

CONCEDENTE



CONCESSIONI  
AUTOSTRADALI  
LOMBARDE

CONCESSIONARIA



SOCIETÀ DI PROGETTO  
BREBEMI SPA

CUP E3 1 B05000390007

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE  
DI CONNESSIONE TRA LE CITTA' DI  
BRESCIA E MILANO

PROCEDURA AUTORIZZATIVA D. LGS 163/2006  
DELIBERA C.I.P.E. DI APPROVAZIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO N° 42/2009

INTERCONNESSIONE A35-A4  
PROGETTO DEFINITIVO

INTERCONNESSIONE A35-A4

PARTE GENERALE

00001 - ELABORATI GENERALI

RELAZIONE TECNICA STRADALE

PROGETTAZIONE:



**CONSORZIO B.B.M.**

VERIFICA:

PER IL CONSORZIO  
IL PROGETTISTA RESPONSABILE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  
IMPRESA PIZZAROTTI E C. S. P.A.  
DOTT. ING. PIETRO MAZZOLI  
ORDINE DEGLI INGEGNERI DI PARMA N. 821

PER IL CONSORZIO  
IL DIRETTORE TECNICO  
IMPRESA PIZZAROTTI E C. S. P.A.  
DOTT. ING. SABINO DEL BALZO  
ORDINE DEGLI INGEGNERI DI POTENZA N. 631

APPROVATO SGP

| I.D.  | IDENTIFICAZIONE ELABORATO |      |      |      |       |       |             |        |       |        |            | PROGR. |      | DATA:      |
|-------|---------------------------|------|------|------|-------|-------|-------------|--------|-------|--------|------------|--------|------|------------|
|       | EMIT.                     | TIPO | FASE | M.A. | LOTTO | OPERA | PROG. OPERA | TRATTO | PART. | PROGR. | PART. DOC. | STATO  | REV. | MARZO 2015 |
| 60518 | 04                        | RG   | D    | I    | I1    | 00    | 001         | 00     | 00    | 004    | 00         | A      | 01   | SCALA:     |

ELABORAZIONE PROGETTUALE

IL PROGETTISTA  
IMPRESA PIZZAROTTI E C. S. P.A.  
DOTT. ING. PIETRO MAZZOLI  
ORDINE DEGLI INGEGNERI DI PARMA N. 821

| N. |    | REV. | DESCRIZIONE                     | DATA     | REDATTO    | DATA     | CONTROLLATO | DATA     | APPROVATO |
|----|----|------|---------------------------------|----------|------------|----------|-------------|----------|-----------|
| A  | 00 |      | EMISSIONE                       | 04/03/15 | PIACENTINI | 04/03/15 | MAZZOLI     | 04/03/15 | MAZZOLI   |
| A  | 01 |      | RECEPIMENTO ISTRUTTORIA BREBEMI | 23/03/15 | PIACENTINI | 23/03/15 | MAZZOLI     | 23/03/15 | MAZZOLI   |
|    |    |      |                                 |          |            |          |             |          |           |
|    |    |      |                                 |          |            |          |             |          |           |

IL CONCEDENTE

CONCESSIONI  
AUTOSTRADALI  
LOMBARDE

IL CONCESSIONARIO

SOCIETÀ DI PROGETTO  
BREBEMI SPA

Società di Progetto  
Brebemi SpA

IL PRESENTE DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO, IN TUTTO O IN PARTE, SENZA IL CONSENSO SCRITTO DELLA SJP BREBEMI S.P.A. OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARA' PERSEGUITO A NORMA DI LEGGE. THIS DOCUMENT MAY NOT BE COPIED, REPRODUCED OR PUBLISHED, EITHER IN PART OR IN ITS ENTIRETY, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF SJP BREBEMI S.P.A. UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED BY LAW

## INDICE

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUZIONE .....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>RIFERIMENTI NORMATIVI.....</b>   | <b>7</b>  |
| 2.1      | PROGETTO STRADALE .....   | 7         |
| 2.1.1    | ANALISI DI SICUREZZA DEI PROGETTI – SICUREZZA STRADALE .....                          | 7         |
| 2.1.2    | ANALISI DI SICUREZZA DEI PROGETTI – ESPERIENZE INTERNAZIONALI.....                    | 8         |
| 2.1.3    | GEOMETRIA STRADALE.....   | 8         |
| 2.1.4    | GEOMETRIA STRADALE – NORMATIVA INTERNAZIONALE .....                                   | 8         |
| 2.1.5    | INTERSEZIONI .....  | 9         |
| 2.1.6    | PERTINENZE.....   | 9         |
| <b>3</b> | <b>INQUADRAMENTO DEL PROGETTO .....</b>   | <b>10</b> |
| 3.1      | STUDIO DEL TRAFFICO.....  | 10        |
| 3.1.1    | Dati di traffico dell'infrastruttura .....  | 10        |
| 3.1.2    | Definizione dei livelli di traffico.....  | 11        |
| <b>4</b> | <b>TRACCIATO AUTOSTRADALE .....</b>   | <b>13</b> |
| 4.1      | INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO .....   | 13        |
| 4.2      | ASPETTI NORMATIVI.....  | 14        |
| 4.3      | DESCRIZIONE TRACCIATO .....   | 14        |
| 4.4      | ANDAMENTO PLANIMETRICO .....  | 14        |
| 4.5      | ANDAMENTO ALTIMETRICO .....   | 15        |
| 4.6      | COORDINAMENTO PLANO-ALTIMETRICO .....   | 15        |
| 4.7      | PAVIMENTAZIONE .....  | 16        |
| 4.7.1    | Dati di progetto .....  | 16        |
| 4.7.1.1  | Periodo di riferimento.....   | 16        |
| 4.7.1.2  | Individuazione della corsia più caricata .....  | 16        |
| 4.7.1.3  | Portanza del terreno di sottofondo .....  | 17        |
| 4.7.1.4  | Condizioni climatiche .....   | 17        |
| 4.7.1.5  | Affidabilità di riferimento per le verifiche.....                                     | 18        |
| 4.7.2    | Criteria di verifica delle prestazioni offerte dalle pavimentazioni .....             | 18        |
| 4.7.2.1  | Indicatori prestazionali .....  | 18        |
| 4.7.2.2  | Limiti di ammissibilità assunti nelle verifiche.....                                  | 18        |
| 4.7.3    | PAVIMENTAZIONE ESISTENTE .....  | 20        |
| 4.7.3.1  | Caratteristiche dei materiali della pavimentazione del lotto A0 esistente .....       | 20        |
| 4.7.3.2  | Verifica delle prestazioni della pavimentazione del lotto 0a esistente.....           | 21        |
| 4.7.3.3  | Caratteristiche dei materiali della pavimentazione nuova della carreggiata nord ..... | 22        |
| 4.7.3.4  | Verifica delle prestazioni della pavimentazione nuova della carreggiata nord.....     | 22        |
| 4.7.4    | PAVIMENTAZIONE SULLE RAMPE DI SVINCOLO .....  | 23        |
| 4.7.4.1  | caratteristiche dei materiali della pavimentazione sulle rampe di svincolo .....      | 24        |
| 4.7.4.2  | verifica delle prestazioni della pavimentazione sulle rampe di svincolo.....          | 24        |
| 4.7.5    | Interventi di riqualifica della pavimentazione esistente .....                        | 25        |

|  |                                |   |            |                    |
|--|--------------------------------|---|------------|--------------------|
|  | Doc. N.<br>60518-00001-A01.doc | CODIFICA DOCUMENTO<br>04RGDII100001000000400A01 | REV.<br>01 | FOGLIO<br>3 di 105 |
|--|--------------------------------|---|------------|--------------------|

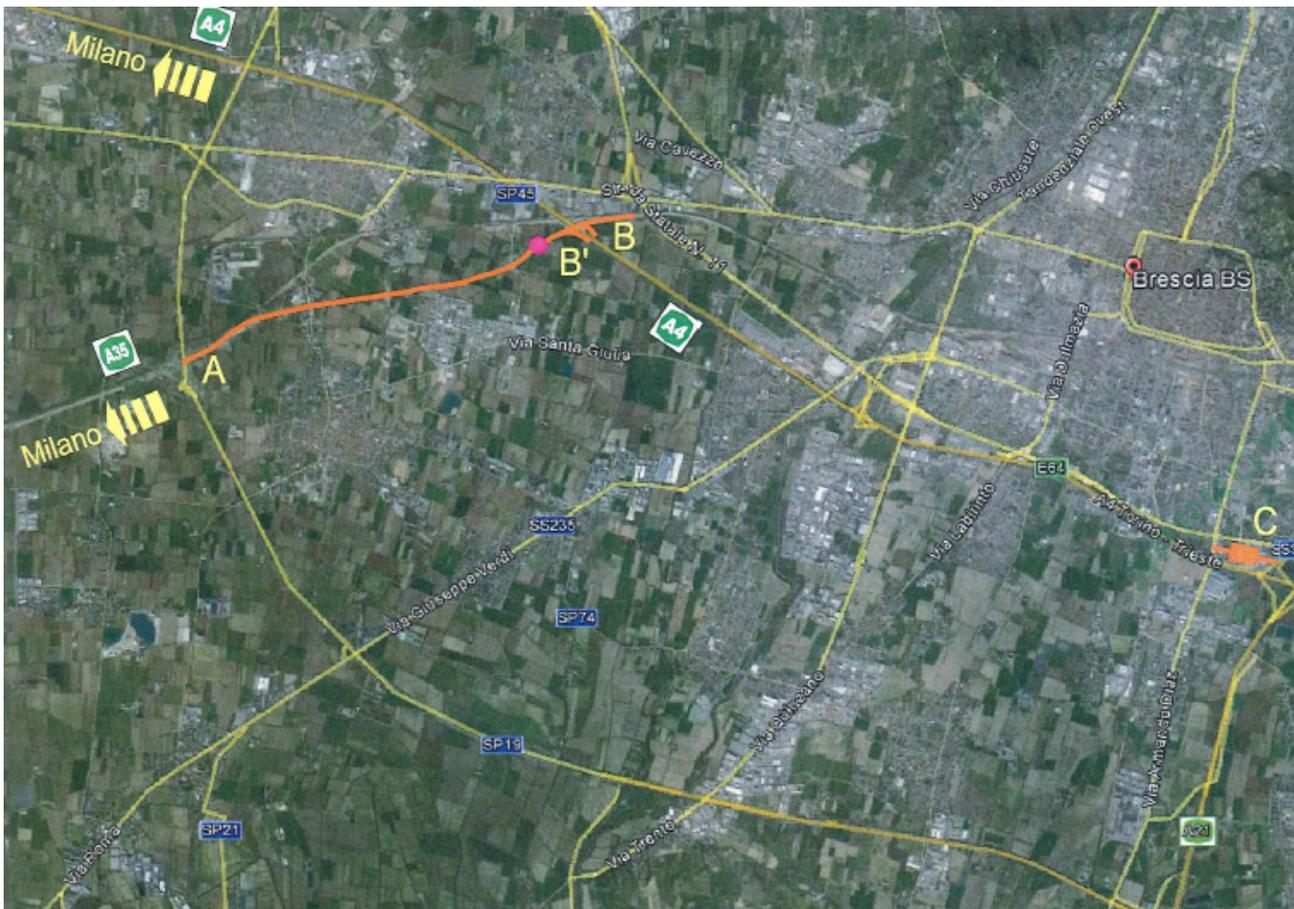
|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.8      | SEZIONI TIPO.....  | 28         |
| 4.9      | VELOCITA' DI PROGETTO .....  | 29         |
| 4.10     | DIAGRAMMA VISIBILITA' E RELATIVI ALLARGAMENTI .....  | 29         |
| 4.11     | DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ .....   | 30         |
| <b>5</b> | <b>SVINCOLO DI INTERCONNESSIONE A35 – A4 .....</b>   | <b>31</b>  |
| 5.1      | ASPETTI NORMATIVI .....  | 31         |
| 5.2      | DESCRIZIONE/CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E FUNZIONALI .....   | 31         |
| 5.2.1    | LA CONFIGURAZIONE DELLO SVINCOLO.....  | 31         |
| 5.2.2    | VELOCITÀ DI PROGETTO .....   | 34         |
| 5.2.3    | LE SEZIONI TIPO .....  | 35         |
| 5.2.4    | PAVIMENTAZIONE .....   | 35         |
| 5.2.4.1  | Struttura pavidmentazione prevista per gli svincoli (rami bb-bs, bs-bb, bs-ro, ro-bs) .....                                    | 36         |
| 5.2.4.2  | Struttura pavidmentazione prevista per il piazzale di barriera e le rampe di collegamento con l'autostrada a4 (bb-a4, a4-bb).. | 36         |
| 5.2.4.3  | Struttura pavidmentazione prevista il ramo bbm ad eccezione del piazzale di esazione (ramo bbm). .....                         | 36         |
| 5.2.4.4  | Struttura pavidmentazione prevista le corsie di accelerazione e decelerazione dell'autostrada a4 (bb-a4, a4-bb).....           | 36         |
| 5.2.5    | CARATTERISTICHE PLANO-ALTIMETRICHE.....  | 37         |
| 5.2.6    | DIAGRAMMA VISIBILITA' E RELATIVI ALLARGAMENTI .....  | 38         |
| 5.2.7    | DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ.....  | 39         |
| 5.2.8    | VERIFICHE CORSIE DI IMMISSIONE E DIVERSIONE.....   | 40         |
| 5.2.8.1  | Dati di traffico .....   | 42         |
| <b>6</b> | <b>SVINCOLI DI TRAVAGLIATO OVEST ED EST.....</b>   | <b>48</b>  |
| 6.1.1    | VELOCITÀ DI PROGETTO .....   | 48         |
| 6.1.2    | VERIFICHE CORSIE DI IMMISSIONE E DIVERSIONE.....   | 49         |
| 6.1.2.1  | Dati di traffico .....   | 51         |
| <b>7</b> | <b>TABULATI DI TRACCIAMENTO E VERIFICHE PLANIMETRICHE.....</b>   | <b>58</b>  |
| <b>8</b> | <b>TABULATI DI TRACCIAMENTO E VERIFICHE ALTIMETRICHE.....</b>  | <b>101</b> |

# 1 INTRODUZIONE

L'infrastruttura stradale in progetto è uno dei rami fondamentali della rete di viabilità bresciana poiché costituisce il collegamento fra due importanti arterie della rete stradale regionale. Il caposaldo iniziale della nuova arteria coincide con lo svincolo di interconnessione fra la BREBEMI e la S.P. 19 mentre il caposaldo finale permette l'interconnessione con la Tangenziale Sud di Brescia.

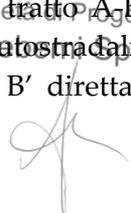
Il settore investigato, partendo dall'estremo orientale dell'area interessata dal tracciato autostradale BREBEMI, interessa anche tutte le opere di connessione con la Tangenziale Sud di Brescia e la rete stradale locale.

Allo stato attuale detta bretella di collegamento appena prima di raggiungere la Tangenziale Sud di Brescia sottopassa l'autostrada A4 Milano-Venezia ma non si connette con questa mediante alcuno svincolo. Pertanto il collegamento all'estremo est della A35 BREBEMI al reticolo autostradale nazionale avviene esclusivamente tramite il transito in strade locali che, come mostra la figura seguente, possono essere la Tangenziale Sud di Brescia nel tratto C-B o la SP19 nel tratto C-D.



*Il reticolo stradale*

Al fine di connettere in modo più efficace la A35 alla rete autostradale e quindi per meglio sfruttarla come collegamento verso Milano si prevede con il presente progetto di potenziare il tratto A-B' che consiste nell'attuale bretella di collegamento, dando ad esso caratteristiche autostradali, cioè trasformandolo da strada di categoria C a strada di categoria A e di connetterlo in B' direttamente all'autostrada A4 attraverso uno svincolo con barriera di esazione.

Autore Progetto  


|  |                                |   |            |                    |
|--|--------------------------------|---|------------|--------------------|
|  | Doc. N.<br>60518-00001-A01.doc | CODIFICA DOCUMENTO<br>04RGDII100001000000400A01 | REV.<br>01 | FOGLIO<br>5 di 105 |
|--|--------------------------------|---|------------|--------------------|

L'intervento consiste nella trasformazione della bretella in autostrada a doppia carreggiata con due corsie per senso di marcia di categoria A.

Nello specifico l'intervento prevede l'ampliamento delle trincee e dei rilevati esistenti in tratti limitati per la realizzazione della pavimentazione e delle finiture della carreggiata nord in direzione A4>>A35. Mentre per quanto riguarda la carreggiata sud in direzione A35>>A4 essa è invece già esistente in quanto si sovrappone esattamente alla strada di categoria C, che costituisce l'attuale bretella di collegamento. Tale bretella, realizzata contestualmente all'autostrada A35, è quindi già predisposta all'ampliamento della propria sede stradale. Così come la sede stradale anche tutte le opere d'arte principali presenti sul tracciato sono già predisposte per permettere l'allargamento della carreggiata attuale.

Il tracciato di progetto ha una lunghezza di circa 5,640 km. La progressiva iniziale del presente intervento è relativa al punto di intersezione tra l'estremo est dell'autostrada A35 e la S.P.19 in località Travagliato mentre il limite è invece individuato dallo svincolo di interconnessione tra l'autostrada A35 e l'autostrada A4 in corrispondenza della Tangenziale Sud di Brescia. Dalla progressiva di inizio intervento per circa 2 km e 800 m il tracciato è posto in trincea e sottopassa la S.P. 19, la nuova linea ferroviaria AC/AV Milano-Verona e la strada comunale fra Ospitaletto e Travagliato; dalla progressiva km 2+800 circa il tracciato si porta in rilevato fino a fino allo svincolo di interconnessione con l'autostrada A4. Lungo il tracciato sono presenti due principali svincoli, quello di Travagliato Ovest e quello di Travagliato Est. Il primo è posto ad ovest della strada comunale che collega Travagliato ad Ospitaletto, all'incirca alla pk 1+890 della bretella, ed è costituito dai quattro rami di svincolo monodirezionali che convergono su una rotatoria che, a sua volta, si interconnette alla viabilità locale mediante un ramo di viabilità che si sviluppa in direzione nord. Il secondo è ubicato ad est della strada comunale che collega Travagliato ad Ospitaletto, all'incirca alla pk 4+900 del Raccordo, ed è anch'esso costituito da quattro rami convergenti verso una rotatoria, a sua volta interconnessa alla viabilità locale mediante un ramo lungo un chilometro che si sviluppa in direzione sud-est. Oltre lo svincolo di Travagliato Est è presente l'area di svincolo con barriera di esazione, per il collegamento con l'autostrada A4 e la Tangenziale Sud di Brescia.

Tale collegamento presenta due sole funzioni, cioè i rami da Verona sulla A4 verso Milano sulla A35 e da Milano sulla A35 verso Verona sulla A4, perché sono queste le uniche funzioni utili in relazione ai flussi di traffico che si possono generare sulla connessione. Al termine di questi due rami, lato A35, è prevista la realizzazione di una barriera di esazione.

Viene mantenuta la connessione tra l'autostrada A35 con la Tangenziale Sud di Brescia mediante la realizzazione di rampe monodirezionali apposite per questa funzione. Tali rampe di svincolo si staccano dal nuovo asse autostradale appena prima del piazzale in cui è presente la barriera di esazione.

La rampa che dall'autostrada A35 porta verso la tangenziale di Brescia corre a sud del piazzale di stazione e a seguire sottopassa, mediante un sottovia a struttura scatolare in conglomerato cementizio armato, il piazzale stesso per poi spostarsi a nord fino ad affiancare il ramo che corre in senso opposto cioè che dalla tangenziale di Brescia si connette all'autostrada A35.

Una volta affiancati, i due rami sottopassano l'autostrada A4 sfruttando una delle canne della galleria artificiale già predisposta a tal fine nell'ambito delle costruzioni di A35.

Dai due rami appena descritti si staccano due rampe che permettono il raccordo con la viabilità esistente innestandosi sulla rotatoria dello svincolo Travagliato Est.

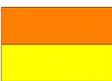
Quanto descritto è schematizzato nella figura alla pagina seguente.

Società di Progetto  
Brebemi SpA





*Interconnessione A35-A4*

-  A35
-  Rampe di Interconnessione A35-A4
-  A4
-  Connessione A35-TG Sud di Brescia con rampe di raccordo alla viabilità locale

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



|  |                                |   |            |                    |
|--|--------------------------------|---|------------|--------------------|
|  | Doc. N.<br>60518-00001-A01.doc | CODIFICA DOCUMENTO<br>04RGDII100001000000400A01 | REV.<br>01 | FOGLIO<br>7 di 105 |
|--|--------------------------------|---|------------|--------------------|

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

### 2.1 Progetto stradale

Per quanto riguarda la progettazione delle intersezioni, in data 19/04/2006 è entrato in vigore il DM 1699 ("Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali"), all'interno del quale sono contenute le indicazioni per il dimensionamento delle corsie di accelerazione e decelerazione da impiegare nell'interconnessione. A tale norma si è ritenuto opportuno integrare le indicazioni del Regolamento della Regione Lombardia n.7/2006 e alla D.g.r. 8/3219 del 27.8.2006 in modo da individuare criteri progettuali che garantissero caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni coerenti rispetto alla natura dell'infrastruttura. Considerato che l'intervento in oggetto consiste nella riqualificazione di una strada esistente, le soluzioni analizzate hanno tenuto conto dei vincoli imposti dalle geometrie esistenti.

La progettazione della viabilità secondaria concerne deviazioni piano – altimetriche di tratti di strade esistenti, interessate dalle opere in progetto. Si tratta in questo caso di una tipologia di intervento non vincolata al rispetto delle indicazioni contenute nel DM 5.11.2001, come peraltro previsto dall'art. 4 della suddetta norma; la progettazione è stata quindi improntata alla risoluzione dell'interferenza evitando di introdurre pericolose ed inopportune discontinuità di tracciato, e prevedendo una sezione tipo avente gli stessi elementi modulari (corsie, banchine, marciapiedi, ecc...) della strada esistente.

Si completa la descrizione con un elenco delle principali normative di riferimento che sono state considerate durante l'esecuzione del lavoro.

#### 2.1.1 ANALISI DI SICUREZZA DEI PROGETTI – SICUREZZA STRADALE

[1] CIRCOLARE Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 8 giugno 2001, n° 3699. Circolare sulle linee guida per le analisi di sicurezza delle strade.

[2] CIRCOLARE Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 8 giugno 2001, n° 3698. Circolare sulle linee guida per la redazione dei piani urbani della sicurezza stradale.

[3] CIRCOLARE Direzione Generale ANAS S.p.A. n° 5/03 del 19/02/2003 – Sicurezza Stradale: Linee di Indirizzo e disposizioni operative.

[4] CIRCOLARE Direzione Generale ANAS S.p.A. n° 338/96 del 12/02/1996 – Autostrade in concessione. Standards qualità servizio reso all'utenza.

[5] CNR - Consiglio Nazionale delle Ricerche, Commissione di studio per le norme relative ai materiali stradali e progettazione, costruzione e manutenzione strade. D.P. CNR N. 13465 del 11/09/1995. Criteri per la classificazione delle strade esistenti ai sensi dell'art. 13, comma 4 e 5 del Nuovo Codice della Strada. Rapporto Finale. Approvato in data 13/03/1998.

[6] D.L. 30/04/1992, n.285 - "Nuovo Codice della Strada"

[7] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, "Piano Nazionale della Sicurezza Stradale: Azioni Prioritarie", Marzo 2002.

[8] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, "Piano Nazionale della Sicurezza Stradale: Allegati tecnici", Marzo 2002.

[9] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2005) Commissione per la predisposizione di nuove norme per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti - "Norme per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti ", 11a bozza del 20 aprile 2005.

Società di Progetto  
Prebeni SpA



|  |                                |   |            |                    |
|--|--------------------------------|---|------------|--------------------|
|  | Doc. N.<br>60518-00001-A01.doc | CODIFICA DOCUMENTO<br>04RGDII100001000000400A01 | REV.<br>01 | FOGLIO<br>8 di 105 |
|--|--------------------------------|---|------------|--------------------|

[10] Commission of the European Communities 2006/0182 (COD) – 5.10.2006 – Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on road infrastructure safety management.

### 2.1.2 ANALISI DI SICUREZZA DEI PROGETTI – ESPERIENZE INTERNAZIONALI

[1] Association mondiale de la Route – World Road Association (AIPCR-PIARC) Road Safety Manual, 2003 – PIARC Technical committee on Road Safety (C13) Version 1.00.

[2] Rüdiger Lamm, Basil Psarianos, Theodor Mailänder, et al., 2002, Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook, McGraw-Hill, Professional Book Group, 11 West 19th Street, New York, N.Y. 10011-4285, U.S.A., ISBN 0-07-038295-6.

[3] Institution of Highways & Transportation, Guidelines for the Safety Audit of Highways, Institution of Highways & Transportation, 1996, London, UK.

[4] FHWA (1997). FHWA Study for Road Safety Audits. FHWA, US DOT, Washington, DC October 1997.

[5] AustRoads, Road Safety Audit, AustRoads, AP 30/94, 1994, Sydney, Australia.

[6] Road Directorate, Manual of Road Safety Audit, Road Directorate, 1997, Danimarca.

[7] Sétra - Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes, Circulaire n°2001-30 du 18 mai 2001, Guides méthodologiques relatifs à l'instauration du contrôle de sécurité des projets routiers – CSPPR: Audit avant mise en service, Réalisation des bilans de sécurité après mise en service, Eléments de démarche qualité pour une meilleure prise en compte de la sécurité.

### 2.1.3 GEOMETRIA STRADALE

[1] Codice della Strada. D. Lgs. 30 aprile 1992, n. 285 e successive modifiche ed aggiornamenti. - Regolamento di attuazione. D.P.R. 16 dicembre 1992, n. 495.

[2] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2001) Decreto 5 novembre 2001. Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade, Pubblicato sulla G.U. N.5 del 4 gennaio 2002.

[3] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2004) Decreto 22 aprile 2004, n° 67/S Modifica del decreto 5 novembre 2001, n° 6792, recante "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", pubblicato sulla G.U. del 25 giugno 2004.

[4] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2005) Commissione per la predisposizione di nuove norme per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti - "Norme per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti", 11a bozza del 20 aprile 2005.

[5] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Decreto del 19 aprile 2006, Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali. Pubblicato sulla GU N. 170 del 24/07/2006.

[6] C.N.R. Bollettino n.78 Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade extraurbane del 28/07/1980

### 2.1.4 GEOMETRIA STRADALE – NORMATIVA INTERNAZIONALE

[1] American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO) (2001) A policy on geometric design of highways and streets - Fourth Edition, Washington, D.C. Brebemi SpA

[2] Transportation Association of Canada - TAC (1999) Geometric Design Guide for Canadian Roads

|  |                                |   |            |                    |
|--|--------------------------------|---|------------|--------------------|
|  | Doc. N.<br>60518-00001-A01.doc | CODIFICA DOCUMENTO<br>04RGDI1100001000000400A01 | REV.<br>01 | FOGLIO<br>9 di 105 |
|--|--------------------------------|---|------------|--------------------|

### 2.1.5 INTERSEZIONI

- [1] Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) (1983) Norme sulle intersezioni stradali B.U. n. 90, Roma, 15 aprile 1983.
- [2] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Ispettorato generale per la circolazione e la sicurezza stradale. Studio a carattere pre-normativo - Rapporto di Sintesi: "NORME SULLE CARATTERISTICHE FUNZIONALI E GEOMETRICHE DELLE INTERSEZIONI STRADALI". Documento approvato dalla Commissione di studio per le norme relative ai materiali stradali e progettazione, costruzione e manutenzione strade del CNR.
- [3] Regione Lombardia – Infrastrutture e Mobilità. (2004) Linee Guida per la progettazione delle zone di intersezione.
- [4] IOWA Department of Transportation – IOWA State University: Center for Transportation Research and Education CTRE. Rural Expressways Intersection Synthesis of Practice and Crash Analysis. Final Report CTRE Project 03-157. October 2004.
- [5] Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, Decreto del 19 aprile 2006, Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali. Pubblicato sulla GU N. 170 del 24/07/2006.

### 2.1.6 PERTINENZE

- [1] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Ispettorato generale per la circolazione e la sicurezza stradale. Studio a carattere pre-normativo - Rapporto di Sintesi: "CARATTERISTICHE FUNZIONALI E GEOMETRICHE DELLE AREE DI SOSTA, DI PARCHEGGIO E DI SERVIZIO DI AUTOSTRADE E STRADE EXTRAURBANE PRINCIPALI". Documento approvato dalla Commissione di studio per le norme relative ai materiali stradali e progettazione, costruzione e manutenzione strade del CNR.

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA




### 3 INQUADRAMENTO DEL PROGETTO

#### 3.1 Studio del traffico

##### 3.1.1 Dati di traffico dell'infrastruttura

I dati di traffico dell'infrastruttura, sono stati desunti dall'analisi trasportistica elaborata per conto di Bre.Be.Mi che consente di determinare i valori di TGM bidirezionali e la percentuale di veicoli pesanti di massa superiore a 3.5 ton (in breve %VP), attesi sui diversi archi a partire dall'anno 2018 (anno in cui è previsto il regime ordinario del sistema viario di connessione) fino all'anno 2033 (anno di massima domanda).



Schema dei Tronchi stradali dello studio di traffico

Nelle seguenti Tabella 1,

Tabella 2, Tabella 3 e Tabella 4 sono riportate le indicazioni dei traffici, rispettivamente delle Tratte dell'asse principale e degli svincoli.

Tabella 1: TGM e %VP dei Tratti dell'Asse principale

|   | Tratta                                 | Veicoli leggeri giornalieri (bidirezionale) | Veicoli pesanti giornalieri (bidirezionali) | Veicoli Totali | % VP |
|---|--|---|---|----------------|------|
| A | SP19 (Corda Molle) - Travagliato Ovest | 45560                                       | 10920                                       | 56480          | 19%  |
| B | Travagliato Ovest - Travagliato Est    | 36140                                       | 11320                                       | 47460          | 24%  |
| C | Travagliato Est - Tangenziale Brescia  | 22000                                       | 5520  | 27520          | 20%  |

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
BreBeMi SpA

|   |                      |       |      |       |     |
|---|----------------------|-------|------|-------|-----|
| D | Travagliato Est - A4 | 11280 | 7960 | 19240 | 41% |
|---|----------------------|-------|------|-------|-----|

Tabella 2: TGM e %VP delle rampe dello svincolo di Travagliato Ovest

|   | Rampa                               | Veicoli leggeri giornalieri | Veicoli pesanti giornalieri | Veicoli Totali | % VP |
|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|------|
| 1 | Diversione: dir. BS -Travagliato O  | 5950                        | 135                         | 6085           | 2%   |
| 2 | Immissione: Travagliato O - dir. BS | 1230                        | 345                         | 1575           | 22%  |
| 3 | Diversione: dir. MI - Travagliato O | 1230                        | 345                         | 1575           | 22%  |
| 4 | Immissione: Travagliato O - dir. MI | 5950                        | 135                         | 6085           | 2%   |

Tabella 3: TGM e %VP delle rampe dello svincolo di Travagliato Est

|   | Rampa                               | Veicoli leggeri giornalieri | Veicoli pesanti giornalieri | Veicoli Totali | % VP |
|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|------|
| 1 | Diversione: dir. BS -Travagliato O  | 4210                        | 470                         | 4680           | 10%  |
| 2 | Immissione: Travagliato O - dir. BS | 1260                        | 50                          | 1310           | 4%   |
| 3 | Diversione: dir. MI - Travagliato O | 1260                        | 50                          | 1310           | 4%   |
| 4 | Immissione: Travagliato O - dir. MI | 4210                        | 470                         | 4680           | 10%  |

Tabella 4: TGM e %VP collegamento con Tangenziale di Brescia

|   | Rampa                                | Veicoli leggeri giornalieri | Veicoli pesanti giornalieri | Veicoli Totali | % VP |
|---|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|------|
| 1 | Diversione: dir. BS - Tangenziale BS | 9740                        | 2700                        | 12440          | 22%  |
| 2 | Immissione: Tangenziale BS - dir. MI | 9740                        | 2700                        | 12440          | 22%  |

### 3.1.2 Definizione dei livelli di traffico

In Tabella 5 sono sintetizzati i risultati dell'analisi effettuata per ogni Tronco/Rampa in progettazione.

Tabella 5: Definizione dei livelli di traffico per i diversi archi stradali in progetto

| ASSE STRADALE                      | CLASSE FUNZIONALE                  | TGM Medio_Annuo 2033 [veic/gg] | %VP              | Classe di traffico da D.M. 21.06.2004 |
|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Asse Principale                    | A extraurbana                      | > 1000                         | Var<br>19% ÷ 41% | III                                   |
| Svincolo Travagliato Ovest Rampa 1 | Rampa di Svincolo di A extraurbana | > 1000                         | 2%               | I                                     |
| Svincolo Travagliato Ovest Rampa 2 | Rampa di Svincolo di A extraurbana | > 1000                         | 22%              | III                                   |
| Svincolo Travagliato Ovest Rampa 3 | Rampa di Svincolo di A extraurbana | > 1000                         | 22%              | III                                   |
| Svincolo Travagliato Ovest Rampa 4 | Rampa di Svincolo di A extraurbana | > 1000                         | 2%               | III                                   |
| Svincolo Travagliato Est Rampa 1   | Rampa di Svincolo di A extraurbana | > 1000                         | 10%              | II                                    |
| Svincolo Travagliato Est           | Rampa di                           | > 1000                         | 4%               | I                                     |

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemj SpA

|                                    |                                    |        |     |     |
|------------------------------------|------------------------------------|--------|-----|-----|
| Rampa 2                            | Svincolo di A extraurbana          |        |     |     |
| Svincolo Travagliato Est Rampa 3   | Rampa di Svincolo di A extraurbana | > 1000 | 4%  | I   |
| Svincolo Travagliato Est Rampa 4   | Rampa di Svincolo di A extraurbana | > 1000 | 10% | II  |
| Connessione tangenziale BS Rampa 1 | Rampa di Svincolo di A extraurbana | > 1000 | 22% | III |
| Connessione tangenziale BS Rampa 2 | Rampa di Svincolo di A extraurbana | > 1000 | 22% | III |

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA

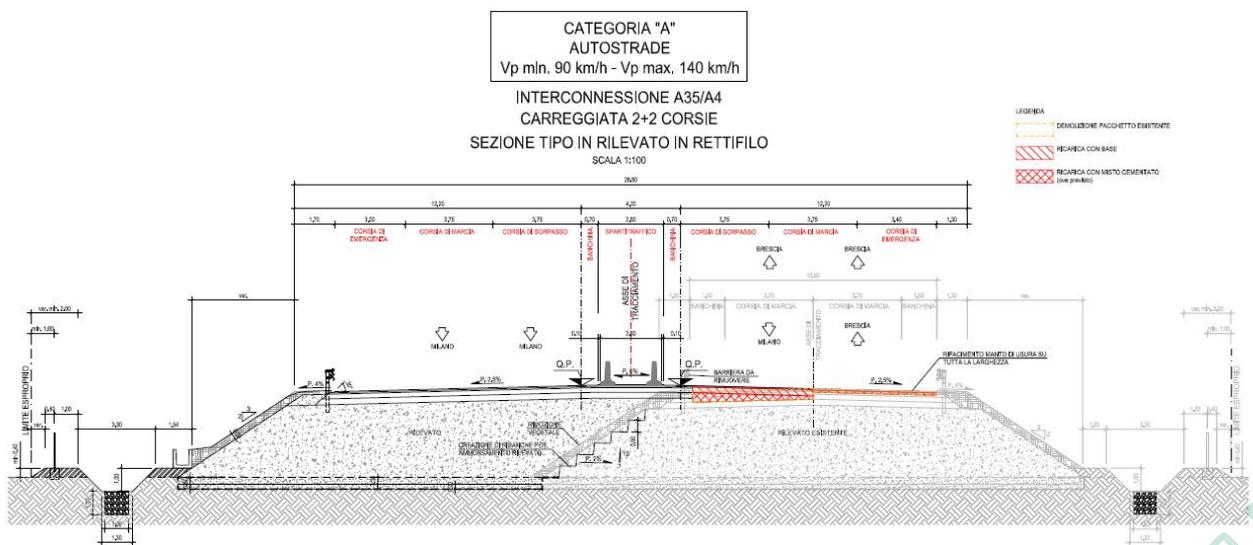


## 4 TRACCIATO AUTOSTRADALE

### 4.1 INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO

L'Asse autostradale è compreso tra la SP19 (lato Ovest) e l'Autostrada A4, ed è caratterizzato da una sezione stradale di tipo A secondo il D.M. 6792 del 5.11.2001, costituita da:

- uno spartitraffico di larghezza 2.80 m;
- una banchina in sinistra di larghezza 0.70 m;
- due corsie di larghezza 3.75 m;
- una corsia di emergenza di larghezza 3.40 m nella carreggiata in direzione Brescia e larghezza 3.00 m nella carreggiata in direzione Milano.



*Sezione tipo asse principale in rilevato*

Il tracciato dell'asse principale, nella sua carreggiata in direzione Brescia coincide con il tracciato dell'opera connessa, denominata Lotto 0A, della BBM, attualmente aperta al traffico (v. sezione tipo in figura – carreggiata a destra nella sezione). Questa carreggiata è stata realizzata come parte di una strada tipo B. Per questa carreggiata il progetto definitivo di cui trattasi non prevede modifiche al tracciato ma solo la risagomatura della pavimentazione per adeguare le pendenze trasversali del piano stradale esistente alle pendenze che competono allo stesso in conseguenza del fatto che il Lotto 0A viene inglobato all'interno di un nuovo asse autostradale. Lungo il margine laterale destro della carreggiata in direzione Brescia sono presenti le barriere di sicurezza installate al momento della realizzazione del Lotto 0A (2012-2013). In questo tratto si è provveduto a verificare la rispondenza alla normativa vigente per assi autostradali delle barriere attualmente in opera, tenuto conto delle condizioni di traffico, diverse, a cui il Lotto 0A sarà soggetto in futuro e, ove necessario, ad adeguare ai criteri progettuali adattati per tutto il nuovo collegamento A4-A35. Lungo il Lotto 0A sono presenti due tratti di lunghezza ridotta, in cui, per esigenze di allargamento della piattaforma, il progetto definitivo prevede di rimodellare il margine esterno. Questi tratti sono stati considerati come tratti di nuova realizzazione e le barriere di sicurezza sono state ridefinite secondo i criteri progettuali per le nuove rampe.

La carreggiata in direzione Milano dell'asse principale è una carreggiata di nuova costruzione.

Il progetto del collegamento autostradale A4 - A35, si completa con:

- due svincoli esistenti, Travagliato Est e Travagliato Ovest, per i quali vale quanto detto per il Lotto 0A. Il presente PD, per questi svincoli, prevede solo piccoli tratti di ricucitura tra le barriere esistenti e l'asse principale;

|  |                                |   |            |                     |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|
|  | Doc. N.<br>60518-00001-A01.doc | CODIFICA DOCUMENTO<br>04RGDI1100001000000400A01 | REV.<br>01 | FOGLIO<br>14 di 105 |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|

- una interconnessione con l'attuale autostrada A4 costituita da 2 rampe di connessione con la direzione Venezia di nuova realizzazione, le cui barriere di sicurezza sono di nuova progettazione secondo i criteri adottati nella presente relazione;
- un collegamento con la Tangenziale di Brescia costituito da 2 rampe di nuova realizzazione, le cui barriere di sicurezza sono di nuova progettazione secondo i criteri adottati nella presente relazione.

## 4.2 ASPETTI NORMATIVI

Per la definizione degli elementi plano-altimetrici caratterizzanti il tracciato si è fatto riferimento al D.M. 6792 del 05/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade".

## 4.3 DESCRIZIONE TRACCIATO

Il tracciato di progetto ha una lunghezza di circa 5,640 km.

La pk 0+000 è relativa al punto di intersezione tra l'estremo est dell'autostrada A35 e la S.P.19 in località Travagliato e il limite intervento è individuato dall'interconnessione con l'autostrada A4 in corrispondenza della Tangenziale Sud di Brescia.

Il tracciato è caratterizzato da un primo tratto di circa 2 km in trincea lungo il quale l'autostrada sottopassa la nuova linea ferroviaria Alta Capacità Milano-Verona e la rete viaria locale in due punti. Segue un tratto in leggero rilevato sul piano campagna di sviluppo pari a 1,5 km circa. Infine è presente il tratto di interconnessione con la barriera di esazione.

La progettazione plano-altimetrica del tracciato si è sviluppata secondo quanto previsto dal D.M. 6792 del 05/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" con la definizione dei seguenti elementi:

- definizione della sezione tipo;
- definizione delle velocità di progetto;
- costruzione planimetrica del tracciato: lunghezze minime e massime dei rettili, raggi minimi e sviluppi minimi delle curve circolari, inserimento e verifica dei raccordi planimetrici;
- costruzione altimetrica del tracciato: pendenze massime, lunghezza delle livellette massime, raggi dei raccordi verticali minimi per dossi e sacche;
- calcolo e verifica delle distanze di visibilità per l'arresto su tutte le corsie e per il cambiamento di corsia nella corsia di sorpasso in corrispondenza degli svincoli, con inserimento di un eventuale franco laterale a margine della sezione per il rispetto delle distanze di visibilità;
- verifiche del coordinamento plano-altimetrico del tracciato;
- verifica del diagramma delle velocità.

Con la fase progettuale in oggetto è stato verificato la rispondenza del tracciato autostradale alla normativa di riferimento D.M. 6792 del 05/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade".

## 4.4 ANDAMENTO PLANIMETRICO

Il tracciato autostradale ha origine in corrispondenza dello svincolo con la SP19 ed ha un andamento in direzione est-ovest caratterizzato dalla successione di alcune curva ad ampio raggio; i valori caratteristici adottati sono:

Società di Progetto  
Brebemi SpA



|  |                                |   |            |                     |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|
|  | Doc. N.<br>60518-00001-A01.doc | CODIFICA DOCUMENTO<br>04RGDI1100001000000400A01 | REV.<br>01 | FOGLIO<br>15 di 105 |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|

- Velocità di Progetto (VP): 140 km/h
- Raggio planimetrico minimo: 2249,25 m.
- Raggio planimetrico massimo: 3000,00 m.

Le grandezze geometriche utilizzate sono congruenti con il D.M. 6792 del 05/11/2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”. Le verifiche sono riportate in appendice alla presente relazione.

## 4.5 ANDAMENTO ALTIMETRICO

Altimetricamente il tracciato autostradale prevede un lungo tratto in trincea fino alla progressiva 2+800 circa per poi proseguire poco sopra il piano campagna fino allo scavalco della rotatoria dello svincolo di Travagliato Est per poi ridiscendere e terminare nel piazzale della barriera di esazione.

I valori caratteristici adottati sono i seguenti:

- Raggio altimetrico concavo minimo: 7000,00 m.
- Raggio altimetrico convesso minimo: 10000,00 m.

Le grandezze geometriche utilizzate sono congruenti con il D.M. 6792 del 05/11/2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”. Le verifiche sono riportate in appendice alla presente relazione.

## 4.6 COORDINAMENTO PLANO-ALTIMETRICO

Per coordinamento piano-altimetrico si intendono quegli accorgimenti tesi a garantire una percezione chiara delle caratteristiche del tracciato stradale ed evitare variazioni brusche delle linee che lo definiscono nel quadro prospettico, coordinando sotto certe regole l'andamento planimetrico e quello altimetrico.

Tutti i raccordi altimetrici rispettano le regole e pertanto si ottiene un buon coordinamento piano – altimetrico, considerando anche gli alti valori dei raccordi altimetrici adottati.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



## 4.7 PAVIMENTAZIONE

Per quanto attiene alla sovrastruttura stradale si è adottato un pacchetto strutturale di 55cm così definito:

- manto di usura drenante 4cm;
- strato di collegamento in conglomerato bituminoso (binder) 5cm;
- strato di base in conglomerato bituminoso 20cm;
- fondazione in misto cementato 26cm.

Per maggiori dettagli, comprendenti anche i dispositivi di sicurezza passiva e le segnaletica stradale, si rimanda alle relazioni specialistiche e agli elaborati di riferimento.

Si riportano di seguito le principali assunzioni fatte per le verifiche eseguite per la definizione della composizione e del dimensionamento delle pavimentazioni e più precisamente relative a:

- verifica della pavimentazione attualmente presente corrispondente a quella del Lotto 0A in funzione del volume di traffico autostradale che si prevede impegnerà il nuovi collegamento;
- il dimensionamento della nuova pavimentazione della carreggiata in direzione Milano;

### 4.7.1 Dati di progetto

#### 4.7.1.1 PERIODO DI RIFERIMENTO

Il periodo di riferimento per l'analisi delle pavimentazioni è assunto pari a 20 anni, indicativamente tra gli anni 2018 e 2037.

#### 4.7.1.2 INDIVIDUAZIONE DELLA CORSIA PIÙ CARICATA

In base ai dati di traffico forniti, risulta che i punti che manifestano il maggior numero di passaggi di veicoli pesanti per l'Asse Principale e per gli svincoli sono:

- la tratta compresa tra gli svincoli di Travagliato Est e Travagliato Ovest per l'Asse Principale;
- le rampe di svincolo di collegamento con la Tangenziale Sud di Brescia.

Attraverso i dati forniti è stato desunto il tasso di crescita cumulato ( $\alpha$ ) per i 20 anni dell'orizzonte temporale considerato:

$$VP_i = VP_0(1 + \alpha)^i$$

$$\alpha = \sqrt[i]{\frac{VP_i}{VP_0}} - 1$$

Nella Tabella 6 sono riassunti i traffici agli anni 2018 e 2033, il relativo tasso di crescita e i conseguenti passaggi totali di veicoli pesanti in 20 anni di periodo di riferimento per l'analisi.

Società di Progetto

Prebim S.p.A.



**Tabella 6 – tassi di crescita e veicoli cumulati su 20 anni.**

| Tratta                                 | TGM VP 2018 | TGM VP 2033 | A     | Veicoli cumulati nella direzione di marcia in 20 anni |
|--|-------------|-------------|-------|---|
| Travagliato Est/Travagliato Ovest      | 4020        | 5650        | 2.30% | 36.7 milioni  |
| Rampa collegamento con Tangenziale Sud | 1570        | 2700        | 3.68% | 16.5 milioni  |

Per l'Asse Principale, che prevede una sezione a due carreggiate con due corsie per senso di marcia, si assume che nella corsia più caricata (corsia di marcia) passi il 90% dei veicoli pesanti e per questo motivo il traffico di progetto risulta 36.7 milioni x 0.9 = 33.0 milioni. Per le rampe di svincolo, essendo il traffico convogliato su un'unica corsia, i passaggi di veicoli pesanti di progetto corrispondono a quelli calcolati per rampa senza correzioni. Nella Tabella 7 sono specificati i passaggi di veicoli pesanti di progetto considerati ai fini del calcolo con il programma ME-PDG.

**Tabella 7 – Passaggi di VP di progetto**

| Ambito            | Passaggi di VP di progetto sulla corsia più caricata in 20 anni |
|-------------------|---|
| Asse Principale   | 33.0 milioni  |
| Rampe di svincolo | 16.5 milioni  |

#### 4.7.1.3 PORTANZA DEL TERRENO DI SOTTOFONDO

La portanza del terreno di sottofondo è caratterizzata da un Modulo Resiliente (Mr) pari a 90 MPa. Questo valore è un tipico valore da rilevato e corrisponde al modulo resiliente equivalente dei primi 2.0 m di terreno di rilevato in base alle caratteristiche meccaniche stabilite nelle Specifiche Tecniche del Capitolato (cod. 31463-00001-A01). Per lo strato superficiale deve esser garantito comunque un Modulo di Deformazione (Md) minimo pari a 50 MPa che corrispondono ad un modulo resiliente di 100 MPa.

#### 4.7.1.4 CONDIZIONI CLIMATICHE

Per le verifiche delle pavimentazioni sono state considerate condizioni climatiche specifiche della zona in esame caratterizzate da valori tipici di un ambiente pedemontano della Lombardia.

Nelle verifiche svolte con il software M-E PDG le condizioni meteo sono caratterizzate mediante i valori orari delle seguenti entità:

- Temperatura;
- Velocità del vento;
- Umidità relativa dell'aria;
- Altezza di pioggia;
- Percentuale di insolazione.

I valori richiamati sono riferiti ad un arco temporale minimo di due anni.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



I dati relativi alle entità sopracitate sono stati estratti dal sito internet [www.wunderground.com](http://www.wunderground.com).

#### 4.7.1.5 AFFIDABILITÀ DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE

Il metodo empirico-razionale utilizzato per il dimensionamento della pavimentazione consente di tener conto dell'affidabilità delle soluzioni, definita come la probabilità che le prestazioni offerte dalle pavimentazioni siano superiori a quelle calcolate.

Il valore di affidabilità previsto dal Catalogo delle Pavimentazioni del CNR (BU 178/95) per Autostrade Extraurbane (tipo A) ed adottato nelle verifiche effettuate per l'asse della principale e per le rampe degli svincoli, è pari al 90%, che rappresenta una condizione in cui il rischio di dover effettuare interventi di manutenzione prima di quanto desumibile dalle verifiche effettuate è limitato al solo 10%.

#### 4.7.2 Criteri di verifica delle prestazioni offerte dalle pavimentazioni

##### 4.7.2.1 INDICATORI PRESTAZIONALI

Le prestazioni delle pavimentazioni sono state valutate per mezzo dei seguenti indicatori:

- L'estensione della fessurazione in superficie dovuta a lesioni che si propagano dal basso verso l'alto (fessure di tipo "bottom-up") al termine del periodo di analisi della pavimentazione;
- La fessurazione superficiale dovuta a lesioni che si propagano dall'alto verso il basso (fessure di tipo "top-down") al termine del periodo di analisi della pavimentazione;
- Danno cumulato a fatica al termine del periodo di analisi;
- La profondità delle ormaie al termine del periodo di analisi, valutata con riferimento al valore di affidabilità assunto come riferimento per il progetto della sezione considerata;
- La regolarità longitudinale, rappresentata mediante l'indice IRI, misurato su una base di almeno 100 metri di sviluppo longitudinale, al termine del periodo di analisi con riferimento al valore di affidabilità di progetto assunto come riferimento per il progetto delle diverse sezioni stradali considerate.

##### 4.7.2.2 LIMITI DI AMMISSIBILITÀ ASSUNTI NELLE VERIFICHE

In **Tabella 8** sono riportati i valori limite assunti per ciascun indice prestazionale considerato nella verifica delle sovrastrutture del progetto definitivo al di sopra del quale si ritiene necessario un intervento di riqualifica delle pavimentazioni.

**Tabella 8 – Limiti di ammissibilità per gli indicatori prestazionali**

| INDICATORE<br>PRESTAZIONALE | UNITÀ DI<br>MISURA | LIMITE<br>MASSIMO | NOTE |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|------|
| Fessurazione "bottom up"    | %                  | 25                | A    |
| Fessurazione "top down"     | m/km               | 200               | B    |

Società di Progetto  
Brebemi SpA



|  |                    | Doc. N.<br>60518-00001-A01.doc | CODIFICA DOCUMENTO<br>04RGDII100001000000400A01 | REV.<br>01 | FOGLIO<br>19 di 105 |
|--|--------------------|--------------------------------|---|------------|---------------------|
| INDICATORE<br>PRESTAZIONALE  | UNITÀ DI<br>MISURA | LIMITE<br>MASSIMO              | NOTE  |            |                     |
| Danno a fatica <sup>1</sup>  | %                  | 50%                            | C   |            |                     |
| Profondità di ormaie   | mm                 | 12.0                           | D   |            |                     |
| IRI  | mm/m               | 2.1 (Autostrade)               | E   |            |                     |

Note:

- A. Il valore è riferito alla % di superficie di pavimentazione interessata da fessurazione. Il limite del 25% rappresenta il raggiungimento di un ammaloramento tale da provocare, in relazione al livello di affidabilità assunto nel progetto, la perdita di funzionalità per la sovrastruttura, rilevata in base al comfort di marcia.
- B. Il valore rappresenta lo sviluppo complessivo di fessure longitudinali presenti in 1 km di strada. Il valore limite di 200 m/km rappresenta il raggiungimento del livello di fessurazione superficiale che provoca, in relazione al livello di affidabilità considerato, un grave decadimento delle caratteristiche di portanza della pavimentazione nel suo complesso a causa di eccessive infiltrazioni di acqua all'interno della struttura e ad una maggiore frequenza di condizioni di carico al bordo.
- C. Il valore rappresenta il valore complessivo del danno cumulato per fenomeni di fessurazione di tipo "bottom up" calcolato secondo la legge di Miner. Il limite di Miner teorico di rottura per fatica di tipo "bottom up" è rappresentato dal valore 100%. Nell'applicazione del criterio al dimensionamento delle pavimentazioni stradali l'esperienza evidenzia che al di sopra di valori del rapporto di Miner di  $100 \div 50\%$  la progressione nel tempo delle rotture per fatica della pavimentazione aumenta in modo esponenziale.
- D. Il valore limite rappresenta la massima profondità delle ormaie accettabile per cui con riferimento ad una pendenza trasversale del 2.5%, è possibile evitare ristagni di acqua in carreggiata.
- E. Il valore 2.1 rappresenta la soglia di irregolarità superficiale corrispondente al valore di PSI=3 previsto dal Catalogo delle Pavimentazioni del CNR al termine della vita utile di strade di tipo A.

Gli indicatori che regolano il comportamento a fatica della pavimentazione sono la fessurazione "bottom up", la fessurazione "top down" ed il danno a fatica di tipo "bottom up" mentre gli indicatori relativi alla formazione delle ormaie e delle irregolarità longitudinali caratterizzano il comportamento delle pavimentazioni in termini deformativi.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

<sup>1</sup> Solitamente il danno a fatica secondo la legge di Miner è indicato con un numero compreso tra 0 e 1. Dal momento che il programma M-E PDG riporta in risultato in percentuale, si è uniformata l'unità di misura alla forma percentuale anche per l'indicazione dei limiti.

### 4.7.3 PAVIMENTAZIONE ESISTENTE

La pavimentazione dell'attuale Lotto 0A, nonostante un basso livello fessurativo, non è in grado di sopportare il passaggio dei veicoli pesanti previsti nei 20 anni di periodo di riferimento in quanto manifesta deformazioni permanenti eccessive specialmente nei primi 2 anni di esercizio. Un eventuale intervento di manutenzione di ripristino dello strato di usura dopo il 2° anno non è in grado di escludere ulteriori interventi di manutenzione entro la fine del periodo di riferimento.

La pavimentazione prevista per la nuova carreggiata nord in direzione Milano non manifesta nessun problema di carattere fessurativo o di regolarità superficiale. Le deformazioni permanenti superano il limite al 9° anno del periodo di analisi ma, tenendo conto che generalmente un manto di usura drenante viene sostituito dopo 10 anni, non costituiscono un particolare elemento di criticità.

Dal momento che dal passaggio a strada di categoria C1 a strada di categoria A cambiano le velocità di progetto, viene modificata la sagoma della piattaforma stradale a seguito della variazione della quota dei cigli tra le due tipologie di strada. L'intervento di risagomatura si estende tra le progressive di progetto 0+840 alla 4+840 per complessivi 4 km ed interessa per gran parte la futura carreggiata sud in direzione Brescia.

#### 4.7.3.1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DELLA PAVIMENTAZIONE DEL LOTTO A0 ESISTENTE

In Tabella 9 sono rappresentate le principali caratteristiche fisico meccaniche necessarie alla schematizzazione, nel software di calcolo utilizzato, dei materiali costituenti la stratigrafia della pavimentazione del Lotto 0A esistente.

**Tabella 9 – Parametri utilizzati per l'analisi con il metodo M-E PDG delle pavimentazioni**

| PARAMETRO   | $\rho_{3/4}$<br>[%] | $\rho_{3/8}$<br>[%] | $\rho_4$<br>[%] | $\rho_{200}$<br>[%] | Va<br>[%] | Vb<br>[%] | A       | VTS     | E (*)<br>(MPa) |
|---|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|---------|---------|----------------|
| USURA in CB<br>Drenante   | 0.40                | 50.5                | 84.3            | 6.0                 | 20.0      | 10.6      | 9.5140  | -3.1280 | 4000           |
| BINDER con bitume<br>normale  | 5.3                 | 32.4                | 51.1            | 6.0                 | 5.5       | 11.4      | 10.6508 | -3.5537 | 6500           |
| BASE in CB con bitume<br>normale  | 16.6                | 41.4                | 56.9            | 6.0                 | 6.0       | 10.7      | 10.6508 | -3.5537 | 7100           |
| Misto cementato   | -                   | -                   | -               | -                   | -         | -         | -       | -       | 1000           |
| Misto Granulare Non<br>Legato   | -                   | -                   | -               | -                   | -         | -         | -       | -       | 216<br>(**)    |
| (*) Per i conglomerati bituminosi è riportato, a titolo meramente indicativo, il modulo elastico calcolato a 20°C a bassa frequenza (4 Hz) rappresentativo di un modulo di laboratorio. Il calcolo è fatto sulla base delle proprietà fisiche dei materiali; per i materiali legati a cemento è riportato il modulo elastico del materiale in condizione microfessurata.<br>(**) Modulo ottenuto applicando la formula Shell Oil Company noto Mr del sottofondo e lo spessore dello strato di MGNL. |                     |                     |                 |                     |           |           |         |         |                |

I valori di A e VTS per le miscele tradizionali sono calcolati direttamente dall'M-EPDG per un dato tipo di bitume a partire dal valore della penetrazione.

#### 4.7.3.2 VERIFICA DELLE PRESTAZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE DEL LOTTO 0A ESISTENTE

La pavimentazione del Lotto 0A esistente prevede una pavimentazione semirigida. Il manto di usura previsto è di tipo drenante. La stratigrafia della pavimentazione in essere è riassunta in **Tabella 10**.

**Tabella 10 – Pavimentazioni previste nel PE per l'asse dell'autostrada**

| Strato   | Spessore                                  |    |
|--|---|----|
|  | Usura in Conglomerato Bituminoso Drenante | Cm |
| Strato di collegamento in CB con bitume normale    | Cm  | 6  |
| Strato di base in CB con bitume normale            | Cm  | 12 |
| Strato di sottobase in Misto Cementato             | Cm  | 22 |
| Strato di fondazione in Misto Granulare Non Legato | Cm  | 25 |
| TOTALE   | Cm  | 70 |

Questa pavimentazione, verificata mediante il metodo M-E PDG con i dati di progetto esplicitati nel paragrafo 4.7.1.2 hanno fornito i risultati riportati in **Tabella 11**.

**Tabella 11 – Risultati delle verifiche effettuate con il metodo M-E PDG sulla pavimentazione prevista nel PE**

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| Traffico                               | 33.0 milioni di VP            |
| Affidabilità                           | R = 90%                       |
| <b>INDICATORE DI PRESTAZIONE</b>       |                               |
| Fessurazione di tipo "bottom-up" (%)   | 2.30% (limite 25%)            |
| Fessurazione di tipo "top-down" (m/km) | 71.70 (limite 200 m/km)       |
| Danno per fatica (Bottom-up)           | 1.14 % (limite 50%)           |
| Profondità ormaie (mm)                 | <b>29.90</b> (limite 12 mm)   |
| IRI (mm/m)                             | <b>2.37</b> (limite 2.1 mm/m) |

Si nota un marcato superamento del limite di ormaiamento che avviene intorno al secondo anno di vita ma tuttavia si riscontra che la struttura esistente del Lotto 0A mantiene un basso stato fessurativo per tutti i 20 anni di esercizio della pavimentazione.

Dal punto di vista funzionale si ravvisa quindi la necessità di un intervento di sostituzione del manto di usura entro il 2° anno di esercizio delle pavimentazioni

A seguito delle alte deformazioni permanenti che si manifestano nei primi due anni sono stati valutati gli effetti di ripristino dello strato di usura dopo 2 anni dall'apertura al traffico dell'infrastruttura. Si è così riscontrato che il comportamento delle deformazioni permanenti a seguito dell'intervento renda necessario durante il periodo di analisi un ulteriore intervento di manutenzione con asportazione e rifacimento dello strato di usura e di binder al 14° anno del periodo di riferimento.

Per ulteriori dettagli in merito alle analisi condotte si rimanda alla relazione specialistica relativa.

#### 4.7.3.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DELLA PAVIMENTAZIONE NUOVA DELLA CARREGGIATA NORD

In **Tabella 12** sono rappresentate le principali caratteristiche fisico meccaniche necessarie alla schematizzazione, nel software di calcolo utilizzato, dei materiali costituenti la stratigrafia della pavimentazione nuova da realizzare per la carreggiata nord.

**Tabella 12 – Parametri utilizzati per l'analisi con il metodo M-E PDG per la pavimentazione nuova della carreggiata nord**

| PARAMETRO  | $\rho_{3/4}$<br>[%] | $\rho_{3/8}$<br>[%] | $\rho_4$<br>[%] | $\rho_{200}$<br>[%] | Va<br>[%] | Vb<br>[%] | A       | VTS     | E (*)<br>(MPa) |
|--|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|---------|---------|----------------|
| USURA in<br>Conglomerato<br>Bituminoso<br>Drenante<br>(CB) | 0.40                | 50.5                | 84.3            | 6.0                 | 20.0      | 10.6      | 9.5140  | -3.1280 | 4000           |
| BINDER in CB con<br>bitume modificato tipo<br>hard         | 5.3                 | 32.4                | 51.1            | 6.0                 | 5.5       | 11.4      | 10.6508 | -3.5537 | 8500           |
| BASE in CB con bitume<br>modificato tipo hard              | 16.6                | 41.4                | 56.9            | 6.0                 | 6.0       | 10.7      | 10.6508 | -3.5537 | 8500           |
| Misto cementato  | -                   | -                   | -               | -                   | -         | -         | -       | -       | 1000           |

(\*) Per i conglomerati bituminosi è riportato, a titolo meramente indicativo, il modulo elastico calcolato a 20°C a bassa frequenza (4 Hz) rappresentativo di un modulo di laboratorio. Il calcolo è fatto sulla base delle proprietà fisiche dei materiali; per i materiali legati a cemento è riportato il modulo elastico del materiale in condizione microfessurata.

I valori di A e VTS per le miscele tradizionali sono calcolati direttamente dall'M-EPDG per un dato tipo di bitume a partire dal valore della penetrazione.

#### 4.7.3.4 VERIFICA DELLE PRESTAZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE NUOVA DELLA CARREGGIATA NORD

Per quanto concerne la realizzazione della nuova carreggiata nord si prevede una pavimentazione semirigida confezionata con materiali ad alte prestazioni. Il manto di usura previsto è di tipo drenante. La stratigrafia della pavimentazione nuova della carreggiata nord è riassunta in **Tabella 13**.

**Tabella 13 – Struttura pavimentazione nuova della carreggiata nord**

| Strato   | Spessore |    |
|--|----------|----|
| Usura in Conglomerato Bituminoso (CB) Drenante               | cm       | 4  |
| Strato di collegamento in CB con bitume modificato tipo hard | cm       | 6  |
| Strato di base in CB con bitume modificato tipo hard         | cm       | 20 |
| Strato di sottobase in Misto Cementato                       | cm       | 25 |

Società di Progetto  
Brebemi SpA

|  |                                |   |            |                     |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|
|  | Doc. N.<br>60518-00001-A01.doc | CODIFICA DOCUMENTO<br>04RGDII100001000000400A01 | REV.<br>01 | FOGLIO<br>23 di 105 |
|  | TOTALE                         |   | cm         | 55                  |

Questa pavimentazione, verificata mediante il metodo M-E PDG con i dati di progetto esplicitati nel paragrafo 4.7.1.2 hanno fornito i risultati riportati in **Tabella 14**.

**Tabella 14 - Risultati delle verifiche effettuate con il metodo M-E PDG sulla pavimentazione nuova della carreggiata nord**

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| Traffico                               | 33.0 milioni di VP                 |
| Affidabilità                           | R = 90%                            |
| <b>INDICATORI DI PRESTAZIONE</b>       |                                    |
| Fessurazione di tipo "bottom-up" (%)   | 1.45% (limite 25%)                 |
| Fessurazione di tipo "top-down" (m/km) | 17.18 (limite 200 m/km)            |
| Danno per fatica (Bottom-up)           | 2.33x10 <sup>-6</sup> (limite 50%) |
| Profondità ormaie (mm)                 | <b>14.49</b> (limite 12 mm)        |
| IRI (mm/m)                             | 1.86 (limite 2.1 mm/m)             |

Tutti gli indici di valutazione delle prestazioni della pavimentazione al termine del periodo di analisi sono al di sotto dei limiti ammissibilità previsti, ad eccezione dell'ormaiamento che tuttavia non comporta particolari problemi di manutenzione in quanto il superamento del limite avviene durante il 9° anno di vita.

Si mette in evidenza come la struttura della pavimentazione mantiene un basso stato fessurativo e di irregolarità superficiale per tutti i 20 anni di analisi.

Dal punto di vista funzionale si ravvisa la necessità di un intervento di sostituzione del manto di usura entro il 9°-10° anno di esercizio delle pavimentazioni.

Per ulteriori dettagli sui risultati delle verifiche condotte si rimanda alla relazione specifica.

Il superamento della deformazione permanente con affidabilità al 90% non costituisce tuttavia un problema in quanto generalmente la vita di uno strato drenante è di circa 10 anni, quindi il superamento del limite di ormaie al 9° anno è in linea con gli interventi di ripristino dello strato di usura da prevedere come normale intervento di manutenzione.

#### 4.7.4 PAVIMENTAZIONE SULLE RAMPE DI SVINCOLO

La pavimentazione prevista per gli svincoli presenta un basso livello fessurativo ed una regolarità superficiale entro i limiti per tutto il periodo di riferimento. Le deformazioni permanenti vengono superate al 16° anno di vita e data la difficoltà ad intervenire sulle rampe per la necessità di chiuderle al traffico si può ovviare a tal problema utilizzando bitumi modificati per gli strati di binder e base. Con i bitumi modificati le deformazioni permanenti non superano il limite nei 20 anni di periodo di riferimento ed in questo modo non è necessario prevedere interventi di rifacimento dello strato di usura a causa del superamento del limite di uno degli indicatori di prestazione.

Società di Progetto  
Brebem SpA



#### 4.7.4.1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DELLA PAVIMENTAZIONE SULLE RAMPE DI SVINCOLO

In **Tabella 12** sono rappresentate le principali caratteristiche fisico meccaniche necessarie alla schematizzazione, nel software di calcolo utilizzato, dei materiali costituenti la stratigrafia delle pavimentazione nuova da realizzare per la carreggiata nord.

**Tabella 15 - Parametri utilizzati per l'analisi con il metodo M-E PDG delle pavimentazioni degli svincoli**

| PARAMETRO                           | $\rho_{3/4}$ [%] | $\rho_{3/8}$ [%] | $\rho_4$ [%] | $\rho_{200}$ [%] | Va [%] | Vb [%] | A       | VTS     | E (*) (MPa) |
|-------------------------------------|------------------|------------------|--------------|------------------|--------|--------|---------|---------|-------------|
| USURA in Splittmastix Asphalt (SMA) | 0.1              | 20.6             | 60           | 10.5             | 4.5    | 15.2   | 10.5254 | -3.5047 | 5500        |
| BINDER con bitume normale (***)     | 4.3              | 27.2             | 43.9         | 7.0              | 4.5    | 11.4   | 10.6508 | -3.5537 | 6500        |
| BASE in CB con bitume normale (***) | 26.0             | 43.9             | 56.8         | 5.0              | 5.0    | 10.2   | 10.6508 | -3.5537 | 7100        |
| Misto cementato                     | -                | -                | -            | -                | -      | -      | -       | -       | 1000        |
| Misto Granulare Non Legato          | -                | -                | -            | -                | -      | -      | -       | -       | 216 (**)    |

(\*) Per i conglomerati bituminosi è riportato, a titolo meramente indicativo, il modulo elastico calcolato a 20°C a bassa frequenza (4 Hz) rappresentativo di un modulo di laboratorio. Il calcolo è fatto sulla base delle proprietà fisiche dei materiali; per i materiali legati a cemento è riportato il modulo elastico del materiale in condizione microfessurata.

(\*\*) Modulo ottenuto applicando la formula Shell Oil Company noto Mr del sottofondo e lo spessore dello strato di MGNL.

(\*\*\*) Le prime analisi sono effettuate con bitume normale. Può esser scelto un bitume modificato qualora sussistano necessità di aumento delle prestazioni dello strato.

I valori di A e VTS per le miscele tradizionali sono calcolati direttamente dall'M-EPDG per un dato tipo di bitume a partire dal valore della penetrazione.

#### 4.7.4.2 VERIFICA DELLE PRESTAZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE SULLE RAMPE DI SVINCOLO

Per quanto concerne la realizzazione della nuova carreggiata nord si prevede una pavimentazione semirigida confezionata con materiali ad alte prestazioni. Il manto di usura previsto è di tipo drenante. La stratigrafia della pavimentazione prevista per gli svincoli è riassunta in **Tabella 16**.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

**Tabella 16 - Struttura pavimentazione prevista per gli svincoli**



|  |          |    |
|--|----------|----|
| Strato   | Spessore |    |
| Usura in Conglomerato Bituminoso tipo SMA          | cm       | 3  |
| Strato di collegamento in CB con bitume normale    | cm       | 6  |
| Strato di base in CB con bitume normale            | cm       | 14 |
| Strato di sottobase in Misto Cementato             | cm       | 22 |
| Strato di fondazione in Misto Granulare Non Legato | cm       | 25 |
| TOTALE   | cm       | 70 |

Questa pavimentazione, verificata mediante il metodo M-E PDG con i dati di progetto esplicitati nel paragrafo 4.7.1.2 hanno fornito i risultati riportati in **Tabella 17**.

**Tabella 17 - Risultati delle verifiche effettuate con il metodo M-E PDG sulla pavimentazione prevista per gli svincoli**

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| Traffico                               | 16.5 milioni di VP          |
| Affidabilità                           | R = 90%                     |
| <b>INDICATORE DI PRESTAZIONE</b>       |                             |
| Fessurazione di tipo "bottom-up" (%)   | 1.74% (limite 25%)          |
| Fessurazione di tipo "top-down" (m/km) | 60.32 (limite 200 m/km)     |
| Danno per fatica (Bottom-up)           | 0.041 % (limite 50%)        |
| Profondità ormaie (mm)                 | <b>14.59</b> (limite 12 mm) |
| IRI (mm/m)                             | 1.90 (limite 2.1 mm/m)      |

Tutti gli indici di valutazione della prestazione della pavimentazione sono al di sotto dei limiti ad eccezione dell'ormaiamento che supera il limite massimo durante L'11° anno di vita.

Dal momento che gli interventi di manutenzione sulle rampe sono attuabili solo attraverso la chiusura al traffico della rampa stessa, è preferibile cercare di mantenere tutti gli indicatori di prestazione al di sotto del limite per tutto il periodo di riferimento.

Lo Splittmastix Asphalt (SMA), che è un conglomerato bituminoso chiuso e che si prevede di utilizzare per lo strato di usura, non presenta una manutenzione tale da determinarne il ripristino dopo un tempo fissato, come avviene a differenza per il drenante, per questo motivo può esser lasciato in opera anche oltre il periodo di riferimento.

Utilizzando bitumi modificati per gli strati di binder e base il comportamento della pavimentazione migliora le prestazioni sia riguardo allo stato fessurativo che rispetto alle deformazioni permanenti. Con particolare riferimento a queste ultime, unico indicatore che supera il limite nel periodo di riferimento, si riscontra come non siano mai superiori al limite stabilito dei 12 mm ben oltre i 20 anni di analisi.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

#### 4.7.5 Interventi di riqualifica della pavimentazione esistente

L'attuale tratto esistente del Lotto 0A, caratterizzato da una sezione di strada tipo C1 ai sensi del DM 5.11.2001 ad unica carreggiata ed una corsia per senso di marcia attualmente aperta al traffico verrà

interessata da una intervento di riqualifica che prevede la sua conversione nella carreggiata sud in direzione Brescia.

Dal momento che dal passaggio a strada di categoria C1 a strada di categoria A cambiano le velocità di progetto, viene modificata la sagoma della piattaforma stradale a seguito della variazione della quota dei cigli tra le due tipologie di strada. L'intervento di risagomatura si estende tra le progressive di progetto 0+840 alla 4+840 per complessivi 4 km ed interessa per gran parte la futura carreggiata sud in direzione Brescia.

Con riferimento all'asse di tracciamento della strada attuale tipo C1 sono stati individuati i valori della differenza di quota tra la strada esistente (QE) e la quota di progetto futura (QP) per la carreggiata nord e sud.

In carreggiata nord la risagomatura dell'asse interessa solo 140 m in cui si riscontra sempre  $QP > QE$ . Per la carreggiata sud invece si riscontra che i tratti in cui si riscontra  $QP > QE$  sono circa 2650 m mentre  $QP < QE$  si riscontra per uno sviluppo di 1350 m.

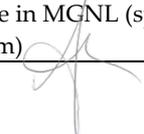
A seguito dei dati ricavati si osserva che, nella futura carreggiata nord, la differenza tra le quote esistente e di progetto è contenuta nell'intervallo +20 cm e +5 cm. Nella la futura carreggiata sud la differenza di quota è compresa tra +40 cm e -14 cm.

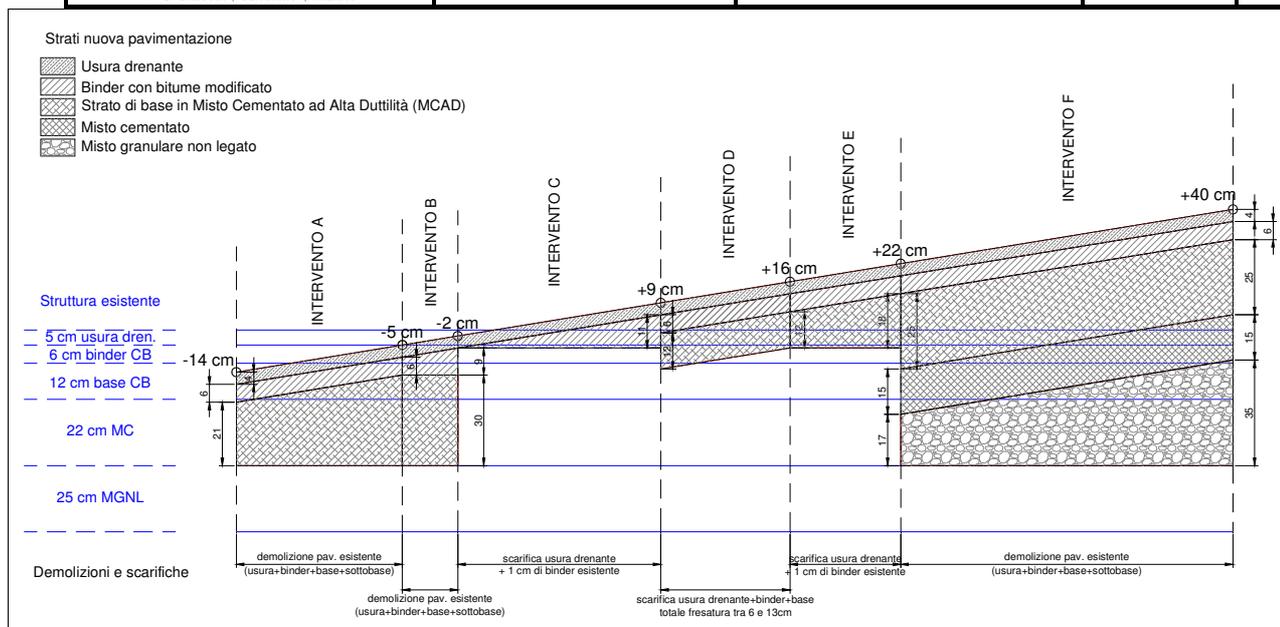
Gli interventi di riqualifica vengono definiti in base alle differenze di quota della futura carreggiata sud che risulta esser decisamente più interessata dagli interventi. Tali interventi sono stati suddivisi in base ad un indice letterale da A ad F e la descrizione è riportata in **Tabella 18** mentre in **Figura 1** sono rappresentati schematicamente i vari interventi in funzione delle differenze di quota.

**Tabella 18 – Tipologie di intervento di riqualifica**

| Tipo intervento | Dislivello tra piano viabile esistente e nuovo |    | Lavori su pavimentazione esistente   | Nuova pavimentazione   |
|-----------------|--|----|--|--|
|                 | da   | a  |  |  |
| A               | -14  | -5 | Demolizione totale della pavimentazione esistente (usura + binder+base+sottobase)                        | Usura drenante (4 cm)<br>+ binder con bitume modificato (6 cm)<br>+ base MCAD (spessore variabile da 21 a 30 cm)   |
| B               | -5   | -2 | Demolizione totale della pavimentazione esistente (usura + binder+base+sottobase)                        | Usura drenante (4 cm)<br>+ binder con bitume modificato (spessore var. da 6 a 9 cm)<br>+ base MCAD (30 cm)   |
| C               | -2   | 9  | Scarifica usura drenante + 1 cm di binder esistente  | Usura drenante (4 cm)<br>+ binder con bitume modificato (spessore var. 0 - 11 cm)  |
| D               | 9  | 16 | Scarifica usura drenante + binder + base esistente (spessore variabile di scarifica totale da 6 a 13 cm) | Usura drenante (4 cm)<br>+ binder con bitume modificato (6 cm)<br>+ base MCAD (12 cm)  |
| E               | 16   | 22 | Scarifica usura drenante + 1 cm di binder esistente  | Usura drenante (4 cm)<br>+ binder con bitume modificato (6 cm)<br>+ base MCAD (spessore var. da 12 a 18 cm)  |
| F               | 22   | 40 | Demolizione totale della pavimentazione esistente (usura + binder+base+sottobase)                        | Usura drenante (4 cm)<br>+ binder con bitume modificato (6 cm)<br>+ base MCAD (25 cm)<br>+ sottobase in MC (15 cm)<br>+ fondazione in MGNL (spessore var. da 17 a 35 cm) |

Società di Progetto  
Brehem SpA





**Figura 1 - Schema degli interventi di riqualifica**

Per la definizione dello sviluppo di ciascun intervento di riqualifica lungo lo sviluppo dell'infrastruttura si dovrà tener conto che ognuno di essi è ragionevolmente attuabile se raggiunge uno sviluppo minimo indicativo di 100 – 150 m. Se un intervento risulta minore di questo sviluppo è possibile estendere uno degli interventi adiacenti.

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA

|  |                                |   |            |                     |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|
|  | Doc. N.<br>60518-00001-A01.doc | CODIFICA DOCUMENTO<br>04RGDI1100001000000400A01 | REV.<br>01 | FOGLIO<br>28 di 105 |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|

## 4.8 SEZIONI TIPO

La sezione autostradale è di tipo A in ambito extraurbano a 2+2 corsie di marcia, della larghezza minima di 25,20 m e composta da due carreggiate, ciascuna organizzata con due corsie di marcia di 3,75 m oltre ad una corsia di emergenza di larghezza minima 3,00 m; le due carreggiate sono separate da un margine interno di larghezza minima pari a 4,20 m. Lo spazio riservato allo spartitraffico, destinato al funzionamento delle barriere di sicurezza, è pari ad almeno 2,80 m, affiancato da due banchine in sinistra di larghezza pari a 0,70 m.

Per ogni carreggiata, ad intervalli di 1000 m circa, sono previste piazzole di sosta che comportano un allargamento della piattaforma di ulteriori 3.00 m oltre la corsia di emergenza e presentano uno sviluppo pari a 65 m, di cui 25 m a larghezza costante e 2x20 m a larghezza variabile di raccordo alla piattaforma tipo.

L'arginello ha una larghezza pari a 1.30 m sulla carreggiata in direzione Brescia e di 1.70 nella carreggiata in direzione Milano; sulle rampe di interconnessione e di svincolo gli arginelli sono previsti di larghezza 1.30m. La pendenza delle scarpate sia dei tratti in trincea che dei tratti in rilevato è prevista 2v/3o ad esclusione delle rampe di interconnessione con l'Autostrada A4 che prevedono pendenza pari a 4v/7o.

Nei tratti in rilevato le scarpate saranno inerbite superficialmente stendendo una coltre di terreno vegetale spessa 30cm; nei tratti in trincea è invece prevista la stesa di una geostuoia.

La protezione del piede del rilevato viene garantita costruendo fossi di guardia in terra o rivestiti; nel caso della trincea verrà realizzato un arginello in terreno naturale in sommità alla scarpata.

Viene infine prevista la raccolta separata delle acque di piattaforma attraverso la realizzazione di apposite canalette prefabbricate che convogliano le acque di prima pioggia agli impianti di trattamento.

La formazione del rilevato avverrà previa preparazione del piano di posa con scotico di 30cm e bonifica di 30cm attraverso la stabilizzazione a calce del terreno in sito.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



|  |                                |   |            |                     |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|
|  | Doc. N.<br>60518-00001-A01.doc | CODIFICA DOCUMENTO<br>04RGDI1100001000000400A01 | REV.<br>01 | FOGLIO<br>29 di 105 |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|

## 4.9 VELOCITA' DI PROGETTO

L'intervallo di velocità di progetto previsto dalla normativa per le strade di categoria A è 90 – 140 km/h.

Le verifiche relative all'andamento sia planimetrico che altimetrico sono state condotte in base all'intervallo di velocità suddetto mentre le velocità di percorrenza imposte dalla segnaletica sono via via decrescenti in avvicinamento alla barriera di esazione.

## 4.10 DIAGRAMMA VISIBILITA' E RELATIVI ALLARGAMENTI

“L'esistenza di opportune visuali libere costituisce primaria ed inderogabile condizione di sicurezza della circolazione.” – D.M. 6792 del 05/11/2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade” – Capitolo 5.

Con gli andamenti planimetrici ed altimetrici prima descritti, sulla base delle sezioni tipo e degli elementi marginali previsti lungo lo sviluppo del tracciato, sono stati costruiti graficamente e verificati gli allargamenti necessari per garantire all'utente in transito le necessarie distanze di visibilità.

Nel caso in cui si rilevino insufficienti distanze di visuale libera bisognerà adottare i provvedimenti necessari per allontanare dalla carreggiata gli ostacoli alla visibilità.

Per quanto riguarda il progetto in esame si rimanda agli specifici elaborati

In tali elaborati è possibile individuare le zone allargate della piattaforma stradale. Sono state calcolate e rappresentate in un diagramma le distanze di visuale libera e di visibilità previste dalla normativa, effettuando un'analisi della visibilità tridimensionale.

Le impostazioni dei più importanti parametri di verifica (altezza del punto di vista, altezza dell'oggetto da vedere, percorso del punto di vista, percorso dell'oggetto da vedere, coefficienti di aderenza longitudinale, ecc.) sono gli standard proposti dalla normativa di riferimento.

Per la determinazione delle verifiche di visibilità si sono utilizzati i seguenti dati:

Velocità di progetto ( $V_p$ ) = velocità attribuita ad ogni punto di un tracciato stradale in base all'andamento piano-altimetrico. La velocità di progetto in un determinato punto del tracciato si deduce dal diagramma di velocità.

Distanza di visuale libera per l'arresto ( $D_{v,a}$ ) = lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé ai fini dell'arresto di fronte ad un ostacolo fisso.

Distanza di visibilità per l'arresto ( $D_a$ ) = spazio minimo necessario affinché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto; la distanza si ottiene sommando lo spazio di reazione e lo spazio di frenata. La distanza di visibilità per l'arresto è funzione della velocità di progetto, da desumere puntualmente dal diagramma di velocità, del tipo di strada, da cui dipendono i valori dei coefficienti di aderenza longitudinale  $f_l(V)$  e della pendenza longitudinale dell'asse ( $i$ ).

Le modalità predefinite di esecuzione delle verifiche di visibilità (numero e tipo di verifiche, altezza del punto di vista, altezza dell'ostacolo, coefficienti di aderenza longitudinale) corrispondono a quanto previsto dal D.M. 6792 del 05/11/2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

|  |                                |   |            |                     |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|
|  | Doc. N.<br>60518-00001-A01.doc | CODIFICA DOCUMENTO<br>04RGDII100001000000400A01 | REV.<br>01 | FOGLIO<br>30 di 105 |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|

Le verifiche da effettuare nelle strade con almeno due corsie per senso di marcia riguardano le seguenti distanze di visibilità:

- distanza di visibilità per l'arresto (Da);
- distanza di visibilità per il cambiamento di corsia (Dc).

Le distanze di visuale libera e di visibilità vengono determinate nelle corsie più interna e più esterna di ciascuna carreggiata.

La distanza di visuale libera per l'arresto ( $D_{v,a}$ ) viene valutata facendo scorrere il punto di vista lungo ciascuna delle polilinee 3d (asse corsia esterna sinistra), (asse corsia interna sinistra), (asse corsia interna destra), (asse corsia esterna destra). Le distanze di visuale libera per l'arresto si valutano con un determinato passo lungo il tracciato; per ciascuna progressiva individuata sul tracciato il punto di vista (Pv) viene posizionato ad un'altezza  $h_1$  pari a 1.10 m al di sopra delle polilinee sopra menzionate, l'oggetto da vedere (Pt) ad un'altezza  $h_2$  pari a 0.10 m sulla stessa polilinea dove è collocato il punto di vista; l'oggetto viene spostato in punti via via più lontani dal punto di vista finché il raggio visuale che collega Pv e Pt incontra un ostacolo. In quell'istante viene valutata la distanza di visuale libera per l'arresto ( $D_{v,a}$ ) come differenza di progressive relative ai punti Pt e Pv. La distanza di visuale libera per l'arresto sarà in seguito confrontata con la distanza di visibilità per l'arresto (Da), calcolata secondo normativa.

Per quanto riguarda la visibilità per l'arresto questa è stata garantita sull'intero sviluppo del tracciato, intervenendo con allargamenti oltre la banchina in sinistra (larghezza 0,70 m) e la corsia d'emergenza (larghezza 3,00 m) ove questo risulti necessario.

Per quanto riguarda la verifica della visibilità per il cambio corsia il criterio di calcolo è simile a quello descritto per il calcolo degli allargamenti necessari per garantire la distanza di arresto ma i dati per definire la posizione tridimensionale del punto di vista e dell'oggetto da vedere sono differenti. L'oggetto da vedere infatti si muove sulla corsia a lato di quella oggetto di verifica ad un'altezza di 1,10 m, ritenendo che si debba trapiantare il veicolo in uscita che può influenzare la manovra stessa di cambio corsia del veicolo che sta sopraggiungendo.

La verifica viene svolta sull'intero tracciato.

Il valore minimo da garantire è pari a

$$D_c = 9.5 \times v$$

Dove 9.5 sono i secondi necessari per percepire e riconoscere la situazione e per la decisione ed effettuazione della manovra di cambiamento di una sola corsia e  $v$  la velocità in m/s dedotta dal diagramma delle velocità. Considerando una velocità di 140 km/h la distanza per il cambio corsia è pari a 369m ed è sempre garantita nei punti critici.

## 4.11 DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ

La verifica della correttezza della progettazione comporta la redazione del diagramma di velocità per ogni senso di marcia; nell'elaborato specifico allegato al progetto è stato redatto un unico diagramma, corredato della tabella riepilogativa delle caratteristiche geometriche del tracciato di entrambi le direzioni, evidenziando gli allargamenti del margine esterno previsti per garantire la distanza di visibilità per l'arresto.

L'esame del diagramma non ha evidenziato criticità.

APPROVATO BDP

  
 Società di Progetto

|  |                                |   |            |                     |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|
|  | Doc. N.<br>60518-00001-A01.doc | CODIFICA DOCUMENTO<br>04RGDII100001000000400A01 | REV.<br>01 | FOGLIO<br>31 di 105 |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|

## 5 SVINCOLO DI INTERCONNESSIONE A35 – A4

### 5.1 ASPETTI NORMATIVI

Nell'ambito del progetto definitivo le rampe sono state progettate utilizzando:

- D.M. 1699 del 19/4/2006 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali”.
- D.M. 6792 del 05/11/2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”.

### 5.2 DESCRIZIONE/CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E FUNZIONALI

#### 5.2.1 LA CONFIGURAZIONE DELLO SVINCOLO

L'interconnessione descritta nel presente capitolo permette di connettere la bretella di collegamento tra l'estremo est della A35 con l'autostrada A4; tale bretella si prevede, come già descritto, potenziata a caratteristiche autostradali ossia trasformata da strada di categoria C a strada di categoria A.

Lo svincolo di interconnessione tra la A35 e la A4 rappresenta, all'interno della rete autostradale, un punto singolare, per i vincoli infrastrutturali e ambientali presenti, ma di particolare rilevanza, per la funzione che assume il raccordo tra le due autostrade.

L'ambito territoriale in cui è prevista l'attuazione dell'importante nodo autostradale di interconnessione risulta a Sud-Ovest del comune di Brescia; in particolare L'interconnessione risulta completamente inserita all'interno del territorio comunale di Castegnate ad eccezione della parte terminale del ramo da Milano sulla A35 verso Verona sulla A4 e della parte iniziale del ramo da Verona sulla A4 verso Milano sulla A35, ricadenti nel comune di Antezzate.

La scelta della tipologia di svincolo si è orientata verso la soluzione che presuppone migliori condizioni di deflusso del traffico veicolare e di sicurezza nella circolazione stradale.

Le analisi e le verifiche, effettuate sulla base dei dati di traffico simulati e disponibili, hanno riguardato gli aspetti prettamente trasportistici, tra i quali, in primo luogo, gli aspetti funzionali e di sicurezza della circolazione. Le valutazioni riguardo alla tipologia delle rampe di interlacciamento, alla consistenza dei flussi veicolari previsti, ai punti di convergenza/divergenza, alle modalità di deflusso, alla possibilità di accumulo, alle condizioni generali di sicurezza, ed alla possibilità di mitigare efficacemente anche in sede di approfondimento progettuale gli elementi di criticità individuati, hanno portato alla scelta dello svincolo di progetto come soluzione complessivamente migliore per consentire la corretta interconnessione autostradale tra la A35 e la A4.

Il collegamento delle due autostrade presenta due sole funzioni, cioè i rami da Verona sulla A4 verso Milano sulla A35 e da Milano sulla A35 verso Verona sulla A4, perché sono queste le uniche funzioni utili in relazione ai flussi di traffico che si possono generare sulla connessione. Al termine di questi due rami, lato A35, è prevista la realizzazione di una barriera di esazione.

Società di Progetto  
Brebem SpA



|  |                                |   |            |                     |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|
|  | Doc. N.<br>60518-00001-A01.doc | CODIFICA DOCUMENTO<br>04RGDI1100001000000400A01 | REV.<br>01 | FOGLIO<br>32 di 105 |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|

Viene mantenuta la connessione tra l'autostrada A35 con la tangenziale sud di Brescia mediante la realizzazione di rampe monodirezionali apposite per questa funzione. Tali le rampe di svincolo si staccano dal nuovo asse autostradale appena prima del piazzale della barriera di esazione.

La rampa che dall'autostrada A35 porta verso la tangenziale di Brescia corre a sud del piazzale di stazione e a seguire sottopassa, mediante un sottovia a struttura scatolare in conglomerato cementizio armato, il piazzale stesso per poi spostarsi a nord fino ad affiancare il ramo che corre in senso opposto cioè che dalla tangenziale di Brescia si connette all'autostrada A35. Una volta affiancati i due rami sottopassano l'autostrada A4 sfruttando una delle canne della galleria artificiale già predisposta a tal fine nell'ambito delle costruzioni di A35.

Dai due rami appena descritti si staccano due rampe che permettono il raccordo con la viabilità esistente innestandosi sulla rotatoria dello svincolo Travagliato Est.

Quanto descritto è schematizzato nella figura della pagina seguente.

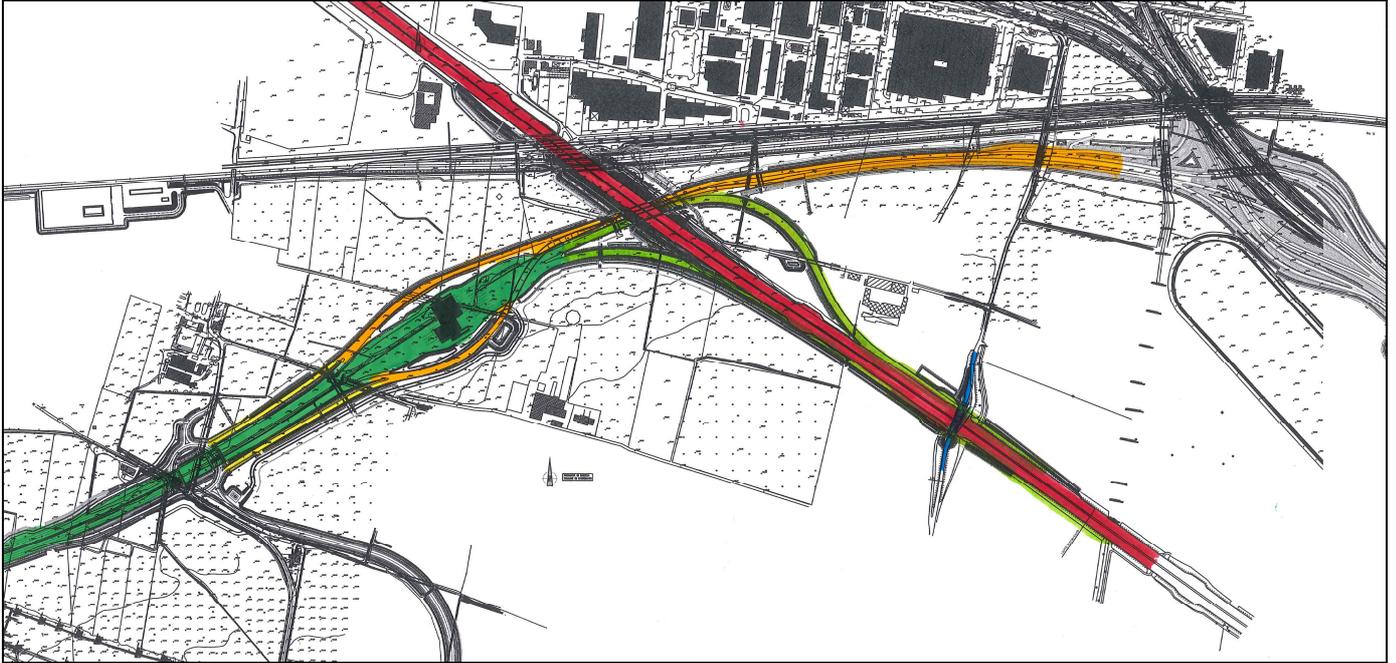
I rami che compongono l'interconnessione sono in seguito elencati:

- Ramo BBM: piazzale di esazione
- Ramo A4-BB: ramo da Verona sulla A4 verso Milano sulla A35
- Ramo BB-A4: ramo da Milano sulla A35 verso Verona sulla A4
- Ramo BB-BS: ramo da Milano sulla A35 alla Tangenziale Sud di Brescia
- Ramo BS-BB: ramo dalla Tangenziale Sud di Brescia alla A35 direzione Milano
- Ramo BS-RO: ramo dalla Tangenziale Sud di Brescia alla rotatoria dello svincolo Travagliato Est
- Ramo RO-BS: ramo dalla rotatoria dello svincolo Travagliato Est alla Tangenziale Sud di Brescia.

Lo svincolo si inserisce correttamente nel contesto territoriale, non alterando la percezione dei luoghi, in relazione alla contenuta altezza dei rilevati ed in relazione al fatto che le interferenze con il tracciato autostradale della A4 avviene per mezzo di un'opera di sottopasso.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



*Interconnessione A35-A4*

-  A35
-  Rampe di Interconnessione A35-A4
-  A4
-  Connessione A35-TG Sud di Brescia con rampe di raccordo alla viabilità locale

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA

## 5.2.2 VELOCITÀ DI PROGETTO

Per definire le caratteristiche plano-altimetriche delle rampe sono stati preliminarmente individuati gli intervalli di velocità di progetto. Alcune indicazioni per le loro individuazioni vengono fornite nella tabella riportata sotto dove si correlano le tipologie fondamentali di rampe con la classificazione delle strade afferenti al nodo, attribuendo gli intervalli cinematici di progetto.

| <i>Tipi di rampe</i>   | <i>Incroci A/A, A/B, B/A</i>                        | <i>Incroci A/C, B/B, C/A, C/B, altro</i>  |
|------------------------|---|---|
| Curvilinea diretta     | 50-80 km/h  | 40-60 km/h                                |
| Curvilinea semidiretta | 40-70 km/h  | 40-60 km/h                                |
| Curvilinea indiretta   | in uscita da A: 40 km/h<br>in entrata su A: 30 km/h | in uscita: 40 km/h<br>in entrata: 30 km/h |
| Rettilinea diretta     | 60-80 km/h  | 40-70 km/h                                |

*Velocità di progetto in funzione della tipologia di rampa e del tipo di incrocio (fonte D.M. 1699)*

Le migliori prestazioni cinematiche sono espresse dalle rampe curvilinee dirette, mentre per le rampe indirette vengono ammessi riferimenti cinematici ridotti, con ulteriori specificazioni per differenziare le traiettorie di uscita dalle correnti principali rispetto a quelle di immissione, da ritenersi suscettibili di valori prestazionali più ridotti in termini di velocità di riferimento.

Nel caso in oggetto si è scelto per la rampa semidiretta A4-BB di utilizzare un intervallo di velocità di progetto maggiore di quello prescritto, considerando le buone caratteristiche plano – altimetriche, così da ottenere un livello prestazionale migliore per la funzione espletata dal suddetto ramo.

Tra le tipologie di rampa sono state introdotte anche quelle rettilinee dirette dove cioè le limitazioni alla velocità di progetto non derivano da vincoli di traiettorie curvilinee ma richiedono provvedimenti segnaletici ed altre indicazioni di carattere prescrittivo. In questo caso si è preferito limitare la velocità massima per dare maggiore omogeneità alla rampa, consentendo una variazione massima della velocità di progetto pari a 20 km/h.

| <i>Ramo</i> | <i>Tipologia</i>   | <i>Velocità di progetto adottata (km/h)</i> |
|-------------|--------------------|---|
| BBM         | -                  | -   |
| A4-BB       | semidiretta        | 70-90                                       |
| BB-A4       | diretta            | 60-80                                       |
| BB-BS       | rettilinea diretta | 60  |
| BS-BB       | rettilinea diretta | 60  |
| BS-RO       | rettilinea diretta | 60  |
| RO-BS       | rettilinea diretta | 60  |

Società di Progetto  
Brebemi SpA



### 5.2.3 LE SEZIONI TIPO

Le dimensioni dei rami di svincolo adottate sono:

- per le carreggiate unidirezionali piattaforma da 6.50m, composta da corsia da 4.00m, banchina in sinistra da 1.00m e banchina in destra da 1.50m; per il ramo BB-BS si è adottata una banchina in destra pari a 3.00m, per consentire la sosta di un mezzo in panne e il transito dei mezzi di soccorso.
- per le carreggiate unidirezionali a due corsie piattaforma da 11.50m, composta da 2 corsie di 3.75 m, banchina in sinistra da 1.00m e banchina in destra da 3.00m.

I valori adottati sono analoghi o superiori a quelli previsti dal D.M. 1699 del 19/4/2006 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali".

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva di quanto esposto.

| RAMO DI SVINCOLO         | Descrizione funzionale    | Composizione carreggiate di progetto (m)  | Composizione carreggiate da DM 1599 (m) |
|--------------------------|---------------------------|---|---|
| RAMI BS-BB, BS-RO, RO-BS | unidirezionale a 1 corsia | L= 6,50 (1,00 + 4,00 + 1,50)              | L= 6,00 (1,00 + 4,00 + 1,00)            |
| RAMO BB-BS               | unidirezionale a 1 corsia | L= 6,50-7,00<br>(1,00 + 4,00 + 1.50-2.00) | L= 6,00 (1,00 + 4,00 + 1,00)            |
| RAMI A4-BB, BB-A4        | unidirezionale a 2 corsie | L= 11,50<br>(1,00 + 3,75 + 3,75 +3,00)    | L= 9,00 (1,00 + 3,50+3,50 + 1,00)       |

*Sezioni tipo rami interconnessione*

L'arginello ha una larghezza pari a 1.30 m. La pendenza delle scarpate sia dei tratti in trincea che dei tratti in rilevato è prevista  $2v/3o$ , ad eccezione dei tratti in rilevato corrispondenti alle corsie di accelerazione e decelerazione dell'autostrada A4 per i quali la pendenza è prevista  $4v/7o$ ; nelle zone in cui l'altezza del rilevato supera i 5.50m d'altezza si sono previste banche intermedie di larghezza 2.50m.

Per i tratti in rilevato le scarpate saranno inerbite superficialmente stendendo una coltre di terreno vegetale spessa 30cm mentre per i tratti in trincea è previsto l'utilizzo di una geostuoia; la protezione del piede del rilevato viene garantita costruendo fossi di guardia in terra o rivestiti mentre, nel caso della trincea è previsto un arginello di contenimento in terra in sommità della scarpata.

Viene diversificata la raccolta delle acque di piattaforma (per le quali verrà trattata la 1ª pioggia) dalle acque provenienti dalle scarpate.

La formazione del rilevato avverrà previa preparazione del piano di posa con scotico di 30cm e bonifica di 30cm attraverso la stabilizzazione a calce del terreno in sito.

### 5.2.4 PAVIMENTAZIONE

La stratigrafia della pavimentazione prevista per gli svincoli è indicata in seguito. Per le verifiche si rimanda all'elaborato specifico.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



#### 5.2.4.1 STRUTTURA PAVIMENTAZIONE PREVISTA PER GLI SVINCOLI (RAMI BB-BS, BS-BB, BS-RO, RO-BS)

| Strato   | Spessore |    |
|--|----------|----|
| Usura in Conglomerato Bituminoso tipo SMA          | cm       | 3  |
| Strato di collegamento in CB con bitume normale    | cm       | 6  |
| Strato di base in CB con bitume normale            | cm       | 14 |
| Strato di sottobase in Misto Cementato             | cm       | 22 |
| Strato di fondazione in Misto Granulare Non Legato | cm       | 25 |
| TOTALE   | cm       | 70 |

#### 5.2.4.2 STRUTTURA PAVIMENTAZIONE PREVISTA PER IL PIAZZALE DI BARRIERA E LE RAMPE DI COLLEGAMENTO CON L'AUTOSTRADA A4 (BB-A4, A4-BB).

| Strato   | Spessore |    |
|--|----------|----|
| Usura in Conglomerato SMA                                    | cm       | 3  |
| Strato di collegamento in CB con bitume modificato tipo hard | cm       | 6  |
| Strato di base in CB con bitume modificato tipo hard         | cm       | 20 |
| Strato di sottobase in Misto Cementato                       | cm       | 25 |
| TOTALE   | cm       | 54 |

#### 5.2.4.3 STRUTTURA PAVIMENTAZIONE PREVISTA IL RAMO BBM AD ECCEZIONE DEL PIAZZALE DI ESASIONE (RAMO BBM).

| Strato   | Spessore |    |
|--|----------|----|
| Usura in Conglomerato Bituminoso drenante                    | cm       | 4  |
| Strato di collegamento in CB con bitume modificato tipo hard | cm       | 6  |
| Strato di base in CB con bitume modificato tipo hard         | cm       | 20 |
| Strato di sottobase in Misto Cementato                       | cm       | 25 |
| TOTALE   | cm       | 55 |

#### 5.2.4.4 STRUTTURA PAVIMENTAZIONE PREVISTA LE CORSIE DI ACCELERAZIONE E DECELERAZIONE DELL'AUTOSTRADA A4 (BB-A4, A4-BB).

| Strato   | Spessore |    |
|--|----------|----|
| Usura in Conglomerato Bituminoso drenante                    | cm       | 4  |
| Strato di collegamento in CB con bitume modificato tipo hard | cm       | 6  |
| Strato di base in CB con bitume modificato tipo hard         | cm       | 25 |
| Fondazione legata in Misto Cementato                         | cm       | 30 |
| Fondazione in Misto Stabilizzato                             | cm       | 20 |
| TOTALE   | cm       | 85 |



## 5.2.5 CARATTERISTICHE PLANO-ALTIMETRICHE

I parametri fondamentali per il disegno geometrico delle rampe sono indicati nella tabella riportata sotto; i raggi planimetrici adottati variano tra un minimo di 140 ad un massimo di 1787.15 m.

Per quanto riguarda inoltre la pendenza massima delle livellette, oltre alla differenziazione tra percorsi in salita anziché in discesa, sono stati utilizzati valori sempre inferiori al 6% in discesa e al 5% in salita.

La pendenza trasversale assume il valore minimo del 2,5% (per il deflusso dell'acqua meteorica), con un massimo, in curva, del 7%.

| <b>Velocità di progetto (km/h)</b>  | <b>30</b> | <b>40</b> | <b>50</b> | <b>60</b> | <b>70</b> | <b>80</b> |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Raggio planimetrico minimo (m)      | 25        | 45        | 75        | 120       | 180       | 250       |
| Pendenza max salita (%)             | 7,0       |           | 5,0       |           |           |           |
| Pendenza max discesa (%)            | 8,0       |           | 6,0       |           |           |           |
| Raggi minimi verticali convessi (m) | 500       | 1000      | 1500      | 2000      | 2800      | 4000      |
| Raggi minimi verticali concavi (m)  | 250       | 500       | 750       | 1000      | 1400      | 2000      |
| Pendenza trasversale minima (%)     | 2,5       |           |           |           |           |           |
| Pendenza trasversale max (%)        | 6,0       |           |           |           |           |           |
| Visibilità longitudinale minima (m) | 25        | 35        | 50        | 70        | 90        | 115       |

*Caratteristiche plano – altimetriche da D.M.1699*

| <b>Ramo di svincolo</b> | <b>Vprogetto km/h</b> | <b>Larghezza m</b> | <b>Lunghezza (m)</b> | <b>Raggio planimetrico minimo (m)</b> | <b>Pendenza massima livellette (%)</b> | <b>Raggio min. concavo (m)</b> | <b>Raggio min. convesso (m)</b> |
|-------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|---------------------------------------|--|--------------------------------|---------------------------------|
| RAMO BBM                | -                     | -                  | 5641.367             | 1787.150                              | -1.814/+1.220                          | 5000                           | 15000                           |
| RAMO A4-BB              | 70 - 90               | 11.50              | 1199.817             | 186.057                               | -0.610/+1.158                          | 2000                           | 3000                            |
| RAMO BB-A4              | 60 - 80               | 11.50              | 972.544              | 350                                   | -2.669/+1.746                          | 1000                           | 3500                            |
| RAMO BB-BS              | 60                    | 6.50-7.00          | 1042.277             | 140                                   | -3.397/+4.295                          | 1600                           | 1500                            |
| RAMO BS-BB              | 60                    | 6.50               | 1454.185             | 400                                   | -0.243/+2.102                          | 3500                           | 10000                           |
| RAMO BS-RO              | 60                    | 6.50               | 403.954              | 404                                   | -4.429/+2.879                          | 1600                           | 1600                            |
| RAMO RO-BS              | 60                    | 6.50               | 416.634              | 234                                   | -3.667/+4.537                          | 1600                           | 1600                            |

*Caratteristiche plano – altimetriche di progetto*

Società di Progetto  
Brebemi SpA

Per le verifiche plano – altimetriche dei rami in funzione delle velocità di progetto sono riportate in allegato alla presente relazione.



|  |                                |   |            |                     |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|
|  | Doc. N.<br>60518-00001-A01.doc | CODIFICA DOCUMENTO<br>04RGDII100001000000400A01 | REV.<br>01 | FOGLIO<br>38 di 105 |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|

Si segnala che gli elementi plano-altimetrici rispettano i valori minimi in funzione della velocità di progetto congruenti al D.M. 6792 del 05/11/2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”.

## 5.2.6 DIAGRAMMA VISIBILITA' E RELATIVI ALLARGAMENTI

“L’esistenza di opportune visuali libere costituisce primaria ed inderogabile condizione di sicurezza della circolazione.” – D.M. 6792 del 05/11/2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade” – Capitolo 5.

Con gli andamenti planimetrici ed altimetrici prima descritti, sulla base delle sezioni tipo e degli elementi marginali previsti lungo lo sviluppo del tracciato, sono state costruiti graficamente e verificati gli allargamenti necessari per garantire all’utente in transito le necessarie distanze di visibilità.

Nel caso in cui si rilevino insufficienti distanze di visuale libera bisognerà adottare i provvedimenti necessari per allontanare dalla carreggiata gli ostacoli alla visibilità.

Per quanto riguarda il progetto in esame si rimanda agli specifici elaborati

In tali elaborati è possibile individuare le zone allargate della piattaforma stradale. Sono state calcolate e rappresentate in un diagramma le distanze di visuale libera e di visibilità previste dalla normativa, effettuando un’analisi della visibilità tridimensionale.

Le impostazioni dei più importanti parametri di verifica (altezza del punto di vista, altezza dell’oggetto da vedere, percorso del punto di vista, percorso dell’oggetto da vedere, coefficienti di aderenza longitudinale, ecc.) sono gli standard proposti dalla normativa di riferimento.

Per la determinazione delle verifiche di visibilità si sono utilizzati i seguenti dati:

Velocità di progetto ( $V_p$ ) = velocità attribuita ad ogni punto di un tracciato stradale in base all’andamento plano-altimetrico. La velocità di progetto in un determinato punto del tracciato si deduce dal diagramma di velocità.

Distanza di visuale libera per l’arresto ( $D_{v,a}$ ) = lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé ai fini dell’arresto di fronte ad un ostacolo fisso.

Distanza di visibilità per l’arresto ( $D_a$ ) = spazio minimo necessario affinché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto; la distanza si ottiene sommando lo spazio di reazione e lo spazio di frenata. La distanza di visibilità per l’arresto è funzione della velocità di progetto, da desumere puntualmente dal diagramma di velocità, del tipo di strada, da cui dipendono i valori del coefficienti di aderenza longitudinale  $f_l(V)$  e della pendenza longitudinale dell’asse ( $i$ ).

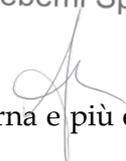
Le modalità predefinite di esecuzione delle verifiche di visibilità (numero e tipo di verifiche, altezza del punto di vista, altezza dell’ostacolo, coefficienti di aderenza longitudinale) corrispondono a quanto previsto dal D.M. 6792 del 05/11/2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”.

Le verifiche da effettuare nelle strade con almeno due corsie per senso di marcia riguardano le seguenti distanze di visibilità:

- distanza di visibilità per l’arresto ( $D_a$ );
- distanza di visibilità per il cambiamento di corsia ( $D_c$ ).

Le distanze di visuale libera e di visibilità vengono determinate nelle corsie più interna e più esterna di ciascuna carreggiata.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



|  |                                |   |            |                     |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|
|  | Doc. N.<br>60518-00001-A01.doc | CODIFICA DOCUMENTO<br>04RGDI1100001000000400A01 | REV.<br>01 | FOGLIO<br>39 di 105 |
|--|--------------------------------|---|------------|---------------------|

La distanza di visuale libera per l'arresto ( $D_{v,a}$ ) viene valutata facendo scorrere il punto di vista lungo ciascuna delle polilinee 3d (asse corsia esterna sinistra), (asse corsia interna sinistra), (asse corsia interna destra), (asse corsia esterna destra). Le distanze di visuale libera per l'arresto si valutano con un determinato passo lungo il tracciato; per ciascuna progressiva individuata sul tracciato il punto di vista ( $P_v$ ) viene posizionato ad un'altezza  $h_1$  pari a 1.10 m al di sopra delle polilinee sopra menzionate, l'oggetto da vedere ( $P_t$ ) ad un'altezza  $h_2$  pari a 0.10 m sulla stessa polilinea dove è collocato il punto di vista; l'oggetto viene spostato in punti via via più lontani dal punto di vista finché il raggio visuale che collega  $P_v$  e  $P_t$  incontra un ostacolo. In quell'istante viene valutata la distanza di visuale libera per l'arresto ( $D_{v,a}$ ) come differenza di progressive relative ai punti  $P_t$  e  $P_v$ . La distanza di visuale libera per l'arresto sarà in seguito confrontata con la distanza di visibilità per l'arresto ( $D_a$ ), calcolata secondo normativa.

Per quanto riguarda la visibilità per l'arresto questa è stata garantita sull'intero sviluppo del tracciato, intervenendo con allargamenti oltre la banchina in sinistra e la corsia d'emergenza ove questo risulti necessario.

### 5.2.7 DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ

La verifica della correttezza della progettazione comporta la redazione del diagramma di velocità per ogni senso di marcia; nell'elaborato specifico allegato al progetto è stato redatto un unico diagramma, corredato della tabella riepilogativa delle caratteristiche geometriche del tracciato di entrambe le direzioni, evidenziando gli allargamenti del margine esterno previsti per garantire la distanza di visibilità per l'arresto.

L'esame del diagramma non ha evidenziato criticità, in quanto la variazione di velocità è sempre inferiore a 20 km/h.

APPROVATO SDR

Società di Progetto  
Brebemi SpA

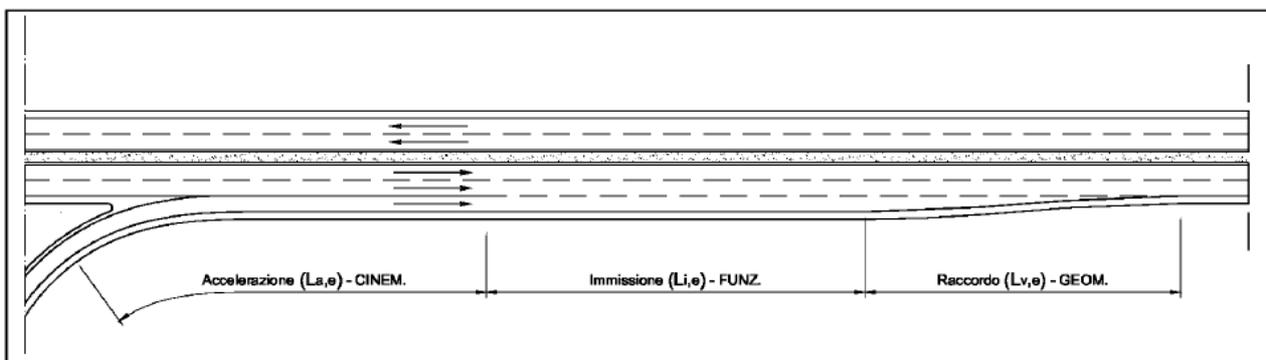



## 5.2.8 VERIFICHE CORSIE DI IMMISSIONE E DIVERSIONE

Vengono di seguito eseguite le verifiche di cui al D.M. 1699 del 19/4/2006 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali” riguardanti i vari elementi costituenti le singole corsie specializzate di immissione e diversione.

### CORSIA DI IMMISSIONE

Realizza l'ingresso nel tracciato principale.



Schema di una corsia di immissione

#### Tratto di accelerazione di lunghezza $L_{a,e}$

$L_{a,e}$  si calcola secondo la formula del moto uniformemente accelerato:

$$L_{a,e} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a}$$

dove:

- $L_{a,e}$  (m): è la lunghezza necessaria per la variazione cinematica;
- $v_1$  (m/s): è pari all'80% della velocità di progetto, desunta dai diagrammi di velocità, del tratto di tracciato principale in cui si realizza immettere dei veicoli. Per l'asse della Autostrada A4 in condizioni di percorrenza alla velocità massima di progetto ( $V_p=140\text{ km/h}$  per l'intero sviluppo) la velocità di immissione è pari a  $v_1=112\text{ km/h}$ ;
- $v_2$  (m/s): è la velocità di progetto, desunta dal diagramma di velocità, del punto di inizio della corsia di immissione (punto di passaggio dal raccordo circolare alla clotoide di accelerazione);
- $a$  (m/s<sup>2</sup>): è l'accelerazione pari a  $1.0\text{ m/s}^2$ .

#### Tratto di immissione di lunghezza $L_{i,e}$

$L_{i,e}$  viene determinata mediante dimensionamento funzionale (si veda in seguito)

Società di Progetto  
Brebemi SpA



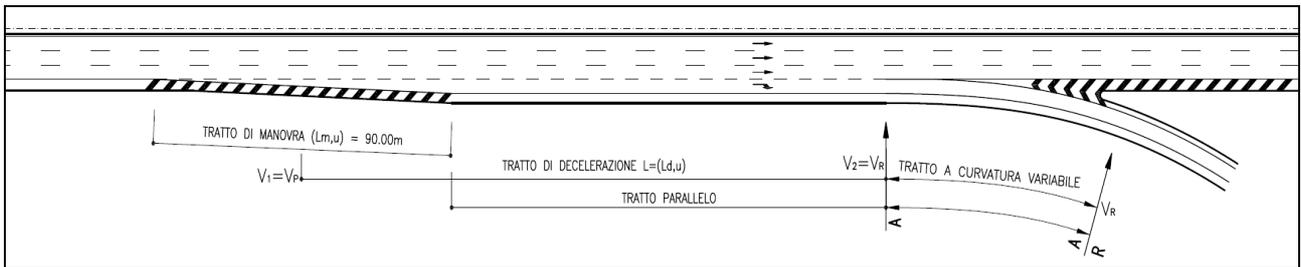
Elemento di raccordo di lunghezza  $L_{v,e}$

Il tratto di raccordo  $L_{v,e}$  si dimensiona con criteri geometrici in base alla velocità di progetto della strada principale:

| $V_p$ [km/h] | $L_{v,e}$ [m] |
|--------------|---------------|
| >80          | 75            |
| ≤80          | 50            |

**CORSIA DI DIVERSIONE**

Realizza l'uscita dal tracciato principale; si utilizza la soluzione di uscita parallela.



Schema di una corsia di diversione

Tratto di manovra di lunghezza  $L_{m,u}$

Si dimensiona con criteri geometrici in base alla velocità di progetto della strada principale:

| $V_p$ [km/h] | $L_{m,u}$ [m] |
|--------------|---------------|
| 40           | 20            |
| 60           | 40            |
| 80           | 60            |
| 100          | 75            |
| ≥120         | 90            |

APPROVATO SDP

Tratto di decelerazione di lunghezza  $L_{d,u}$

Si dimensiona con criterio cinematico (moto uniformemente accelerato) secondo la formula:

$$L_{d,u} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a}$$

dove:

- $L_{d,u}$  (m) è la lunghezza necessaria per la variazione cinematica;
- $v_1$  (m/s) è la velocità di progetto, desunta dai diagrammi di velocità, del tratto di tracciato principale da cui provengono i veicoli in uscita. Per l'asse della Autostrada A4 lungo l'intero sviluppo si assume  $v_1 = 140$  km/h;
- $v_2$  (m/s) è la velocità di progetto del raccordo circolare di deviazione;
- $a$  (m/s<sup>2</sup>) è la decelerazione assunta pari a 3.0 m/s<sup>2</sup>.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



Il tratto di decelerazione comprendente metà tratto di manovra e termina in corrispondenza dell'inizio della curva a raggio variabile di raccordo all'elemento circolare.

Si riportano di seguito le tabelle riassuntive delle grandezze geometriche utilizzate per le verifiche geometriche delle corsie di diversione e di immissione.

#### Corsie di diversione

|  | V1     | V2    | Lmu    | Ldu,min | Ldu    |
|--|--------|-------|--------|---------|--------|
| A4 - Da Venezia dir. BBM (Milano)      | 140.00 | 90.00 | 180.00 | 147.89  | 282.08 |
| BBM - Da Milano direzione Brescia      | 120.00 | 80.00 | 90.00  | 102.88  | 174.84 |
| Ramo BS-BB - Da Brescia dir. rotatoria | 60.00  | 60.00 | 51.50  | 0.00    | 90.00  |

#### Corsie di immissione

|                                 | V1     | V2    | Lae   | Lve   | Lie    | Ltot   |
|---------------------------------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| A4 - Direzione Venezia          | 112.00 | 80.00 | 79.01 | 75.00 | 646.74 | 800.75 |
| BBM - Dir. Milano da ramo BS-BB | 112.00 | 80.00 | 79.01 | 75.00 | 253.99 | 408.30 |
| Ramo BB-BS - da ramo RO-BS      | 60.00  | 60.00 | 0.00  | 50.00 | 128.56 | 178.56 |

#### 5.2.8.1 DATI DI TRAFFICO

I dati di traffico dell'infrastruttura sono stati desunti dall'analisi trasportistica elaborata per conto di Bre.Be.Mi.

Nelle figure seguenti sono riportati i valori di traffico nell'ora di punta previsti per lo scenario 2033 e lo schema dei nodi. Il traffico giornaliero medio TGM è riportato, per completezza, nel paragrafo 3.1.

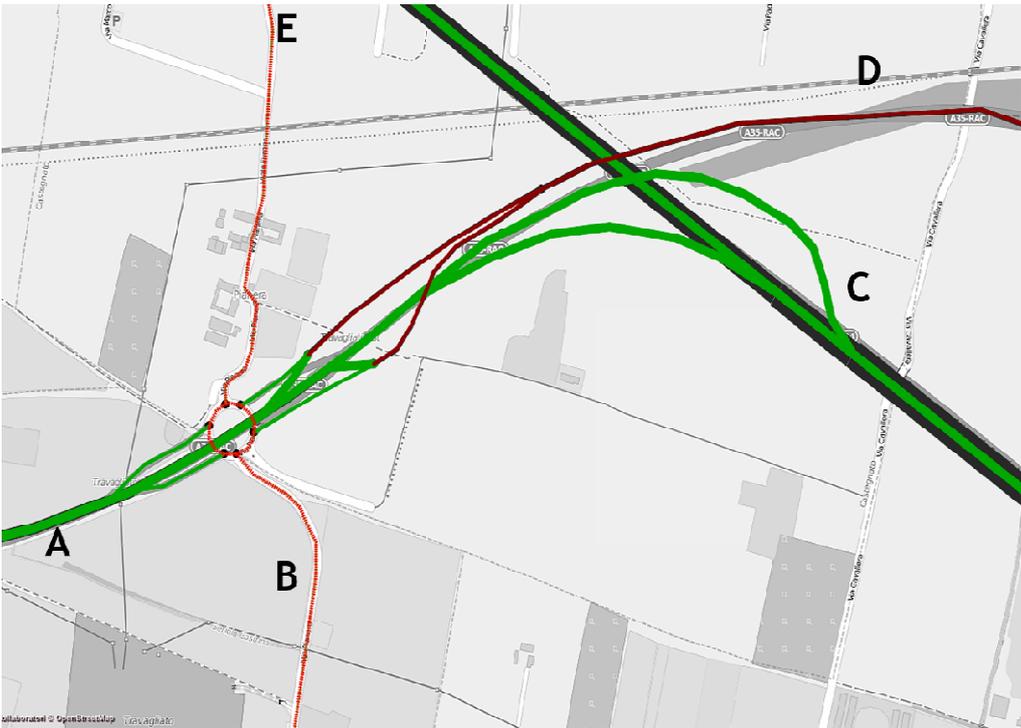
**Bre.Be.Mi**  
**Studio di Traffico per il Raccordo A4/Bre.Be.Mi**  
**Flussi agli svincoli nello scenario 2033**

**Travagliato Est e Rampe A4/Tangenziale**

| Ora di punta del mattino (giorno medio invernale) |                 |                 |                          |                     |
|---|-----------------|-----------------|--------------------------|---------------------|
| Manovre   | Veicoli leggeri | Veicoli pesanti | Veicoli totali effettivi | Veicoli equivalenti |
| A - B   | 70              | 10              | 80                       | 90                  |
| A - C   | 320             | 200             | 520                      | 720                 |
| A - D   | 1110            | 200             | 1310                     | 1510                |
| A - E   | 260             | 40              | 300                      | 330                 |
| B - A   | 90              | 0               | 90                       | 90                  |
| B - D   | 30              | 0               | 40                       | 40                  |
| B - E   | 60              | 10              | 70                       | 70                  |
| C - A   | 470             | 200             | 670                      | 860                 |
| D - A   | 850             | 240             | 1090                     | 1330                |
| D - B   | 10              | 0               | 10                       | 10                  |
| D - E   | 50              | 0               | 50                       | 50                  |
| E - A   | 300             | 30              | 330                      | 360                 |
| E - B   | 90              | 10              | 90                       | 100                 |
| E - D   | 60              | 0               | 60                       | 60                  |

|   | Totale flussi ingresso |                 |                          |                     | Totale flussi uscita |                 |                          |                     |
|---|------------------------|-----------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-----------------|--------------------------|---------------------|
|   | Veicoli leggeri        | Veicoli pesanti | Veicoli totali effettivi | Veicoli equivalenti | Veicoli leggeri      | Veicoli pesanti | Veicoli totali effettivi | Veicoli equivalenti |
| A | 1760                   | 440             | 2200                     | 2650                | 1710                 | 460             | 2170                     | 2640                |
| B | 180                    | 10              | 190                      | 200                 | 170                  | 10              | 180                      | 200                 |
| C | 470                    | 200             | 670                      | 860                 | 320                  | 200             | 520                      | 720                 |
| D | 910                    | 240             | 1150                     | 1390                | 1200                 | 200             | 1410                     | 1610                |
| E | 450                    | 30              | 490                      | 520                 | 370                  | 40              | 410                      | 450                 |

APPROVATO SDP



Società di Progetto  
Brebemi SpA




Il Livello di Servizio delle rampe di immissione ed emissione è stato valutato sulla base delle indicazioni contenute nell' Highway Capacity Manual edizione 2000

La verifica è stata effettuata sulla base dei volumi di traffico previsti nell'ora di punta del giorno medio.

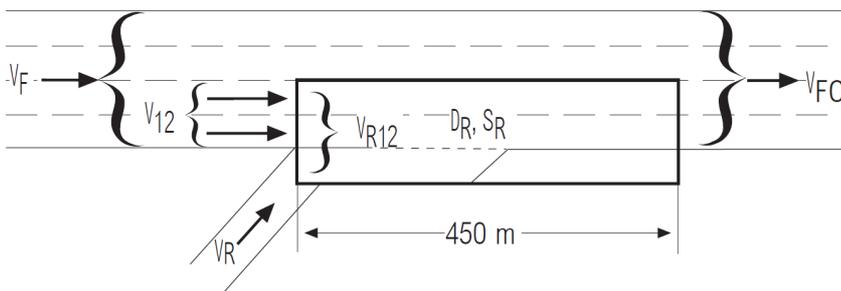
L'HCM definisce i Livelli di Servizio per una corsia autostradale assumendo come valore di riferimento, invariante rispetto alla velocità di flusso libero, la densità veicolare espressa in veicoli equivalenti per kilometro per corsia [veq/km/corsia]. I Livelli di Servizio del flusso stabile sono quindi definiti in relazione ai valori di densità veicolare così come riportato nella tabella seguente.

| Valore densità<br>[veq/km/corsia] | Livello di Servizio |
|-----------------------------------|---------------------|
| ≤6                                | A                   |
| >6-12                             | B                   |
| >12-17                            | C                   |
| >17-22                            | D                   |
| >22-27                            | E                   |
| >27                               | F                   |

*Densità veicolare e Livelli di Servizio*

Nella valutazione dei Livelli di Servizio per rampe e intersezioni su segmenti autostradali, la metodologia riportata nell'HCM 2000 prevede la modellazione delle condizioni operative nelle aree di convergenza dei flussi (merge), considerando le condizioni di flusso che si verificano nelle due corsie più esterne della carreggiata autostradale.

L'immagine seguente illustra le principali variabili previste dalla metodologia.



### Variabili per calcolo LoS su rampe autostradali

Il flusso autostradale  $V_F$  e del flusso sulla rampa  $V_R$  che approssimano l'area di influenza devono essere espressi in veicoli equivalenti.

La determinazione del flusso autostradale  $V_{12}$  che transita sulla 1° e sulla 2° corsia avviene con le seguenti formule.

In caso di carreggiata autostradale a 2 corsie per senso di marcia:

$$V_{12} = V_F$$

APPROVATO BDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA

In caso di carreggiata autostradale a 3 corsie per senso di marcia:

$$V_{12} = V_F * (0.5775 + 0.000092 * L_A)$$

In caso di carreggiata autostradale a 4 corsie per senso di marcia:

$$V_{12} = V_F * (0.2178 - 0.000125 * V_R + 0.05887 * L_A / S_{FR})$$

dove  $S_{FR}$  (free-flow speed of ramp) è la velocità di flusso libero della rampa (km/h)

La densità veicolare  $D_R$  si determina quindi con la seguente formula:

$$D_R = 3.402 + 0.00456 * V_R + 0.0048 * V_{12} - 0.01278 * L_A.$$

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti per le diverse rampe di immissione analizzate.

### Ingresso A4 - Direzione Venezia

| Ingresso A4 - Direzione Venezia            |                 |                            |                          |                                       |     |
|--|-----------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------------|-----|
| Los - Densità su area di convergenza       |                 |                            |                          |                                       |     |
| Flusso in approccio di area di convergenza | Flusso su rampa | Lunghezza area d'influenza | Flusso su 1° e 2° corsia | Densità veicolare area di convergenza | LoS |
| Vf [PCU/h]                                 | Vr [PCU/h]      | La [m]                     | V <sub>12</sub> [PCU/h]  | Dr [PCU/km/ln]                        |     |
| 4000                                       | 720             | 800                        | 2604                     | 9.0                                   |     |

Los per rampe e intersezioni autostradali - Ingresso A4 - Direzione Venezia

### Ingresso BBM - Dir. Milano da ramo BS-BB

| Ingresso BBM - Dir. Milano da ramo BS-BB   |                 |                            |                          |                                       |     |
|--|-----------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------------|-----|
| Los - Densità su area di convergenza       |                 |                            |                          |                                       |     |
| Flusso in approccio di area di convergenza | Flusso su rampa | Lunghezza area d'influenza | Flusso su 1° e 2° corsia | Densità veicolare area di convergenza | LoS |
| Vf [PCU/h]                                 | Vr [PCU/h]      | La [m]                     | V <sub>12</sub> [PCU/h]  | Dr [PCU/km/ln]                        |     |
| 860  | 1330            | 600                        | 860                      | 5.9                                   |     |

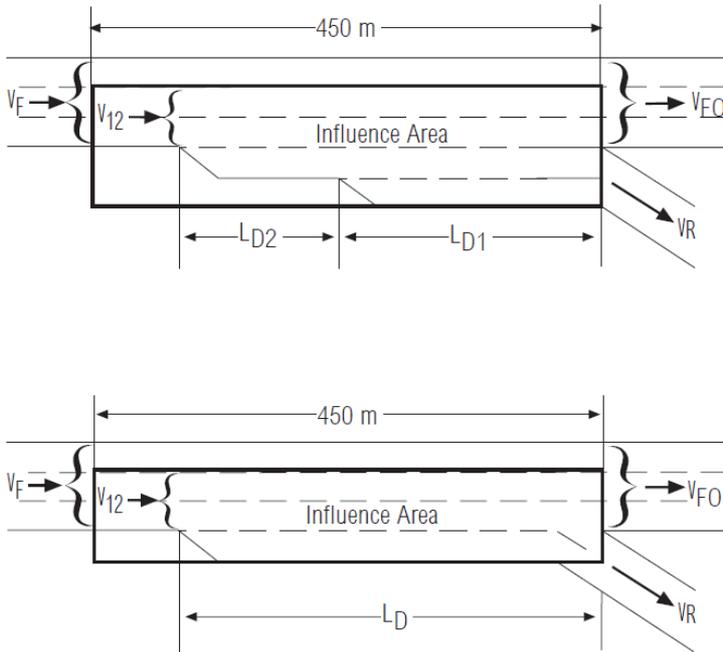
Los per rampe e intersezioni autostradali - Ingresso BBM - Dir. Milano da ramo BS-BB

Società di Progetto  
Brebemi SpA



Seguendo una metodologia simile a quanto già illustrato, sono stati calcolati anche i LoS delle rampe di uscita.

L'immagine seguente illustra le principali variabili previste dalla metodologia.



**Variabili per calcolo LoS su rampe autostradali; in alto il caso di rampa di emissione a due corsie, in basso a singola corsia**

Il flusso autostradale  $V_F$  e del flusso sulla rampa  $V_R$  devono essere espressi in veicoli equivalenti.

La determinazione del flusso autostradale  $V_{12}$  che transita sulla 1° e sulla 2° corsia avviene con le seguenti formule.

$$V_{12} = V_R + (V_F - V_R) * P_{FD}$$

dove  $P_{FD}$  è:

- per rampa di emissione a singola corsia:

In caso di carreggiata autostradale a 2 corsie per senso di marcia:

$$P_{FD} = 1$$

In caso di carreggiata autostradale a 3 corsie per senso di marcia:

$$P_{FD} = 0.760 - 0.000025 * V_F - 0.000046 * V_R$$

In caso di carreggiata autostradale a 4 corsie per senso di marcia:

$$P_{FD} = 0.436$$

- per rampa di emissione a due corsie:

In caso di carreggiata autostradale a 2 corsie per senso di marcia:

$$P_{FD} = 1$$

In caso di carreggiata autostradale a 3 corsie per senso di marcia:

$$P_{FD} = 0.450$$

In caso di carreggiata autostradale a 4 corsie per senso di marcia:

$$P_{FD} = 0.260$$

APPROVATO BDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA

La densità veicolare  $D_R$  si determina quindi con la seguente formula:

$$D_R = 2.642 + 0.0053 \cdot V_{12} - 0.0183 \cdot L_A.$$

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti per le diverse rampe di emissione analizzate.

**Uscita da A4 provenienza Venezia direzione BBM (Milano)**

| Uscita da A4 provenienza Venezia direzione BBM (Milano) |                    |                                  |                                |   |     |
|---|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|-----|
| Los - Densità su area di divergenza                     |                    |                                  |                                |   |     |
| Flusso in<br>appoggio area<br>di divergenza             | Flusso su<br>rampa | Lunghezza<br>area<br>d'influenza | Flusso su<br>1° e 2°<br>corsia | Densità<br>veicolare<br>area di<br>divergenza | LoS |
| Vf [PCU/h]  | Vr<br>[PCU/h]      | La [m]                           | V <sub>12</sub><br>[PCU/h]     | Dr<br>[PCU/km/ln]                             |     |
| 4000  | 860                | 372                              | 2273                           | 7.9   | B   |

Los per rampe e intersezioni autostradali – Uscita da A4 provenienza Venezia direzione BBM (Milano)

**Uscita da BBM provenienza Milano direzione Brescia**

| Uscita da BBM provenienza Milano direzione Brescia |                    |                                  |                                |   |     |
|--|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|-----|
| Los - Densità su area di divergenza                |                    |                                  |                                |   |     |
| Flusso in<br>appoggio area<br>di divergenza        | Flusso su<br>rampa | Lunghezza<br>area<br>d'influenza | Flusso su<br>1° e 2°<br>corsia | Densità<br>veicolare<br>area di<br>divergenza | LoS |
| Vf [PCU/h]   | Vr<br>[PCU/h]      | La [m]                           | V <sub>12</sub><br>[PCU/h]     | Dr<br>[PCU/km/ln]                             |     |
| 2230   | 1510               | 220                              | 2230                           | 10.4  | B   |

Los per rampe e intersezioni autostradali – Uscita da BBM provenienza Milano direzione Brescia

## 6 SVINCOLI DI TRAVAGLIATO OVEST ED EST

### 6.1.1 VELOCITÀ DI PROGETTO

Per definire le caratteristiche plano-altimetriche delle rampe sono stati preliminarmente individuati gli intervalli di velocità di progetto. Alcune indicazioni per le loro individuazioni vengono fornite nella tabella riportata sotto dove si correlano le tipologie fondamentali di rampe con la classificazione delle strade afferenti al nodo, attribuendo gli intervalli cinematici di progetto.

| <i>Tipi di rampe</i>   | <i>Incroci A/A, A/B, B/A</i>                        | <i>Incroci A/C, B/B, C/A, C/B, altro</i>  |
|------------------------|---|---|
| Curvilinea diretta     | 50-80 km/h  | 40-60 km/h                                |
| Curvilinea semidiretta | 40-70 km/h  | 40-60 km/h                                |
| Curvilinea indiretta   | in uscita da A: 40 km/h<br>in entrata su A: 30 km/h | in uscita: 40 km/h<br>in entrata: 30 km/h |
| Rettilinea diretta     | 60-80 km/h  | 40-70 km/h                                |

*Velocità di progetto in funzione della tipologia di rampa e del tipo di incrocio (fonte D.M. 1699)*

Le migliori prestazioni cinematiche sono espresse dalle rampe curvilinee dirette, mentre per le rampe indirette vengono ammessi riferimenti cinematici ridotti, con ulteriori specificazioni per differenziare le traiettorie di uscita dalle correnti principali rispetto a quelle di immissione, da ritenersi suscettibili di valori prestazionali più ridotti in termini di velocità di riferimento.

Nel caso in oggetto si è scelto per la rampa semidiretta A4-BB di utilizzare un intervallo di velocità di progetto maggiore di quello prescritto, considerando le buone caratteristiche plano – altimetriche, così da ottenere un livello prestazionale migliore per la funzione espletata dal suddetto ramo.

Tra le tipologie di rampa sono state introdotte anche quelle rettilinee dirette dove cioè le limitazioni alla velocità di progetto non derivano da vincoli di traiettorie curvilinee ma richiedono provvedimenti segnaletici ed altre indicazioni di carattere prescrittivo. In questo caso si è preferito limitare la velocità massima per dare maggiore omogeneità alla rampa, consentendo una variazione massima della velocità di progetto pari a 20 km/h.

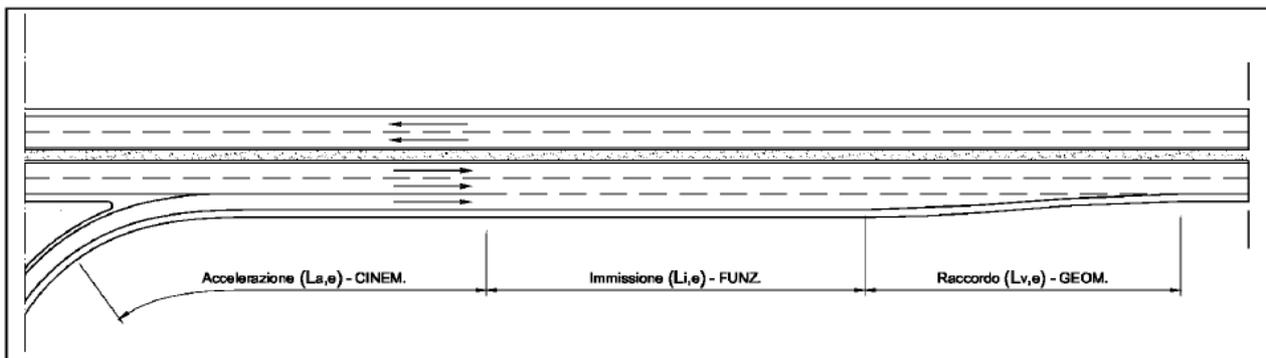
| <i>Ramo</i> | <i>Tipologia</i>   | <i>Velocità di progetto adottata (km/h)</i> |
|-------------|--------------------|---|
| BBM         | -                  | -   |
| BB-ROtw     | rettilinea diretta | 60  |
| ROtw-BB     | rettilinea diretta | 60  |
| BS(A4)-ROtw | rettilinea diretta | 60  |
| ROtw-BS(A4) | rettilinea diretta | 60  |
| BB-ROte     | rettilinea diretta | 60  |
| ROte-BB     | rettilinea diretta | 60  |

## 6.1.2 VERIFICHE CORSIE DI IMMISSIONE E DIVERSIONE

Vengono di seguito eseguite le verifiche di cui al D.M. 1699 del 19/4/2006 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali” riguardanti i vari elementi costituenti le singole corsie specializzate di immissione e diversione.

### CORSIA DI IMMISSIONE

Realizza l'ingresso nel tracciato principale.



Schema di una corsia di immissione

#### Tratto di accelerazione di lunghezza $L_{a,e}$

$L_{a,e}$  si calcola secondo la formula del moto uniformemente accelerato:

$$L_{a,e} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a}$$

dove:

- $L_{a,e}$  (m): è la lunghezza necessaria per la variazione cinematica;
- $v_1$  (m/s): è pari all'80% della velocità di progetto, desunta dai diagrammi di velocità, del tratto di tracciato principale in cui si realizza l'immissione dei veicoli. Per l'asse della Autostrada A4 in condizioni di percorrenza alla velocità massima di progetto ( $V_p=140\text{ km/h}$  per l'intero sviluppo) la velocità di immissione è pari a  $v_1=112\text{ km/h}$ ;
- $v_2$  (m/s): è la velocità di progetto, desunta dal diagramma di velocità, del punto di inizio della corsia di immissione (punto di passaggio dal raccordo circolare alla clotoide di accelerazione);
- $a$  (m/s<sup>2</sup>): è l'accelerazione pari a  $1.0\text{ m/s}^2$ .

#### Tratto di immissione di lunghezza $L_{i,e}$

$L_{i,e}$  viene determinata mediante dimensionamento funzionale (si veda in seguito)

Società di Progetto  
Brebemi SpA



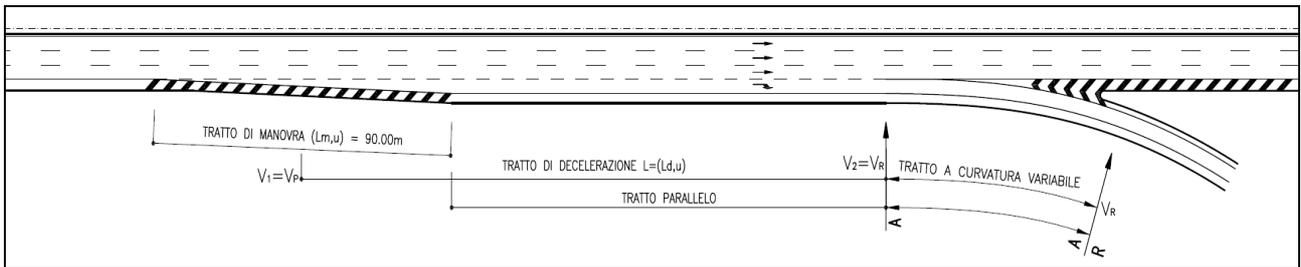
Elemento di raccordo di lunghezza  $L_{v,e}$

Il tratto di raccordo  $L_{v,e}$  si dimensiona con criteri geometrici in base alla velocità di progetto della strada principale:

| $V_p$ [km/h] | $L_{v,e}$ [m] |
|--------------|---------------|
| >80          | 75            |
| ≤80          | 50            |

**CORSIA DI DIVERSIONE**

Realizza l'uscita dal tracciato principale; si utilizza la soluzione di uscita parallela.



Schema di una corsia di diversione

Tratto di manovra di lunghezza  $L_{m,u}$

Si dimensiona con criteri geometrici in base alla velocità di progetto della strada principale:

| $V_p$ [km/h] | $L_{m,u}$ [m] |
|--------------|---------------|
| 40           | 20            |
| 60           | 40            |
| 80           | 60            |
| 100          | 75            |
| ≥120         | 90            |

APPROVATO SDP

Tratto di decelerazione di lunghezza  $L_{d,u}$

Si dimensionato con criterio cinematico (moto uniformemente accelerato) secondo la formula:

$$L_{d,u} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a}$$

dove:

- $L_{d,u}$  (m) è la lunghezza necessaria per la variazione cinematica;
- $v_1$  (m/s) è la velocità di progetto, desunta dai diagrammi di velocità, del tratto di tracciato principale da cui provengono i veicoli in uscita. Per l'asse della Autostrada A4 lungo l'intero sviluppo si assume  $v_1 = 140$  km/h;
- $v_2$  (m/s) è la velocità di progetto del raccordo circolare di deviazione;
- $a$  (m/s<sup>2</sup>) è la decelerazione assunta pari a 3.0 m/s<sup>2</sup>.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

