

## AUTOSTRADA (A4) : TORINO-VENEZIA

POTENZIAMENTO ALLA 4<sup>A</sup> CORSIA DINAMICA  
DEL TRATTO AUTOSTRADALE COMPRESO TRA  
SVINCOLO CERTOSA E SVINCOLO SESTO SAN GIOVANNI

ADEGUAMENTO SVINCOLO DI SESTO SAN GIOVANNI

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

#### DG - DOCUMENTAZIONE GENERALE

#### PARTE GENERALE

#### Relazione Generale

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Stefano Santambrogio  
Ord. Ingg. Milano n.A27107

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Stefano Santambrogio  
Ord. Ingg. Milano N. A27107


IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Andrea Tanzi  
Ord. Ingg. Parma N. 1154

PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI

#### CODICE IDENTIFICATIVO

RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				ORDINATORE
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	00
110412	0001	PF	DG	GEN	00000	00000	R	GEN	0002	- 2	SCALA -

 gruppo Atlantia	PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:				REVISIONE	
	Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068						n.	data
	REDATTO:		VERIFICATO:				0	DICEMBRE 2018
							1	FEBBRAIO 2019
							2	SETTEMBRE 2020
						3	-	
						4	-	

VISTO DEL COMMITTENTE



IL RESPONSABILE DEI LAVORI  
Ing. Andrea Frediani

VISTO DEL CONCEDENTE



**Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti**  
DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE  
STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

# Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>5</b>
1.1	GENEALOGIA.....	5
1.2	LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DEL PROGETTO.....	5
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>7</b>
2.1	PROGETTO STRADALE .....	7
2.2	GEOTECNICA .....	7
2.3	STRUTTURE .....	8
2.4	IDROLOGIA E IDRAULICA .....	8
2.5	OPERE A VERDE .....	11
2.6	IMPIANTI .....	11
2.7	ESPROPRI .....	11
<b>3</b>	<b>GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA.....</b>	<b>12</b>
3.1	PREMESSA.....	12
3.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE DELL'AREA IN ESAME.....	12
3.2.1	<i>Inquadramento geologico e paleogeografico</i> .....	12
3.2.2	<i>Inquadramento geomorfologico</i> .....	14
3.2.3	<i>Corsi d'acqua naturali e canali artificiali</i> .....	14
3.3	CONSIDERAZIONI SULLA CIRCOLAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE .....	14
3.4	REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA.....	15
<b>4</b>	<b>L'INFRASTRUTTURA IN PROGETTO .....</b>	<b>17</b>
4.1	ASSE STRADALE .....	17
4.1.1	<i>Progetto</i> .....	17
4.1.2	<i>Inquadramento normativo</i> .....	18
4.1.3	<i>Criteri progettuali</i> .....	18
4.1.4	<i>Andamento plano-altimetrico di progetto</i> .....	23
4.2	IDRAULICA.....	33
4.2.1	<i>Generalità</i> .....	33
4.2.2	<i>Modello idraulico di dimensionamento delle opere</i> .....	33
4.2.3	<i>Descrizione delle opere in progetto</i> .....	33
4.2.4	<i>Interferenze idrografiche</i> .....	35
4.2.5	<i>Sistema di drenaggio</i> .....	35
4.3	OPERE D'ARTE PRINCIPALI .....	38
4.3.1	<i>Galleria artificiale Gracchi 2</i> .....	38
4.3.2	<i>Ampliamento sottovia OP1 e OP2</i> .....	38
4.4	BARRIERE DI SICUREZZA .....	41
4.5	BARRIERE ACUSTICHE .....	42
4.6	OPERE A VERDE .....	42
4.7	GESTIONE DEI MATERIALI DA SCAVO .....	42
4.7.1	<i>Bilancio materiali</i> .....	43
4.7.2	<i>Disposizioni per la gestione dei materiali da scavo</i> .....	43
4.8	IMPIANTI ELETTROMECCANICI.....	43
4.9	CANTIERIZZAZIONE .....	44
4.9.1	<i>Aree di cantiere</i> .....	44
4.9.2	<i>Cantierizzazione</i> .....	44
4.10	ARCHEOLOGIA .....	46
4.11	CONTROLLI MINIMI SICUREZZA STRADALE (DLGS 35/2011) .....	46
<b>5</b>	<b>ESPROPRI E INTERFERENZE .....</b>	<b>48</b>

5.1	ESPROPRI .....	48
5.2	INTERFERENZE .....	49
<b>6</b>	<b>VALUTAZIONE PRELIMINARE DELL'ANALISI COSTI BENEFICI.....</b>	<b>50</b>
6.1	INTRODUZIONE.....	50
6.2	COSTI DI INVESTIMENTO .....	50
6.3	PREVISIONI DI TRAFFICO .....	51
6.3.1	<i>Modello di simulazione e ipotesi di base.....</i>	<i>51</i>
6.3.2	<i>Scenario attuale .....</i>	<i>51</i>
6.3.3	<i>Scenario programmatico .....</i>	<i>52</i>
6.3.4	<i>Scenario progettuale.....</i>	<i>53</i>
6.3.5	<i>Indicatori di rete aggregati .....</i>	<i>53</i>
6.4	ANALISI COSTI-BENEFICI.....	54
6.4.1	<i>Inquadramento metodologico .....</i>	<i>54</i>
6.4.2	<i>Il costo economico dell'investimento .....</i>	<i>56</i>
6.4.3	<i>I costi di manutenzione e gestione.....</i>	<i>57</i>
6.4.4	<i>Il valore residuo dell'opera.....</i>	<i>58</i>
6.4.5	<i>Gli effetti diretti per gli utenti: risparmi di tempo.....</i>	<i>58</i>
6.4.6	<i>Impatti non quantificati nell'analisi costi-benefici.....</i>	<i>60</i>
6.4.7	<i>Risultati: indicatori di progetto .....</i>	<i>61</i>
6.5	CONCLUSIONI.....	62

## Indice delle Tabelle e delle Figure

FIGURA 1-1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	6
FIGURA 4.1 - INQUADRAMENTO GENERALE ADEGUAMENTO SVINCOLO DI SESTO SAN GIOVANNI.....	17
TABELLA 4-1. VELOCITÀ DI PROGETTO PER LE VARIE TIPOLOGIE DI RAMPE .....	18
TABELLA 4-2. RAGGI MINIMI DELLE RAMPE IN FUNZIONE DELLA VELOCITÀ DI PROGETTO MINIMA.....	19
TABELLA 4-3. PENDENZE MASSIME DELLE RAMPE.....	20
TABELLA 4-4. LARGHEZZE DEGLI ELEMENTI MODULARI .....	22
TABELLA 4-5. COEFFICIENTI DI ADERENZA LONGITUDINALE.....	23
TABELLA 4-6. RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE PLANIMETRICHE E VERIFICA ASSE PRINCIPALE A4 TO-VE .....	24
TABELLA 4-7. RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE PLANIMETRICHE E VERIFICA RAMPA LC-TO .....	24
TABELLA 4-8. RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE PLANIMETRICHE E VERIFICA RAMPA TO-LC .....	24
TABELLA 4-9. RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE PLANIMETRICHE E VERIFICA CORSIA DI USCITA DA A4 DIR. MI .....	25
TABELLA 4-10. RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE PLANIMETRICHE E VERIFICA CORSIA DI USCITA DA A4 DIR. LC.....	25
TABELLA 4-11. RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE PLANIMETRICHE E VERIFICA RAMPA DI USCITA DA A4 DIR. MI.....	25
TABELLA 4-12. RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE PLANIMETRICHE E VERIFICA RAMPA DI USCITA DA A4 DIR. LC .....	25
TABELLA 4-13. RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE PLANIMETRICHE E VERIFICA RAMPA TO-MI .....	25
TABELLA 4-14. RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE PLANIMETRICHE E VERIFICA RAMPA USCITA SU VIA GALILEI.....	25
TABELLA 4-15. RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE PLANIMETRICHE E VERIFICA RAMPA USCITA SU VIA BETTOLA .....	26
TABELLA 4-16. RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE PLANIMETRICHE E VERIFICA RAMPA INGRESSO SU SS36.....	26
FIGURA 4.2 - DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ E CURVATURE ASSE PRINCIPALE A4 TO-VE.....	26
FIGURA 4.3 - DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ E CURVATURE RAMPA LC-TO.....	27
FIGURA 4.4 - DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ E CURVATURE RAMPA TO-LC.....	27
FIGURA 4.5 - DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ E CURVATURE CORSIA DI USCITA DA A4 DIR. MI.....	28
FIGURA 4.6 - DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ E CURVATURE CORSIA DI USCITA DA A4 DIR. LC .....	28
FIGURA 4.7 - DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ E CURVATURE RAMPA DI USCITA DA A4 DIR. MI .....	29
FIGURA 4.8 - DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ E CURVATURE RAMPA DI USCITA DA A4 DIR. LC .....	29
FIGURA 4.9 - DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ E CURVATURE RAMPA TO-MI .....	30
FIGURA 4.10 - DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ E CURVATURE RAMPA USCITA SU VIA GALILEI .....	30
FIGURA 4.11 - DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ E CURVATURE RAMPA USCITA SU VIA BETTOLA.....	31
FIGURA 4.12 - DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ E CURVATURE RAMPA INGRESSO SU SS36 .....	31
TABELLA 4-17. VERIFICA CARATTERISTICHE ALTIMETRICHE RAMPA TO-LC (SOLO IL TRATTO IN NUOVA REALIZZAZIONE).....	32
TABELLA 4-18. VERIFICA CARATTERISTICHE ALTIMETRICHE RAMPA DI USCITA DA A4 DIR. LC .....	32
TABELLA 4-19. DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ E CURVATURE RAMPA USCITA SU VIA GALILEI.....	32
FIGURA 4.13 - AREA NUOVO PRESIDIO PRS01.....	34
FIGURA 4.14 - AREA NUOVA VASCA DI SOLLEVAMENTO PRO2.....	34
FIGURA 4.15 - ANDAMENTO DEL RISCHIO IDRAULICO AL VARIARE DEL TEMPO DI RITORNO DI PROGETTO E DELLA VITA UTILE DELL'OPERA.....	36
TABELLA 4-20. ELEMENTI DI DRENAGGIO .....	37
FIGURA 4.16 - SEZIONE GALLERIA ARTIFICIALE GRACCHI 2.....	38
FIGURA 4.17 - SEZIONE LONGITUDINALE LATO BERGAMO - OP1 .....	39
FIGURA 4.18 - PROSPETTO NORD - OP1 .....	39
FIGURA 4.19 - SEZIONE LONGITUDINALE LATO BERGAMO - OP2 .....	40
FIGURA 4.20 - PROSPETTO NORD - OP2 .....	40
TABELLA 4-21. CLASSI MINIME DI BARRIERE PER AUTOSTRADE E STRADE EXTRAURBANE PRINCIPALI.....	41
TABELLA 4-22. BARRIERE FONICHE PREVISTE.....	42
TABELLA 5-1. RIEPILOGO SUPERFICI .....	49
TABELLA 6-1. QUADRO ECONOMICO DELL'INTERVENTO PROGETTUALE.....	50
FIGURA 6.1 - LOCALIZZAZIONE CENTROIDI CORDONALI .....	51
FIGURA 6.2 - GRAFO AIMSUN NEXT - SCENARIO ATTUALE .....	52
FIGURA 6.3 - GRAFO AIMSUN NEXT - SCENARIO PROGETTUALE .....	53
FIGURA 6.4 - GRAFO AIMSUN NEXT - SCENARIO PROGETTUALE INGRANDIMENTO AREA DI SVINCOLO .....	53
TABELLA 6-2. COSTI ECONOMICI DELL'INVESTIMENTO NELLO SCENARIO PROGETTUALE (€2018).....	56
TABELLA 6-3. CICLI DI MANUTENZIONE ORDINARIA E STRAORDINARIA .....	57
TABELLA 6-4. COSTI UNITARI DI MANUTENZIONE DELLA PAVIMENTAZIONE .....	57

TABELLA 6-5. STIMA PARAMETRICA DEI COSTI DIFFERENZIALI DI MANUTENZIONE (€2018) .....	58
FIGURA 6.5 - EVOLUZIONE DEI COSTI DIFFERENZIALI DI MANUTENZIONE NEL TEMPO (MIGLIAIA € 2018).....	58
TABELLA 6-6. VALORE ECONOMICO DEI RISPARMI DI TEMPO (€2018) .....	59
FIGURA 6.6 - EVOLUZIONE DEI BENEFICI DA RISPARMI DI TEMPO NELL'ORIZZONTE DI ANALISI (MILIONI € 2018).....	59
TABELLA 6-7. SINTESI DEI COSTI E DEI BENEFICI DI PROGETTO .....	61
FIGURA 6.7 - RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI COSTI E DEI BENEFICI DI PROGETTO .....	61
TABELLA 6-8. INDICATORI SOCIO-ECONOMICI DI PROGETTO .....	61
TABELLA 6-9. SINTESI DEI COSTI E DEI BENEFICI DI PROGETTO .....	62
TABELLA 6-10. INDICATORI SOCIO-ECONOMICI DI PROGETTO .....	62
FIGURA 6.8 - EVOLUZIONE DEI COSTI E DEI BENEFICI DI PROGETTO E DEL BILANCIO CUMULATO SOCIO-ECONOMICO NELL'ORIZZONTE DI STUDIO .....	63

# 1 PREMESSA

## 1.1 GENEALOGIA

Autostrade per l'Italia ha avviato, in data 27/10/2010, la procedura VIA relativa al progetto di Potenziamento alla 4a corsia dinamica del tratto dell'autostrada A4 compreso tra Svincolo di Viale Certosa e Svincolo di Sesto San Giovanni. La procedura si è conclusa con esito positivo con prescrizioni (Dec VIA n. 336 del 03/07/2012).

Successivamente il progetto definitivo è stato approvato con il Provvedimento di intesa Stato – Regione n° 7562 del 4/9/2013 e con Dispositivo n. 006162 del 19/06/2013 il Ministero delle Infrastrutture e Trasporti ha approvato con prescrizioni il progetto esecutivo.

Allo stato attuale – 2020 - è in corso la realizzazione della 4<sup>a</sup> corsia dinamica sull'autostrada A4 e si prevede di ultimare le lavorazioni a fine 2022. Il progetto di potenziamento alla 4a corsia dinamica prevede che la corsia dinamica in carreggiata Est si colleghi direttamente nello svincolo di Sesto S Giovanni, senza prevedere modifiche sostanziali alla configurazione attuale.

Nel periodo intercorso tra la progettazione del potenziamento alla 4a corsia dinamica e lo stato attuale vi è stata un'evoluzione dei flussi di traffico che interessano il tratto di autostrada A4 compresa tra lo svincolo di Sesto San Giovanni e la barriera di Milano Est, non interessato dal potenziamento alla 4a corsia dinamica, che ha portato all'aumento dei flussi di traffico in uscita a Sesto San Giovanni proveniente dalla carreggiata est (provenienza Torino). È stato inoltre verificato che la destinazione principale del traffico che esce dall'autostrada A4 è diretto in direzione nord sulla SS36 (direzione Lecco).

L'attuale configurazione dello svincolo non prevede la separazione dei flussi di traffico né per carreggiata di origine, né per destinazione. Di conseguenza il peggioramento della funzionalità dello svincolo comporta un incremento degli accodamenti anche in carreggiata est oggetto del potenziamento previsto andando quindi a vanificare parzialmente l'efficacia della 4a corsia dinamica.

Inoltre recentemente è stata approvata con Dec VIA Regione Lombardia n. 9703 del 4/10/2016 la realizzazione di un polo intermodale (nuovi capolinea delle linee metropolitane M1 e M5) e commerciale nei pressi dello svincolo di Sesto San Giovanni che, in assenza di interventi di miglioramento anche della viabilità autostradale, andrà a peggiorare le condizioni di esercizio dello svincolo e, conseguentemente, la funzionalità della 4a corsia dinamica.

Le difficili condizioni di esercizio attuali e di previsione hanno pertanto determinato la progettazione del progetto di adeguamento dello svincolo di Sesto San Giovanni.

Il progetto prevede il riassetto dell'attuale svincolo autostradale per l'adeguamento della struttura alla prevista quarta corsia dinamica dell'autostrada A4 nel tratto compreso tra lo svincolo di Viale Certosa e lo svincolo di Sesto San Giovanni, attualmente in fase di realizzazione.

La realizzazione delle opere in progetto si rende necessaria per migliorare la fruizione dello svincolo di Sesto San Giovanni, svincolo che ad oggi presenta, in particolar modo durante gli orari di movimento dei pendolari che usufruiscono della struttura autostradale, diverse situazioni di rallentamenti e incolonnamenti, che giornalmente arrivano ad interessare in maniera significativa anche la piattaforma autostradale.

Tale obiettivo vuole essere raggiunto migliorando il collegamento alla Strada Statale 36 e dividendo i flussi verso le direzioni Lecco e Milano prima dello svincolo sulla SS36 stessa.

## 1.2 LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DEL PROGETTO

Lo svincolo di Sesto San Giovanni oggetto di adeguamento è ubicato in comune di Cinisello Balsamo (MI) lungo l'autostrada A4 Torino – Venezia.

L'intervento si colloca tra il km 135+975 e il km 137+045 dell'autostrada A4 e interessa l'ambito periurbano del comune di Cinisello Balsamo in provincia di Milano.

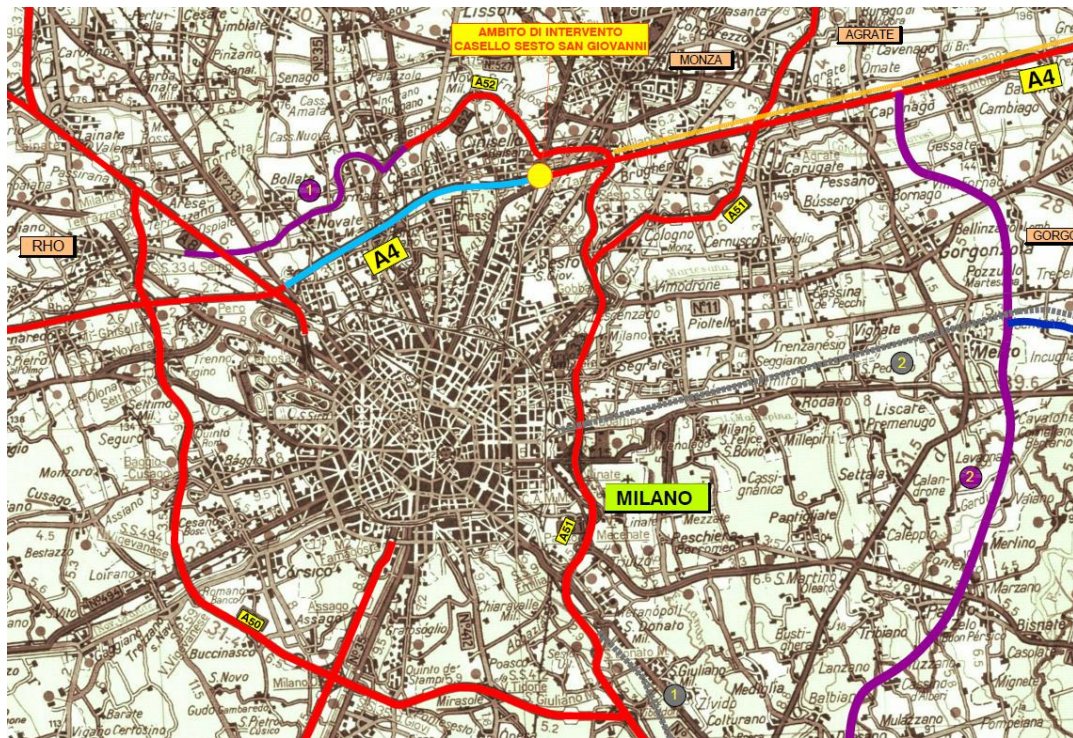


Figura 1-1. Inquadramento territoriale

Il territorio del Nord - Milano, in cui si colloca il tratto di autostrada A4 di interesse, è caratterizzato da urbanizzazioni dense e diffuse con rari episodi di soluzione di continuità tipiche dell'area metropolitana milanese, nella sua forma più strutturata e matura.

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

### 2.1 PROGETTO STRADALE

La normativa di carattere generale seguita nella definizione degli interventi di progetto è la seguente.

- D. Lg.vo n. 285/92 e s.m.i. "Nuovo codice della Strada".
- D.P.R. n. 495/92 e s.m.i., "Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo Codice della Strada"
- D.M. n. 6792 del 5/11/2001, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"
- D.M. 22/4/2004, "Modifica del decreto 5 Novembre 2001, n. 6792, recante «Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade»"
- D.M. 19/4/2006, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali"
- D.M. 30/11/1999, n. 557, "Regolamento recante norme per la definizione delle caratteristiche tecniche delle piste ciclabili"
- D.M. 18/2/1992, n. 223, "Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza".
- D.M. 21/6/2004, "Aggiornamento alle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e le prescrizioni tecniche per le prove delle barriere di sicurezza stradale"
- D.M. 28/6/2011, "Disposizioni sull'uso e l'installazione dei dispositivi di ritenuta stradale"
- Direttiva del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 3065 del 25/08/2004, "Direttiva sui criteri di progettazione, installazione, verifica e manutenzione dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali"
- Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21/07/2010 "Uniforme applicazione delle norme in materia di progettazione, omologazione e impiego dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali"
- D. Lg.vo 15/3/2011, n. 35, "Attuazione della direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture"
- D. Lg.vo n. 50 del 18/4/2016 e s.m.i. "Codice dei contratti pubblici".

### 2.2 GEOTECNICA

La normativa di carattere generale seguita nella definizione degli interventi di progetto è la seguente.

- D.M. 14.01.2008, "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circ. Min. II.TT. 02.02.2009, n. 617, "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14.01.2008";
- EN 1997 Eurocodice 7 "Geotechnical Design"
  - Part 1: General rules
  - Part 2: Standards for laboratory testing
  - Part 3: Standards for field testing.
- ASTM D4253 "Standard test methods for maximum index density and unit weight of soils using a vibratory table".
- ASTM D4254 "Standard test method for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density".
- ASTM D1557 "Test method for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort".
- CNR UNI 10006 "Costruzione e manutenzione delle strade – Tecnica di impiego delle terre".
- CNR B.U., anno XXVI, n° 146 "Determinazione dei moduli di deformabilità  $M_d$  e  $M_d'$  mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare".
- Decreto Ministeriale n. 47 (11/3/1988). "Norme Tecniche riguardanti le indagini su terreni e sulle rocce; i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" - Cir. Dir. Cen. Tecn. n° 97/81.
- CNR UNI 10009 "Costruzione e manutenzione delle strade – Tecnica di impiego delle terre".
- A.I.C.A.P. – "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce – Raccomandazioni", maggio 1993.



## 2.3 STRUTTURE

Le analisi strutturali di tutte le opere d'arte e le relative verifiche sono state eseguite secondo il metodo semi-probabilistico agli Stati Limite in accordo alle disposizioni previste dalla vigente normativa italiana e da quella europea (Eurocodici). In particolare, al fine di conseguire un approccio il più unitario possibile relativamente alle prescrizioni ed alle metodologie/criteri di verifica, si è fatto diretto riferimento alle varie parti degli Eurocodici, unitamente ai relativi National Application Documents, verificando puntualmente l'armonizzazione del livello di sicurezza conseguito con quello richiesto dalla vigente normativa nazionale.

In dettaglio i documenti normativi di riferimento per la progettazione strutturale risultano i seguenti:

- D.M. 14 gennaio 2008: "Nuove norme tecniche per le costruzioni"
- Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per la Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008
- UNI EN 1990: "Basi della progettazione strutturale"
- UNI EN 1991-1-4: "Azioni sulle strutture – Azione del vento"
- UNI EN 1991-1-5: "Azioni sulle strutture – Azioni termiche"
- UNI EN 1991-2: "Azioni sulle strutture – Carichi da traffico sui ponti"
- UNI EN 1992-1-1: "Progettazione delle strutture di calcestruzzo - regole generali e regole per gli edifici"
- UNI EN 1992-2: "Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Ponti di calcestruzzo"
- UNI EN 1993-1-1: "Progettazione delle strutture di acciaio – Regole generali e regole per gli edifici"
- UNI EN 1993-2: "Progettazione delle strutture di acciaio – Ponti di acciaio"
- UNI EN 1993-1-5: "Progettazione delle strutture di acciaio – Elementi strutturali a lastra"
- UNI EN 1993-1-8: "Progettazione delle strutture di acciaio – Progettazione dei collegamenti"
- UNI EN 1993-1-9: "Progettazione delle strutture di acciaio – Fatica"
- UNI EN 1994-1-1: "Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Regole generali e regole per gli edifici"
- UNI EN 1994-2: "Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Ponti"
- UNI EN 1998-2: "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Ponti"
- UNI EN 1090-1: "Esecuzione di strutture in acciaio e di alluminio – Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali"
- UNI EN 1090-2: "Esecuzione di strutture in acciaio e di alluminio – Requisiti tecnici per strutture in acciaio."

## 2.4 IDROLOGIA E IDRAULICA

Di seguito vengono descritti i principali riferimenti normativi e gli strumenti di pianificazione e di tutela presenti sul territorio, a scala nazionale, regionale e provinciale, al fine di fornire un quadro esaustivo della normativa vigente nel campo idrologico-idraulico, ambientale e di difesa del suolo, utilizzata per verificare la compatibilità degli interventi in progetto con le prescrizioni dei suddetti strumenti di legge.

### Normativa nazionale

- RD 25/07/1904 n° 523: "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie".
- Regio Decreto Legislativo 30/12/1923, n° 3267: "Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani." La legge introduce il vincolo idrogeologico.
- DPR 15/01/1972 n° 8: "Trasferimento alle Regioni a statuto ordinario delle funzioni amministrative statali in materia di urbanistica e di viabilità, acquedotti e lavori pubblici di interesse regionale e dei relativi personali ed uffici"
- L. 64/74: "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"
- L. 319/76 (Legge Merli): "Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento". La legge sancisce l'obbligo per le Regioni di elaborare il Piano di risanamento delle acque.
- DPR 24/7/1977 n° 616: "Trasferimento delle funzioni statali alle Regioni "
- L. 431/85 (Legge Galasso): "Conversione in legge con modificazioni del decreto legge 27 giugno 1985, n. 312 concernente disposizioni urgenti per la tutela delle zone di particolare interesse ambientale"
- L. 183/89: "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo".  
Scopo della legge è la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi (art. 1 comma 1).

Vengono inoltre individuate le attività di pianificazione, di programmazione e di attuazione (art. 3); vengono istituiti il Comitato Nazionale per la difesa del suolo (art. 6) e l'Autorità di Bacino (art. 12). Vengono individuati i bacini idrografici di rilievo nazionale, interregionale e regionale (artt. 13, 14, 15, 16) e date le prime indicazioni per la redazione dei Piani di Bacino (artt. 17, 18, 19).

- L. 142/90: "Ordinamento delle autonomie locali"
- DL 04-12-1993 n° 496. "Disposizioni urgenti sulla riorganizzazione dei controlli ambientali e istituzione della Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente. (Convertito con modificazioni dalla L. 61/94)".
- L. 36/94 (Legge Galli): "Disposizioni in materia di risorse idriche."
- DPR 14/4/94: "Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale ed interregionale, di cui alla legge 18 maggio 1989, N. 183"
- DPR 18/7/95: "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento concernente i criteri per la redazione dei Piani di Bacino"
- DPCM 4/3/96: "Disposizioni in materia di risorse idriche (direttive di attuazione della Legge Galli)"
- Decreto Legislativo 31/3/1998, n° 112: "Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59"
- DPCM 29/9/98: "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1989, N. 180".  
 Il decreto indica i criteri di individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico (punto 2) e gli indirizzi per la definizione delle norme di salvaguardia (punto 3).
- L. 267/98 (Legge Sarno): "Conversione in legge del DL 180/98 recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella Regione Campania".  
 La legge impone alle Autorità di Bacino nazionali e interregionali la redazione dei Piani Stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico e le misure di prevenzione per le aree a rischio (art. 1).
- DL 152/99: "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole".
- DL 258/00: "Disposizioni correttive e integrative del DL 152/99".
- L. 365/00 (Legge Soverato): "Conversione in legge del DL 279/00 recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile, nonché a favore delle zone della Regione Calabria danneggiate dalle calamità di settembre e ottobre 2000".  
 La legge individua gli interventi per le aree a rischio idrogeologico e in materia di protezione civile (art. 1); individua la procedura per l'adozione dei progetti di Piano Stralcio (art. 1-bis); prevede un'attività straordinaria di polizia idraulica e di controllo sul territorio (art. 2).
- DLgs 152/2006: "Norme in materia ambientale"  
 Ha riorganizzato le Autorità di bacino introducendo i distretti idrografici. Tale Decreto legislativo disciplina, in attuazione della legge 15 dicembre 2004, n. 308, la difesa del suolo e la lotta alla desertificazione, la tutela delle acque dall'inquinamento e la gestione delle risorse idriche. Istituisce i distretti idrografici nei quali sarà istituita l'Autorità di bacino distrettuale, che va a sostituire la o le Autorità di Bacino previste dalla legge n. 183/1989. In forza del recente d.lgs 8 novembre 2006, n. 284, nelle more della costituzione dei distretti idrografici di cui al Titolo II della Parte terza del d.lgs. 152/2006 e della revisione della relativa disciplina legislativa con un decreto legislativo correttivo, le Autorità di Bacino di cui alla legge 18 maggio 1989, n. 183, sono prorogate fino alla data di entrata in vigore del decreto correttivo che, ai sensi dell'articolo 1, comma 6, della legge n. 308 del 2004, definisca la relativa disciplina. Fino alla data di entrata in vigore del decreto legislativo correttivo di cui al comma 2-bis dell'articolo 170 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, come inserito dal comma 3, sono fatti salvi gli atti posti in essere dalle Autorità di Bacino dal 30 aprile 2006.  
 Inoltre l'articolo 113 del medesimo Decreto legislativo, stabilisce, in materia di controllo dell'inquinamento prodotto dal dilavamento delle acque meteoriche, che "...le regioni disciplinano:..b) i casi in cui può essere richiesto che le immissioni delle acque di dilavamento ...siano sottoposte a particolari prescrizioni..", art. 113 comma 1, e che "... i casi in cui può essere richiesto.. siano convogliate e opportunamente trattate.. in relazione alle attività svolte, vi sia il rischio di dilavamento da superfici impermeabili scoperte di sostanze pericolose..", art. 113 comma 3.
- DM 14/01/2008: "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"  
 Il decreto si compone di due articoli e precisamente dell'articolo 1 con cui viene approvato il testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni ad eccezione delle tabelle 4.4.III e 4.4.IV e del

Capitolo 11.7. Le nuove norme sostituiscono quelle approvate con il decreto ministeriale 14 settembre 2005.

Nel paragrafo 5.1.7.4, denominato "Smaltimento dei liquidi provenienti dall'impalcato", si prescrive che: "... il progetto del ponte deve essere corredato dallo schema delle opere di convogliamento e di scarico. Per opere di particolare importanza, o per la natura dell'opera stessa o per la natura dell'ambiente circostante, si deve prevedere la realizzazione di un apposito impianto di depurazione e/o decantazione."

Successivamente con il DM 06/05/2008 "Integrazioni al decreto 14 gennaio 2008" sono stati approvati il capitolo 11.7 e le tabelle 4.4.III e 4.4.IV del testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni allegato al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.

- Decreto n. 131 del 16/06/2008: Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare. "Regolamento recante i criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici (tipizzazione, individuazione dei corpi idrici, analisi delle pressioni) per la modifica delle norme tecniche del Decreto Legislativo n. 152 del 3/04/2006 recante: "Norme in materia ambientale", predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 4, dello stesso decreto. (GU n. 187 del 11/08/2008 - Suppl. Ordinario n. 189)"
- Decreto n. 56 del 14/04/2009. Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare. "Regolamento recante "Criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici e l'identificazione delle condizioni di riferimento per la modifica delle norme tecniche del Decreto Legislativo n. 152 del 3/04/2006 recante Norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 3, del decreto legislativo medesimo" (GU n.124 del 30/05/2009 - Suppl. Ordinario n. 83)"

#### Normativa regionale

- Legge regionale n. 21 del 27 dicembre 2010  
 Modifiche alla legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26 (Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche), in attuazione dell'articolo 2, comma 186 bis, della legge 23 dicembre 2009, n. 191.
- Legge regionale 27 febbraio 2007, n. 5  
 La norma, pubblicata il 2 marzo 2007 sul 2° supplemento ordinario del Burl, agli articoli 6,7,8 apporta modifiche rispettivamente alla l.r. 17/2000 in materia di inquinamento luminoso, modifiche e integrazioni alla l.r. 26/2003 in materia di risorse idriche, oltre a fornire l'interpretazione autentica dell'art. 49, commi 2,3,4 della l.r. 26/2003. La legge è entrata in vigore il 3 marzo 2007.
- Deliberazione Giunta regionale del 13 dicembre 2006 - n° 8/3789  
 Programma di tutela e uso delle acque - Indicazioni alle Autorità d'Ambito per la definizione degli interventi prioritari del ciclo dell'acqua (l.r. n° 26/2003).
- Regolamento regionale 24 marzo 2006, n. 4  
 Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne, in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera a) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26.
- Regolamento regionale 24 marzo 2006, n. 2  
 Disciplina dell'uso delle acque superficiali e sotterranee, dell'utilizzo delle acque a uso domestico, del risparmio idrico e del riutilizzo dell'acqua in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera c) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26.
- Regolamento Regionale 24 marzo 2006, 3  
 Disciplina e regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie, in attuazione dell'Art. 52, comma 1, lettera a) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26. (GU 3a Serie Speciale - Regioni n.23 del 10-06-2006)
- D.G.R. 31 luglio 2017 – n.10/6990  
 Approvazione del programma di tutela e uso delle acque, ai sensi dell'articolo 121 del d.lgs. 152/06 e dell'articolo 45 della legge regionale 26/2003.

La normativa della Regione Lombardia non impone alcun trattamento alle acque meteoriche dilavanti la piattaforma stradale/autostradale, ad eccezione delle stazioni di servizio.

## 2.5 OPERE A VERDE

La normativa considerata nella progettazione è la seguente:

- Decreto Legislativo 30/04/1992 e s.m.i. "Regolamento di attuazione del Nuovo Codice della Strada";
- Codice Civile, art. 892 "Distanze per gli alberi" e art. 893 "Alberi presso strade, canali e sul confine dei boschi";
- Decreto interministeriale 21 marzo 1988, n. 449 "Approvazione nelle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee elettriche aeree esterne".

## 2.6 IMPIANTI

Nel seguito si riporta l'elenco, non esaustivo, delle principali norme di riferimento alle quali dovranno assoggettarsi gli interventi impiantistici previsti in progetto.

- CEI 64-8: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua;
- CEI 20-67: Guida all'uso dei cavi elettrici con tensione di esercizio di 0,6/1 kV;
- Tabella CEI UNEL 35026: Descrive la portata di corrente in regime permanente per la posa interrata per cavi elettrici aventi tensioni di esercizio fino a 1000 V in c.a. e 1500 V in c.c.;
- Tabella CEI UNEL 35377: Descrive le prescrizioni costruttive e dimensionali dei cavi per energia tipo FG7OR-0,6/1kV;
- Tabella CEI UNEL 35752: Descrive le prescrizioni costruttive e dimensionali dei cavi per energia tipo NO7V-K;
- Norma UNI 11095 del 2011: Luce ed illuminazione – Illuminazione delle gallerie;
- UNI 11248: Illuminazione stradale – Selezione delle categorie illuminotecniche;
- UNI EN 13201-2: Illuminazione stradale – Requisiti prestazionali;
- UNI EN 13201-3: Illuminazione stradale – Calcolo delle prestazioni;
- UNI EN 13201-4: Illuminazione stradale – Metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche;
- Legge Regione Lombardia n.17/27 marzo 2000: Misure urgenti in tema di risparmio energetico ad uso di illuminazione esterna e di lotta all'inquinamento luminoso.

## 2.7 ESPROPRI

Le principali Leggi in materia espropriativa di cui è stato fatto riferimento sono:

- DPR 327 del 8 giugno 2001 e s.m.i. - Testo Unico delle Espropriazioni;
- Sentenza della Corte Costituzionale n. 348 del 24 ottobre 2007 (abrogazione art. 37 DPR 327/2001);
- Sentenza della Corte Costituzionale n. 181 del 10 Giugno 2011 (Dichiarazione di Incostituzionalità dei Valori Agricoli Medi - G.U. I<sup>a</sup> s.s. n. 26 del 15.06.2011);
- Sentenza della Corte Costituzionale n. 388 del 22.12.2012 (Dichiarazione di Incostituzionalità del art 37 comma 7 del DPR 327/2001 e s.m.i.).

## 3 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA

### 3.1 PREMESSA

Lo scopo della relazione geologica (Elaborato GEO 0001, cui si rimanda per i dettagli) è consistito nell'illustrare gli elementi utili ad individuare i principali aspetti progettuali riconducibili alla natura ed alle caratteristiche dei terreni attraversati dal tracciato, pertanto si è definito quanto segue:

- Unità geologiche (su base litologica) che tengano conto delle classificazioni litostratigrafiche e cronostratigrafiche convenzionali;
- Assetto geomorfologico del territorio;
- Schema idrogeologico generale, finalizzato ad esporre i dati ad oggi disponibili relativamente alla falda più superficiale.

I dati utilizzati per la redazione della carta geologica a scala 1:5000 e del profilo geologico longitudinale all'asse di progetto sono stati ricavati essenzialmente dall'analisi critica dei dati bibliografici, integrati da un'apposita campagna geognostica e da un censimento dei pozzi nell'intorno dell'asse di progetto (dati forniti da Provincia di Milano - SIA).

L'insieme delle attività citate ha permesso la realizzazione di una carta geologica a scala 1:5000 e di un profilo geologico longitudinale all'asse di progetto a scala orizzontale 1:5000 e verticale 1:500/1:5000.

### 3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE DELL'AREA IN ESAME

#### 3.2.1 Inquadramento geologico e paleogeografico

L'area del progetto è costituita da depositi quaternari di età compresa tra il Pleistocene inferiore e l'Attuale.

L'assetto dell'area d'interesse è guidato dagli eventi geologici che si sono succeduti dal Miocene superiore fino al Quaternario, con la deposizione, al di sopra del substrato lapideo pre-Pliocenico, di sedimenti dapprima marini e poi prevalentemente di tipo transizionale e continentale (depositi fluviali, glaciali e subordinatamente lacustri e palustri).

In seguito, con l'aumento dell'azione erosiva sulla terraferma, la depressione pedemontana venne ricoperta da potenti coltri ghiaiose, localmente cementate a dare il "Ceppo lombardo".

Durante il Pleistocene la fascia Alpina e la Pianura Padana vengono interessate da episodi glaciali - convenzionalmente raggruppati in cinque fasi Danau, Gunz, Mindel, Riss, Würm (di cui solo le ultime tre sono presenti nella nostra Regione). L'enorme quantità di materiali trasportata dai ghiacciai - provenienti dal Canton Ticino ("ghiacciaio del Faloppia") e dal Lario - e dalle acque di fusione, riempì le depressioni vallive, colmandole fino al livello del ripiano più elevato della pianura terrazzata. La deposizione di una vasta coltre di sedimenti glaciali nelle aree pedemontane costituì i primi anfiteatri morenici mentre nella media e bassa pianura si formarono depositi fluvioglaciali.

La massima espansione dei ghiacciai nell'area Prealpina, si ebbe durante il Mindel (le cerchie moreniche del Mindel sono le più sviluppate ed estese), mentre le morene del Riss e del Würm sono più interne e meno estese.

Il susseguirsi di periodi con climi sensibilmente differenti ha determinato successivi momenti di avanzata e di ritiro dei ghiacciai alpini, con relative fasi deposizionali e fasi erosive, e la conseguente formazione di depositi glaciali e fluvioglaciali.

Durante le fasi interglaciali si assiste all'erosione dei depositi accumulatisi da parte di corsi d'acqua e alla conseguente creazione di una serie di terrazzi, sui quali si rinvengono tipici depositi eolici di clima più arido (loess): attualmente i sistemi di terrazzi occupano la porzione media e alta della pianura, ai piedi degli anfiteatri morenici.

Studi più recenti hanno permesso di riconoscere, all'interno delle glaciazioni principali, ulteriori cicli di clima caldo/freddo e stanno portando al superamento delle classiche suddivisioni in Mindel - Riss - Würm (individuate in zone a nord delle Alpi) con il riconoscimento di glaciazioni locali.

Dal Pleistocene superiore all'Olocene, con il lento innalzamento dell'alta pianura, nei settori settentrionali vengono messe a giorno le unità più antiche: il conseguente smantellamento della catena porta alla deposizione di alluvioni.

Per quanto riguarda le unità riconosciute nelle carte geologiche di bibliografia (carta geologica a scala 1:100.000 e nuova cartografia CARG) occorre precisare che sono state redatte utilizzando differenti criteri di classificazione:

- il foglio Milano a scala 1:100.000 adotta ancora la suddivisione in depositi glaciali e fluvioglaciali Mindel/Riss/Wurm. Per quanto riguarda il sottosuolo, i vecchi studi (cfr. Pozzi e Francani, 1980) riconoscono la successione stratigrafica riportata nel seguente schema.
- il nuovo foglio CARG a scala 1:50.000, invece, adotta la suddivisione in alloformazioni, distinguendo in planimetria vari Supersintemi e Sintemi; tale classificazione non viene però estesa al sottosuolo in quanto difficilmente applicabile con dati derivati esclusivamente da stratigrafie di pozzi (eseguiti per altri scopi e per lo più a distruzione).

Il North American Stratigraphic Code definisce un'unità allostratigrafica come un corpo di rocce cartografabile, che differiscono dalle unità sottostanti e soprastanti semplicemente per il fatto di essere separate da esse mediante superfici di discontinuità; l'alloformazione comprende i sedimenti appartenenti ad un determinato evento deposizionale. La gerarchizzazione di queste unità è la seguente: allogruppo, alloformazione e allomembro.

In una unità allostratigrafica le caratteristiche interne (litologiche, tessiturali, fisiche, chimiche, paleontologiche, ecc.) possono variare sia lateralmente, sia verticalmente. I limiti delle unità allostratigrafiche sono costituiti da superfici di discontinuità cartografabili, ivi compresa l'attuale superficie topografica, che corrispondono a lacune stratigrafiche (per erosione o mancata sedimentazione) di estensione cronologica ed areale significativa.

L'interpretazione genetica, la storia geologica e l'età sono criteri che non possono essere utilizzati per definire un'unità allostratigrafica, ma possono però influenzare l'identificazione dei limiti. Suoli e paleosuoli non entrano direttamente nella definizione di unità allostratigrafiche, ma i caratteri dell'alterazione, i suoli e i paleosuoli possono concorrere a identificare le superfici che delimitano l'unità.

Dato che un'unità allostratigrafica è un corpo reale di sedimenti, essa è svincolata dai concetti di tempo abitualmente in uso in ambito geologico. Infatti le superfici limite delle unità non sono mai isocrone ossia non si sono formate nello stesso istante, ma sono più giovani, in genere a monte del bacino, e più vecchie a valle. Per questi motivi un'unità allostratigrafica non può essere attribuita ad un intervallo tempo definito.

Nella planimetria geologica allegata sono state adottate le suddivisioni proposte dal CARG mentre nel profilo geologico sono stati distinti terreni prevalentemente ghiaioso - sabbiosi da terreni con limi e argille prevalenti, introducendo così una discriminante di maggiore rilevanza geotecnica.

Nell'area del progetto la carta geologica 1:50.000 del CARG distingue in superficie la seguente unità: Supersintema di Besnate (Pleistocene superiore - tardo Pleistocene medio) costituito esclusivamente da depositi fluvioglaciali, caratterizzati da profili di alterazione moderatamente evoluti, che strutturano gran parte della pianura del Foglio Carg Milano. Il supersintema è stato istituito nell'anfiteatro del Verbano e progressivamente esteso all'intera Lombardia. Comprende depositi che dagli autori precedenti sono stati in parte attribuiti al Riss ed in parte al Wurm. In base alle relazioni morfologiche, il supersintema è stato suddiviso in numerose unità, leggermente differenti per sequenze sommitali, suoli supportati e composizione petrografica.

Il Supersintema di Besnate è costituito da depositi fluvioglaciali caratterizzati da: ghiaie a supporto clastico, con matrice sabbiosa o sabbioso limosa, da massive a grossolanamente stratificate; ghiaie a supporto di matrice; sabbie medie e grossolane. Sono presenti clasti poligenici da arrotondati a subarrotondati, in prevalenza centimetrici.

Il supersintema di Besnate è un'unità polifasica pre-ultima glaciazione; i rapporti sono stati stabiliti in base alle relazioni geometriche e morfologiche con le fronti glaciali immediatamente esterne a quelle più recenti dell'anfiteatro canturino. In area Verbana, la radiodazione di suoli sepolti attribuiti a questo supersintema ha fornito età comprese tra 26.500 e 32.000 anni.

Nell'area di progetto è presente l'Unità di Guanzate:

Unità di Guanzate BEZ (Pleistocene medio-sup.): è costituita da ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa o sabbioso limosa e localmente sabbie limose con clasti residuali (attribuibili a depositi fluvioglaciali).

L'alterazione interessa circa il 40% dei clasti. La superficie limite superiore è caratterizzata da suoli da evoluti a moderatamente evoluti, con spessori inferiori a 2 m; i colori della matrice variano da 7.5 YR a 10 YR. Non è stata osservata la presenza di copertura loessica.

Il limite inferiore dell'unità è costituita da una superficie erosionale che taglia il sintema di Binago; il limite superiore coincide in parte con la superficie topografica, in parte con una superficie erosionale su cui giacciono i depositi di piana alluvionale del Sintema di Cantù.

### 3.2.2 Inquadramento geomorfologico

L'area oggetto di studio si trova nella media pianura lombarda e gli elementi geomorfologici sono connessi alle fasi erosionali di ambiente fluviale pleistoceniche ed oloceniche e, soprattutto, alle modifiche apportate dall'attività antropica a partire dal XIII secolo. Il territorio risulta prevalentemente pianeggiante, con quote che degradano dolcemente da circa 170 a 150 m s.l.m. da NO a SE.

Le caratteristiche morfologiche generali dell'area considerata sono il risultato di diversi processi:

- Fasi glaciali recenti
- Dinamica dei corsi d'acqua
- Intensa attività di rielaborazione del territorio ad opera dell'uomo, particolarmente importante in quest'area

L'assetto morfologico del territorio è costituito da un'estesa piana fluvio-glaciale, incisa dai Torrenti Pudica/Mussa, Garbogera, Seveso e Lambro e caratterizzata da variazioni altimetriche molto limitate (una decina di m).

A piccola scala, risultano estremamente importanti i processi legati all'azione delle acque di deflusso superficiali e soprattutto all'azione dell'uomo (l'area è caratterizzata, infatti, da un'elevata urbanizzazione che ne condiziona l'assetto attuale) che ha comportato una profonda modificazione del paesaggio.

### 3.2.3 Corsi d'acqua naturali e canali artificiali

La zona è caratterizzata da un reticolo idrografico naturale e da una rete di canali artificiali molto sviluppata ed articolata e suddivisa, in funzione dell'utilizzo e della portata, in rogge, canali irrigui e canali scolmatori. Entrambi i sistemi risultano molto spesso ritombati parzialmente/totalmente, in particolar modo in corrispondenza dei centri abitati.

I corsi d'acqua naturali scorrono da Nord a Sud in accordo con la morfologia della media pianura lombarda che ha una superficie debolmente inclinata (0.3%) verso Sud (da ovest verso est si ritrovano i fiumi Seveso e Lambro); i canali artificiali, invece, hanno uno sviluppo dipendente dal loro utilizzo (es. irriguo) e dal contesto urbano in cui sono inseriti e sono tutti riconducibili al sistema del Canale Villoresi (a nord).

## 3.3 CONSIDERAZIONI SULLA CIRCOLAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Nel sottosuolo dell'area milanese sono state riconosciute, a fini idrogeologici, tre complessi acquiferi principali (Pozzi e Francani, 1980):

- I acquifero: secondo la vecchia classificazione in unità litostratigrafiche, corrisponde ai depositi wurmiani prevalentemente grossolani con scarsi diaframmi argillosi. Lo spessore medio a Milano è di circa 35÷40 m; è sede di un acquifero libero, che trae alimentazione per lo più dall'infiltrazione superficiale delle acque meteoriche e irrigue. Lo spessore del I acquifero è limitato nell'area a N (~ 15 m a Seregno), raggiunge i valori massimi alla periferia settentrionale di Milano (più di 50 m a Nova Milanese) e termina a cuneo a S di Milano (tra Opera e Pieve Emanuele). Qui l'acquifero è ridotto a pochi m di spessore, al di sotto di limi argillosi superficiali che generano l'allineamento meridionale dei fontanili.
- Il acquifero: corrisponde ai depositi fluvio-glaciali Riss e Mindel, costituiti da una successione sabbioso-ghiaiosa (talora con livelli cementati) con setti argillosi più frequenti e continui. Si trova tra circa 40 m di profondità da p.c. a circa 110 m; le falde contenute sono semi-confinata e localmente confinata; i livelli argillosi non sono continui quindi l'alimentazione avviene sia da monte (ove l'unità affiora) sia per scambio con la prima falda nei tratti in cui sono intercomunicanti.  
 Il II acquifero si raccorda a N con i terrazzi fluvio-glaciali della Brianza che costituiscono l'area di alimentazione dalla superficie. La separazione tra il I ed il II acquifero avviene tramite lenti poco

permeabili (aquitardi) di spessore variabile, da 5 a 20 m, e spesso discontinue. Tale orizzonte semipermeabile può essere individuato con una discreta continuità nella porzione meridionale dell'area, mentre tende ad assottigliarsi e progressivamente a scomparire verso Nord, dove non si ha più la distinzione tra gli acquiferi. Di conseguenza, nella parte nord del dominio di studio è presente la sola falda libera (una sola unità ghiaioso - sabbiosa), mentre nella parte a sud troviamo due unità ghiaiose - sabbiose separate da uno strato di argilla e limo.

- III acquifero: è contenuto nei livelli sabbiosi e ghiaiosi all'interno dei depositi prevalentemente fini Villafranchiani. Si trova a profondità superiori ai 100÷110 m. E' un acquifero multistrato ben separato dagli acquiferi sovrastanti e viene alimentato da monte o dalle zone in cui gli orizzonti impermeabili sono discontinui. Il "tetto" del terzo acquifero, infatti, ha un andamento molto irregolare in quanto eroso profondamente da paleovalli che sono state successivamente riempite dai depositi appartenenti al secondo acquifero; è in corrispondenza di queste paleodepressioni che avviene l'alimentazione dell'acquifero più profondo che altrimenti non sarebbe ricaricato.

Nella più recente suddivisione in unità idrostratigrafiche proposta dalla Regione Lombardia -ENI (2002) si identificano i seguenti gruppi acquiferi:

- Gruppo acquifero A: corrisponde alla porzione più superficiale dell'acquifero tradizionale (I acquifero) che si presenta generalmente libero. Le litologie sono grossolane: ghiaie poligeniche a matrice sabbiosa con intervalli sabbiosi subordinati. L'ambiente deposizionale è di tipo continentale (piana alluvionale con sistemi fluviali di tipo braided);
- Gruppo acquifero B: corrisponde alla porzione di acquifero tradizionale più profondo, generalmente confinato o semi-confinato (II acquifero). I sedimenti sono costituiti da sabbie e ghiaie a matrice sabbiosa; i sedimenti fini sono limitati alla parte bassa della successione, con intercalazioni di argille e limi argillosi di spessore fino a metrico. Alla base sono talora presenti livelli cementati. L'ambiente deposizionale è di tipo continentale (piana alluvionale con sistemi fluviali di tipo braided);
- Gruppo acquifero C: è costituito da prevalenti argille limoso-sabbiose grigie di ambiente continentale/transizionale con subordinati livelli sabbioso - ghiaiosi che possono raggiungere spessori di 10-30 m e sono dei buoni serbatoi d'acqua; (Villafranchiano). L'ambiente deposizionale è molto vario: depositi marini di piattaforma si alternano a depositi transizionali deltizi e litorali e depositi continentali di piana alluvionale con sistemi fluviali a meandri;
- Gruppo acquifero D: è costituito da argille limose e limi con intercalazioni di sabbia fine e finissima in strati sottili alla base, sabbia fine e media nella parte mediana e ghiaia grigia alternata a sabbia nella parte alta. L'ambiente deposizionale è quello di delta-conoide.

### 3.4 REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA

Sulla base dei dati bibliografici e dei sopralluoghi è stato possibile ricostruire una carta geologica alla scala 1:5000, corredata del relativo profilo longitudinale (tracciato a 35 m a nord dell'asse autostradale) in maniera tale da definire le unità presenti nell'area d'interesse progettuale; il tutto in analogia alle suddivisioni adottate nell'ambito della carta geologica CARG alla scala 1:50.000 (Foglio Milano).

La distinzione utilizzata dagli autori CARG per distinguere le differenti unità non tiene conto di criteri puramente litologici; i depositi, infatti, sono riconducibili ad eventi deposizionali geneticamente assimilabili, ma differiti nel tempo e quindi tutte le unità presentano caratteristiche granulometriche simili e si differenziano fra loro in base a criteri prevalentemente geometrici (sovrapposizione reciproca). Analogamente non è applicabile un criterio di tipo paleontologico a causa della scarsità di fossili ed al loro rimaneggiamento. Viceversa la distinzione dei differenti corpi geologici è stata affidata a fattori rilevabili in sito quali la morfologia (terrazzi, salti e ribassi morfologici, ecc.) ed il grado d'alterazione (colore).

I più recenti studi geologico - geomorfologici (progetto CARG della Regione Lombardia) hanno superato le vecchie suddivisioni legate alle fasi glaciali Mindel – Riss – Wurm (nate per zone Oltralpe), ed hanno adottato una differente classificazione basata sulle alloformazioni.

In linea con questa definizione il progetto di cartografia geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Progetto CARG) stabilisce che la classificazione stratigrafica dei depositi quaternari di pianura, debba basarsi sulla litologia relativa a ciascun ambiente deposizionale e sulla presenza di discontinuità o interruzioni di sedimentazione (limiti non conformi) portando alla distinzione di unità stratigrafiche definite sistemi e subsistemi.

Gli studi CARG relativi alla zona in esame sono tuttora in corso e considerato che, fermo restando il loro significato scientifico, il valore aggiunto dei criteri da esso adottati appare modesto in riferimento alle tematiche squisitamente applicative, si è deciso di riportare in planimetria le suddivisioni in Sistemi mentre nel profilo



geologico sono stati distinti i terreni prevalentemente granulari ghiaioso - sabbiosi dai terreni prevalentemente coesivi limoso - argillosi, introducendo così una discriminante di maggiore rilevanza geotecnica.

Nella planimetria geologica sono state riportate le seguenti unità allostratigrafiche:

- Unità di Guanzate BEZ (Pleistocene medio-sup.): è costituita da ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa o sabbioso limosa e localmente sabbie limose con clasti residuali (attribuibili a depositi fluvioglaciali). L'alterazione interessa circa il 40% dei clasti. La superficie limite superiore è caratterizzata da suoli da evoluti a moderatamente evoluti, con spessori inferiori a 2 m; i colori della matrice variano da 7.5 YR a 10 YR. Non è stata osservata la presenza di copertura loessica. Il limite inferiore dell'unità è costituita da una superficie erosionale che taglia il sintema di Binago; il limite superiore coincide in parte con la superficie topografica, in parte con una superficie erosionale su cui giacciono i depositi di piana alluvionale del Sintema di Cantù.

La carta di inquadramento idrogeologico è stata concepita in maniera tale da distinguere i seguenti elementi:

- Le curve piezometriche della falda freatica con equidistanza di 5 m e relativo valore in metri da p.c.; tale andamento, riferibile a settembre 2013, settembre 2012, settembre 2011 e settembre 2007, è stato elaborato dalla Provincia di Milano. In particolare la piezometria ricostruita dalla Provincia tende a diminuire da nord a sud con valori compresi tra 130 e 125 m s.l.m. La piezometria ricostruita dalla Provincia relativa a settembre 2007 presenta lo stesso trend ma con valori compresi tra 120 e 115 m s.l.m. La differenza negli anni presi in considerazioni indica dunque un generale innalzamento;
- La classificazione dei pozzi in funzione del loro utilizzo;
- I complessi idrogeologici.

## 4 L'INFRASTRUTTURA IN PROGETTO

### 4.1 ASSE STRADALE

#### 4.1.1 Progetto

Il progetto prevede il riassetto dell'attuale svincolo autostradale per l'adeguamento alla nuova struttura prevista per la quarta corsia dinamica dell'autostrada A4 nel tratto compreso tra lo svincolo di Viale Certosa e lo svincolo di Sesto San Giovanni, attualmente in fase di realizzazione.

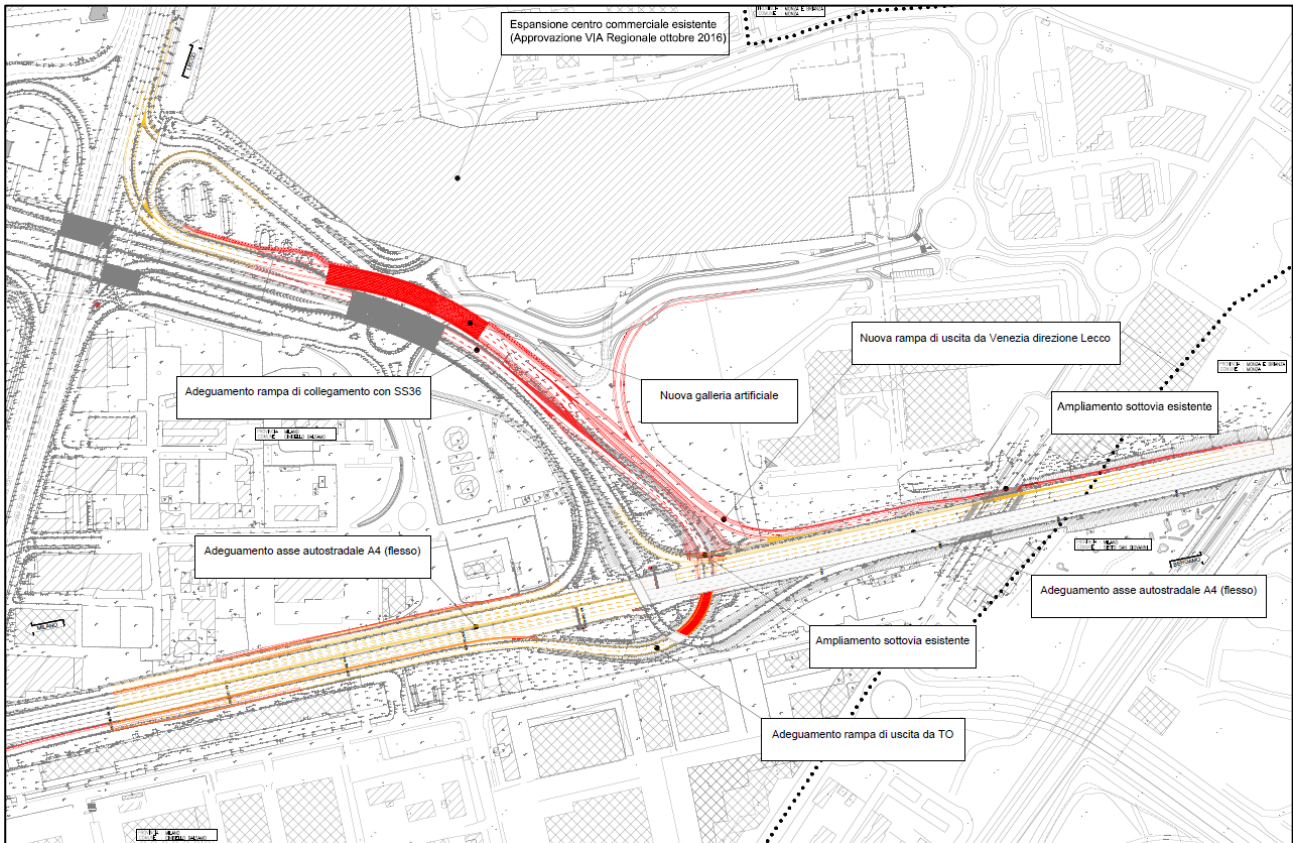


Figura 4.1 - Inquadramento generale adeguamento svincolo di Sesto San Giovanni

Si riportano nel seguito gli assi stradali in nuova realizzazione o in adeguamento come riportati negli specifici elaborati tecnici:

- Asse principale A4 TO-VE: adeguamento autostradale mediante inserimento di un flesso planimetrico;
- Rampa LC-TO: adeguamento rampa esistente;
- Rampa TO-LC: adeguamento rampa esistente ed inserimento di nuovo tratto nella futura galleria artificiale di progetto;
- Corsia di uscita da A4 dir. MI: ampliamento corsia di uscita esistente;
- Corsia di uscita da A4 dir. LC: nuova corsia di uscita in affiancamento alla preesistente corsia di uscita da A4 dir. MI in ampliamento;
- Rampa di uscita da A4 dir. MI: adeguamento rampa esistente;
- Rampa di uscita da A4 dir. LC: nuova rampa in progetto che si collega sul nuovo tratto della rampa TO-LC;
- Rampa TO-MI: adeguamento rampa esistente;
- Rampa di uscita su via Galilei: nuova rampa in progetto uscente dalla nuova rampa di uscita da A4 dir. LC;
- Rampa di uscita su via Bettola: adeguamento rampa esistente;
- Rampa di ingresso su SS36: nuova rampa in progetto in ampliamento alla SS36 esistente.

Sui suddetti assi stradali sono state svolte le analisi plano-altimetriche secondo quanto previsto dalla normativa cogente per ciascun caso.

#### 4.1.2 Inquadramento normativo

Le caratteristiche geometriche delle rampe in progetto sono congruenti con le indicazioni contenute nelle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali" (Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 19/04/2006). Tali normative sono cogenti per tutte le opere di nuova realizzazione, mentre sono di riferimento per gli adeguamenti.

Nel caso in oggetto sono di riferimento.

Le rampe di svincolo sono state inquadrate, ai fini della classificazione delle tipologie di rampe previste dal DM 19/04/2006, come rampe aventi intervallo di velocità compreso tra 40 e 60 km/h (Tipo 2).

La verifica di rispondenza alla norma DM 05.11.2001 ha considerato anche gli aspetti correlati alle prestazioni dell'infrastruttura.

Non sono stati previsti allargamenti delle corsie per l'iscrizione dei veicoli pesanti avendone comunque verificato l'inscrivibilità sulla rampa monodirezionale a 2 corsie tramite specifiche analisi software (autotrack).

#### 4.1.3 Criteri progettuali

Gli standard di progettazione descritti nel seguito riprendono i criteri di norma.

Le caratteristiche stradali delle rampe sono state definite a partire dagli intervalli di velocità indicati nella tabella 7 del paragrafo 4.7.1 del D.M. 19/04/2006 e riportati per completezza nella tabella seguente:

Tabella 4-1. Velocità di progetto per le varie tipologie di rampe

Tipi di rampe	Intersezione Tipo 1, escluse B/B, D/D, B/D, D/B		Intersezione Tipo 2, e B/B, D/D, B/D, D/B	
Diretta	50-80 km/h		40-60 km/h	
Semidiretta	40-70 km/h		40-60 km/h	
Indiretta	in uscita da A	40 km/h	in uscita dalla strada di livello gerarchico superiore	40 km/h
	in entrata su A	30 km/h	in entrata sulla strada di livello gerarchico superiore	30 km/h

La progettazione dell'intervento è stata condotta con particolare riferimento ai seguenti aspetti della progettazione stradale:

- Geometria degli elementi modulari delle rampe;
- Larghezza degli elementi modulari delle rampe (sezione tipo);
- Visibilità.

#### **Geometria degli elementi modulari delle rampe**

Con riferimento alla geometria degli elementi modulari delle rampe, secondo quanto previsto esplicitamente nel D.M. 19/04/2006 e facendo anche riferimento ai rimandi che questa fa al D.M. 05/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", la progettazione ha garantito il rispetto dei parametri minimi dei seguenti elementi plano-altimetrici :

- a) Raggi minimi planimetrici;
- b) Parametri minimi e massimi delle clotoidi;

- c) Pendenze longitudinali massime;
- d) Raggi altimetrici minimi (raccordi concavi e convessi).

a) Raggio minimo delle curve planimetriche.

Le curve circolari garantiscono raggi coincidenti o superiori al raggio minimo previsto dal D.M. 19/04/2006 che risulta in funzione della velocità minima dell'intervallo di progetto.

Tabella 4-2. Raggi minimi delle rampe in funzione della velocità di progetto minima

Velocità di progetto minima	(km/h)	30	40	50	60	70	80
Raggio planimetrico minimo	(m)	25	45	75	120	180	250

b) Parametro A degli elementi a curvatura variabile (Clotoidi).

Per la verifica del parametro A delle curve a raggio variabile, si è fatto riferimento ai criteri contenuti nel D.M. 05/11/2001 che prevede il rispetto delle verifiche sotto riportate:

*criterio 1 (Limitazione del contraccollo)*

Affinché lungo un arco di clotoide si abbia una graduale variazione dell'accelerazione trasversale non compensata nel tempo (contraccollo), fra il parametro A e la massima velocità V (km/h), desunta dal diagramma di velocità, per l'elemento di clotoide deve essere verificata la relazione:

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{v^3}{c} - \frac{gvR \cdot (q_f - q_i)}{c}}$$

dove:

- c = contraccollo;
- v = massima velocità (m/s), desunta dal diagramma di velocità, per l'elemento di clotoide considerato;
- q<sub>i</sub> = pendenza trasversale nel punto iniziale della clotoide;
- q<sub>f</sub> = pendenza trasversale nel punto finale della clotoide;
- g = accelerazione di gravità.

Ponendo  $c = \frac{14}{v(m/s)} = \frac{50.4}{V(km/h)}$  si ottiene:

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{v^4}{14} - \frac{gv^2R \cdot (q_f - q_i)}{14}} = \frac{v}{\sqrt{14}} \sqrt{v^2 - gR \cdot (q_f - q_i)}$$

che, esprimendo la velocità in km/h diviene:

$$A_{\min} = \frac{V}{3,6\sqrt{14}} \sqrt{\frac{V^2}{12,96} - gR \cdot (q_f - q_i)}$$

*criterio 2 (Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata)*

Nelle sezioni di estremità di un arco di clotoide la carreggiata stradale presenta differenti pendenze trasversali, che vanno raccordate longitudinalmente, introducendo una sovrappendenza nelle linee di estremità della carreggiata rispetto alla pendenza dell'asse di rotazione. Nel caso in cui il raggio iniziale sia di valore infinito (rettilineo o punto di flesso), il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{R}{\Delta i_{\max}} \times 100 \times B_i |q_i + q_f|}$$

dove:

- $B_i$  = distanza fra l'asse di rotazione ed il ciglio della carreggiata nella sezione iniziale della curva a raggio variabile;
- $\Delta i_{max}$  (%) = sovrappendenza longitudinale massima della linea costituita dai punti che distano  $B_i$  dall'asse di rotazione; in assenza di allargamento tale linea coincide con l'estremità della carreggiata;
- $q_i = \frac{i_{ci}}{100}$  dove  $i_{ci}$  = pendenza trasversale iniziale
- $q_f = \frac{i_{cf}}{100}$  con  $i_{cf}$  = pendenza trasversale finale
- $|q_i + q_f|$  è il valore assoluto della somma delle pendenze trasversali

Nel caso di curve di continuità il medesimo criterio diventa:

$$A \geq A_{min} = \frac{B_i \cdot (|q_f| - |q_i|)}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_f}\right) \cdot \frac{\Delta i_{max}}{100}}}$$

*Criterio 3 (Ottico)*

Per garantire la percezione ottica del raccordo e del successivo cerchio deve essere verificata la relazione:

$$R/3 \leq A \leq R$$

che, nel caso di clotoidi di continuità, diventa:

$$R_2/3 \leq A \leq R_1$$

dove  $R_1$  è il raggio minore ed  $R_2$  il raggio maggiore dei due cerchi raccordati con la clotoide di continuità.

Oltre ai criteri precedentemente descritti si è proceduto alla verifica del rapporto  $A_E/A_U$  delle due clotoidi in ingresso e in uscita da una curva circolare e del rapporto  $A_1/A_2$  tra due clotoidi in un flessio asimmetrico, secondo quanto prescritto dal DM2001:

$$2/3 \leq A_E/A_U \leq 3/2 \quad 2/3 \leq A_1/A_2 \leq 3/2$$

c) Pendenze longitudinali massime

La pendenza massima delle livellette, consentita dal D.M. 19/04/2006, è funzione della velocità di progetto come riportato in tabella 9.

Tabella 4-3. Pendenze massime delle rampe

Velocità di progetto minima	(km/h)	30	40	50	60	70	80
Pendenza massima in salita	(%)	10	7.0		8.0		
Pendenza massima in discesa	(%)	10	8.0		6.0		

d) Raccordi verticali concavi e convessi minimi

Per la verifica dei raccordi verticali concavi e convessi minimi si è fatto riferimento ai criteri contenuti nel D.M. 05/11/2001 che prevede il rispetto delle verifiche sotto riportate:

*Raccordi verticali convessi*

In base a quanto indicato dalla norma il raggio minimo dei raccordi verticali convessi (dossi) viene determinato come di seguito:

- se D è inferiore allo sviluppo L del raccordo si ha

$$R_v = \frac{D^2}{2 \cdot (h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2})}$$

- se invece D > L

$$R_v = \frac{2 \cdot 100}{\Delta i} \cdot \left[ D - 100 \cdot \frac{h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2}}{\Delta i} \right]$$

dove:

- R<sub>v</sub> = raggio del raccordo verticale convesso [m]
- D = distanza di visibilità da realizzare per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso [m]
- Δi = variazione di pendenza delle due livellette, espressa in percento
- h<sub>1</sub> = altezza sul piano stradale dell'occhio del conducente [m]
- h<sub>2</sub> = altezza dell'ostacolo [m]

Si pone di norma h<sub>1</sub> = 1.10 m. In caso di visibilità per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso, si pone h<sub>2</sub> = 0.10 m. In caso di visibilità necessaria per il cambiamento di corsia si pone h<sub>2</sub> = 1.10 m.

*Raccordi verticali concavi*

In base a quanto indicato dalla norma il raggio minimo dei raccordi verticali concavi (sacche) viene determinato come di seguito:

- se D è inferiore allo sviluppo del raccordo si ha

$$R_v = \frac{D^2}{2 \cdot (h + D \cdot \sin \vartheta)}$$

- se invece D > L

$$R_v = \frac{2 \cdot 100}{\Delta i} \cdot \left[ D - \frac{100}{\Delta i} \cdot (h + D \cdot \sin \vartheta) \right]$$

dove:

- R<sub>v</sub> = raggio del raccordo verticale concavo [m]
- D = distanza di visibilità da realizzare per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso [m].
- Δi = variazione di pendenza delle due livellette espressa in percento
- h = altezza del centro dei fari del veicolo sul piano stradale
- ϑ = massima divergenza verso l'alto del fascio luminoso rispetto l'asse del veicolo.

Si pone di norma h = 0.5 m e ϑ = 1°.

### Larghezza degli elementi modulari delle rampe: sezioni tipo delle rampe e delle corsie specializzate

Per quanto riguarda le larghezze degli elementi modulari delle rampe di progetto di nuova realizzazione si rimanda alle sezioni tipo contenute nell'elaborato di sezioni tipo.

Tali sezioni tipologiche di progetto rappresentano la sintesi delle indicazioni contenute nella Tabella 9 del paragrafo 4.7.3 del D.M. 19/04/2006 che, relativamente al caso di strade extraurbane, fornisce le indicazioni sulle larghezze minime da adottarsi come riportato nella seguente tabella:

Tabella 4-4. Larghezze degli elementi modulari

Strade extraurbane				
Elemento modulare	Tipo di strada principale	Larghezza corsie (m)	Larghezza banchina in destra (m)	Larghezza banchina in sinistra (m)
Corsie specializzate di uscita e di immissione	A	3.75	2.50	-
	B	3.75	1.75	-
Rampe monodirezionali	A	1 corsia: 4.00	1.00	1.00
		2 corsie: 2 x 3.50		
	B	1 corsia: 4.00	1.00	1.00
		2 corsie: 2 x 3.50		
Rampe bidirezionali	A	1 corsia: 3.50	1.00	-
	B	1 corsia: 3.50	1.00	-

### Visibilità

Per distanza di visuale libera (DVL) si intende la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé senza considerare l'influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e di illuminazione della strada.

Secondo quanto indicato dalle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (D.M. 05/11/2001, prot. N° 6792), lungo il tracciato stradale la distanza di visuale libera deve essere confrontata, con le seguenti distanze:

- Distanza di visibilità per l'arresto che è pari allo spazio minimo necessario perché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto.
- Distanza di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia che è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per il passaggio da una corsia a quella ad essa adiacente nella manovra di deviazione in corrispondenza di punti singolari (intersezioni, uscite, ecc...).

Per il calcolo della *distanza di visibilità per l'arresto* è stata utilizzata la formula riportata al paragrafo 5.1.2. del D.M. 05/11/2001. Si è valutata la distanza di arresto punto per punto (passo 5 metri) in funzione della velocità di progetto e della pendenza longitudinale con la seguente espressione:

$$D_A = D_1 + D_2 = \frac{V_0}{3,6} \times \tau - \frac{1}{3,6^2} \int_{V_0}^{V_1} \frac{V}{g \times \left[ f_l(V) \pm \frac{i}{100} \right] + \frac{Ra(V)}{m} + r_0(V)} dV \quad [m]$$

dove:

- $D_1$  = spazio percorso nel tempo  $\tau$
- $D_2$  = spazio di frenatura
- $V_0$  = velocità del veicolo all'inizio della frenatura [km/h]
- $V_1$  = velocità finale del veicolo, in cui  $V_1 = 0$  in caso di arresto [km/h]
- $i$  = pendenza longitudinale del tracciato [%]
- $\tau$  = tempo complessivo di reazione (percezione, riflessione, reazione e attuazione) [s]
- $g$  = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>]
- $Ra$  = resistenza aerodinamica [N]
- $m$  = massa del veicolo [kg]
- $f_l$  = quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura
- $r_0$  = resistenza unitaria al rotolamento, trascurabile [N/kg]

Per il tempo complessivo di reazione si sono assunti valori linearmente decrescenti con la velocità da 2,6 s per 20 km/h, a 1,4 s per 140 km/h, in considerazione della attenzione più concentrata alle alte velocità:

$$\tau = (2,8 - 0,01V) \quad [s] \quad \text{con } V \text{ in km/h}$$

Per  $f_l$  possono adottarsi le due serie di valori di seguito riportate, una relativa e l'altra valida per tutti gli altri tipi di strade. Tali valori sono compatibili anche con una superficie stradale leggermente bagnata (spessore del velo idrico di 0.5mm)

Tabella 4-5. Coefficienti di aderenza longitudinale

VELOCITA' [km/h]	25	40	60	80	100	120	140
$f_l$ Autostrade	-	-	-	0.44	0.40	0.36	0.34
$f_l$ Altre strade	0,45	0.43	0.35	0.30	0.25	0.21	-

Per la verifica della *distanza di visibilità per la manovra del cambiamento di corsia*, è stata utilizzata la formula riportata al paragrafo 5.1.2. del D.M. 05/11/2001.

Si valuta lo spazio necessario con la seguente espressione; nella quale i 9,5 secondi comprendono i tempi necessari per percepire e riconoscere la situazione e per la decisione ed effettuazione della manovra di cambiamento di una sola corsia (4 secondi).

$$D_c = 9,5 \times v = 2,6V$$

dove:  $D_c$  è espresso in metri;  $v$  = velocità del veicolo in [m/s], op.  $V$  in [km/h], desunta puntualmente dal diagramma delle velocità (cfr. par. 5.4 del D.M. 05/11/2001).

#### 4.1.4 Andamento plano-altimetrico di progetto

Nelle seguenti tabelle vengono sintetizzati gli elementi planimetrici che compongono gli assi di progetto.

In colonna (5) è riportato il tipo di elemento planimetrico considerato utilizzando le seguenti abbreviazioni:

- R = Rettifilo
- C= Curva Circolare
- AT=Curva a raggio variabile di transizione
- AF=Curva a raggio variabile di flesso
- AC=Curva a raggio variabile di continuità

In colonna (6) è indicato il valore del raggio delle curve circolari e del parametro A delle clotoidi (ove presenti). In colonna (7) è indicato il verso di percorrenza delle curve circolari nella direzione delle progressive crescenti (DX = curva destrorsa, SX = curva sinistrorsa), mentre in colonna (8) si riporta il valore medio delle pendenze



trasversali (indicate con segno negativo per le curve in contropendenza). Dove necessario, nei casi di piattaforma a doppia falda o a carreggiate separate, la colonna (8) è stata sdoppiata in modo da indicare il valore medio delle pendenze trasversali su ciascuna di esse. In colonna (9) è riportato per ogni elemento il valore massimo della velocità di progetto dedotto dal diagramma delle velocità.

Per quanto concerne gli elementi planimetrici che non rispettano le indicazioni normative di riferimento vengono indicati i valori minimi (o massimi) dei parametri che permettono di ricondurre l'elemento a quanto indicato dalla norma ed il motivo della non congruenza secondo quanto riportato nel paragrafo relativo ai criteri progettuali. La non congruenza sarà riportata nella colonna (13).

Si riportano altresì i diagrammi delle velocità ricostruiti secondo quanto previsto dal punto 5.4 del D.M. n.6792/2001 e per comodità di lettura anche l'andamento delle curvature planimetriche.

*Tabella 4-6. Riepilogo delle caratteristiche planimetriche e verifica ASSE PRINCIPALE A4 TO-VE*

Elem	Prognizio (m)	ProgFine (m)	Lungh (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic dx	ic sx	Vp	Lmin/max	Pmin/Pmax	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	19.974	19.974	R					100.00	150.00		NO	Innesto su esistente
2	19.974	116.966	96.992	C	5250.00	SX	-1.82	-1.23	100.00				
3	116.966	336.931	219.965	C	5250.00	DX	-1.56	-1.65	100.00				
4	336.931	436.634	99.703	C	5250.00	SX	-2.25	-1.39	100.00				
5	436.634	438.466	1.832	R					100.00	150.00		NO	Innesto su esistente

*Tabella 4-7. Riepilogo delle caratteristiche planimetriche e verifica RAMPA LC-TO*

Elem	Prognizio (m)	ProgFine (m)	Lungh (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/Pmax	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	17.900	17.900	C	5236.62	DX	2.83	60.00				
2	17.900	238.426	220.526	C	5263.38	SX	-2.84	60.00		≥2.50	NO	ic come esistente
3	238.426	335.170	96.744	C	5236.62	DX	3.01	60.00				
4	335.170	355.195	20.025	R				60.00				

*Tabella 4-8. Riepilogo delle caratteristiche planimetriche e verifica RAMPA TO-LC*

N	Prog. Inizio (m)	Prog. Fine (m)	Lungh. (m)	Tipo Elem	Parametro	Vs	ic (%)	Vp (km/h)	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	5.096	5.096	R	0.00			60.0				
2	5.096	38.250	33.154	C	1150.00	SX	2.50	60.0				
3	38.250	61.761	23.511	C	1153.50	DX	2.50	60.0				
4	61.761	124.463	62.703	C	5262.67	SX	2.50	60.0				
5	124.463	290.345	165.881	C	5237.33	DX	2.50	60.0				
6	290.345	324.678	34.334	AC	80.00	DX		60.0	1745.78		NO	(h3)
7	324.678	349.195	24.517	C	180.00	DX	5.35	60.0				
8	349.195	384.751	35.556	AT	80.00	DX		60.0				
9	384.751	392.769	8.019	R	0.00			60.0				
10	392.769	441.769	49.000	AT	70.00	SX		59.3				
11	441.769	451.374	9.605	C	100.00	SX	7.00	49.5				
12	451.374	471.018	19.645	AC	49.00	SX		47.6				
13	471.018	487.227	16.209	C	55.00	SX	7.00	43.6				
14	487.227	494.064	6.836	AC	47.00	SX		42.4				
15	494.064	516.553	22.489	C	47.00	SX	7.00	40.8				
16	516.553	531.996	15.443	AC	47.00	SX		43.9				
17	531.996	540.298	8.302	C	70.00	SX	7.00	45.6				
18	540.298	574.001	33.704	AC	70.00	SX		52.6				
19	574.001	586.247	12.246	C	135.00	SX	6.43	55.1				
20	586.247	639.765	53.519	AF	85.00	SX		60.0				
21	639.765	668.665	28.900	AF	85.00	DX		60.0				
22	668.665	673.541	4.876	C	250.00	DX	4.33	60.0				
23	673.541	702.441	28.900	AF	85.00	DX		60.0				
24	702.441	738.566	36.125	AF	85.00	SX		60.0				
25	738.566	758.356	19.790	C	200.00	SX	5.00	60.0				
26	758.356	789.622	31.266	C	1150.00	SX	2.50	60.0				
27	789.622	940.697	151.075	C	351.50	SX	3.48	60.0				
28	940.697	1064.956	124.259	C	1150.00	DX	2.50	60.0				
29	1064.956	1091.230	26.273	C	75.00	DX	7.00	49.8				
30	1091.230	1105.897	14.667	AC	55.00	DX		46.9	55.00	NO	A>R	(h3)
31	1105.897	1126.353	20.456	C	55.00	DX	7.00	43.6				
32	1126.353	1141.020	14.667	AC	55.00	DX		46.5	55.00	NO	A>R	(h3)
33	1141.020	1144.879	3.859	C	75.00	DX	7.00	47.3				
34	1144.879	1192.879	48.000	AT	60.00	DX		56.9	62.24	NO		(h1)
35	1192.879	1219.493	26.614	R	0.00			60.0				

Tabella 4-9. Riepilogo delle caratteristiche planimetriche e verifica CORSIA DI USCITA DA A4 DIR. MI

Elem	Prognizio (m)	ProgFine (m)	Lungh (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/Pmax	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	120.000	120.000	R				60.00				
2	120.000	173.855	53.855	C	1150.00	DX	1.82	60.00				
3	173.855	225.920	52.065	C	1150.00	SX	-2.41	60.00		≥2.50	NO	ic come esistente
4	225.920	411.082	185.162	R				60.00				

Tabella 4-10. Riepilogo delle caratteristiche planimetriche e verifica CORSIA DI USCITA DA A4 DIR. LC

Elem	Prognizio (m)	ProgFine (m)	Lungh (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/Pmax	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	114.537	114.537	R				60.00				

Tabella 4-11. Riepilogo delle caratteristiche planimetriche e verifica RAMPA DI USCITA DA A4 DIR. MI

Elem	Prognizio (m)	ProgFine (m)	Lungh (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/Pmax	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	37.448	37.448	R				60.00				
2	37.448	82.903	45.455	AT	50.00	DX		53.00			NO	Criterio 1 - Contraccollo - And. Esistente
3	82.903	104.115	21.212	C	55.00	DX	4.78	44.00		≥7.00	NO	ic come esistente
4	104.115	149.569	45.454	AT	50.00	DX		53.00			NO	Criterio 1 - Contraccollo - And. Esistente
5	149.569	149.938	0.369	R				53.00				

Tabella 4-12. Riepilogo delle caratteristiche planimetriche e verifica RAMPA DI USCITA DA A4 DIR. LC

Elem	Prognizio (m)	ProgFine (m)	Lungh (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/Pmax	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	66.612	66.612	AT	73.00			60.00				
2	66.612	76.638	10.026	C	80.00	DX	7.00	51.00				
3	76.638	143.251	66.613	AT	73.00			60.00				
4	143.251	146.534	3.283	R				60.00				
5	146.534	310.228	163.694	C	1700.00	SX	0.36	60.00				
6	310.228	315.836	5.608	R	0.00			60.00				

Tabella 4-13. Riepilogo delle caratteristiche planimetriche e verifica RAMPA TO-MI

Elem	Prognizio (m)	ProgFine (m)	Lungh (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/Pmax	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	0.100	0.100	C	70	SX	4.48	48.00		≥7.00	NO	Attacco su rampa in progetto
2	0.100	15.656	15.556	AC	70			52.00				
3	15.656	35.919	20.263	C	90	SX	4.58	54.00		≥7.00	NO	Attacco su rampa in progetto
4	35.919	90.364	54.445	AT	70			60.00			NO	Criterio 1 - Contraccollo - And. esistente
5	90.364	141.713	51.349	R				60.00				
6	141.713	216.282	74.569	C	1150	DX	-1.44	60.00				
7	216.282	224.274	7.992	R				60.00				

Tabella 4-14. Riepilogo delle caratteristiche planimetriche e verifica RAMPA USCITA SU VIA GALILEI

Elem	Prognizio (m)	ProgFine (m)	Lungh (m)	TipoElem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/Pmax	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	0.000	0.000	C	1700	DX	2.27	60.00				
2	0.000	1.471	1.471	AT	50			59.00			NO	Criterio 1 e 3 - And. Esistente
3	1.471	29.248	27.777	AT	50			59.00			NO	Criterio 1 - And. esistente
4	29.248	87.635	58.387	C	90	DX	4.79	54.00		≥7.00	NO	Attacco su rampa in progetto
5	87.635	92.635	5.000	AC	60			52.00				
6	92.635	134.277	41.642	C	80	DX	7.00	51.00				
7	134.277	149.277	15.000	AC	60			49.00				
8	149.277	190.725	41.448	C	60	DX	7.00	45.00				
9	190.725	250.350	59.625	R	0			57.00				

Tabella 4-15. Riepilogo delle caratteristiche planimetriche e verifica RAMPA USCITA SU VIA BETTOLA

Bem	Prognizio (m)	ProgFine (m)	Lungh (m)	TipoEem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/Pmax	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	0.100	0.100	C	68.00	DX	2.60	48.00		≥7.00	NO	Andamento esistente
2	0.100	16.571	16.471	AC	28.00			37.00				
3	16.571	38.441	21.870	C	28.00	DX	4.03	32.00		≥7.00	NO	Andamento esistente
4	38.441	45.810	7.369	AT	28.00			34.00				
5	45.810	85.546	39.736	C	38.00	DX	4.37	37.00		≥7.00	NO	Andamento esistente
6	85.546	89.893	4.347	AC	33.02			36.00				
7	89.893	96.909	7.016	C	33.00	DX	3.98	34.00		≥7.00	NO	Andamento esistente
8	96.909	129.909	33.000	AT	33.00			43.00			NO	Criterio 1 - Contraccolpo - And. esistente
9	129.909	130.009	0.100	R				43.00				

Tabella 4-16. Riepilogo delle caratteristiche planimetriche e verifica RAMPA INGRESSO SU SS36

Bem	Prognizio (m)	ProgFine (m)	Lungh (m)	TipoEem	Parametro	Vs	ic	Vp	Lmin/max	Pmin/Pmax	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	1.440	1.440	C	22.60	DX	1.47	28.00		≥7.00	NO	Andamento esistente
2	1.440	3.741	2.301	AC	20.00	DX	0.00	28.00				
3	3.741	16.354	12.613	C	20.00	DX	1.84	27.00		≥7.00	NO	Andamento esistente
4	16.354	36.354	20.000	AT	20.00	DX	0.00	34.00			NO	Criterio 1 - Contraccolpo - And. esistente
5	36.354	103.554	67.200	C	0.00		2.66	50.00				

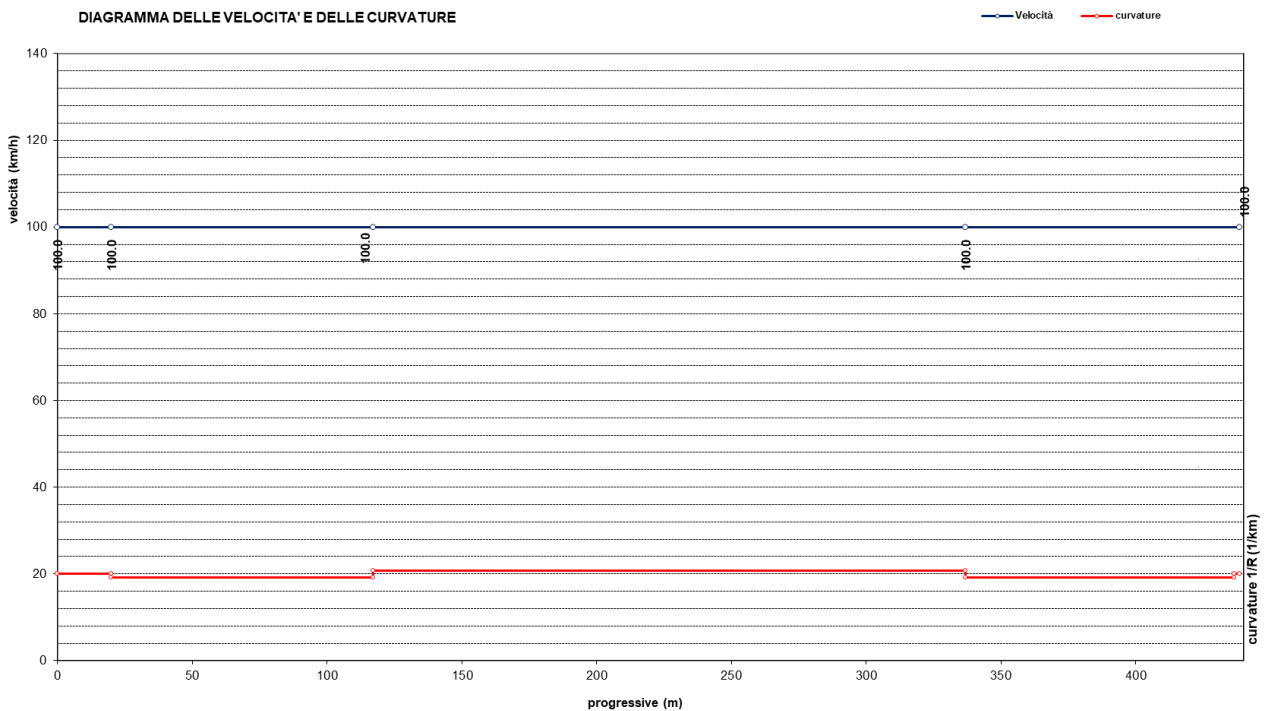


Figura 4.2 - Diagramma delle velocità e curvature ASSE PRINCIPALE A4 TO-VE

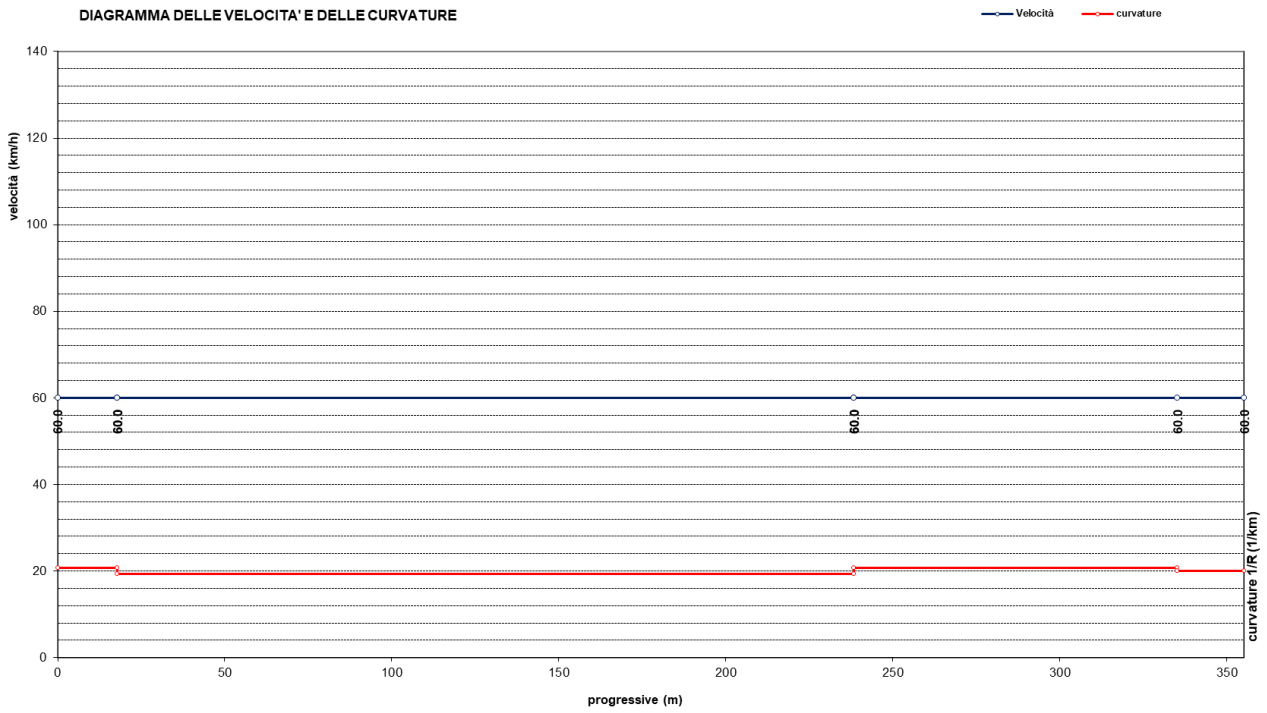


Figura 4.3 - Diagramma delle velocità e curvature RAMPA LC-TO

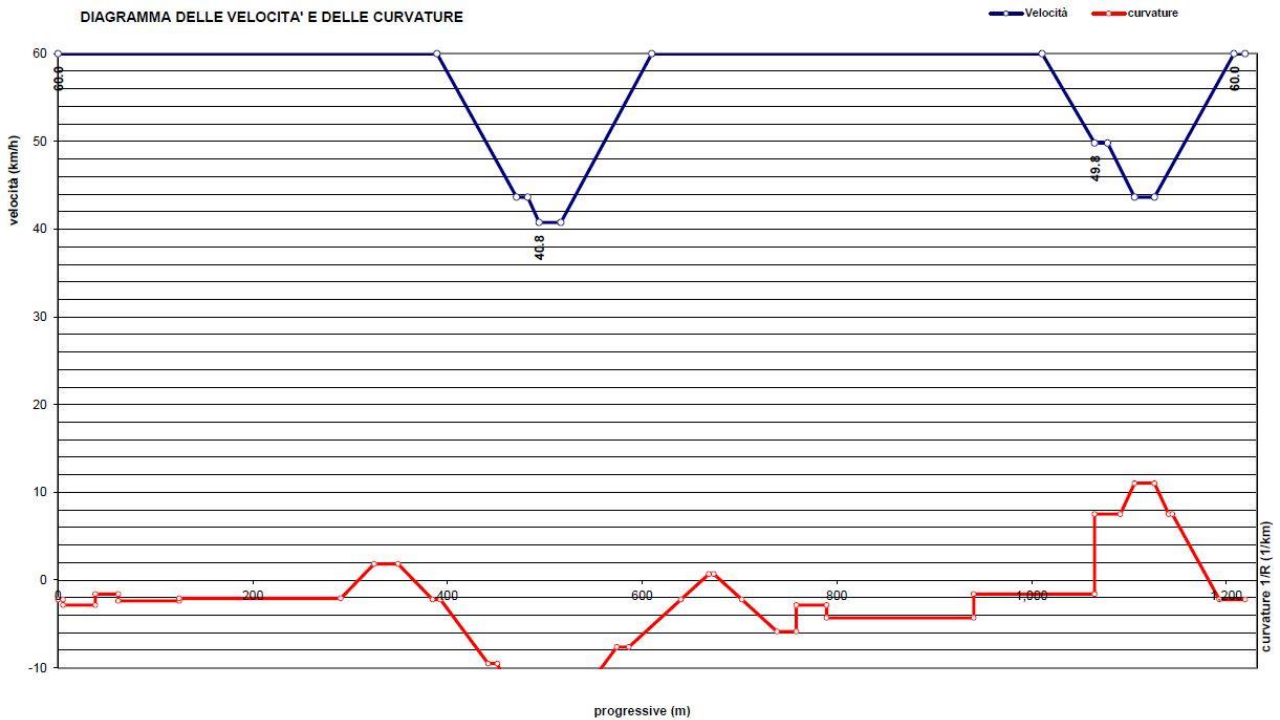


Figura 4.4 - Diagramma delle velocità e curvature RAMPA TO-LC

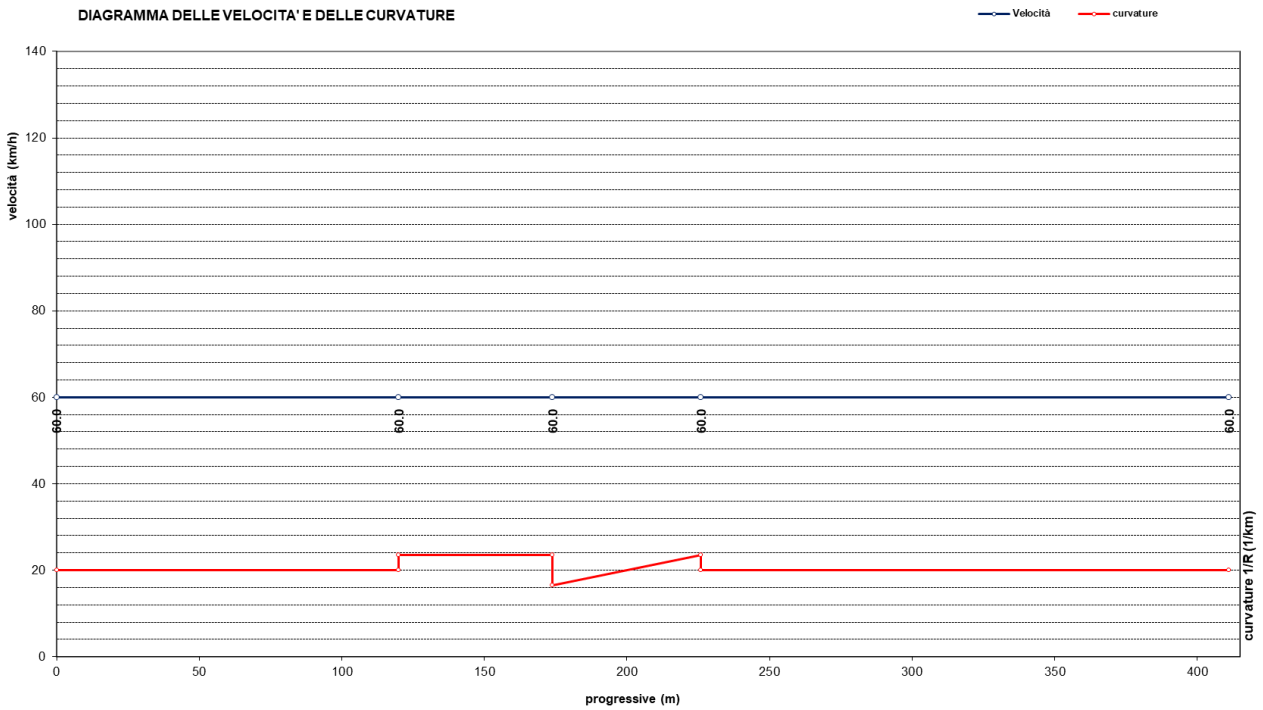


Figura 4.5 - Diagramma delle velocità e curvature CORSIA DI USCITA DA A4 DIR. MI

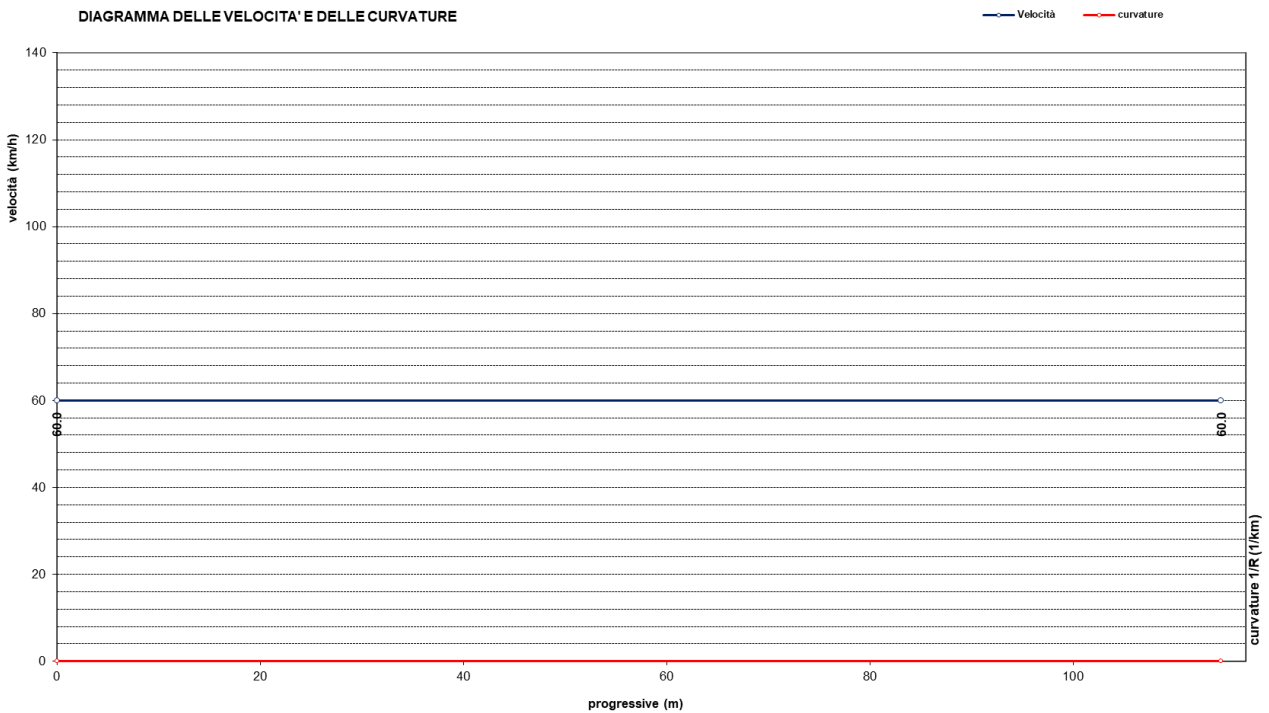


Figura 4.6 - Diagramma delle velocità e curvature CORSIA DI USCITA DA A4 DIR. LC

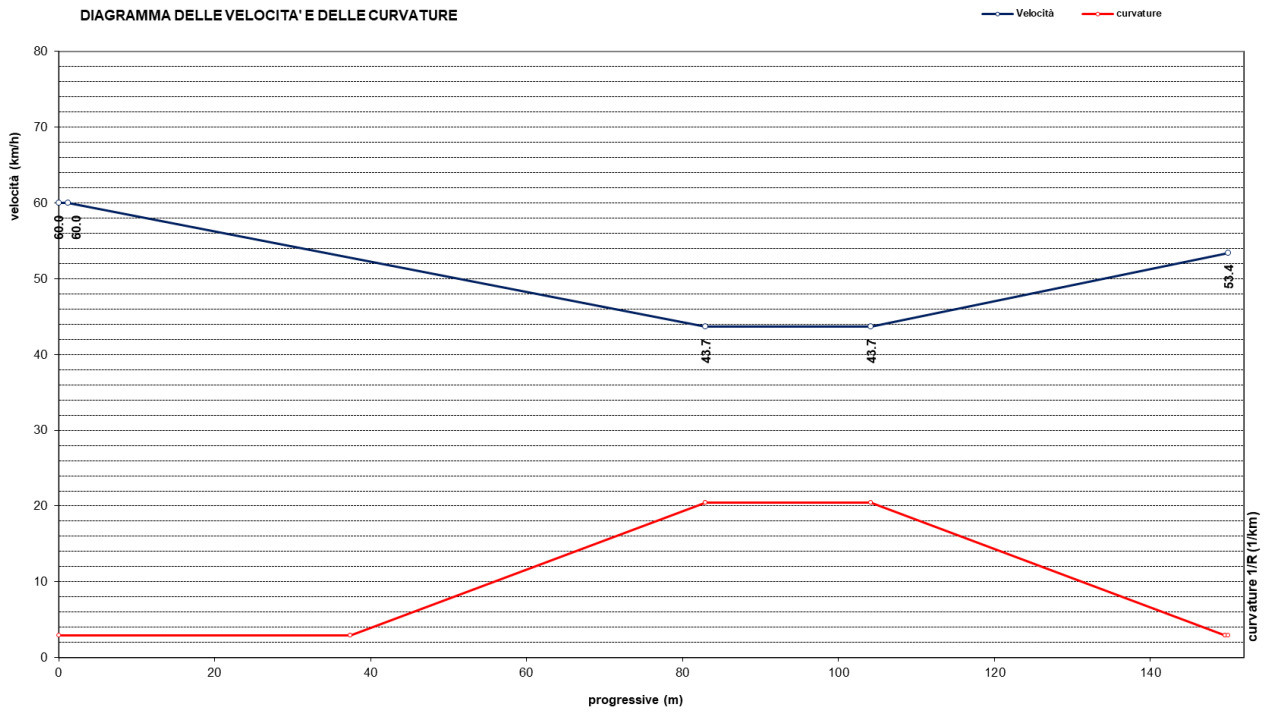


Figura 4.7 - Diagramma delle velocità e curvature RAMPA DI USCITA DA A4 DIR. MI

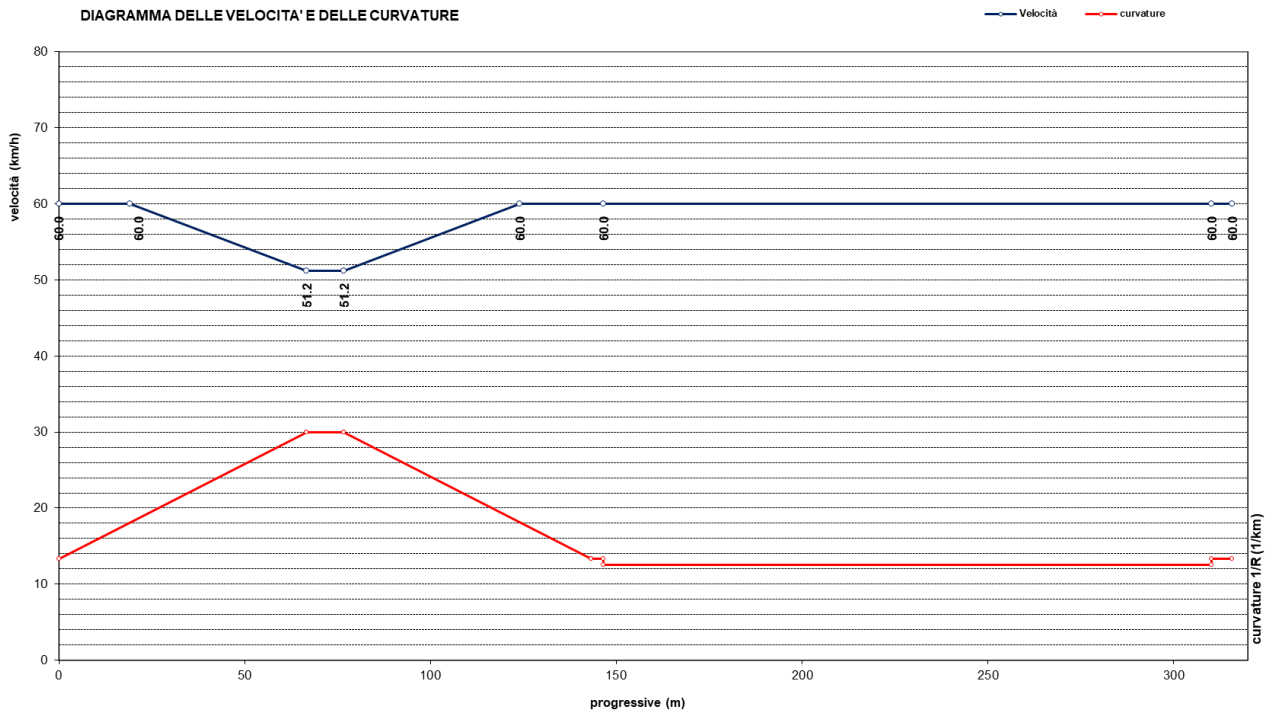


Figura 4.8 - Diagramma delle velocità e curvature RAMPA DI USCITA DA A4 DIR. LC

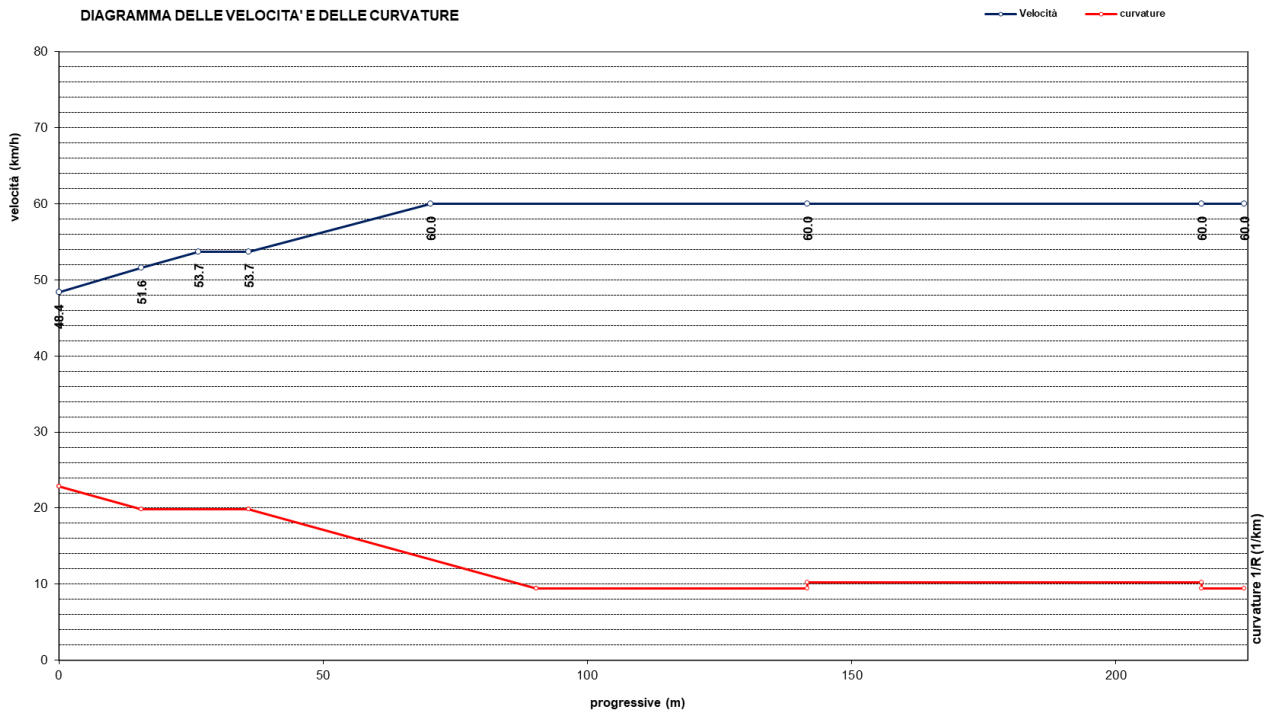


Figura 4.9 - Diagramma delle velocità e curvature RAMPA TO-MI

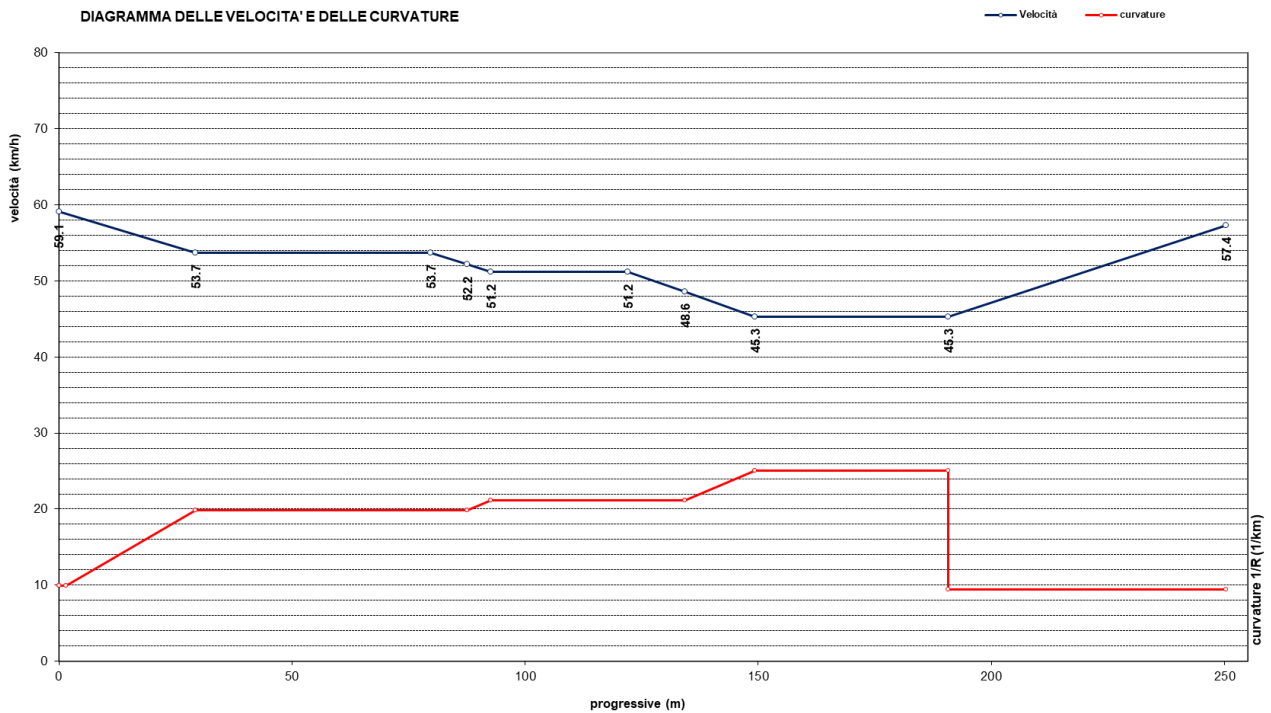


Figura 4.10 - Diagramma delle velocità e curvature RAMPA USCITA SU VIA GALILEI

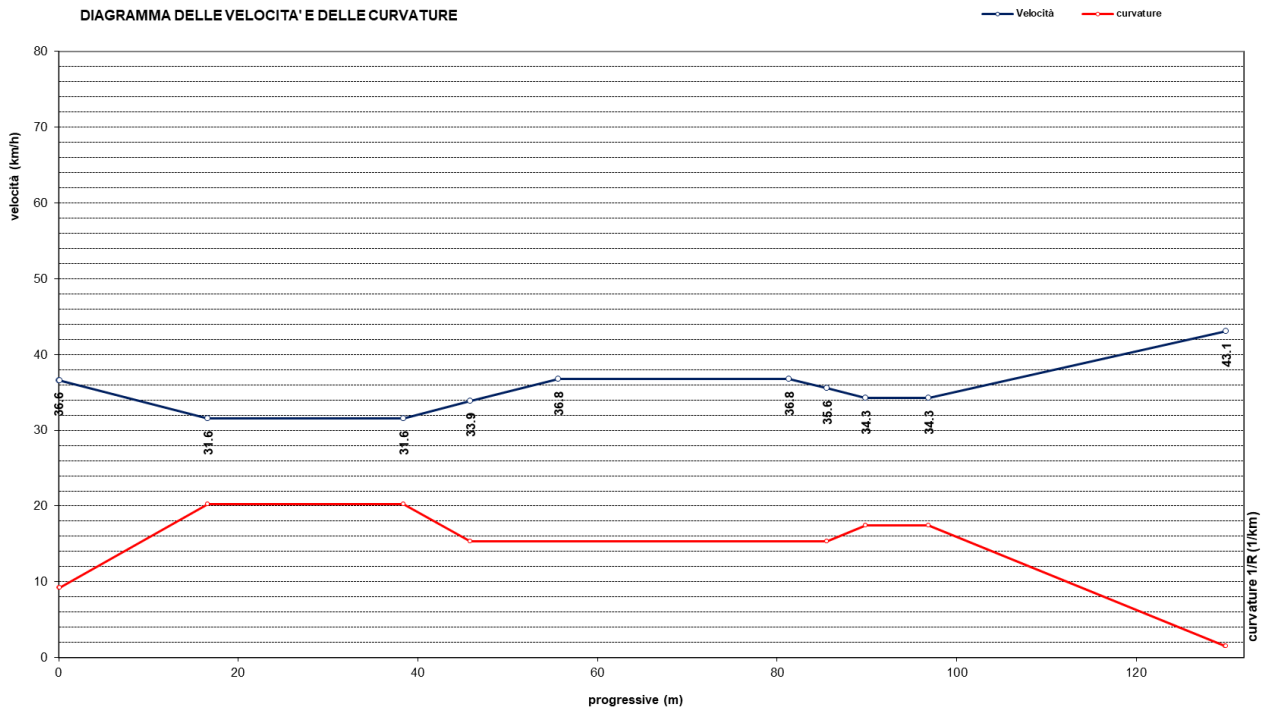


Figura 4.11 - Diagramma delle velocità e curvatures RAMPA USCITA SU VIA BETTOLA

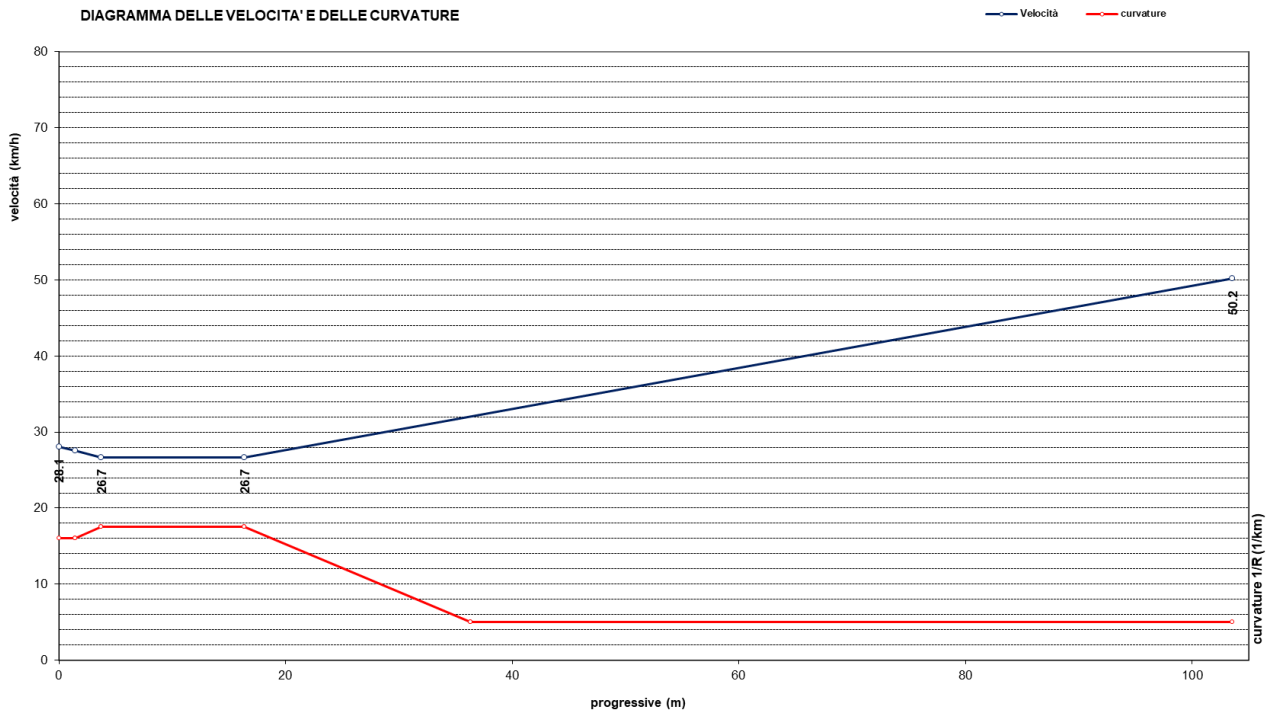


Figura 4.12 - Diagramma delle velocità e curvatures RAMPA INGRESSO SU SS36



Nelle tabelle seguenti sono riportati gli andamenti altimetrici e i risultati delle verifiche dei raccordi verticali concavi e convessi rispetto alla distanza di visibilità per l'arresto dei singoli assi. Nelle tabelle saranno riportati gli andamenti altimetrici dei soli tratti di nuova realizzazione. Per i tratti in adeguamento l'andamento altimetrico sarà quello dello stato di fatto.

In colonna (2) è riportato il tipo di raccordo altimetrico considerato utilizzando le seguenti abbreviazioni:

- S = Raccordo verticale convesso (Sacca)
- D = Raccordo verticale concavo (Dosso)

In colonna (3) è indicata la progressiva del vertice, nelle colonne (7), (8) la pendenza di ogni livelletta. Infine, in colonna (10) il valore del raggio verticale di progetto, in colonna (14) il valore minimo per garantire la distanza di arresto calcolata con riferimento alla velocità desunta dal diagramma delle velocità, in colonna (16) il valore di velocità ammissibile (velocità di progetto a cui corrisponde una distanza di arresto pari alla distanza di visuale libera effettivamente disponibile).

Tabella 4-17. Verifica caratteristiche altimetriche RAMPA TO-LC (solo il tratto in nuova realizzazione)

N	D/S	Pr.Vert (m)	da (m)	a (m)	L (m)	i1 (%)	i2 (%)	Δi (%)	Rv (m)	Vp (km/h)	D (m)	Rv,min (m)	VERIFICA	Vamm (km/h)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
1	D	32	28	36	7.92	4.47	2.89	1.58	500	60.0	60.3	463		
2	D	65	62	67	5.06	2.89	1.88	1.01	500	60.0	60.8	463		
3	D	80	78	82	5.00	1.88	0.88	1.00	500	60.0	61.2	463		
4	D	115	113	117	4.48	0.88	-0.02	0.90	500	60.0	61.6	463		
5	D	160	158	162	4.53	-0.02	-0.93	0.91	500	60.0	62.0	463		
6	S	200	200	200	0.20	-0.93	-0.89	0.04	500	60.0	62.2	463		
7	D	300	299	301	2.05	-0.89	-1.30	0.41	500	60.0	62.3	463		
8	D	348	347	350	3.71	-1.30	-2.04	0.74	500	60.0	62.6	463		
9	D	374	372	376	3.84	-2.04	-2.81	0.77	500	60.0	63.0	463		
10	D	400	400	400	0.24	-2.81	-2.86	0.05	450	57.9	60.2	431		
11	D	425	425	425	0.08	-2.86	-2.88	0.02	400	52.8	53.3	359		
12	S	450	450	450	1.00	-2.88	-2.55	0.33	300	48.0	47.0	296		
13	S	511	507	514	7.14	-2.55	0.31	2.86	250	40.8	38.1	214		
14	S	540	536	544	8.65	0.31	3.19	2.88	300	46.5	44.1	278		
15	S	560	559	561	1.92	3.19	3.74	0.55	350	49.9	47.6	320		
16	S	570	569	571	1.09	3.74	4.05	0.31	350	51.9	49.9	346		
17	D	600	599	601	2.41	4.05	3.52	0.54	450	58.2	57.9	435		
18	D	700	655	745	89.80	3.52	-4.65	8.16	1100	60.0	62.1	1034		
19	S	802	778	827	49.15	-4.65	-0.55	4.10	1200	60.0	63.0	1170		
20	S	1 000	975	1 025	50.49	-0.55	4.50	5.05	1000	60.0	61.0	1188	NO	53.9
21	S	1 035	1 030	1 040	9.51	4.50	6.61	2.11	450	56.4	55.0	409		
22	D	1 100	1 098	1 102	4.92	6.61	4.97	1.64	300	45.5	42.1	266		
23	D	1 131	1 125	1 137	12.19	4.97	0.91	4.06	300	45.7	42.9	268		
24	D	1 175	1 175	1 176	1.50	0.91	0.53	0.38	400	53.6	53.0	369		

Tabella 4-18. Verifica caratteristiche altimetriche RAMPA DI USCITA DA A4 DIR. LC

N	D/S	Pr.Vert	da	a	L	i1	i2	Δi	Rv	Vp	h1	h2	Rv,min	VERIFICA	Vamm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
1	S	134	96	171	75.40	-4.50	1.30	5.80	1300	60.0	0.5	1	1267		
2	D	262	245	278	33.20	1.30	-7.00	8.30	400	60.0	1.1	0.1	1149	NO	39

Tabella 4-19. Diagramma delle velocità e curvature RAMPA USCITA SU VIA GALILEI

N	D/S	Pr.Vert	da	a	L	i1	i2	Δi	Rv	Vp	h1	h2	Rv,min	VERIFICA	Vamm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
1	S	9	1	17	15.31	-0.03	1.15	1.18	1300	58.8	0.5	1	445		
2	S	46	33	59	25.44	1.15	2.00	0.85	3000	53.7	0.5	1	371		
3	D	118	107	130	22.36	2.00	-0.24	2.24	1000	51.2	1.1	0.1	337		
4	S	193	187	199	11.44	-0.24	-0.12	0.11	10000	46.9	0.5	0.5	283		

## 4.2 IDRAULICA

### 4.2.1 Generalità

Nell'ambito dello studio di fattibilità dell'intervento in progetto, è stata effettuata un'analisi sintetica volta all'individuazione degli elementi idrologici e idraulici di partenza, sulla base dei quali definire gli aspetti critici da risolvere nelle successive fasi progettuali. In questo capitolo, pertanto, si individuano il contesto normativo di riferimento, il reticolo idrografico interferente, le metodologie idrologiche e le tipologie d'intervento da applicare nella progettazione delle sistemazioni idrauliche e del sistema drenante di piattaforma.

### 4.2.2 Modello idraulico di dimensionamento delle opere

La progettazione preliminare delle opere idrauliche è stata eseguita tramite la modellazione matematica della rete in progetto. Il software utilizzato è Infoworks della Wallingfor software.

Il software di analisi idraulica tramite modellazione matematica Infoworks, costituisce uno strumento completo per la verifica ed il dimensionamento delle reti di drenaggio e fluviali in un unico ambiente, che permette di analizzare in modo approfondito sistemi comunque complessi, utilizzando algoritmi di calcolo molto sofisticati, basati su ipotesi idrauliche verificate sia a livello teorico in sedi universitarie, sia in numerose applicazioni pratiche in tutto il mondo.

Una volta costruito il modello della rete sulla base dei dati di progetto, è infatti possibile esaminare la planimetria dell'intero sistema di drenaggio e fluviale, ricavando in modo istantaneo le caratteristiche di funzionamento idraulico delle tubazioni e dei corsi d'acqua quali capacità di smaltimento e portata transitante.

Sempre relativamente alle simulazioni di funzionamento idraulico, il programma permette di visualizzare, istante per istante dell'evento, i profili longitudinali, indicando il valore delle portate transitanti e livelli idrici che si instaurano al loro interno; tale funzionalità risulta di notevole importanza, in quanto consente al progettista di comprendere, ad esempio, se le esondazioni che si verificano in un tratto della rete sono dovute all'insufficienza dello stesso tratto o al rigurgito causato dall'insufficienza dei tronchi di valle.

In pratica, quindi, con il supporto di Infoworks è possibile visualizzare ogni aspetto del fenomeno idraulico; dal punto di vista modellistico, infine, si sottolinea che Infoworks appartiene alla categoria dei modelli di simulazione cosiddetti "distribuiti" e "fisicamente basati", ossia utilizza procedure che descrivono con fedeltà la realtà fisica dei fenomeni idraulici allo studio, anziché schematizzare i fenomeni stessi secondo procedure semplificate, "a scatola chiusa".

Tale modello è stato altresì collegato al modello esistente utilizzato per il dimensionamento e la verifica in fase costruttiva dell'ampliamento alla quarta corsia dinamica dell'A4, per verificarne la compatibilità e i benefici delle scelte progettuali adottate.

### 4.2.3 Descrizione delle opere in progetto

Con riferimento all'elaborato IDR001 si descrivono le scelte progettuali per la definizione delle opere idrauliche previste. La particolare caratterizzazione dell'intervento permette di suddividere le opere in tre aree principali:

#### *Tratto autostradale A4 verso Torino e corsie di immissione e uscita*

Questo tratto autostradale è caratterizzato già ad oggi da un sistema di raccolta delle acque con convogliamento nella vicina vasca di laminazione di Cinisello; al fine di alleggerire il carico idraulico insistente su questa vasca si è optato per realizzare una nuova vasca di laminazione e dispersione previo trattamento (PRS01).

La vasca sarà collocata all'interno di un'area già di proprietà di Autostrade.



Figura 4.13 - Area nuovo presidio PRS01

Per il convogliamento delle acque insistenti sulle carreggiate dir. VE si è scelto di realizzare un nuovo attraversamento della carreggiata con la tecnica a spingitubo.

In ultimo si è scelto di realizzare una nuova vasca di sollevamento a servizio della rampa di uscita, in sostituzione dell'esistente impianto; tale sollevamento, diversamente da quanto ad oggi previsto (scarico in fossi di guardia interni alle aree intercluse), scaricherà le acque verso il sistema di convogliamento della carreggiata dir. TO, così da convogliare le acque a trattamento (presso il presidio PRS01).



Figura 4.14 - Area nuova vasca di sollevamento PR02

### Tratto autostradale A4 verso Venezia

Il progetto prevede l'allargamento della piattaforma autostradale per ospitare la nuova rampa di uscita direzione LC.

Viene mantenuta l'impostazione progettuale esistente che prevede un sistema di tipo aperto, con scarico nei fossi di guardia a lato dell'infrastruttura; è quindi prevista la realizzazione di una nuova rete di collettori che raccoglieranno le acque insistenti su tutta la carreggiata Ovest, convogliandole, tramite tubazioni laddove è prevista la realizzazione di un muro di sostegno, o embrici nei tratti in semplice rilevato, nei fossi di guardia laterali. Questi fossi avranno la duplice funzione di laminare le portate in arrivo e disperdere le acque negli strati superficiali del terreno.

### Tratto in trincea/galleria

È prevista la realizzazione di una nuova vasca di laminazione e sollevamento per le acque insistenti sulle rampe di accesso alla nuova galleria artificiale; questa sarà coadiuvata da una ulteriore vasca di laminazione, trattamento e dispersione che sarà posizionata all'interno della vicina area interclusa.

La raccolta delle acque avverrà tramite canalette grigliate, con convogliamento tramite collettori in Pead.

## 4.2.4 Interferenze idrografiche

L'opera in progetto non interferisce con alcun corso d'acqua naturale.

## 4.2.5 Sistema di drenaggio

Il sistema di drenaggio deve consentire la raccolta delle acque meteoriche cadute sulla superficie stradale e sulle superfici ad essa afferenti ed il loro trasferimento fino ai punti di recapito.

Si è adottato un sistema di drenaggio di tipo "misto", cioè variabile dipendentemente dalla specifica area di applicazione:

- Sistema "aperto" per le aree ad oggi non dotate di sistema chiuso, come ad esempio il tratto di autostrada A4 in direzione Torino ove la carreggiata sarà allargata per l'inserimento della nuova rampa di uscita;
- Sistema "chiuso" per le aree di nuova realizzazione come la galleria, o per le aree già ad oggi dotate di sistema di collettamento agli impianti di trattamento;

Il **sistema aperto** è caratterizzato da una raccolta e convogliamento senza trattamento qualitativo delle acque, che vengono scaricate, tramite embrice, verso i fossi di guardia e di laminazione ai lati della struttura; per tale sistema è comunque previsto un trattamento quantitativo che ha come obiettivo l'invarianza idraulica, cioè il non incrementare la quantità di portata scaricata.

Il **sistema chiuso** è caratterizzato da una raccolta e convogliamento con trattamento qualitativo e quantitativo delle acque, solitamente tramite l'utilizzo di vasche di laminazione precedute da impianti di trattamento.

### Requisiti prestazionali

Il sistema di smaltimento delle acque meteoriche ricadenti sulla pavimentazione stradale deve soddisfare tre requisiti fondamentali:

- Garantire, ai fini della sicurezza degli utenti ed in caso di forti precipitazioni, un immediato smaltimento delle acque meteoriche, evitando il formarsi di ristagni sulla pavimentazione stradale; questo è possibile assegnando alla pavimentazione un'ideale pendenza trasversale, come da norme vigenti, e predisponendo un adeguato sistema di raccolta;
- Convogliare le acque raccolte dalla piattaforma ai punti di recapito;
- Garantire, ove richiesto dalla normativa vigente, un sistema di trattamento quali-quantitativo delle acque prima della loro immissione nel ricettore finale.

### Frequenze probabili di progetto

Il dimensionamento di un sistema di drenaggio stradale, come di ogni opera idraulica, dipende in prima analisi dalla definizione del cosiddetto rischio d'insufficienza che dovrà caratterizzare l'opera stessa durante la fase di esercizio; tale rischio fissa la frequenza probabile che si possano manifestare eventi estremi più gravosi di

quelli compatibili con le caratteristiche idrauliche dell'opera, e quindi con portate e/o volumi complessivi maggiori di quelli previsti e definiti compatibili con il buon funzionamento dell'opera stessa.

Di conseguenza nei calcoli di verifica e/o dimensionamento occorre preliminarmente stabilire quale rischio di insufficienza si voglia accettare. In altri termini occorre fissare il valore del tempo di ritorno T di progetto, definito come il numero di anni che mediamente intercorre tra due eventi di entità uguale o superiore a quello di progetto.

La definizione del tempo di ritorno dell'evento pluviometrico di progetto è effettuata generalmente sulla base del compromesso fra due obiettivi:

- Contenere la frequenza attesa delle insufficienze funzionali del sistema di drenaggio, rappresentata, nel caso in esame, dagli allagamenti dell'infrastruttura;
- Contenere i costi di intervento, compatibilmente con i vincoli progettuali e territoriali.

Detto compromesso deriva in linea teorica da un'analisi tipo costi-benefici, nella prassi, però, l'assunzione del valore del tempo di ritorno viene fatta in base a considerazioni dovute sia all'esperienza del progettista, sia a riferimenti normativi, sia, infine, a riscontri avuti dall'esercizio dell'infrastruttura.

Individuato il tempo di ritorno, è possibile definire la probabilità di superamento dell'evento di progetto in un periodo di N anni di esercizio ossia il rischio di insufficienza, definito dalla relazione:

$$R_N(T) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N$$

dove  $R_N(T)$  rappresenta il rischio di insufficienza idraulica associabile al tempo di ritorno T (anni) ed alla vita utile N dell'opera (anni). In figura si riporta l'andamento del rischio idraulico al variare del tempo di ritorno e della vita attesa dell'opera.

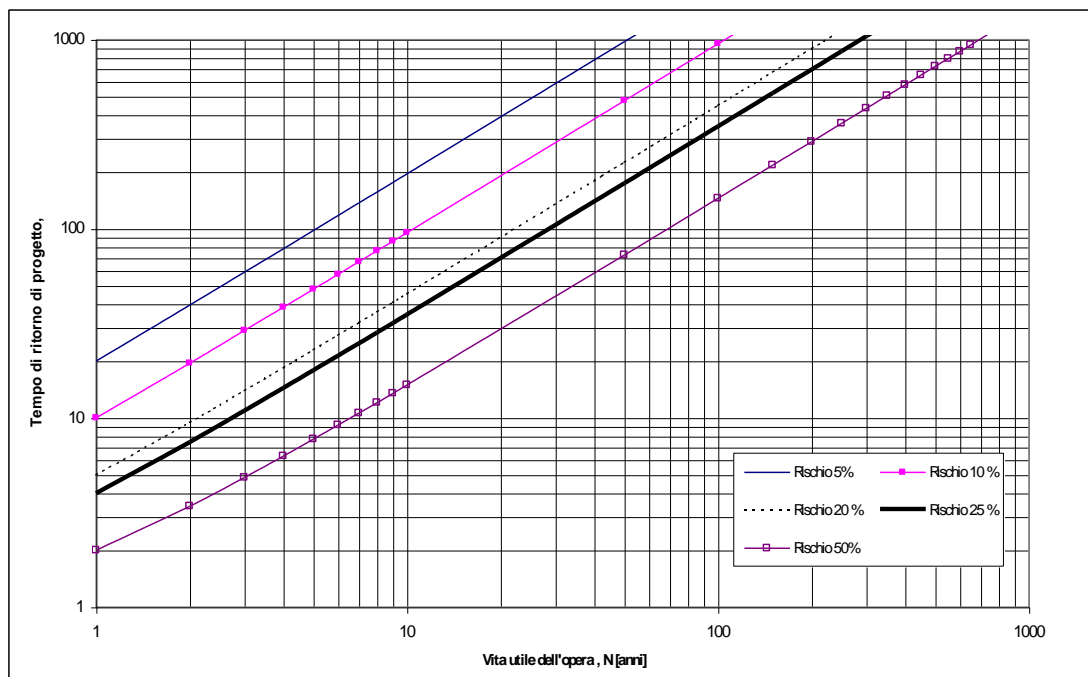


Figura 4.15 - Andamento del rischio idraulico al variare del tempo di ritorno di progetto e della vita utile dell'opera

Tutti gli elementi del sistema di drenaggio verranno dimensionati con una curva di possibilità pluviometrica avente tempo di ritorno variabile secondo il seguente schema:

Asse principale – canalette:

$$T = 25 \text{ anni}$$

Asse principale – collettori:

$$T=2 \text{ anni: funzionamento a gravità della rete}$$

T=5 anni: ammesso il funzionamento in pressione di alcuni tratti senza rischio di esondazioni superficiali.

T>10 anni: funzionamento in pressione con rischio di esondazione localizzato in alcuni tratti ma comunque contenuto nella corsia di emergenza.

Asse principale – nuovi bacini di laminazione/dispersione

T = 25 anni

### **Elementi di raccolta e convogliamento**

La scelta del tipo di elemento di drenaggio dipende strettamente dal tipo di sezione su cui è posto.

I tipi di sezione si possono dividere in due macro categorie: sezione corrente dell'infrastruttura e sezioni singolari.

La sezione corrente dell'infrastruttura si divide a sua volta, per caratteri costruttivi, in:

- Sezioni in rilevato sistema aperto;
- Sezioni in rilevato sistema chiuso;
- Sezioni in trincea.

Inoltre, il sistema di drenaggio, a seconda della pendenza trasversale della piattaforma autostradale, si può schematizzare in:

- Drenaggio marginale, nei tratti in cui la raccolta delle acque avviene in corsia di emergenza (esterno della carreggiata);
- Drenaggio centrale, nei tratti in cui la raccolta delle acque avviene in corrispondenza della corsia di sorpasso (interno della carreggiata).

Gli elementi costitutivi del sistema di drenaggio si individuano in funzione del tipo di drenaggio (marginale o centrale) e della sezione corrente dell'infrastruttura, secondo lo schema riportato nella seguente tabella. Tale schematizzazione resta, tuttavia, passibile di modifiche laddove esigenze locali del sistema di drenaggio, dell'infrastruttura o dei recapiti le dovessero richiedere.

Tabella 4-20. Elementi di drenaggio

Tipo di drenaggio	Sezione autostradale	Elemento di drenaggio
centrale	trincea / rilevato	canaletta con griglia: scarico ad intervalli regolari in tubazione sottostante
marginale	trincea	cunetta triangolare: scarico ad intervalli regolari in tubazione sottostante
	rilevato (sistema aperto)	embrici: scarico ad intervalli regolari in fosso al piede
	rilevato (sistema chiuso)	canaletta con griglia: scarico ad intervalli regolari in tubazione sottostante
	rilevato con barriera fonoassorbente	canaletta con griglia: scarico ad intervalli regolari in fosso al piede
	rilevato con muro di sostegno o terra armata	canaletta con griglia: scarico ad intervalli regolari in tubazione sottostante
centrale / marginale	varie	caditoie con griglia a passo calcolato scarico in tubazione sottostante

La raccolta delle acque di piattaforma eseguita con un sistema di drenaggio di tipo "aperto", cioè senza prevedere alcun trattamento qualitativo prima dello scarico nei ricettori finali, al fine di limitare l'apporto idrico scaricato, si prevede di realizzare la laminazione delle portate nei fossi di guardia posti al piede dei rilevati.

### 4.3 OPERE D'ARTE PRINCIPALI

Di seguito si descrivono in termini generali le principali opere d'arte presenti nel progetto di adeguamento dello svincolo di Sesto San Giovanni.

#### 4.3.1 Galleria artificiale Gracchi 2

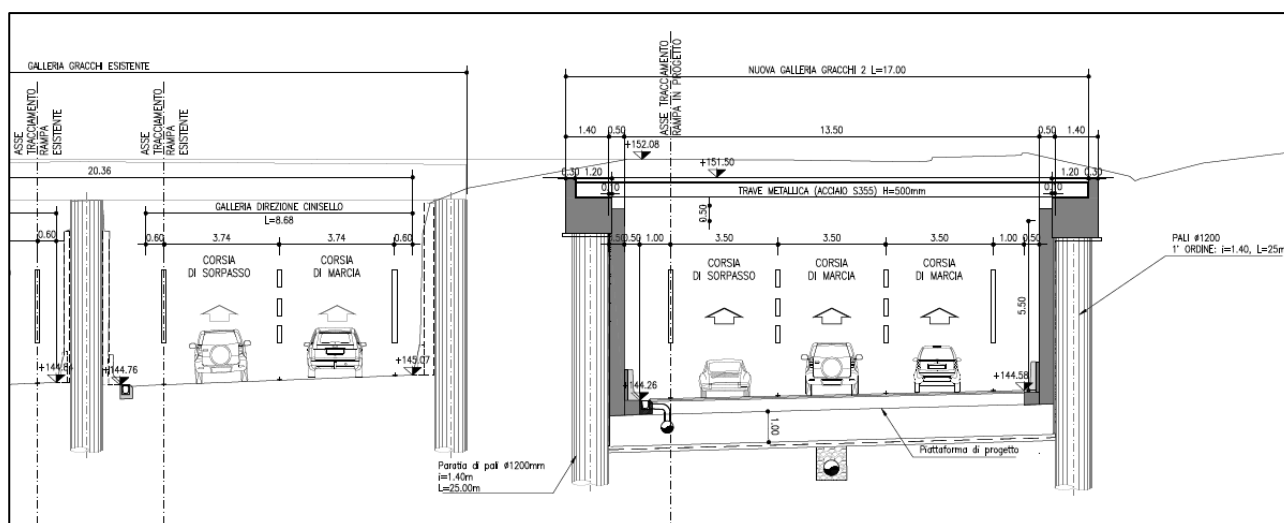
La galleria, a una canna, sarà realizzata mediante il metodo "Milano" ed avrà una lunghezza complessiva di 138,00m. Sarà costituita mediante due paratie di pali di grande diametro ( $\varnothing 1200\text{mm}$ ) di lunghezza 25m, disposti ad interasse  $i=1,40\text{m}$ . L'impalcato sarà realizzato con una sezione mista composta da travi metalliche acciaio S355  $H=500\text{mm}$  e soletta in CA collaborante.

La luce netta della canna è pari a 14,50m in conformità con una piattaforma stradale costituita da 3 corsie di marcia di larghezza pari a 3,50m con banchine in destra e sinistra da 1m. Ai lati della piattaforma saranno previsti idonei profili redirettivi.

Nel tratto antecedente la galleria in progetto, sul lato nord della carreggiata in direzione Milano, la paratia sarà costituita da 2 ordini di pali di grande diametro ( $\varnothing 1200\text{mm}$ ) disposti a quinconce e proseguirà a cielo aperto per una lunghezza complessiva di 74,00m; sul lato sud, sempre nel tratto antecedente la galleria, invece, la paratia di pali proseguirà, per circa 38,00m, disposta su un solo ordine.

Nel tratto successivo alla galleria in progetto, sul lato nord della carreggiata, in direzione Milano, la paratia sarà costituita da 2 ordini di pali di grande diametro disposti a quinconce e proseguirà per circa 125,00m a cielo aperto.

Figura 4.16 - Sezione Galleria artificiale Gracchi 2



#### 4.3.2 Ampliamento sottovia OP1 e OP2

L'intervento oggetto del seguente progetto prevede l'ampliamento della piattaforma stradale in corrispondenza dei due sottovia esistenti entro i limiti di intervento con conseguente necessità di ampliamento degli stessi.

I sottovia interessati dall'intervento sono i seguenti:

- Sottovia SSG km 136+604 – OP1
- Sottovia Viale Valtellina km 136+842 – OP2

Per il sottovia SSG si prevede un ampliamento di 3,09m. L'intervento avrà luce di 12,50m, come da stato di fatto. Saranno previste due spalle realizzate con fondazioni indiretta su micropali e muri d'ala di contenimento costituiti da conci di differente altezza e differente quota del piano di fondazione.

Figura 4.17 - Sezione longitudinale lato Bergamo - OP1

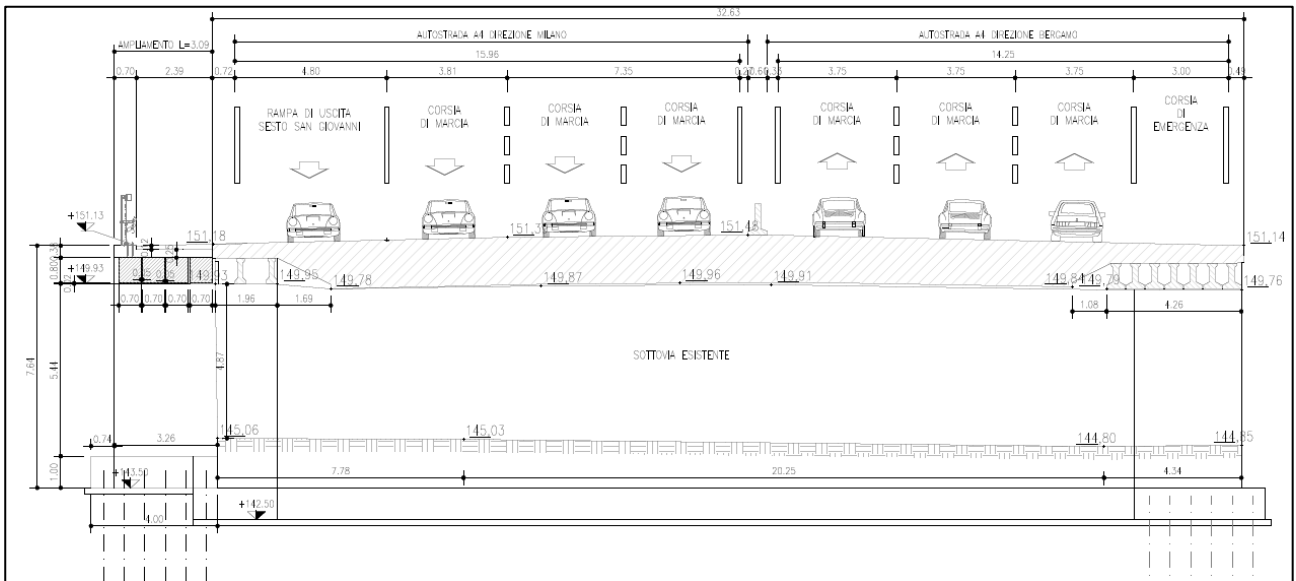
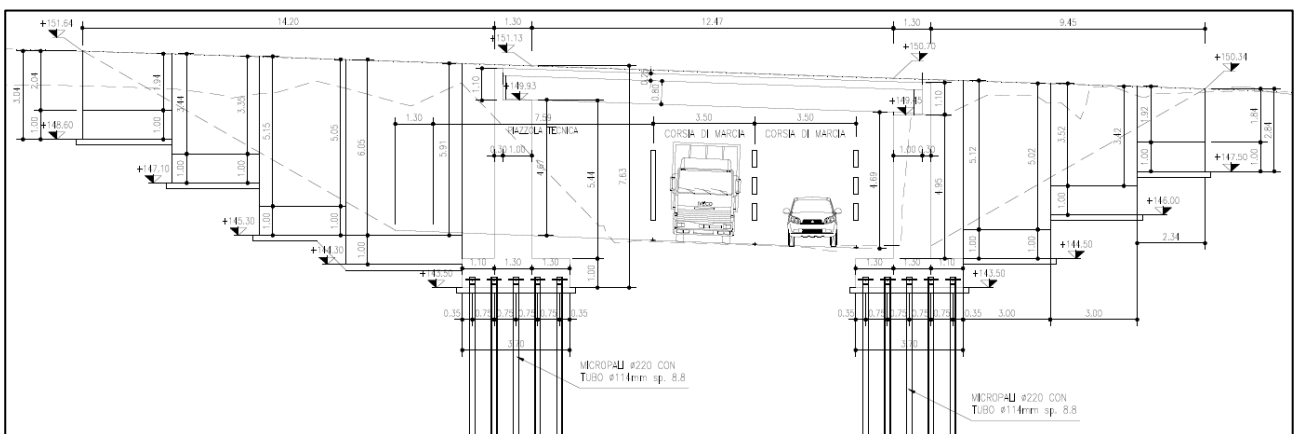


Figura 4.18 - Prospetto nord - OP1



Per il sottovia di via Valtellina si prevede un ampliamento di 5,49m. L'intervento avrà luce di 25,16m, come da stato di fatto. Saranno previste due spalle realizzate con fondazioni indiretta su micropali e muri d'ala di contenimento costituiti da conci di differente altezza e differente quota del piano di fondazione, sempre con fondazione indiretta su micropali.



Figura 4.19 - Sezione longitudinale lato Bergamo – OP2

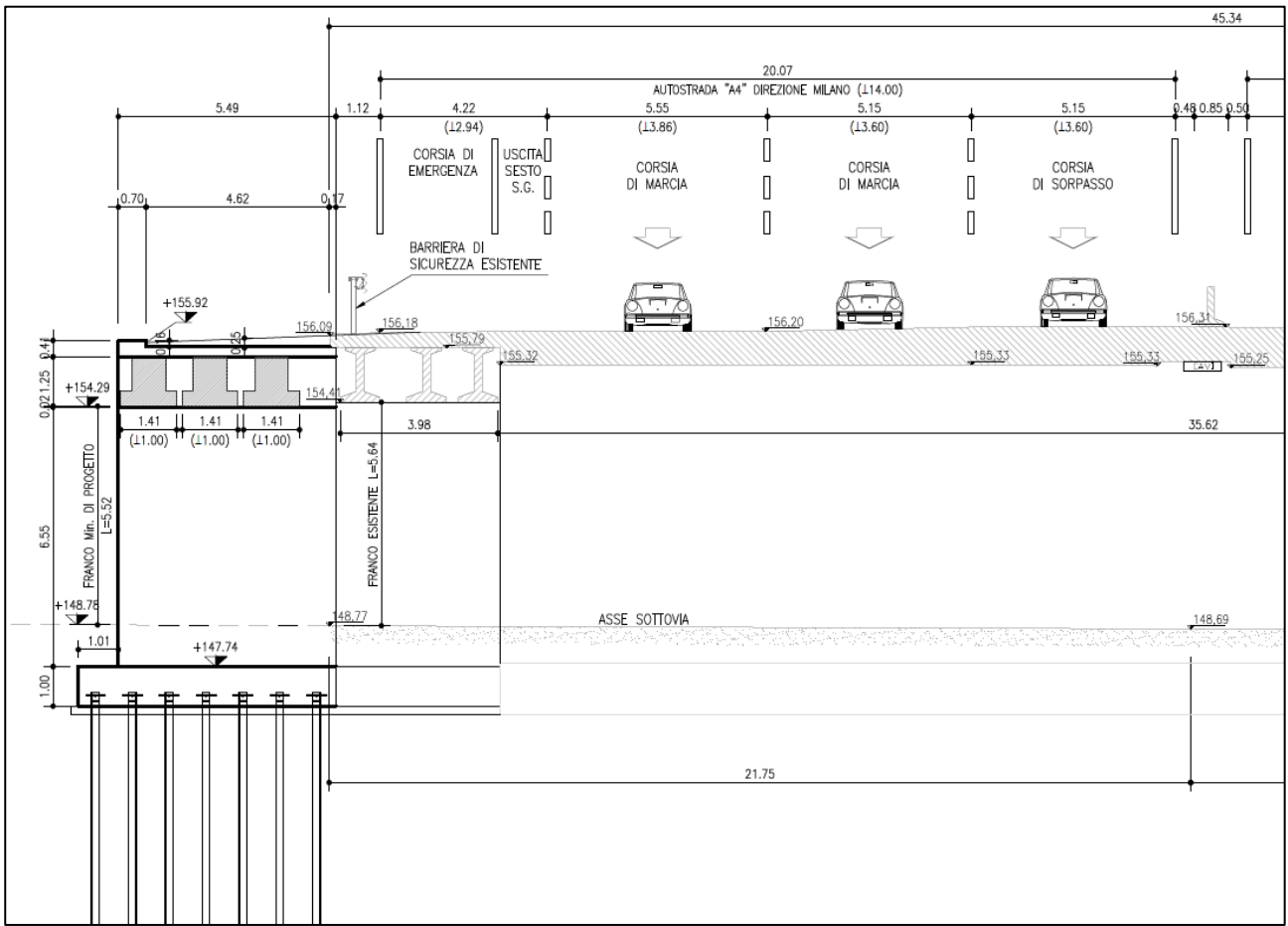
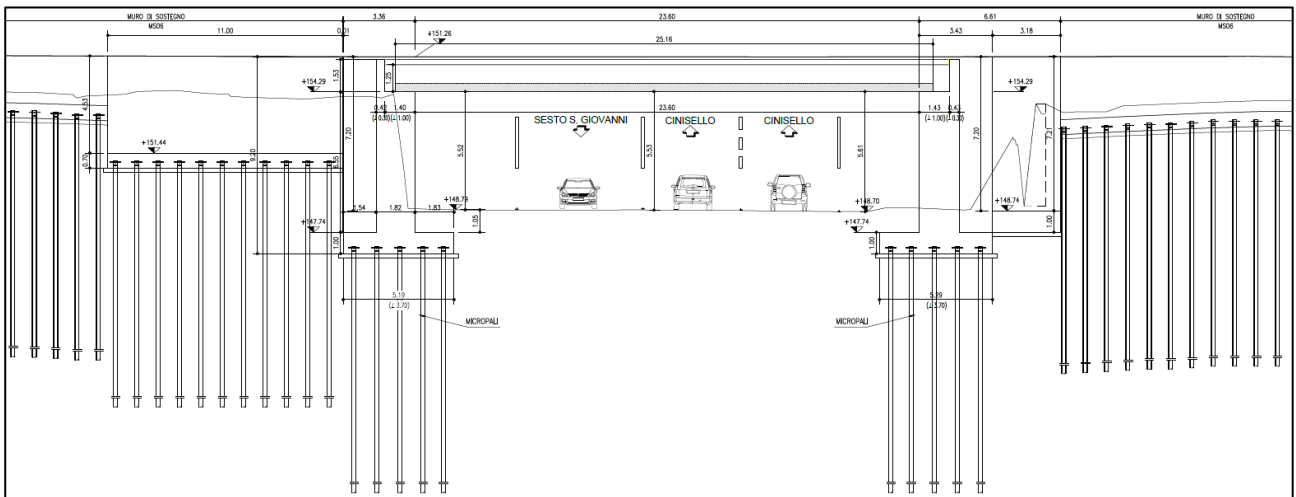


Figura 4.20 - Prospetto nord – OP2



#### 4.4 BARRIERE DI SICUREZZA

L'intervento in oggetto prevede inoltre il progetto delle barriere di sicurezza, da prevedere lungo i bordi laterali del progetto di adeguamento dello svincolo di Sesto San Giovanni A4 Milano – Bergamo, che prevede la realizzazione di nuove rampe fino all'interconnessione diretta con la SS36.

Lungo il tracciato stradale sarà prevista la posa di dispositivi di contenimento rispondenti alle prescrizioni contenute nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e prescrizioni tecniche per le prove ai fini dell'omologazione" (D.M. n° 223 del 18/2/1992 e successive modificazioni ed integrazioni).

In fase costruttiva, l'Appaltatore dovrà, presentando ai sensi di legge il relativo progetto, individuare ed utilizzare, previa autorizzazione della Direzione Lavori, barriere installabili secondo quanto previsto dalla normativa vigente, ai sensi del D.M. 28.06.2011 (Gun. 233 del 06.10.2011) dovranno essere installate barriere marcate CE.

La definizione delle classi minime di barriere da adottare in progetto è stata operata, secondo quanto previsto dal D.M. 21.06.2004, con riferimento alle classi funzionali a cui appartengono le strade, alla classe di traffico e alla destinazione delle protezioni.

In particolare, per le rampe di svincolo si è fatto riferimento a quanto indicato all'art.6 del citato D.M. per autostrade (categoria A) e condizioni di traffico di tipo III (TGM bidirezionali maggiori di 1000 veicoli/giorno e percentuale di veicoli pesanti superiore al 15%), come riportato al terzo rigo della tabella seguente.

Tabella 4-21. Classi minime di barriere per autostrade e strade extraurbane principali

Tipo di strada	Traffico	Destinazione barriere		
		Barriere spartitraffico a	Barriere bordo laterale b	Barriere bordo ponte c
Autostrade (A) e strade extraurbane principali (B)	I	H2	H1	H2
	II	H3	H2	H3
	III	<b>H3-H4</b>	<b>H2-H3</b>	<b>H3-H4</b>

Di conseguenza, le classi di contenimento da prevedere per le barriere da installare sul bordo laterale sono H2 o H3 per le rampe di svincolo; si è scelta la classe di contenimento H3. Per quel che riguarda invece la protezione lungo i bordi delle opere d'arte, per l'ampliamento del sottovia "OP1" e del sottovia "OP2", verrà prevista una protezione con dispositivi bordo ponte di classe H4. In corrispondenza del tratto iniziale della rampa TO-LC in adeguamento, dove verrà realizzata l'opera MS03, verrà prevista una protezione con dispositivi bordo ponte del tipo new-jersey in analogia con quanto oggi presente. Nei tratti in galleria o in trincea saranno previsti idonei profili ridirettivi. Infine per lo spartitraffico si prevede l'installazione di barriera monofilare metallica a paletti infissi nel terreno, come da progetto esecutivo del potenziamento alla 4<sup>a</sup> corsia dinamica, ciò in linea con quanto indicato dall'art.6 del D.M. 21.06.2004 che in condizioni di traffico di tipo III prevede barriere da spartitraffico di classe H3-H4.

Nel seguito si riportano in sintesi le caratteristiche dei dispositivi di ritenuta da prevedersi per le diverse destinazioni, bordo laterale ed in corrispondenza delle opere d'arte.

La tipologia delle barriere da prevedersi per la protezione dei bordi laterali è quella di barriere metalliche a nastri con nastro longitudinale principale a tripla onda in modo da favorire il collegamento tra barriere di diversa tipologia. I dispositivi da bordo laterale a paletti infissi dovranno essere caratterizzati da un livello di severità di classe A. Le barriere bordo ponte e spartitraffico dovranno essere caratterizzate preferibilmente da classe di severità A, potranno essere adottate in progetto barriere con livello di severità d'urto B nel caso in cui non risultino disponibili dispositivi della classe e del materiale previsti e con caratteristiche di deformazione compatibili con le larghezze dei cordoli (ovvero con la distanza da eventuali ostacoli) rientranti nella classe A.

Per quanto riguarda l'installazione in spartitraffico, i dispositivi di sicurezza dovranno avere caratteristiche di deformazioni tali da garantire il contenimento del dispositivo durante l'urto all'interno del margine interno. Con riferimento ai dispositivi da bordo laterale, questi dovranno avere caratteristiche di deformazione compatibili con il posizionamento degli elementi di arredo funzionale, quali barriere acustiche, pali di illuminazione, montanti di segnaletica verticale, nonché con manufatti quali pile/spalle di opere d'arte.

#### 4.5 BARRIERE ACUSTICHE

Lungo la carreggiata direzione Milano dell'A4 Milano - Bergamo allo stato attuale sono presenti:

- Tra il km 136+130 e il km 136+450 una barriera fonica di altezza 5m con 2m di aggetto avente lunghezza complessiva di circa 320m installata su un muro di altezza pari a 2m
- Tra il km 136+750 e il km 136+875 una barriera fonica di altezza 5m di tipo integrata avente lunghezza complessiva di circa 125m installata su cordolo.

Entrambi i tratti sopra indicati sono oggetto di ampliamento dal progetto in essere con conseguente necessità di demolizione dei tratti di barriera fonica interferente e sua successiva realizzazione.

In tabella sono rappresentate le tipologie delle barriere foniche previste dal progetto con la definizione delle rispettive lunghezze e caratteristiche.

Tabella 4-22. Barriere foniche previste

BARRIERA	LUNGHEZZA (m)	ALTEZZA (m)
FONICA TIPO 1	255	5 + 2 AGGETTO
FONICA TIPO 2	100	5 INTEGRATA

Nella planimetria di progetto è indicata con precisione la localizzazione delle barriere previste.

#### 4.6 OPERE A VERDE

In progetto sono state individuate le aree per la realizzazione delle opere a verde, che consisteranno per lo più in ripristini delle aree interessate dai lavori (aree intercluse, rampe, cantieri, ecc.).

Nell'elaborato "110412-LL00-PF-DG-OPV-00000-00000-D-SUA0001-1", allegato al progetto di fattibilità tecnica ed economica, sono evidenziate le aree per la realizzazione delle opere a verde.

Le aree di intervento sommano complessivamente a 40.848 mq.

Gli interventi saranno dettagliati, in accordo con gli Enti, nelle successive fasi progettuali.

#### 4.7 GESTIONE DEI MATERIALI DA SCAVO

L'impostazione generale si basa sull'ipotesi di smaltimento a discarica dei materiali di scavo derivanti dai lavori di costruzione. In tal senso è previsto l'approvvigionamento da cava di materiale tecnicamente più idoneo alla realizzazione e stabilizzazione dei rilevati e degli interventi considerati in progetto.

La gestione dei materiali di scavo avverrà nell'ambito della Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i..

Le attività di smaltimento in discarica dei materiali di risulta, o di un loro recupero, seguiranno la normativa di individuazione e classificazione dei rifiuti ed i criteri di gestione e trasporto in discarica.

Tuttavia il Proponente si riserva di rivalutare, nella fase di progettazione definitiva, l'inquadramento dei materiali da scavo, o di una loro parte, alla luce di più approfondite valutazioni in sito sulla base di ulteriori indagini a carattere geotecnico. Infatti, non si può al momento escludere, la possibilità anche di un parziale riutilizzo nell'ambito di una gestione come sottoprodotti (art. 184 bis) o come materiali riutilizzati nello stesso sito di escavazione allo stato naturale (art 185) ai sensi del DPR 120/17 recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo.

#### 4.7.1 Bilancio materiali

Per la realizzazione del progetto è stata fatta una stima dei materiali delle attività di scavo ed una stima dei fabbisogni di materiali per la realizzazione degli interventi.

Le lavorazioni connesse alla realizzazione della struttura stradale in oggetto prevedono l'esecuzione di scavi all'aperto per eseguire le operazioni propedeutiche alla formazione dei nuovi rilevati, l'esecuzione di scavi all'aperto per la realizzazione delle fondazioni e sottofondazioni delle nuove opere, l'esecuzione di scavi al chiuso per la realizzazione della galleria Gracchi 2 in progetto. I dati di seguito sono riferiti al computo preliminare. I volumi complessivi delle terre da movimentare nella fase costruttiva del progetto in oggetto, espressi come volume del materiale in banco, sono i seguenti;

Produzione da scavo	58.600 mc circa;
Fabbisogno materiali	12.890 mc circa;

Nel caso specifico il fabbisogno considerato sarà approvvigionato da cava con materiale geotecnicamente più idoneo all'utilizzo. A questi devono essere aggiunti le quantità di inerti pregiati e non pregiati, necessarie per la funzione drenante e anticapillare, per la produzione dei calcestruzzi, per le fondazioni in misto cementato e stabilizzato e per i conglomerati bituminosi delle pavimentazioni.

Le lavorazioni connesse alla realizzazione dell'opera in progetto prevedono inoltre la demolizione di opere in C.A. da smaltire a discarica per un totale di circa 3.530 mc.

#### 4.7.2 Disposizioni per la gestione dei materiali da scavo

I volumi complessivi di materiali da scavo interessati dagli interventi di costruzione non sono considerevoli. Pertanto la gestione delle terre nell'ambito del regime a rifiuto non appare problematica, considerando in particolare la necessità di garantire, in questa fase progettuale, circa le caratteristiche geotecniche dei materiali di scavo stessi.

La gestione a rifiuto del materiale in esubero o tecnicamente non idoneo sarà effettuato esclusivamente mediante trasportatori autorizzati al trasporto di rifiuti ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii.

Si sottolinea che la definizione dei criteri di ammissione in discarica dei rifiuti e delle tipologie di siti, in cui possono essere smaltiti i diversi materiali, determina l'obbligo da parte del produttore di rifiuti di effettuare una caratterizzazione ambientale (qualitativa del materiale con analisi chimiche e chimico-fisiche) e di classificazione del rifiuto secondo la norma UNI10802 con l'applicazione anche della procedura per il test di cessione.

Infine si evidenzia comunque che lo scavo all'aperto avviene con mezzi meccanici tradizionali e non comporta la possibilità di contaminazione dei terreni.

### 4.8 IMPIANTI ELETTROMECCANICI

Le tipologie impiantistiche che si sono rese necessarie per le opere civili a progetto, oggetto delle elaborazioni progettuali sono di seguito elencate e successivamente descritte negli elaborati che accompagnano il progetto:

- Impianti di illuminazione esterna stradale;
- Modifiche agli impianti di illuminazione stradale nei tratti di viabilità ordinaria interferita;
- Adeguamento illuminazione dei sottopassi stradali oggetto di ampliamento;
- Impianti di videosorveglianza;
- Impianti elettromeccanici presidi idraulici;
- Tre nuovi pannelli elettronici di informatizzazione all'utenza con matrici alfa numeriche (PMV) lungo la SS.36.

A corredo delle predisposizioni tecnologiche sopra elencate, dovranno essere realizzate le opere infrastrutturali (scavi, tubazioni longitudinali e di attraversamento, pozzetti, plinti, ecc.) necessarie alla posa ed interconnessione funzionale degli stessi.

Dovranno altresì essere previsti tutti gli interventi preliminari ed accessori necessari al perfezionamento delle opere impiantistiche ed in particolare interventi di riqualificazione e/o sostituzione di elementi impiantistici che risultino interferenti alle opere di adeguamento in oggetto.

## 4.9 CANTIERIZZAZIONE

### 4.9.1 Aree di cantiere

In funzione delle attività e del personale medio presente in cantiere sono state individuate, dopo un'attenta analisi del territorio, cinque zone, dove sono state poste le aree di cantiere; le zone sono state localizzate in prossimità dello svincolo di Sesto San Giovanni.

#### *Campo Base - Cantiere Operativo – Area di deposito temporaneo*

Per la realizzazione del campo base, del cantiere operativo e dell'area di deposito temporaneo del materiale proveniente dagli scavi sono state individuate due aree una alternativa all'altra.

La prima area alternativa si trova a sud della rotatoria di via Pellizza da Volpedo, ha una di superficie pari a 8.500 mq, ospita:

- nel campo base gli uffici, i dormitori, la mensa, i servizi igienici, il locale ritrovo, l'infermeria e i parcheggi;
- nel cantiere operativo un'area di stoccaggio materiale e attrezzature all'aperto, uffici, parcheggi auto e mezzi di cantiere, un locale spogliatoi e servizi igienici, un locale ricovero/ristoro, un box magazzino attrezzature e materiale per cantiere e un deposito/officina di cantiere;
- nell'area di deposito di materiale proveniente dagli scavi un'area di deposito degli scavi.

La seconda area alternativa si trova a sud della via Galileo Galilei, ha una superficie pari a 11.150 mq e ospita gli stessi apprestamenti/aree che ospita la prima area alternativa.

#### *Area di supporto N.1*

L'area di supporto 1, di superficie pari a 3.200 mq, si trova in adiacenza alla rampa di uscita per il centro di Cinisello Balsamo dello svincolo. L'area sarà utilizzata come area di supporto per la realizzazione delle attività per l'adeguamento dello svincolo ed in particolare per la realizzazione della nuova galleria artificiale Gracchi 2.

#### *Area di supporto N.2*

L'area di supporto 2, di superficie pari a 1.600 mq, si trova in adiacenza alla carreggiata dell'autostrada A4 in direzione Torino alla progr.11+380 in corrispondenza di via Fratelli Gracchi. L'area sarà utilizzata come area di supporto per la realizzazione delle attività per l'adeguamento dello svincolo.

#### *Area di supporto N.3*

L'area di supporto 3, di superficie pari a 2.500 mq, si trova in adiacenza alla carreggiata dell'autostrada A4 in direzione Venezia alla progr.11+380 in corrispondenza di via Cesare Cantù. L'area sarà utilizzata come area di supporto per la realizzazione delle attività per l'adeguamento dello svincolo.

### 4.9.2 Cantierizzazione

Al fine di ottimizzare in termini di tempo e sicurezza le lavorazioni necessarie per la realizzazione delle opere in progetto ed in considerazione dell'intenso traffico che interessa la tratta, a livello del progetto di fattibilità tecnico economica, è stata studiata la cantierizzazione dell'intervento definendo, per macro voci, le fasi di lavoro. Nel seguito l'elenco delle fasi studiate e per ciascuna di esse la macro voce della lavorazione che verrà svolta così come indicato nel cronoprogramma (GEN-003) e negli elaborati grafici specifici (STD0300-0 e STD0310-0).

- **FASE 0 - PREDISPOSIZIONE E ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE**
  - Allestimento aree cantiere
  - Installazione impianti idrici, elettrici e servizi di cantiere
- **FASE 1 - GALLERIA**
  - **FASE 1**
    - Realizzazione rotatoria provvisoria di cantiere ricavata da rotatoria Gracchi esistente
    - Realizzazione rami di uscita/entrata in rotatoria
    - Allestimento area di cantiere per realizzazione concio A
    - Realizzazione concio A
  - **FASE 2**

- Realizzazione rami di uscita/entrata in rotatoria
    - Allestimento area di cantiere per realizzazione concio B
    - Realizzazione concio B
  - **FASE 3**
    - Deviazione via Bettola esistente in ingresso/uscita da SS36
    - Realizzazione rami di uscita/entrata in rotatoria
    - Cantierizzazione e restringimento carreggiata direzione Milano-Lecco
    - Allestimento area di cantiere per realizzazione concio C
    - Realizzazione concio C
    - Realizzazione vasca di accumulo PZ01
- **FASE 2 - AMPLIAMENTO COLLEGAMENTO A4 - SS36 (non sotto traffico)**
  - Cantierizzazione e restringimento carreggiata direzione Milano
  - Realizzazione muro di sostegno su rampa di uscita A4 da Cinisello: MS06
  - Realizzazione ampliamento sottovia OP2
  - Ampliamento corsia di uscita da A4 direzione Milano e realizzazione corsia di uscita da A4 direzione Lecco
  - Realizzazione rampa di uscita direzione Lecco
  - Realizzazione rampa di uscita su via Galilei
  - Cantierizzazione e restringimento collegamento A4 - SS36
  - Realizzazione nuovo tratto di collegamento con la SS36 direzione Lecco (rampa Torino-Lecco) e collegamento con nuovo tratto in galleria realizzato
  - Cantierizzazione e restringimento innesto su SS36
  - Ampliamento a 2 corsie della rampa di immissione sulla SS36 e realizzazione di rampa di immissione dedicata per i veicoli provenienti dalla via Galilei
- **FASE 3 - INTERVENTI SU AUTOSTRADA A4**
  - Realizzazione muri di sostegno su rampa di immissione A4 da Cinisello: MS01
  - Realizzazione Vasca di Laminazione PRS01
- **FASE 4 - INTERVENTI SU AUTOSTRADA A4**
  - Realizzazione flesso autostradale e riduzione corsie per realizzazione muri
  - Realizzazione muri di sostegno: MS02-MS04
- **FASE 5 - INTERVENTI SU AUTOSTRADA A4**
  - Chiusura al traffico
  - Realizzazione muri di sostegno su rampa di uscita A4 Sesto S.Giovanni: MS03
  - Realizzazione ampliamento sottovia OP1 sottovia S.S.G.
- **FASE 6 - APERTURA AL TRAFFICO**
  - Realizzazione barriera spartitraffico tra carreggiata direzione Milano e corsia di uscita direzione Milano - Lecco ampliata
  - Impianti
  - Apertura al traffico nuovo collegamento A4 - SS36 e tratti ampliati
  - Smobilizzo cantiere

**La durata totale per la realizzazione dell'opera è stimata in 24 mesi.**

## 4.10 ARCHEOLOGIA

Il Progetto di Fattibilità tecnica ed economica comprende uno studio che ha come scopo l'analisi e la definizione dell'impatto archeologico nelle aree interessate dalla realizzazione dell'intervento.

Tale studio archeologico, redatto dalla dott.ssa Mara Perroni, in possesso dei requisiti di cui al comma 1, art. 25 del D.Lgs. n. 50/2016, rientra nelle attività di "Verifica preventiva dell'interesse archeologico" (come previsto dall'art. 25 del D.Lgs. n. 50/2016), ed è finalizzato ad una definizione quanto più precisa possibile delle conoscenze archeologiche del territorio, in modo da poter prevedere, per quanto sia fattibile, l'impatto dell'opera sulla relativa componente archeologica.

La metodologia applicata per lo svolgimento del lavoro, concordata con l'ispettore della Soprintendenza Archeologia, belle arti e paesaggio per la città metropolitana di Milano territorialmente competente e finalizzata a quanto esposto precedentemente, ha previsto le seguenti fasi:

- Raccolta dei dati:
  - Ricerca bibliografica;
  - Consultazione dei relativi piani urbanistici, in modo da verificare l'esistenza di vincoli archeologici disposti dall'ente di tutela;
- Analisi geomorfologica del territorio, quale indicatore della presenza di possibili insediamenti antichi;
- Analisi dell'ambiente antropico antico: valutazione delle modalità di popolamento specificatamente all'area interessata dai lavori;
- Analisi e sintesi dei dati, valutazione del potenziale archeologico.

Tale ricerca, come di consueto, non ha riguardato solo l'area di progetto ma è stata estesa anche alle zone immediatamente limitrofe calcolando, un buffer territoriale di almeno 1000 m, in modo tale da avere un quadro più esaustivo possibile della conoscenza del territorio.

In alcuni casi sono stati inseriti anche siti che si trovano ad una distanza leggermente maggiore. In questi casi si è considerato opportuno inserire questi dati aggiuntivi, in quanto essi permettono di meglio definire la potenzialità e l'importanza archeologica di un'area o di un abitato nell'ambito territoriale attraversato dal progetto.

Anche se il contesto territoriale circostante da esito positivo, con attestazioni di tracce di tipo archeologico ipoteticamente interferenti con l'opera, e il sito si trova in una posizione favorevole, sia dal punto di vista geografico che morfologico, sono scarsi gli elementi concreti che permettono di ipotizzare la presenza di beni nell'area di progetto.

Il comparto in cui si inserisce l'opera risulta oggi fortemente urbanizzato; esso ha subito profonde modifiche, che possono aver portato ad una scarsa conservazione ed ad un forte depauperamento dell'eventuale bene archeologico individuato.

Senza distinzione nelle lavorazioni il rischio può essere quindi ragionevolmente considerato medio-basso.

## 4.11 CONTROLLI MINIMI SICUREZZA STRADALE (DLGS 35/2011)

L'opera ad oggi si inserisce in un ambito altamente antropizzato con elevata presenza di attività industriale e radi insediamenti abitativi. L'area si presenta in buona sostanza con limiti non eliminabili, pertanto le condizioni al contorno (come ad esempio la presenza di proprietà private e altre infrastrutture di cruciale importanza) presentano delle caratteristiche tali per cui non sia possibile fare un potenziamento radicale dell'opera ma bensì verranno applicati degli interventi di media entità atti a garantire un adeguato livello di servizio in virtù dello scambio di flussi previsto nel cruciale nodo oggetto di studio.

In dettaglio, lungo l'asse principale dell'autostrada verrà sostituito il new jersey di separazione dei flussi con una barriera metallica spartitraffico, avente medesime caratteristiche a quelle installate lungo la A4 laddove sia stata istituita la nuova corsia dinamica. Tale intervento consentirà di dare continuità alla soluzione attualmente in fase di realizzazione lungo la A4. In tal senso verranno modificate anche le larghezze delle corsie dell'asse principale in modo tale da ottenere omogeneità col tratto di autostrada urbana. In particolare in direzione Torino avremo le prime due corsie di larghezza pari a 3.50m ed una corsia di sorpasso di larghezza pari a 3.25m con una banchina di 0.50m. Mentre in direzione Trieste avremo due corsie di larghezza pari a 3.50m e una corsia di sorpasso di larghezza pari a 3.47m con una banchina di 0.40m. Invece il potenziamento dello svincolo di collegamento tra l'autostrada A4 verso la strada statale 36, con provenienza da Torino e direzione Lecco, porterà ad avere due corsie di marcia aventi una larghezza di 3.50m l'una e due banchine

laterali di larghezza pari a 0.50m. Tale intervento di potenziamento della rampa di svincolo TO-LC, come già evidenziato in precedenza, presenta dei vincoli non eliminabili, per cui, in via cautelativa, si è deciso di anticipare alla fase di PFTE la verifica di visibilità dell'asse TO-LC in quanto unico asse critico rispetto a questo aspetto. Tale verifica è stata svolta con delle velocità di progetto inferiori a quelle libere degli elementi costituenti l'asse stradale in quanto in esso sono presenti delle criticità plano-altimetriche dettate dalle condizioni al contorno dell'opera stessa. Dalla verifica di visibilità planimetrica è stata ottenuta una velocità ammissibile pari a circa 35 km/h mentre dalla verifica di visibilità altimetrica è stata ottenuta una velocità ammissibile pari a circa 54 km/h. Pertanto sarà necessario imporre su tale rampa una velocità massima pari a 35km/h, al fine di soddisfare la verifica di visibilità planimetrica essendo essa la più limitante.

Infine non sono previste limitazioni alla circolazione di categorie veicolari standard in quanto su tale rampa il franco minimo, ottenuto in asse al tracciato dal profilo di longitudinale, è individuabile all'imbocco del sottovia della A4 e risulta essere superiore a 5m.



## 5 ESPROPRI E INTERFERENZE

### 5.1 ESPROPRI

Il presente studio di fattibilità tecnica ed economica evidenzia anche, con una apposita sezione dell'Elenco Elaborati, le aree da doversi impegnare per la realizzazione delle opere in esame.

Tale sezione è composta di una parte grafica (piano particellare), di una descrittiva (elenco ditte da espropriare) e della stima dei costi delle espropriazioni.

La parte grafica riporta la proiezione del perimetro dell'esproprio sulla mappa catastale, con la sovrapposizione della stessa mappa al rilievo reale e alla planimetria di progetto con ancoraggio a punti significativi (punti trigonometrici georeferenziati, capisaldi in genere).

La parte descrittiva contiene l'elenco delle ditte catastalmente intestatarie dei fondi da doversi espropriare. Per ciascuna ditta sono stati riportati i mappali da acquisire in via ablativa od occupare in tutto o in parte, con l'indicazione delle relative superfici, intere, di quelle di esproprio e degli altri elementi di identificazione catastale (qualità, classe, reddito dominicale, reddito agrario).

A ciascuna ditta catastale interessata è stata attribuita una numerazione tenendo conto dell'eventuale accorpamento di più particelle in capo alla singola proprietà.

Dopo la formazione del piano particellare sono state conteggiate le somme necessarie agli espropri con le seguenti modalità: determinate le superfici necessarie alla realizzazione dell'opera, sono stati eseguiti dei sopralluoghi sui siti interessati, atti ad identificare l'attuale destinazione dei beni immobili, provvedendo a distinguere, con successive indagini relative alle destinazioni urbanistiche, l'effettivo valore riferito alla specifica attribuzione di aree non edificabili, aree edificate ed a potenzialità edificatoria legale.

Le aree interessate dalle opere ricadono nel Piano del governo del territorio del Comune di Cinisello Balsamo, in provincia di Milano, principalmente in ambiti di non edificabili standard e marginalmente in ambiti urbani consolidati ed industriali ricadenti in fascia di rispetto autostradale.

Come sopra citato dalle indagini si è provveduto ad eseguire i conteggi economici delle indennità di esproprio secondo i criteri indicati dal D.P.R. 327 del 8 giugno 2001 e s.m.i. – Testo Unico in materia di espropriazione che comprendono oltre alle indennità per il trasferimento immobiliare anche delle seguenti in indennità aggiuntive:

- Occupazione temporanea preordinata e non preordinata all'espropriazione, applicando il criterio della presumibile incidenza del danno determinato dal mancato godimento del bene per la durata della sua detenzione;
- Frazionamento della proprietà e limitazione del suo diritto;
- Asservimenti;
- Costi tecnici per la procedura espropriativa ed imposte.

Per la determinazione del valore venale delle aree standard o in fascia di rispetto autostradale si è ricorso alle previsioni dell'art 39 del T.U. anche se sono suoli non edificatori, ma seguendo l'indirizzo giurisprudenziale favorevole al tertium genus, tenendo conto delle obbiettive ed intrinseche caratteristiche delle aree in relazione alla loro utilizzazione autorizzata dallo strumento urbanistico di pianificazione del territorio.

Consentendo perciò pure il proprietario interessato da un'espropriazione, di dimostrare sempre all'interno della categoria dei suoli inedificabili che il valore agricolo sia mutato e/o aumentato in conseguenza di una diversa destinazione del bene egualmente compatibile con la sua accertata non edificabilità.

Quindi nella dimostrazione dello suscettibile sfruttamento diverso da quello agricolo, si può ritenere che tali terreni abbiano una effettiva valutazione di mercato diversa da quella agricola ed intermedia tra la stessa agricola e quella edificatoria.

Per le aree edificabili o edificate invece come disposto dalla sentenza n. 348 del 24 ottobre 2007 della Corte Costituzionale dove ha sancito che il valore delle aree edificabili ai fini espropriativi deve essere equiparato al valore venale, in valore unitario di mercato è stato ricercato confrontato con i dati statistici indicati dai tradizionali istituti di ricerca. Uno dei nuovi riferimenti in materia è senz'altro l'Osservatorio Immobiliare di recente istituzione (1993). Si tratta di una banca dati continuamente aggiornata dall'Agenzia del Territorio (ex catasto) attraverso indagini di mercato ed estimazioni puntuali.

I dati inseriti negli archivi informatici si riferiscono ai valori medi degli immobili registrati sulla base di una preventiva suddivisione del territorio in zone omogenee.

Detto ciò nella prassi estimativa il valore delle aree edificate si determina mediante l'applicazione di un'aliquota percentuale al valore di mercato del fabbricato su di essa edificato.

Detta aliquota non rappresenta altro che l'incidenza che il costo del suolo ha sul valore della costruzione.

In considerazione della ubicazione delle aree, dell'indice di cubatura, delle risultanze delle tabelle mercuriali, è stato possibile affermare che l'incidenza del valore delle aree su quello del fabbricato è pari al 15 -18% per le aree residenziali e del 10% per quelle industriali.

Tabella 5-1. Riepilogo superfici

Intervento	N. Prat.	Occ. Per.	Occ. Tem.	Servitù	Sup. Tot.
<b>Adeguamento svincolo autostradale</b>	29	15858	24934	789	41581

## 5.2 INTERFERENZE

Con il presente progetto sono state anche individuate le reti tecnologiche esistenti e per le quali si è provveduto a verificarne le caratteristiche principali presso gli Enti Gestori. Dall'esame delle reti sopra citate, presenti nelle aree necessarie per i lavori di adeguamento dello Svincolo autostradale, è stata redatta una planimetria con il censimento delle stesse reti e riscontrata la possibile interferenza.

Volendo distinguere i diversi tipi di interferenze, si possono raggruppare nelle seguenti tipologie:

- a) Reti di approvvigionamento idrico (acquedotto);
- b) Reti raccolta e smaltimento acque reflue (fognature comunali);
- c) Reti di trasporto e distribuzione energia elettrica (media e bassa tensione e pubblica illuminazione);
- d) Reti di trasporto e distribuzione gas (gasdotti media e bassa pressione per utenze private);
- e) Reti di telecomunicazione (telefonia su cavo, fibre ottiche e trasmissione dati).

## 6 VALUTAZIONE PRELIMINARE DELL'ANALISI COSTI BENEFICI

### 6.1 INTRODUZIONE

Nel presente capitolo viene svolta una valutazione preliminare dell'analisi costi-benefici relativa al progetto di potenziamento dello svincolo di Sesto San Giovanni, lungo l'autostrada A4 Milano - Venezia. Tale analisi, redatta sulla base degli indicatori trasportistici e dei costi, desunti dal progetto di fattibilità tecnico economica, potrà essere eventualmente aggiornata e integrata nelle successive fasi progettuali.

L'analisi costi-benefici intende valutare il contributo del progetto al benessere economico del Paese (la collettività), che viene determinato quantificando gli effetti del progetto sull'intera società (regione o Paese) e non soltanto sul proprietario dell'infrastruttura, come l'analisi finanziaria.

La presente analisi costi benefici è stata redatta coerentemente alla più recente letteratura scientifica su metodi e valori parametrici e facendo riferimento alle linee guida esistenti. In particolare, sono state considerate le indicazioni previste nelle:

- Linee Guida della DG Regio della Commissione Europea (2014);
- “Linee guida per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche nei settori di competenza del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti” (2016);
- “Linee guida per la redazione degli studi di fattibilità” della Regione Lombardia (2014).

I fattori di conversione dei costi sono tratti dalla pubblicazione “Lo studio di fattibilità nei progetti realizzati in forma partenariale: una guida ed uno strumento”, curato da UVAL ed IRPET (2014).

### 6.2 COSTI DI INVESTIMENTO

L'investimento complessivo richiesto per l'intervento progettuale è pari a 33,2 milioni di €, comprensivi di 23,2 milioni di € per lavori e 7 milioni di somme a disposizione; tale importo dei lavori tiene già conto di un ribasso d'asta stimato al 15%.

*Tabella 6-1. Quadro economico dell'intervento progettuale*

INVESTIMENTO PROGETTUALE	IMPORTI FINANZIARI (NETTO IVA)		
	MANODOPERA	LAVORI	TOTALE
<b>SUB TOTALE IMPORTO LAVORI</b>	5'098'443	18'076'297	23'174'739
ONERI PER LA SICUREZZA NON SOGGETTI A RIBASSO			2'970'000
<b>SOMME A DISPOSIZIONE</b>			
- Espropri, indennizzi			787'873
- Interferenze sottoservizi			390'000
- Monitoraggio ambientale			450'000
- Prove sui materiali			302'344
- Imprevisti			1'511'720
- Accordi bonari			907'032
- Spese generali comprese di progettazione			2'721'096
<b>SUB TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE</b>			7'070'065
<b>TOTALE</b>			<b>33'214'804</b>

In merito al cronoprogramma dell'opera ed alla sua apertura al traffico, si è fatto riferimento al più recente cronoprogramma disponibile, che prevede una durata dei lavori pari a 24 mesi e l'inizio dei lavori nel 2021.

In considerazione di tale cronoprogramma lavori e dell'opportunità di semplificare le elaborazioni considerando annualità complete, l'analisi costi-benefici si è quindi basata sul seguente cronoprogramma:

- Completamento della fase di progettazione esecutiva nel 2020;
- Completamento delle procedure di affidamento lavori nel 2020;
- Inizio dei lavori nel 2021 e completamento dei lavori a fine 2022, con successiva apertura dell'opera al traffico all'inizio del 2023.

### 6.3 PREVISIONI DI TRAFFICO

Lo studio di traffico elaborato nella redazione del progetto di fattibilità tecnico-economica è stato calibrato rispetto allo scenario attuale 2018 e poi sono stati simulati lo scenario programmatico 2018 (offerta programmatica + domanda attuale) e quello progettuale 2018 (offerta progettuale + domanda attuale).

#### 6.3.1 Modello di simulazione e ipotesi di base

Per simulare gli effetti sulla circolazione del progetto, è stato implementato un modello di micro simulazione del traffico presente nell'area di studio.

L'analisi trasportistica è stata effettuata impiegando un opportuno strumento modellistico sviluppato e affinato per questo scopo: il software di micro simulazione Aimsun Next.

Essa è stata condotta in riferimento all'ora di punta pomeridiana 17:00 – 18:00 di venerdì 4 maggio 2018 (giorno di effettuazione dei rilievi) ed ha consentito la calibrazione del modello di micro simulazione e la conseguente distribuzione dei flussi veicolari sulla rete.

L'immagine seguente mostra la localizzazione dei punti terminali della rete infrastrutturale esaminata, ovvero i centroidi cordonali.

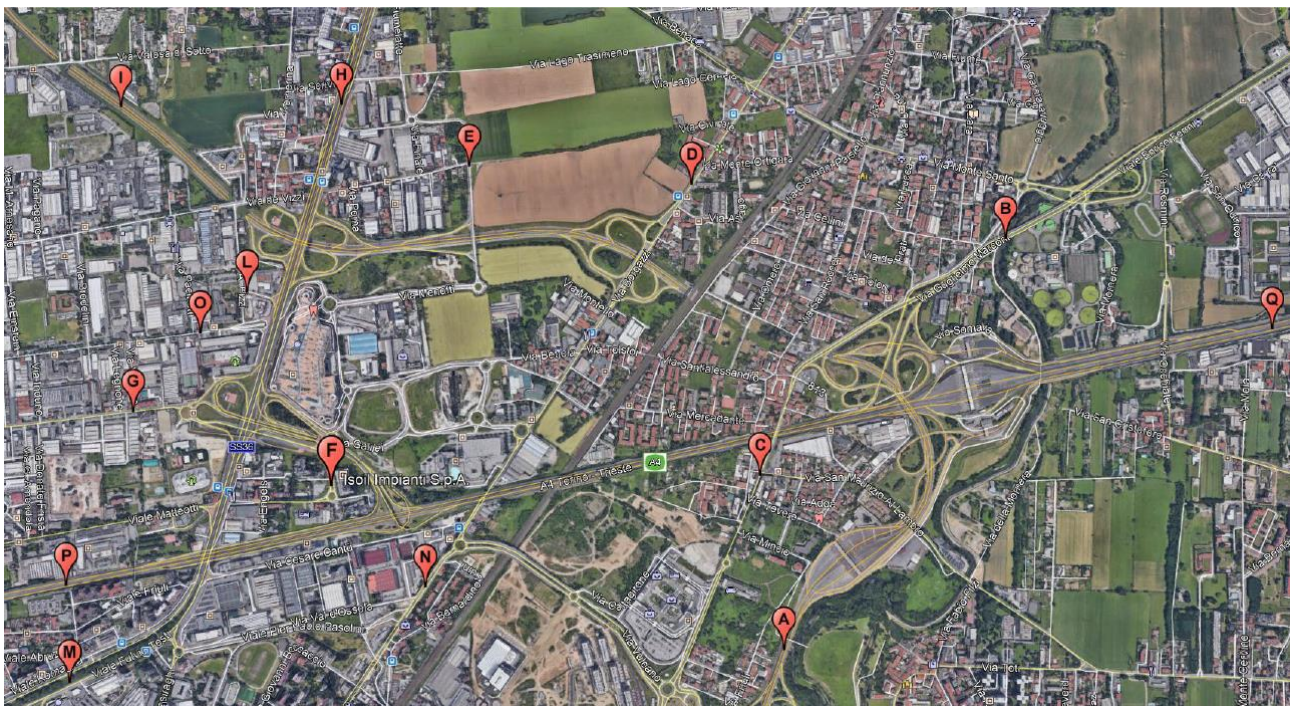


Figura 6.1 - Localizzazione centroidi cordonali

#### 6.3.2 Scenario attuale

Il grafo di rete utilizzato per la costruzione del modello di offerta nello scenario attuale è riportato nella successiva figura: questo fa riferimento alla rete infrastrutturale comprendente la viabilità principale (A4, A52 e SS36) e quella ordinaria locale.

Nelle sezioni stradali del modello sono stati inserite le reali caratteristiche geometriche ed anche i limiti di velocità massima consentita. Tali parametri contribuiscono alla definizione del regime della circolazione stradale.

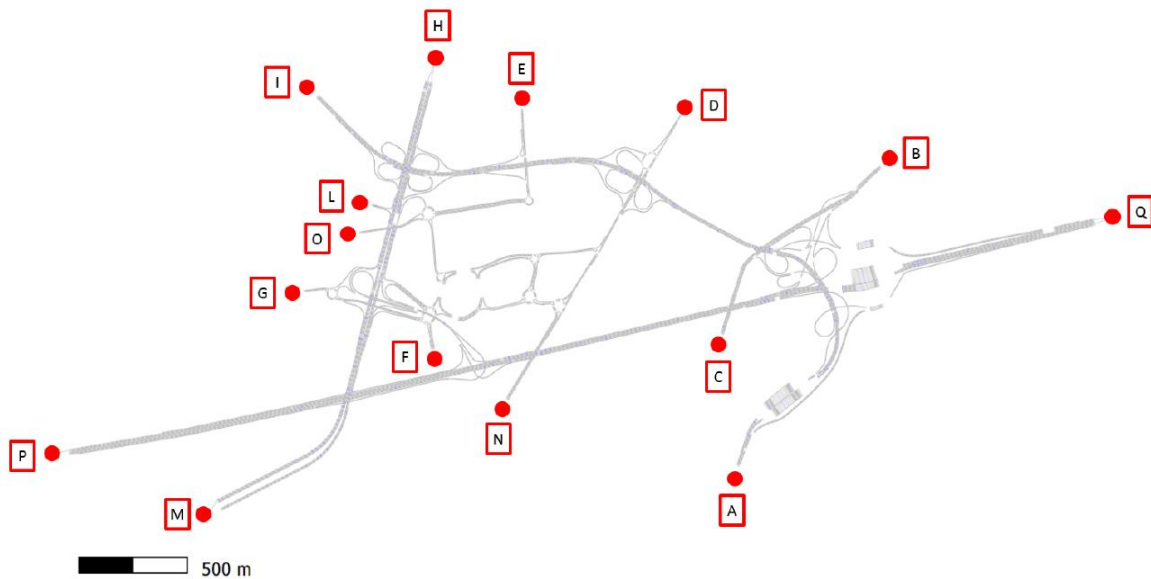


Figura 6.2 - Grafo Aimsun Next – Scenario attuale

La ricostruzione della domanda, rappresentativa della mobilità che interessa l'area di studio, è stata effettuata secondo le seguenti fasi:

- Il consulente del CC Auchan ha costruito un modello in scala macroscopica, impiegando un apposito software, all'interno del quale sono stati inseriti i dati di traffico disponibili (rilievi da indagini, dati delle barriere autostradali, matrice o/d da Bluetooth);
- Tramite una procedura di aggiustamento statico è stata ottenuta la matrice o/d espressa in veicoli equivalenti che rispecchia il più possibile i dati di traffico rilevati;
- Passando al modello in scala microscopica, è stata implementata tale matrice;
- Sono state effettuate le necessarie modifiche in modo da tenere in considerazione anche la quota di domanda non evasa a causa della presenza di congestione;
- La matrice o/d così stimata è stata ritenuta utilizzata sia per lo scenario attuale (offerta attuale + domanda attuale) che per quello progettuale (offerta progettuale + domanda attuale).

Si ricorda che il modello di domanda è stato costruito e implementato rispetto all'ora di punta del pomeriggio 17:00 – 18:00 di venerdì 4 maggio 2018 (giorno di effettuazione dei rilievi).

### 6.3.3 Scenario programmatico

Lo scenario programmatico è definito dall'offerta infrastrutturale programmatica (prevista dal quadro pianificatorio e dallo sviluppo del CC Auchan) e dalla domanda di mobilità stimata allo stato attuale a cui è stata aggiunta la domanda indotta dal nuovo Centro Commerciale Auchan secondo quanto fornitoci dal proponente del CC stesso.

Per lo scenario programmatico sono stati considerati i seguenti interventi infrastrutturali:

- Lungo la A4, IV corsia dinamica tra lo svincolo di Cormano e quello di Cinisello;
- Lungo la A52, interventi in capo al CC Auchan:
  - in carreggiata Est strada di servizio localizzata in corrispondenza della progressiva 6 + 500 e che termina con l'uscita di Robecco;
  - in carreggiata Est rimozione della rampa di ingresso dello svincolo di Robecco che permette l'immissione in Tangenziale Nord da Via Thomas Edison;
- Viabilità ordinaria, interventi in capo al CC Auchan:
  - collegamento Nord-Sud tra la rotatoria di Via Menotti – svincolo A52 Robecco e la rotatoria di Via Bettola – Via Biagi;
  - potenziamento di Via Galilei mediante la realizzazione di 2 corsie per senso di marcia fino alla rotatoria con Via Biagi;
  - eliminazione di Via Bettola e Via Padre Pio di Pietralcina;
  - adeguamento delle intersezioni a rotatoria esistenti.

### 6.3.4 Scenario progettuale

Lo scenario progettuale è definito dall'offerta infrastrutturale programmatica potenziata dall'intervento di progetto (potenziamento dello svincolo di Sesto San Giovanni lungo l'autostrada A4) e dalla domanda di mobilità identica a quella programmatica.

Nell'immagine che segue è mostrato il grafo progettuale implementato in Aimsun Next con evidenziati in rosso i centroidi presenti anche nello scenario attuale ed in blu quelli introdotti dallo scenario programmatico.

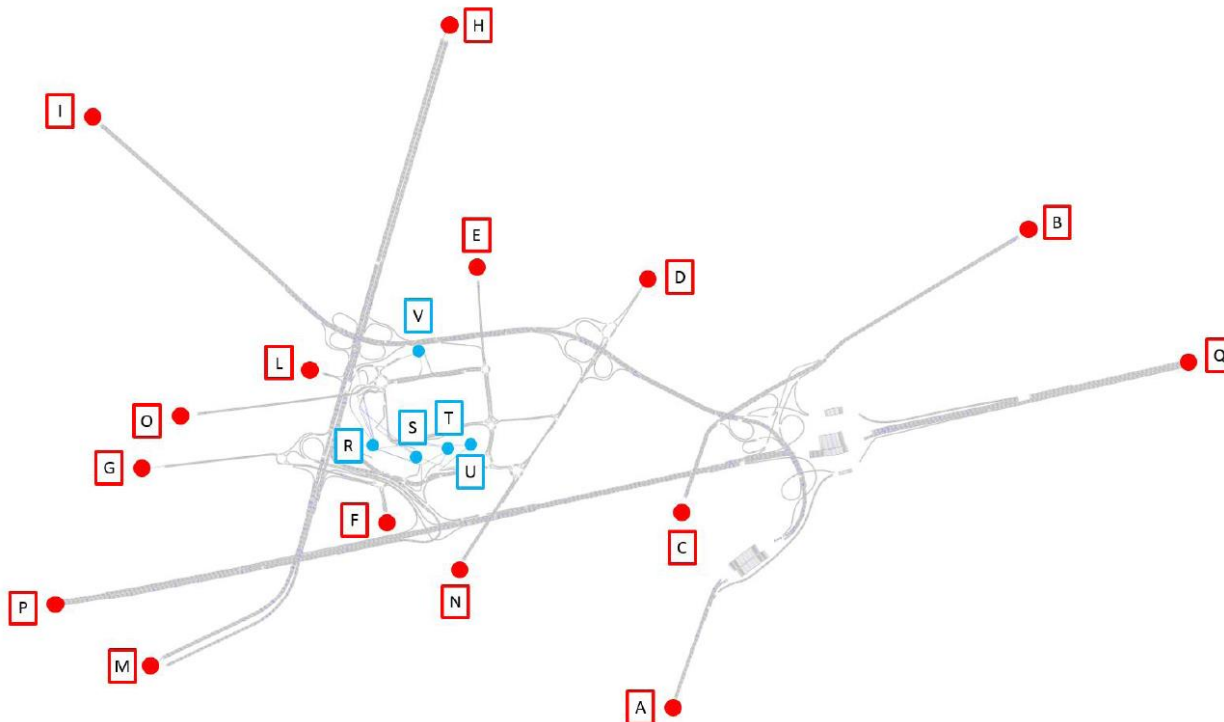


Figura 6.3 - Grafo Aimsun Next – Scenario progettuale

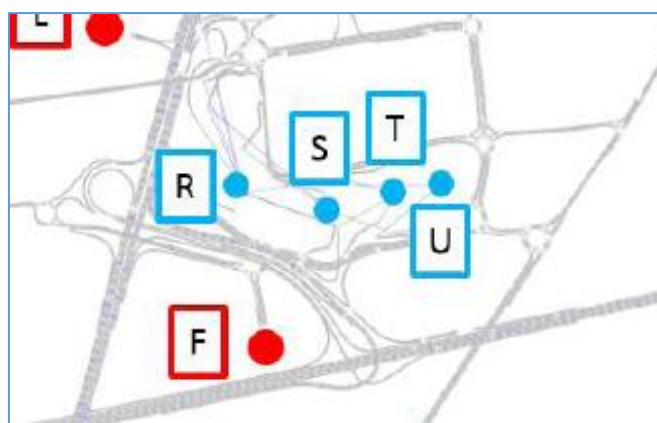


Figura 6.4 - Grafo Aimsun Next – Scenario progettuale ingrandimento area di svincolo

### 6.3.5 Indicatori di rete aggregati

Nell'ambito dell'analisi costi-benefici, la valutazione quantitativa degli effetti prodotti dagli interventi progettuali si basa principalmente sulla variazione differenziale delle percorrenze (veicoli\*km) e dei tempi di viaggio (veicoli\*h) sulla rete stradale tra lo scenario di non intervento (scenario programmatico) e lo scenario di intervento (scenario progettuale).

Nel caso in oggetto la variazione differenziale delle percorrenze tra scenario programmatico e scenario progettuale è stata considerata nulla.

Per il calcolo del valore annuale dei risparmi di tempo è stato ipotizzato che il risparmio giornaliero risulti pari a 4 volte quello dell'ora di punta e che il risparmio annuo risulti pari a 220 volte quello giornaliero.

Essendo la domanda assegnata espressa in veicoli equivalenti, i tempi risparmiati ottenuti dal calcolo sono stati considerati in termini di veicoli leggeri.

Il risparmio di tempo annuo dello scenario progettuale rispetto a quello programmatico risulta pari a 231'381 veic\*h per l'anno 2018.

Tale risparmio di tempo è stato mantenuto costante nell'ACB anche per le annualità future.

## 6.4 ANALISI COSTI-BENEFICI

### 6.4.1 Inquadramento metodologico

*L'analisi costi-benefici per gli investimenti nelle infrastrutture di trasporto*

Oggetto dell'analisi costi-benefici è il contributo del progetto al benessere economico del Paese, che viene determinato quantificando gli effetti del progetto sull'intera società (regione o Paese) e non soltanto sul proprietario dell'infrastruttura, come l'analisi finanziaria. L'analisi viene sviluppata secondo un approccio differenziale, in cui vengono confrontate almeno due situazioni, quella con e quella senza il progetto. Il calcolo degli indicatori di performance economici e finanziari deve essere realizzato sulla base delle differenze tra le due alternative.

L'analisi costi-benefici viene sviluppata a partire dai flussi finanziari di progetto. Il primo passaggio consiste nella trasformazione dei prezzi di mercato in prezzi di conto, depurando i prezzi dagli oneri fiscali e correggendo le distorsioni dovute a imperfezioni di mercato. Questo è reso possibile tramite l'attribuzione a ciascuna voce in entrata e in uscita di un coefficiente di conversione opportunamente scelto che permetta di trasformare i prezzi di mercato in prezzi di conto. Nella pratica nazionale ed internazionale per alcune categorie di flussi di cassa sono stati definiti coefficienti standard, come discusso nelle sezioni successive della relazione.

In secondo luogo la costruzione dell'analisi costi-benefici prende in considerazione gli impatti del progetto che provocano benefici e costi sociali non considerati nell'analisi finanziaria perché non generano effettive uscite o entrate monetarie (per esempio i risparmi di tempo percepiti dagli utenti e gli effetti ambientali).

Per quanto riguarda i benefici ed i costi diretti per gli utenti delle infrastrutture di trasporto (ovvero i costi interni dell'intervento di progetto), tradizionalmente questi sono dati dalle variazioni dell'area sottostante la curva di domanda di trasporto (il surplus del consumatore, vedi oltre) più le variazioni dei costi economici (costi delle risorse). Da un punto di vista teorico, i benefici sono dati dalla somma delle seguenti componenti:

- variazioni del surplus dei consumatori (che include il tempo per il valore del tempo e tutti i costi percepiti dagli utenti), comprese le tariffe, i pedaggi e le variazioni nei costi di funzionamento dei veicoli sostenuti dagli utenti, ad esempio per il trasporto privato;
- variazioni del surplus dei produttori (che includono i profitti e le perdite dei gestori dell'infrastruttura, se presenti, quelli degli operatori del trasporto pubblico e variazioni di tasse e sussidi per il governo);
- variazioni nei costi non percepiti (si assume spesso che gli automobilisti non percepiscano elementi di costo che non sia il costo del carburante, come i pneumatici, la manutenzione, il deprezzamento). Le variazioni nei trasporti automobilistici possono comportare variazioni di questi costi, che vanno aggiunti al calcolo del surplus di consumo.

Qualora, come nel caso in esame, non vi sia traffico generato, l'analisi si limita alle variazioni dei costi economici per gli utenti e i produttori, al netto di tutti i trasferimenti. Inoltre, la distinzione tra costi percepiti e non percepiti non ha particolare rilevanza, dato che vengono trattati indifferentemente nell'analisi. Pertanto, al fine di semplificare l'esposizione della metodologia adottata e dei risultati ottenuti, nella presente relazione ci si limiterà a presentare in modo aggregato la valutazione di costi e benefici diretti senza differenziare tra costi percepiti e non percepiti; inoltre, sempre per ragioni espositive, i benefici ed i costi saranno semplicemente distinti tra: costi relativi alla gestione dell'infrastruttura, costi relativi alla circolazione dei veicoli e benefici (o costi) derivanti dalle variazioni dei tempi di viaggio.

I benefici di tempo costituiscono in generale per i progetti nel settore dei trasporti, ed in particolare per quelli relativi ad infrastrutture stradali, la quota di gran lunga più rilevante. La valutazione quantitativa (in termini di ore totali) dell'impatto dei progetti viene definita nell'ambito degli studi di traffico. Trattandosi di un bene privo di mercato, nell'analisi costi-benefici a tali effetti deve essere attribuito un costo monetario, detto valore del

tempo. Tale parametro ha un notevole impatto sui risultati dell'analisi, e per questo deve essere definito il più possibile sulla base di parametri stimati nell'ambito di ricerche o linee guida nazionali ed internazionali.

Infine, la valutazione dei costi e dei benefici sociali ricomprende le cosiddette esternalità, ovvero gli effetti del progetto che ricadono su soggetti che non hanno avuto alcun ruolo nell'attività stessa, e che pertanto sono privi di un prezzo di mercato. Nella valutazione economica dei progetti relativi alle infrastrutture di trasporto hanno un peso rilevante le esternalità dovute agli effetti ambientali e all'incidentalità.

Ottenuta la stima dei flussi di entrata ed uscita espressi in valori economici, si procede quindi con l'attualizzazione mediante un appropriato tasso di sconto sociale e con il calcolo del tasso di rendimento interno economico dell'investimento e degli altri indicatori di redditività (sociale) dell'investimento.

Infine, si precisa che la presente analisi costi benefici è stata redatta coerentemente alla più recente letteratura scientifica su metodi e valori parametrici e facendo riferimento alle linee guida esistenti. In particolare, sono state considerate le indicazioni previste nelle Linee Guida della DG Regio della Commissione Europea (2014), nelle "Linee guida per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche nei settori di competenza del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti" (2016) e nelle "Linee guida per la redazione degli studi di fattibilità" della Regione Lombardia (2014). Infine, i fattori di conversione dei costi sono tratti dalla pubblicazione "Lo studio di fattibilità nei progetti realizzati in forma partenariale: una guida ed uno strumento", curato da UVAL ed IRPET (2014).

#### *Scenari di valutazione e principali parametri*

In linea con l'approccio generale descritto nella sezione precedente, l'analisi costi-benefici del progetto di potenziamento dello svincolo di Sesto San Giovanni viene sviluppata secondo un approccio differenziale, comparando due situazioni, quella con e quella senza il progetto.

Nell'analisi costi-benefici, gli effetti considerati sono solo di tipo differenziale, ovvero la quantificazione degli impatti è ottenuta come differenza tra valori riferiti allo scenario progettuale e valori nello scenario programmatico; in tal senso, i costi di investimento inclusi nell'analisi sono i costi di realizzazione del potenziamento dello svincolo di Sesto San Giovanni. Lo stesso approccio si applica ai costi di manutenzione ed ai benefici.

Il calcolo dei parametri di efficacia economica (Tasso Interno di Rendimento Economico – TIRE, Valore Attuale Netto Economico – VANE e rapporto benefici su costi – B/C e Payback Period - BPP) richiedono inoltre di definire alcuni parametri analitici, ed in particolare:

- Il tasso di sconto nell'analisi economica dei progetti di investimento – tasso di sconto sociale – tenta di mostrare come i costi e i benefici futuri dovrebbero essere valutati in rapporto a quelli presenti. Il tasso di sconto adottato nell'analisi è pari al 3%, in linea con le linee guida della Commissione Europea per i paesi non in convergenza;
- L'orizzonte temporale al quale viene estesa la valutazione dei costi e benefici di progetto è pari a 30 anni (incluso il periodo di costruzione), anche in questo caso in accordo con le linee guida comunitarie; ai fini del presente studio, si è scelto di far coincidere il periodo di analisi con il trentennio 2021-2050, a decorrere dall'anno di inizio lavori ipotizzato (2021);
- L'analisi è sviluppata a prezzi costanti e riferiti all'anno base 2018; i flussi monetari sono riportati al netto dell'IVA, sia per quanto riguarda i costi di investimento sia i valori monetari dei benefici;
- L'analisi si concentra sulla quantificazione degli impatti aggregati a livello di intera società, tralasciando i trasferimenti interni, pertanto, non compare nell'analisi la quantificazione dei ricavi da pedaggio, che rappresenta un costo per gli utenti ed un ricavo per il gestore dell'infrastruttura (e quindi con un effetto sociale complessivo nullo). Similmente, non vengono analizzati esplicitamente gli effetti sulla finanza statale dovuti ai trasferimenti fiscali dai privati, che vengono invece eliminati tramite coefficienti di correzione fiscale, come menzionato nel paragrafo precedente. Pertanto, per esempio, i prezzi dei carburanti vengono inclusi al netto delle accise.

Infine, si ricordano le principali fasi della realizzazione dell'opera così ipotizzate ai fini della redazione dell'analisi costi-benefici:

- Completamento della fase di progettazione esecutiva nel 2020;
- Completamento delle procedure di affidamento lavori nel 2020;
- Inizio dei lavori nel 2021 e completamento dei lavori a fine 2022, con successiva apertura dell'opera al traffico all'inizio del 2023.



## 6.4.2 Il costo economico dell'investimento

La prima fase della procedura di valutazione economica si traduce operativamente nell'applicazione di coefficienti o fattori di conversione che, moltiplicati per ciascun valore, ne permettono la correzione per la componente fiscale e per la componente attribuibile alle imperfezioni di mercato.

La tabella seguente riporta il calcolo relativo ai costi economici dell'investimento. Come descritto più in dettaglio qui di seguito, i fattori di conversione dei costi sono tratti dalla pubblicazione "Lo studio di fattibilità nei progetti realizzati in forma partenariale: una guida ed uno strumento", curato da UVAL ed IRPET (2014).

*Tabella 6-2. Costi economici dell'investimento nello scenario progettuale (€2018)*

INVESTIMENTO PROGETTUALE	IMPORTI FINANZIARI (NETTO IVA)			COEFFICIENTI DI CONVERSIONE		VALORI ECONOMICI		
	Manodopera	Lavori	Totale	Manodopera	Lavori	Manodopera	Lavori	Totale
<b>SUB TOTALE LAVORI</b>	5'098'443	18'076'297	23'174'739	0,4392	0,8371	2'239'236	15'131'306	17'370'542
ONERI PER LA SICUREZZA NON SOGGETTI A RIBASSO			2'970'000	0,8385				2'490'345
<b>SOMME A DISPOSIZIONE</b>								
- Espropri, indennizzi			787'873	1,0000				787'873
- Interferenze sottoservizi			390'000	0,8546				333'294
- Monitoraggio ambientale			450'000	0,8546				384'570
- Prove sui materiali			302'344	0,8546				258'383
- Imprevisti			1'511'720	0,8546				1'291'916
- Accordi bonari			907'032	0,8546				775'150
- Spese generali comprese di progettazione			2'721'096	0,8546				2'325'449
<b>SUB TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE</b>			<b>7'070'065</b>					<b>6'156'634</b>
<b>TOTALE</b>			<b>33'214'804</b>					<b>26'017'522</b>

I fattori di conversione dei costi sono tratti dalla pubblicazione "Lo studio di fattibilità nei progetti realizzati in forma partenariale: una guida ed uno strumento", curato da UVAL ed IRPET (2014). Tali coefficienti comprendono due elementi correttivi dei prezzi finanziari:

- Correzione per le imperfezioni di mercato (o l'individuazione dei cosiddetti prezzi ombra), che viene applicata in particolare con riferimento all'individuazione del salario ombra per la manodopera (determinato in funzione del tasso di disoccupazione involontaria);
- Correzione fiscale, che nell'approccio adottato dall'IRPET, non tiene conto solo degli importi fiscali indicati nel prospetto di costo, ma anche i rientri in termini di imposte indirette e dirette associati al complesso delle interazioni che originano dalla spesa.

Per quanto riguarda la manodopera, essendo questa, al pari di tutte le altre voci di costo, già interessata da una correzione fiscale, il fattore di conversione unico integra il coefficiente utilizzato per ottenere il salario ombra in modo da tener conto anche della componente indiretta delle imposte.

Come precisato nella pubblicazione IRPET, i contributi pensionistici (a carico del dipendente e del datore di lavoro) non vengono invece stornati in regione del fatto che, da un punto di vista concettuale, rimangono nelle disponibilità del lavoratore, costituendo meramente un ammontare monetario destinato al consumo differito.

Si fa presente inoltre che, non essendo disponibile un cronoprogramma delle spese di investimento, è stato assunto come ipotesi che tali spese siano distribuite uniformemente sui due anni di costruzione.

### 6.4.3 I costi di manutenzione e gestione

I costi di manutenzione differenziali sono stati determinati in forma parametrica, valutando gli oneri di manutenzione aggiuntivi imputabili al pavimentato addizionale e alla realizzazione della canna aggiuntiva della galleria Gracchi.

Gli oneri di manutenzione comprendono sia la manutenzione ordinaria annuale, sia le manutenzioni programmate straordinarie, inclusi i rifacimenti delle pavimentazioni. Analogamente al costo di investimento, i prezzi di mercato sono stati convertiti in valori economici utilizzando il coefficiente di conversione proposto dalla pubblicazione IRPET (pari a 0.8546).

I costi di manutenzione differenziali considerati per il progetto comprendono la manutenzione ordinaria e straordinaria della pavimentazione incluse pulizie ed opere in verde, operazioni invernali e manutenzioni del corpo stradale.

Qui di seguito è illustrata la metodologia di calcolo delle differenti voci di costo.

#### **Costi di manutenzione pavimentazioni**

La stima dei costi di manutenzione delle pavimentazioni è stata realizzata assumendo le tempistiche riportate nella tabella seguente.

I costi di manutenzione sono relativamente contenuti per il primo quinquennio dall'apertura e negli anni in cui non sono ipotizzati particolari interventi manutentivi, se non quelli relativi alla gestione ordinaria (quale ad esempio le operazioni previste in caso di neve e gelo). I costi aumentano notevolmente negli anni in cui è stata ipotizzata una attività di manutenzione (ordinaria o straordinaria) con il rifacimento parziale della pavimentazione.

Tabella 6-3. Cicli di manutenzione ordinaria e straordinaria

Tipo di intervento	Cicli di manutenzione
Manutenzioni ordinarie ricorrenti e frequenti (incluse operazioni invernali)	Annuale
Manutenzione ordinaria: usura	Anni 5, 15, 25
Manutenzione straordinaria: usura più binder	Anno 10
Manutenzione straordinaria profonda: usura più binder più base	Anno 20

In tabella si riportano i valori dei costi di manutenzione unitari utilizzati.

La superficie aggiuntiva di pavimentato considerata nelle analisi è pari a 12'000 mq (valore calcolato sulla base dei dati resi disponibili dal committente).

Tabella 6-4. Costi unitari di manutenzione della pavimentazione

Lavorazioni	Costo unitario (€/mq)
Manutenzioni ordinarie ricorrenti e frequenti (incluse operazioni invernali)	0.6
Manutenzione ordinaria: usura drenante	9.12
Manutenzione straordinaria: usura drenante più binder	17.43
Manutenzione straordinaria profonda: usura più binder più base	46.61

#### **Costi di manutenzione per la canna aggiuntiva della galleria Gracchi**

La lunghezza della canna aggiuntiva della galleria Gracchi è pari a 138 m e la sua sezione è costituita da 3 corsie di marcia da 3.50m ciascuna, senza la corsia di emergenza ma con 2 banchine da 1m ciascuna.

Il costo di manutenzione complessivo per la durata della vita utile ad eccezione dei primi 5 anni, per i quali si ipotizza non sia presente manutenzione, risulta pari a 105 €/mq.

Nella tabella si riportano i valori dei costi di manutenzione relativi ad anni tipo: il 2023 è rappresentativo degli anni in cui non è prevista alcuna attività straordinaria, mentre gli altri valori fanno riferimento ad anni in cui sono previste attività di manutenzione (ordinaria o straordinaria).

Tabella 6-5. Stima parametrica dei costi differenziali di manutenzione (€2018)

ANNO	2023	2027	2028	2032	2042
Costo annuale manutenzione aggiuntiva	7'200	116'646	7'200	216'402	566'466
Costo annuale manutenzione canna aggiuntiva galleria Gracchi	0	0	6'319	6'319	6'319
Costi aggiuntivi manutenzione	7'200	116'646	13'519	222'721	572'785
Valore economico	6'153	99'686	11'554	190'338	489'502

L'andamento dei costi di manutenzione (in valori economici) nel tempo è illustrato nella figura seguente.

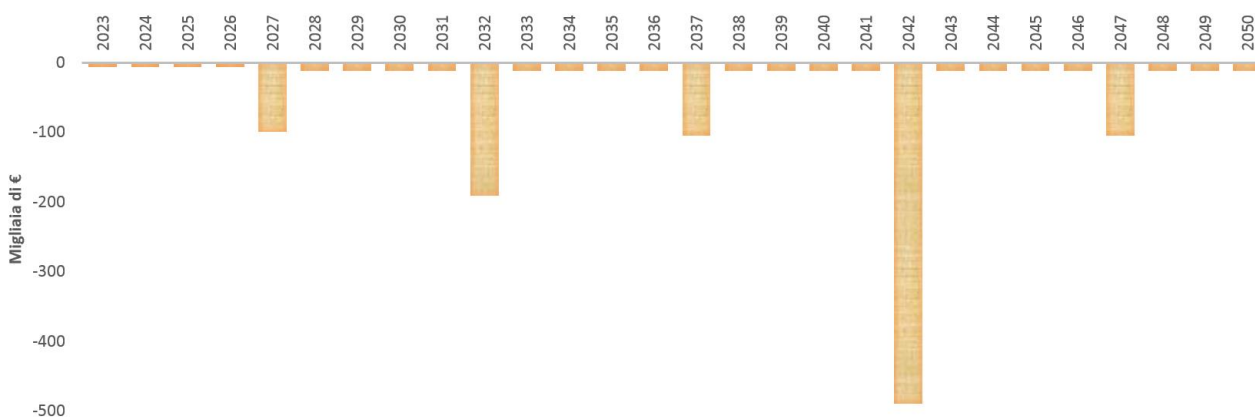


Figura 6.5 - Evoluzione dei costi differenziali di manutenzione nel tempo (migliaia € 2018)

#### 6.4.4 Il valore residuo dell'opera

Il valore residuo dell'investimento è stato determinato con una semplice formula lineare, in cui il valore dell'investimento decresce linearmente sino a zero al termine della vita utile. Assumendo una vita utile di 50 anni, all'anno finale dell'analisi saranno trascorsi 28 anni dall'inizio della posa in opera e, dunque, il valore residuo sarà pari a  $(50-28)/50 = 44\%$  dell'investimento iniziale. Questo valore sarà opportunamente scontato con il tasso di sconto, così come ogni altro costo e beneficio futuro.

#### 6.4.5 Gli effetti diretti per gli utenti: risparmi di tempo

I risparmi di tempo costituiscono di gran lunga il beneficio più rilevante per gli investimenti nel settore dei trasporti, ed in particolare per quelli stradali. I risultati dello studio di traffico consentono di identificare i risparmi di tempo sull'intera rete stradale oggetto di studio; pertanto, tali risparmi di tempo includono non solo gli effetti di decongestionamento diretto sulla tratta in esame, ma anche gli effetti di rete dovuti al miglioramento della fluidità sulla viabilità alternativa.

Nell'ambito dell'analisi costi-benefici i risparmi di tempo sono stati moltiplicati per il valore monetario del tempo, ovvero il valore economico (marginale) che ciascuna categoria di utenti associa ad un risparmio unitario di tempo di viaggio sulla rete.

I valori del tempo per i veicoli leggeri adottati nelle analisi sono tratti dalle "Linee guida per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche" del MIT, che forniscono un range di valori del tempo in €2016/pass-h per classe di distanza (breve e medio-lunga) e motivo dello spostamento (business, pendolarismo, altri motivi). I valori del tempo adottati nell'analisi costi-benefici sono rappresentati dal valore centrale del range definito nelle linee guida.

Nella quantificazione monetaria, i valori del tempo per persona sono convertiti in valori riferiti ai veicoli, tramite opportuni fattori di riempimento e poi opportunamente convertiti in €2018/veic-h.

In assenza di dati specifici riferiti all'area di studio, i coefficienti di occupazione veicolare sono desunti dalla matrice O/D della Regione Lombardia (anno di riferimento 2014), tenendo conto dei soli spostamenti intercomunali in auto.

I risparmi di tempo ottenuti dal micro modello sono stati disaggregati in risparmi per spostamenti di breve e medio-lunga distanza, pari ognuno al 50%, e poi in seguito ulteriormente disaggregati per motivo dello spostamento (10% business, 60% pendolarismo e 30% altri motivi).

Tabella 6-6. Valore economico dei risparmi di tempo (€2018)

Classe veic.	Distanza	Scopo	VOT per persona (€2016)	Fattore di riempimento veicolare	VOT per veicolo (€2016)	VOT per veicolo (€2018)
Veicoli leggeri (VL)	Breve	Affari	16	1,20	19,2	19,62
		Pend.	7,5	1,10	8,25	8,43
		Altro	10	1,17	11,7	11,96
	Media o lunga	Affari	27,5	1,20	33	33,73
		Pend.	12,5	1,10	13,75	14,05
		Altro	17,5	1,17	20,48	20,93

Infine nell'analisi si è tenuto conto che i valori del tempo sono funzione della capacità di spesa di famiglie ed aziende, e pertanto nell'arco temporale di analisi sono soggetti a variazione in ragione dei livelli complessivi di reddito; per questa ragione, i valori all'anno base sono aggiornati in funzione della crescita economica (Prodotto interno lordo pro-capite) con una elasticità pari a 0.5.

Al fine della stima delle prospettive di crescita del PIL pro capite, sono state adottate le stime del FMI di aprile 2017, disponibili fino al 2022. Dopo il 2022, le previsioni del FMI sono state estrapolate assumendo un lineare decremento dei tassi di crescita di PIL pro capite. La tabella seguente illustra le ipotesi di variazione del PIL pro capite e del valore del tempo nell'orizzonte di analisi dell'ACB.

Il valore annuo dei risparmi di tempo conseguenti al potenziamento dello svincolo di Sesto San Giovanni sono quindi calcolati semplicemente come il prodotto dei valori unitari per i risparmi di tempo annui forniti dal modello di traffico e riportati al capitolo precedente.

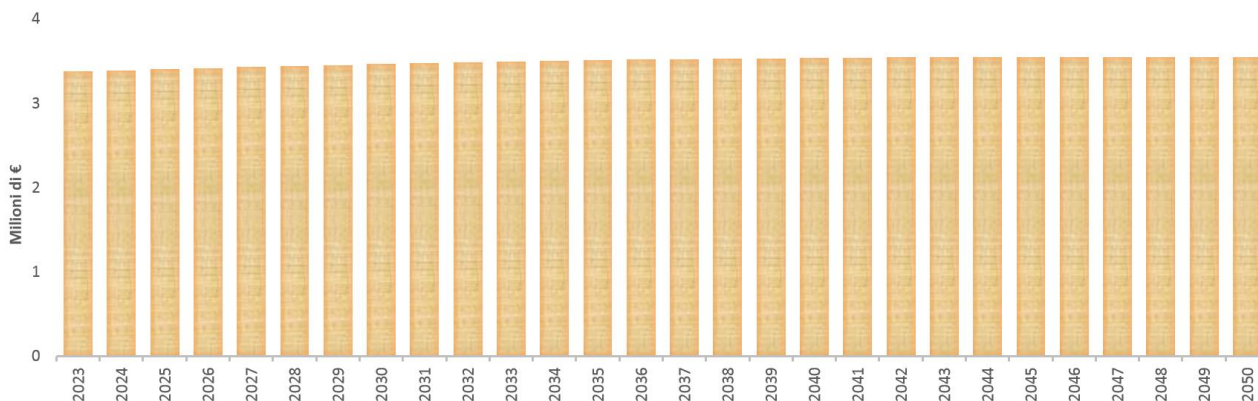


Figura 6.6 - Evoluzione dei benefici da risparmi di tempo nell'orizzonte di analisi (milioni € 2018)

#### 6.4.6 Impatti non quantificati nell'analisi costi-benefici

In linea con le linee guida della Commissione Europea, l'analisi socio-economica misura gli impatti in forma di benefici o danni alla collettività attraverso la quantificazione della variazione di surplus che interviene nel mercato primario ovvero quello dei trasporti nel caso di studio. Si assumono condizioni di concorrenza perfetta nei settori diversi da quello a cui appartiene l'investimento (in questo modo il surplus del consumatore coincide con il beneficio sociale totale) pertanto l'analisi non include impatti nel mercato secondario come quello del lavoro, delle abitazioni o dei beni di consumo. Tuttavia, si sottolinea come nella realtà la concorrenza imperfetta caratterizza molti dei settori collegati a quello dei trasporti e in questi mercati genera degli impatti che potrebbero indurre variazioni del benessere sociale che in questa relazione saranno analizzati solo dal punto qualitativo. Nella letteratura del Regno Unito questi benefici e/o costi sono denominati *Wider Economic Impacts* ("WEI") proprio perché tengono conto degli effetti economici più ampi generati dall'investimento e non solo nel suo mercato primario.

Il più comune impatto positivo è denominato "Agglomeration" o "Urban effect" poiché i benefici derivanti dalle economie di agglomerazione aumentano con il crescere della densità (prossimità spaziale) del tessuto economico; i trasporti possono contribuire a tale dinamica esercitando un'importante influenza sulle scelte di imprese e individui di trasferirsi da zone a bassa a zone ad alta produttività (Banister e Berechman, "Transport Investment and Economic Development", 2000). Più in dettaglio, ciò è dovuto ai seguenti fattori:

- Il trasporto / costo generalizzato del trasporto in parte determinano densità economiche grazie al miglioramento dell'accessibilità; difatti congestione stradale o autostrade troppo trafficate possono inibire il potenziale sviluppo futuro delle economie di agglomerazione e urbanizzazione;
- L'investimento può inoltre modificare la concentrazione delle attività (incluso il lavoro) collegate alle imprese dell'area.

Tutti questi effetti non sono calcolati nella tradizionale analisi-costi benefici che si basa sulla WTP (*willingness to pay* o disponibilità a pagare) dei consumatori nel mercato primario dei trasporti.

Tipicamente, un altro fattore importante e spesso legato alla volontà politica di un progetto è la creazione di nuovi posti di lavoro durante la costruzione e/o operatività dell'infrastruttura. L'aspetto occupazionale ha evidentemente un effetto positivo sulla società e genera maggior consenso rispetto ad altri benefici quali ad esempio quelli non percepiti dagli utenti. Questo WEI è comunque già parzialmente incluso nell'analisi costi-benefici sebbene non palesato o quantificato sotto forma di beneficio; infatti, gli effetti economici sul mondo del lavoro sono già inglobati nel calcolo dei prezzi ombra e quindi nei fattori di conversione che derivano dal "salario ombra" per ottenere i costi economici dai costi finanziari reali.

Altri impatti positivi nel mercato secondario che possono essere generati da un progetto di investimento nel settore dei trasporti sono quelli legati agli effetti sulla concorrenza e gli effetti sulla produttività; nonché, nuove infrastrutture o ampliamento delle esistenti potrebbero influenzare la generazione e redistribuzione interregionale di reddito.

D'altro canto, la presa in conto della dimensione territoriale tra le tipologie di impatto (ad es. l'uso/consumo del suolo e dell'acqua e il consumo di risorse ambientali e perdita delle biodiversità) e degli effetti *upstream / downstream* (indirettamente generati "a monte e a valle" dalle attività di trasporto) possono generare invece dei costi sulla collettività. Tali effetti si possono comunque considerare del tutto trascurabili data la tipologia di intervento oggetto di valutazione.

### 6.4.7 Risultati: indicatori di progetto

La tabella seguente illustra il bilancio dei costi e dei benefici economici generati dal progetto, in valori attualizzati al 2018.

Tabella 6-7. Sintesi dei costi e dei benefici di progetto

Costo o beneficio	Valore attuale netto (milioni di € 2018)
Investimento (inclusa progettazione)	-23,5
Manutenzione	-0,7
Valore residuo	4,4
Totale costi di progetto	-19,7
Risparmi di tempo	58,1
Totale costi e benefici diretti	38,4
<b>VANE</b>	<b>38,4</b>

La rappresentazione grafica dei costi e dei benefici, come riportata nella figura seguente, evidenzia come i risparmi di tempo da parte degli utenti siano sufficientemente elevati da compensare i costi di progetto.

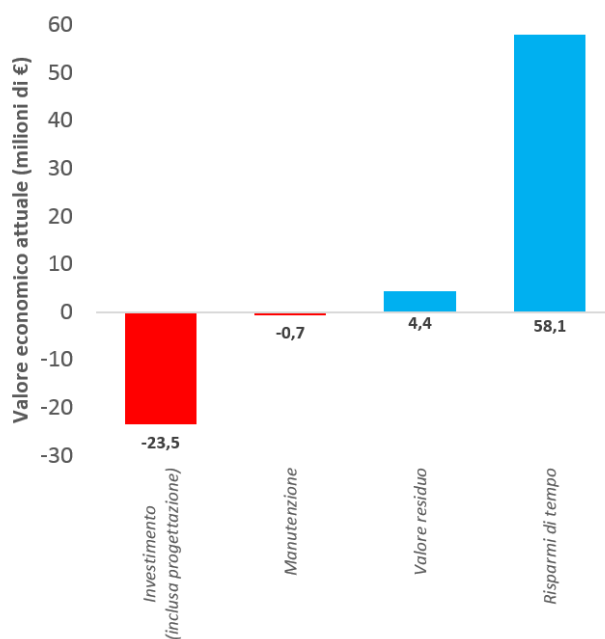


Figura 6.7 - Rappresentazione grafica dei costi e dei benefici di progetto

Infine, la tabella sottostante riporta i valori degli indicatori di progetto, che confermano come il progetto sia in grado di contribuire positivamente al benessere della società, apportando benefici significativamente superiori ai costi di progetto.

Tabella 6-8. Indicatori socio-economici di progetto

<b>Tasso Interno di Rendimento Economico (TIRE)</b>	<b>12,1%</b>
<b>Valore Attuale Economico Netto (VANE, milioni di € 2018)</b>	<b>38,4</b>
<b>Rapporto Benefici / Costi (B/C)</b>	<b>2,95</b>
<b>Payback period (PBP) dall'anno di inizio costruzione (2021)</b>	<b>11 anni</b>

## 6.5 CONCLUSIONI

Oggetto dell'analisi è il contributo del progetto al benessere economico del paese, che viene determinato quantificando gli effetti sull'intera società (regione o paese) conseguenti alla realizzazione del potenziamento dello svincolo di Sesto San Giovanni lungo l'autostrada A4 Milano - Venezia.

L'analisi costi benefici è stata redatta coerentemente alla più recente letteratura scientifica su metodi e valori parametrici e facendo riferimento alle linee guida esistenti.

L'analisi è stata sviluppata sulla base degli input elaborati dai progettisti in merito al Quadro economico e dagli specialisti incaricati di valutare gli effetti trasportistici dell'intervento.

Le tabelle seguenti e la figura sottostante illustrano il bilancio dei costi e dei benefici economici generati dal progetto, in valori attualizzati al 2018. I valori ottenuti confermano come il progetto sia in grado di contribuire positivamente al benessere della società, apportando benefici significativamente superiori ai costi di progetto per 38,4 milioni di €; il periodo di *pay-back* sociale dell'investimento risulta pari a 11 anni: pertanto, il costo dell'investimento (completato con l'apertura nel 2023) viene ripagato a fine 2031, dopo 9 anni di esercizio, che risulta un periodo di tempo comparativamente breve rispetto alla vita tecnica utile dell'opera (stimata in 50 anni).

*Tabella 6-9. Sintesi dei costi e dei benefici di progetto*

Costo o beneficio	Valore attuale netto (milioni di € 2018)
Investimento (inclusa progettazione)	-23,5
Manutenzione	-0,7
Valore residuo	4,4
Totale costi di progetto	-19,7
Risparmi di tempo	58,1
Totale costi e benefici diretti	38,4
<b>VANE</b>	<b>38,4</b>

*Tabella 6-10. Indicatori socio-economici di progetto*

<b>Tasso Interno di Rendimento Economico (TIRE)</b>	<b>12,1%</b>
<b>Valore Attuale Economico Netto (VANE, milioni di € 2018)</b>	<b>38,4</b>
<b>Rapporto Benefici / Costi (B/C)</b>	<b>2,95</b>
<b>Payback period (PBP) dall'anno di inizio costruzione (2021)</b>	<b>11 anni</b>

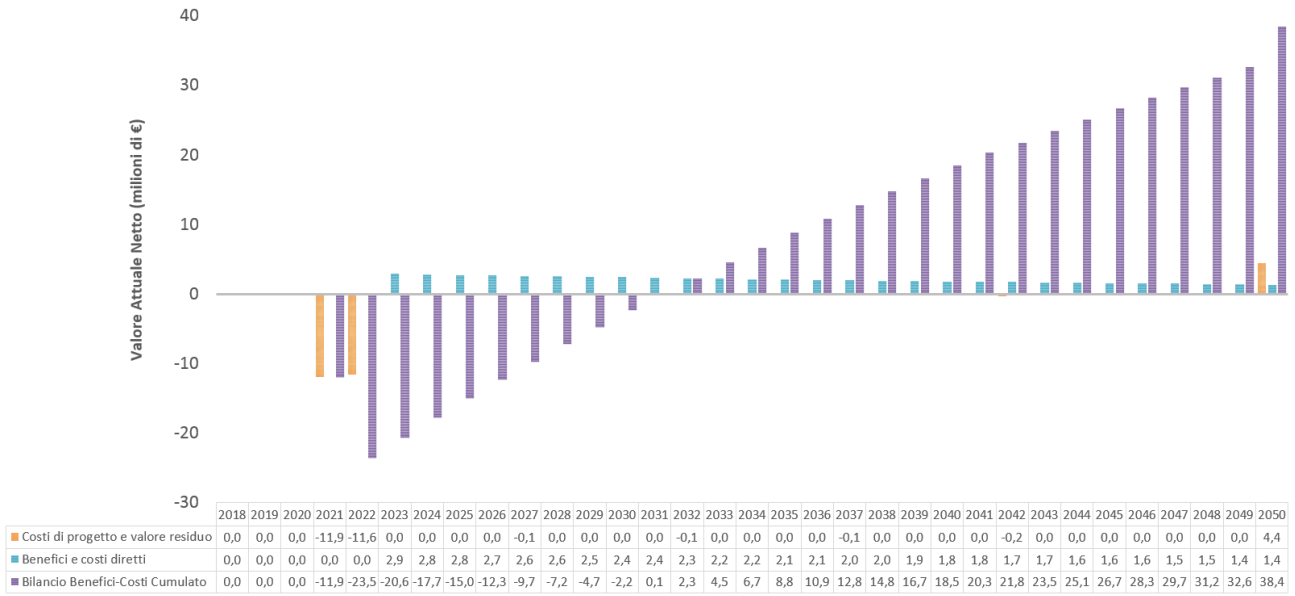


Figura 6.8 - Evoluzione dei costi e dei benefici di progetto e del bilancio cumulato socio-economico nell'orizzonte di studio