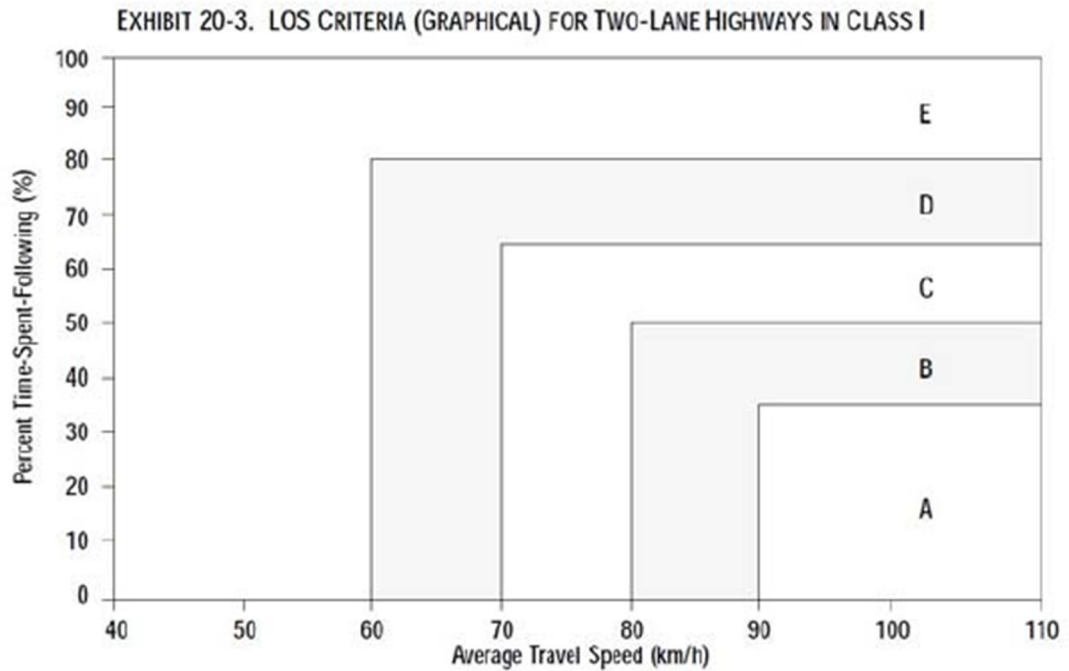


Figura 3-3: Livelli di Servizio per Strade a Carreggiata Unica

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

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**

Intervalli 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]	
<b>Per RT</b>	
Raggio di curvatura > 15m	-0,5
Angolo fra le strade < 60°	-0,5
Presenza di corsia di accelerazione	-1,0
<b>Per tutte le manovre</b>	
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	$\leq 10$
B	10 ÷ 15
C	15 ÷ 25
D	25 ÷ 35
E	35 ÷ 50
F	> 50

	Rev. 00	Agosto 2023	Impatto Viabilistico	Pag. n. 21
---	---------	-------------	----------------------	------------

### **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	Agosto 2023	Impatto Viabilistico	Pag. n. 22
---	---------	-------------	----------------------	------------

- 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 scambiati
- le velocità di scambio nelle aree di tipo A è più sensibile 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 scambiati devono occupare esclusivamente le corsie confinanti 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

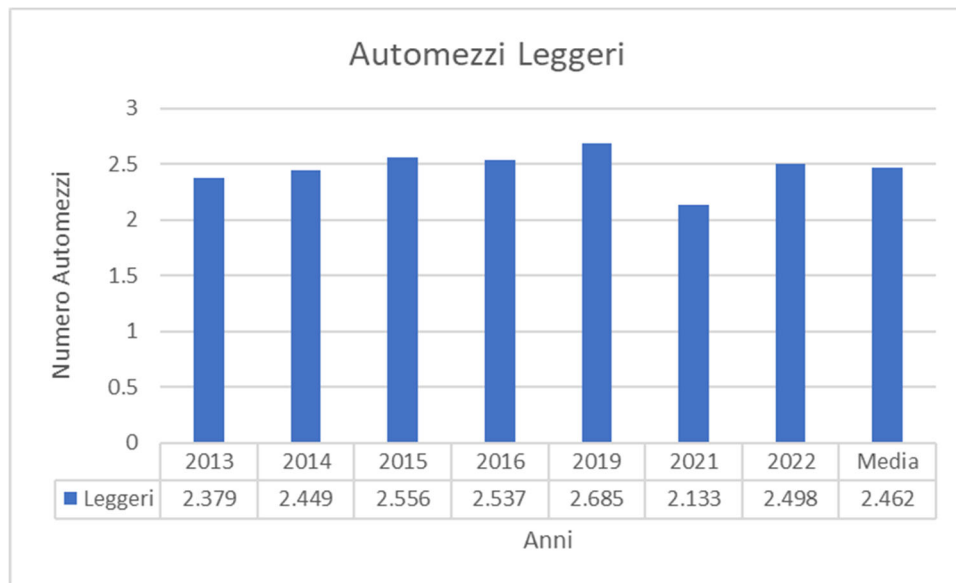


### 3.8 Analisi dello Stato di Fatto dell'Arco Viario

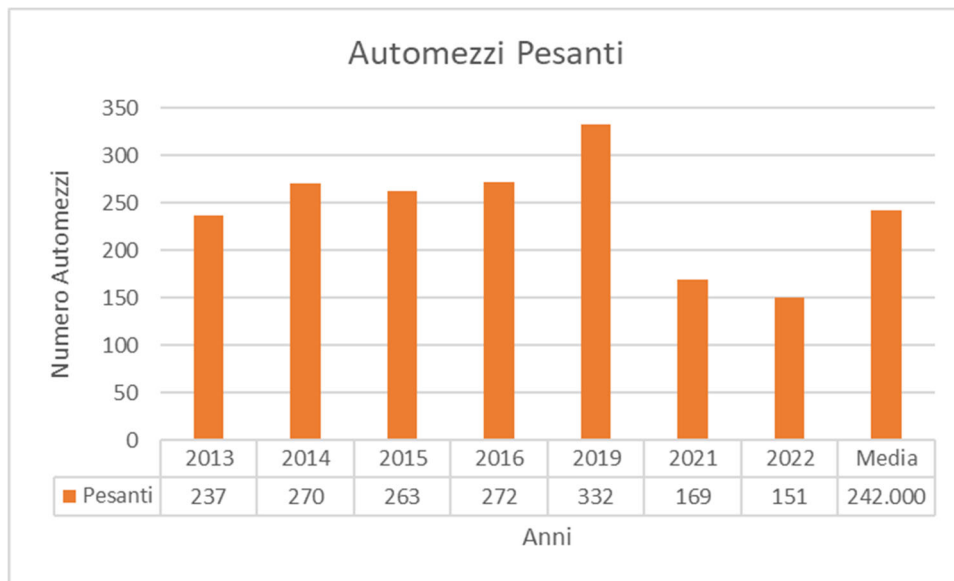
Dai dati storici di traffico, forniti da Anas, per il comune di Gravina di Puglia, è possibile ricostruire il seguente profilo di traffico:

**Tabella 3-12: Profilo di Traffico Anas**

Postazione	Strada	Km	Comune	Pr	insistenza	Leggeri	Pesanti	Anno
689	SS96	64,234	Gravina in Puglia	BA	347	2.379	237	2013
689	SS96	64,234	Gravina in Puglia	BA	316	2.449	270	2014
689	SS96	64,234	Gravina in Puglia	BA	277	2.556	263	2015
689	SS96	64,234	Gravina in Puglia	BA	365	2.537	272	2016
689	SS96	64,234	Gravina in Puglia	BA	246	2.685	332	2019
689	SS96	64,234	Gravina in Puglia	BA	323	2.133	169	2021
689	SS96	64,234	Gravina in Puglia	BA	363	2.498	151	2022
						2.462	242.000	Media



**Figura 3-4: Profilo di Traffico Anas – Mezzi Leggeri**

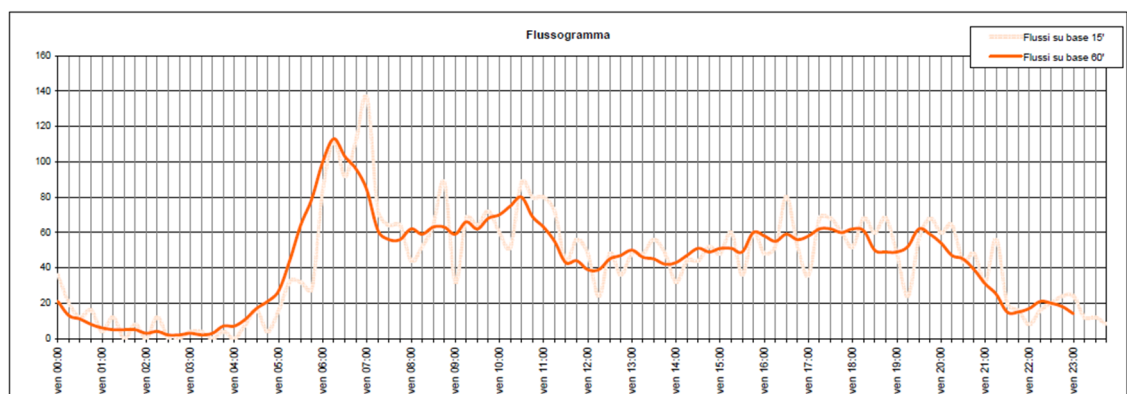


**Figura 3-5: Profilo di Traffico Anas – Mezzi Pesanti**

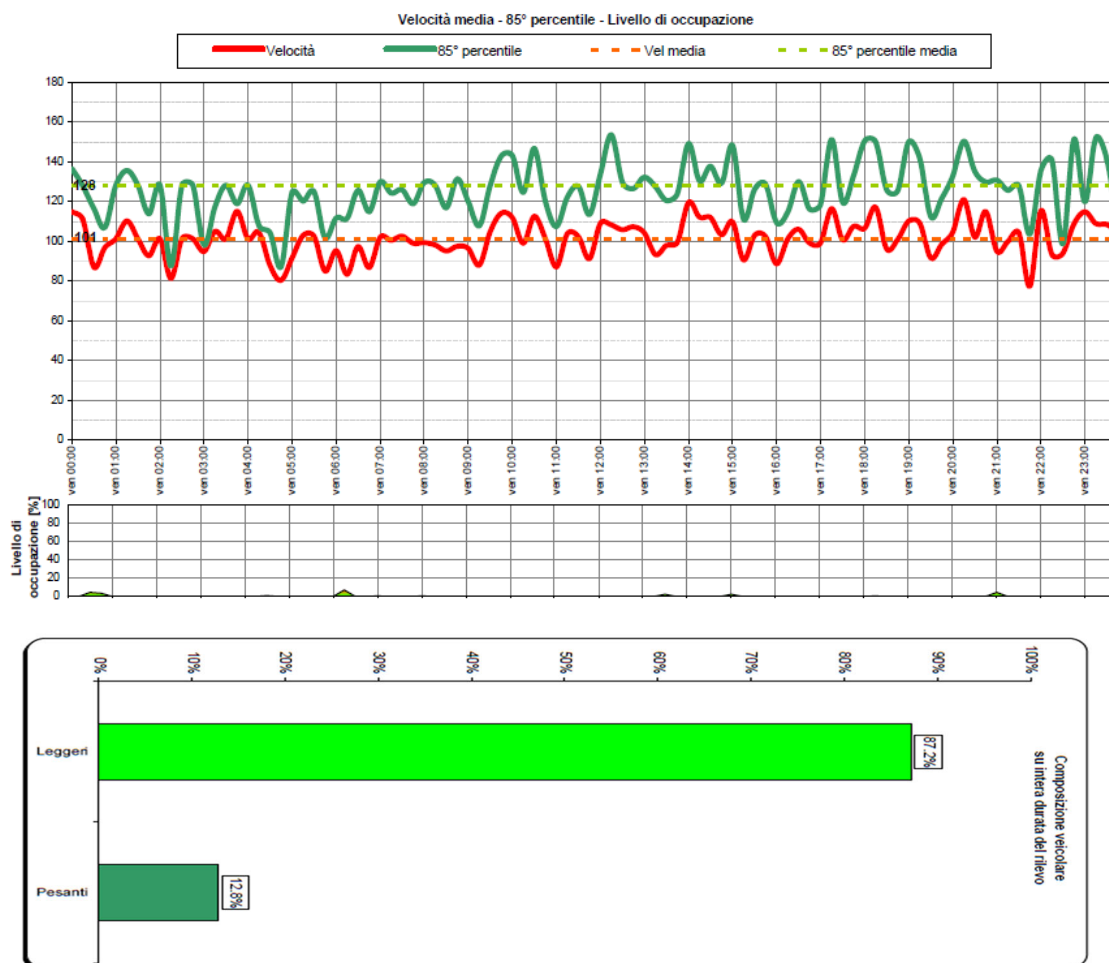
Si noti, come lecito attendersi, dato il tipo di strada in cui viene effettuato il rilevamento; che il traffico pesante sia molto superiore al traffico leggero (ad indicazione e conferma che il punto di rilevamento si trova su una strada di scorrimento SS96). Arrotondando per eccesso, la strada risulta essere percorsa in quel punto di rilevamento, in media, da:

- 3 autoveicoli leggeri
- 242 automezzi pesanti

Al fine di cogliere il profilo di traffico presente sulle strade provinciali limitrofe (oggetto della presente analisi), si prendono i dati di rilevamento del traffico presente sul Sistema Informativo Territoriale Regionale. Da tali dati è possibile notare che:



**Figura 3-6: Flussogramma - Sistema Territoriale Regionale**



**Figura 3-7: Velocità ed Occupazione & Tipologia– Sistema Territoriale Regionale**

Il numero medio di veicoli rilevati, su base giornaliera presenta un picco 110-120 automezzi, registrati attorno alle ore 06:00. La velocità di percorrenza oscilla tra gli 80km/h e i 120km/h, per una velocità media di 100km/m.

Si noti come le percentuali di occupazione della strada siano sostanzialmente nulle, con picchi di occupazione che in ristrettissime finestre orarie non riesce a superare il 10% della capacità della strada oggetto di analisi.

Si noti come il 12.8% dei veicoli rilevati sia di tipo pesante, mentre l'87.2% sia di tipo leggero.

Sull'arco stradale analizzato, che si stacca dalla Strada Statale, sono presenti 17 accessi a raso laterali

La velocità massima percorribile dal mezzo pesante sulla strada provinciale è pari ad 70km/h. Si assume questo come valore di BFFS

Vengono assunti i seguenti valori dei coefficienti correttivi:

$$f_{LS} = 4.2$$

$$f_A = 4$$

Si ottiene quindi

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A = 70 - 4.2 - 4 = 61.8 \text{ km/h} = FFS$$

Il flussogramma riporta, per l'ora di picco, con campionamento 15min:

Ora	Traffico
06:15	117
06:30	95
06:45	115
07:00	138

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

$$PHF = \frac{\text{Hourly Volume}}{4 \cdot \text{Max Volume}_{15}} = \frac{117 + 95 + 115 + 138}{4 \cdot 138} = 0.86$$

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

$$P_T = 12.8\% \quad E_T = 4.5$$

$$P_R = 87.2\% \quad E_R = 4.0$$

È possibile quindi determinare:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0.128(4.5 - 1) + 0.872(4 - 1)}$$

$$f_{HV} = 0.246$$

Tali valori verranno utilizzati per calcolare:

$$V_p = \frac{V}{PHF \cdot f_{HV} \cdot f_G} = \frac{120}{0.86 \cdot 0.246 \cdot 0.77} = 736.64$$

Risulta poi possibile determinare anche:

$$ATS = FFS - 0.0125 \cdot V_p - f_{np} = 61.8 - 0.0125 \cdot 736.64 - 0 = 52.59$$

Si possono determinare i successivi parametri:

$$BPTSF = 100 \cdot (1 - e^{-0.00879 \cdot V_p}) = 100 \cdot (1 - e^{-0.00879 \cdot 736.64}) = 37.01$$

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np} = 37.01 + 0 = 37.01$$

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:

$$PTSF = 37.01 < 40 \rightarrow \text{Livello di Servizio A}$$

### 3.9 Analisi dello Stato di Progetto dell'Arco Viario

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 95.788 pannelli fotovoltaici. Per il trasporto dei moduli si prevede l'accesso al sito di circa **270 automezzi** su autoarticolati da 40 piedi.
- Trasporto tracker e strutture di sostegno: in totale saranno installate 3421 stringhe, si stima l'accesso al sito circa **105-115 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 **70 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 3 mesi (4 settimane da 5 giorni lavorativi per ogni mese), gli automezzi leggeri presenti saranno quindi:

$$\text{Automezzi Leggeri} = 10 \cdot (4 \cdot 5 \cdot 3) = 600$$

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	Cabine e	Attrezzatura			Personale	
Fotovoltaici	Tracker	Inverter	Cantiere	Rifiuti	Addetto	
270	115	70	5	2	600 Totali	
4.5	1.92	1.17	0.08	0.03	10 Giornalieri	

Automezzi giornalieri	
Pesanti	7.70
Leggeri	10

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	Stato di Fatto	Aggiuntivi	Stato di Progetto	%
Leggeri	899	10	909	87.4%
Pesanti	132	8	140	13.5%

Vengono assunti i seguenti valori dei coefficienti correttivi:

$$f_{LS} = 4.2$$

$$f_A = 4$$

Si ottiene quindi

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A = 70 - 4.2 - 4 = 61.8 \text{ km/h} = FFS$$

Il flussogramma riporta, per l'ora di picco, con campionamento 15min:

Ora	Traffico
06:15	117
06:30	95
06:45	115
07:00	156

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

$$PHF = \frac{\text{Hourly Volume}}{4 \cdot \text{Max Volume}_{15}} = \frac{117 + 95 + 115 + 156}{4 \cdot 156} = 0.77$$

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

$$P_T = 13.5\% \quad E_T = 4.5$$

$$P_R = 87.4\% \quad E_R = 4.0$$

È possibile quindi determinare:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0.135(4.5 - 1) + 0.874(4 - 1)}$$

$$f_{HV} = 0.244$$

Tali valori verranno utilizzati per calcolare:

$$V_p = \frac{V}{PHF \cdot f_{HV} \cdot f_G} = \frac{120}{0.86 \cdot 0.244 \cdot 0.77} = 742.68$$

Risulta poi possibile determinare anche:

$$ATS = FFS - 0.0125 \cdot V_p - f_{np} = 61.8 - 0.0125 \cdot 742.68 - 0 = 52.52$$

Si possono determinare i successivi parametri:

$$BPTSF = 100 \cdot (1 - e^{-0.00879 \cdot V_p}) = 100 \cdot (1 - e^{-0.00879 \cdot 52.52}) = 36.975$$

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np} = 99.85 + 0 = 36.975$$

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:

$$PTSF = 36.98 < 40 \rightarrow \text{Livello di Servizio A}$$

Si noti come il livello di servizio non cambia, pur considerando le condizioni più restrittive per tempistiche di cantiere e concentrazione di picco dei veicoli. Si può quindi affermare che l'impatto sulla viabilità dovuto al cantiere possa essere considerato trascurabile.