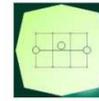


CONCEDENTE



CONCESSIONI  
AUTOSTRADALI  
LOMBARDE

CONCESSIONARIA



SOCIETÀ DI PROGETTO  
BREBEMI SPA

CUP E3 1 B05000390007

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE  
DI CONNESSIONE TRA LE CITTÀ' 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  
ELABORATI TIPOLOGICI  
PAVIMENTAZIONI  
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTAZIONE:



**CONSORZIO B.B.M.**

VERIFICA:

PER IL CONSORZIO  
IL PROGETTISTA RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
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 SDF

I.D.	IDENTIFICAZIONE ELABORATO										PROGR.		DATA:	
	EMIT.	TIPO	FASE	M.A.	LOTTO	OPERA	PROG. OPERA	TRATTO	PARTI	PROGR.	PART. DOC.	STATO	REV.	MARZO 2015
60061	04	RC	D	0	00	00	002	00	PV	001	00	A	01	SCALA:

ELABORAZIONE PROGETTUALE	REVISIONE								
	N.	REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	DATA	CONTROLLATO	DATA	APPROVATO
IL PROGETTISTA IMPRESA PIZZAROTTI E C. S. P.A. DOTT. ING. PIETRO MAZZOLI ORDINE DEGLI INGEGNERI DI PARMA N. 821	A	00	EMISSIONE	04/03/2015	DOMENICHINI	04/03/2015	MAZZOLI	04/03/2015	MAZZOLI
	A	01	RECEPIMENTO ISTRUTTORIA BREBEMI	25/03/2015	DOMENICHINI	25/03/2015	MAZZOLI	25/03/2015	MAZZOLI

	<b>IL CONCEDENTE</b>  CONCESSIONI AUTOSTRADALI LOMBARDE	<b>IL CONCESSIONARIO</b>  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 SdP 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 SdP BREBEMI S.P.A. UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTE BY LAW

## INDICE

<b>1.</b>	<b>SCOPO DEL LAVORO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>CRITERI ASSUNTI NELLE VERIFICHE DELLE PRESTAZIONI DELLE PAVIMENTAZIONI .....</b>	<b>4</b>
2.1	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.2	MODELLO DI CALCOLO ADOTTATO NELLA VERIFICA NEL TEMPO DELLE PAVIMENTAZIONI : IL METODO DI ANALISI M-E PDG.....	4
<b>3.</b>	<b>DATI DI PROGETTO.....</b>	<b>6</b>
3.1	PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'ANALISI.....	6
3.2	DATI DI TRAFFICO DELL'INFRASTRUTTURA .....	6
3.3	INDIVIDUAZIONE DELLA CORSIA PIÙ CARICATA .....	7
3.4	PORTANZA DEL TERRENO DI SOTTOFONDO.....	8
3.5	CONDIZIONI CLIMATICHE .....	8
3.6	AFFIDABILITÀ DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE.....	9
3.7	CRITERI DI VERIFICA DELLE PRESTAZIONI OFFERTE DALLE PAVIMENTAZIONI .....	9
3.7.1	<i>Indicatori prestazionali</i> .....	9
3.7.2	<i>Limiti di ammissibilità assunti nelle verifiche</i> .....	9
3.8	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DELLA PAVIMENTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICA ..	10
3.8.1	<i>Riqualifica del Lotto 0A</i> .....	10
3.8.2	<i>Nuove pavimentazioni della carreggiata Nord</i> .....	10
3.8.3	<i>Pavimentazioni delle rampe di svincolo</i> .....	11
3.8.4	<i>Pavimentazioni delle rampe di collegamento con l'autostrada A4</i> .....	12
<b>4.</b>	<b>RIQUALIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE DEL LOTTO 0A ESISTENTE .....</b>	<b>12</b>
4.1	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO .....	12
4.2	VERIFICA DELLE PRESTAZIONI DELL'INTERVENTO TIPO A .....	14
4.3	VERIFICA DELLE PRESTAZIONI DELL'INTERVENTO TIPO B1 .....	16
4.4	VERIFICA DELLE PRESTAZIONI DELL'INTERVENTO TIPO B2.....	19
4.5	VERIFICA DELLE PRESTAZIONI DELL'INTERVENTO TIPO C.....	21
<b>5.</b>	<b>PAVIMENTAZIONE NUOVA SU CARREGGIATA NORD .....</b>	<b>26</b>
<b>6.</b>	<b>PAVIMENTAZIONE SULLE RAMPE DI SVINCOLO .....</b>	<b>29</b>
<b>7.</b>	<b>PAVIMENTAZIONE SULLE RAMPE DI COLLEGAMENTO ALL'AUTOSTRADA A4 .....</b>	<b>32</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>34</b>
	<b>ALLEGATO: DIFFERENZE DI QUOTA TRA PROGETTO ED ESISTENTE NEL LOTTO 0A .....</b>	<b>35</b>

APPROVATO SDP



## 1. SCOPO DEL LAVORO

La presente relazione illustra le analisi eseguite per la definizione della composizione e del dimensionamento delle pavimentazioni stradali inerenti il Progetto Definitivo (PD) dell'adeguamento a due carreggiate del Lotto 0A e degli svincoli dell'interconnessione delle autostrade A4 (Milano -Venezia) ed A35 (Collegamento Autostradale di connessione tra le città di Brescia e Milano, denominata in seguito BBM).

L'asse autostradale ha uno sviluppo di circa 5 km, compreso tra la SP19 (lato Ovest) e la l'Autostrada A4. L'Asse Principale 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.

Il tracciato dell'asse principale in direzione Brescia coincide con l'asse stradale dell'opera connessa Lotto 0A della BBM attualmente aperta al traffico da circa un anno mentre la carreggiata Nord in direzione Milano è una carreggiata di nuova costruzione (Figura 1).

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

- due svincoli, Travagliato Est e Travagliato Ovest;
- una interconnessione con l'attuale autostrada A4 costituita da 2 rampe di connessione (in entrata in direzione Verona e in uscita dalla A4 in direzione Milano);
- un collegamento con la Tangenziale di Brescia costituito da 2 rampe.

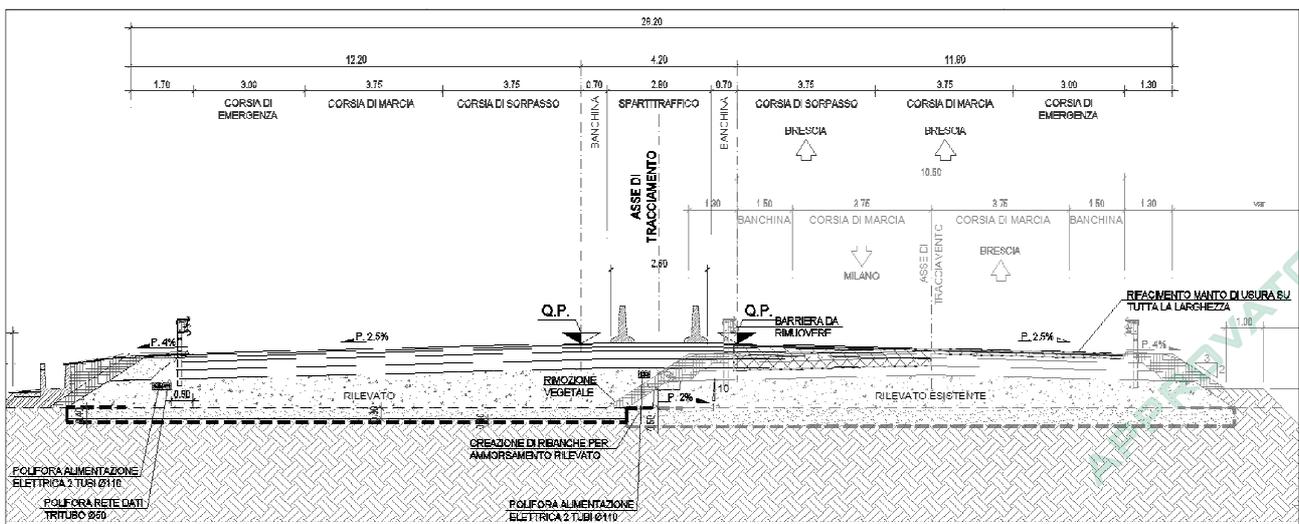


Figura 1: Sezione tipo asse principale in rilevato

Nella presente relazione vengono riportati i risultati ottenuti in merito ai seguenti aspetti analizzati:

- verifica degli interventi di riqualifica del Lotto 0A da effettuare in occasione della risagomatura della piattaforma;
- il dimensionamento della nuova pavimentazione della carreggiata in direzione Milano;
- il dimensionamento della nuova pavimentazione prevista per le rampe degli svincoli facenti parte del progetto.

In occasione dei lavori di realizzazione del collegamento A4-A35 in argomento, la pavimentazione della carreggiata Sud, coincidente con il Lotto 0A, dovrà essere risagomata per essere adeguata all'andamento delle nuove pendenze trasversali previste in progetto. Di conseguenza sarà oggetto di scarifiche e ricariche secondo quanto illustrato in progetto.

## 2. CRITERI ASSUNTI NELLE VERIFICHE DELLE PRESTAZIONI DELLE PAVIMENTAZIONI

### 2.1 Documenti di riferimento

Ai fini delle analisi e delle valutazioni sviluppate nella presente relazione si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

- NCHRP “Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures”, Ed. 2004 (Metodo M-E PDG);
- CNR B.U. 178/95 “Catalogo delle pavimentazioni stradali”.

### 2.2 Modello di calcolo adottato nella verifica nel tempo delle pavimentazioni : il metodo di analisi M-E PDG

Le pavimentazioni previste nel presente PD sono state verificate valutando le prestazioni che la sovrastruttura potrà offrire nel tempo quando soggetta alle condizioni di traffico previste in progetto e nelle condizioni climatiche della zona di sedime dell'opera utilizzando la nuova procedura di analisi basata sull'impiego di metodi di tipo “empirico-razionale” prodotta dall’NCHRP per l’AASHTO Statunitense (metodo M-E PDG). La versione del codice di calcolo adottata è la 1.1 del 31 agosto 2009.

Il metodo M-E PDG consente di passare dalla tradizionale valutazione del comportamento nel tempo della pavimentazione per mezzo di correlazioni empiriche ed indici sintetici di stato ad una valutazione del progredire nel tempo delle diverse tipologie di ammaloramento (fessurazione, deformazione permanente dei diversi strati costituenti la pavimentazione, irregolarità longitudinale) determinando poi il danno complessivo per fatica che ci si può attendere nella struttura nel corso di tutto il periodo di analisi.

Tra i principali elementi di innovazione del metodo di calcolo adottato si registrano:

- la possibilità di caratterizzare i diversi strati costituenti la pavimentazione in funzione delle reali caratteristiche compositive delle miscele;
- la possibilità di tener conto delle specifiche condizioni ambientali in cui la pavimentazione andrà ad operare (con particolare riguardo all’andamento delle temperature, delle condizioni di pioggia e di irraggiamento nel tempo);
- la possibilità di analizzare separatamente l’andamento nel tempo dei diversi tipi di degrado e di comprendere quindi ove si concentrano eventuali deficienze strutturali, potendo di conseguenza pianificare in modo ottimizzato gli interventi di manutenzione che possono essere quindi focalizzati alla risoluzione dello specifico problema rilevato (cosa non possibile quando si ragiona solo in termini di danno per fatica o di indicatori sintetici di stato);
- la possibilità di schematizzare una qualunque mix di traffico, sia essa costituita da un asse standard equivalente (di qualunque peso) o da una complessa mix di veicoli pesanti, e di tener conto degli effetti di crescita del traffico del tempo. Il modello, nel calcolare il numero di ripetizioni che transita effettivamente in un dato punto della pavimentazione, tiene inoltre conto del naturale effetto di dispersione delle traiettorie all’interno della corsia di marcia lenta;
- la possibilità di progettare tenendo conto di diversi livelli di affidabilità per tipologia di strada.

In questa fase di progetto si è fatto riferimento, per la definizione dei dati di input, al livello III previsto dal nuovo metodo di calcolo (dati di input prevalentemente tratti da letteratura o di default). I dati di input necessari per il Livello III sono riportati in Tabella 1.

PARAMETRO	SIGNIFICATO
Dati caratterizzanti i materiali con presenza di bitume nel legante	
p3/4	Trattenuto cumulativo al setaccio ASTM 3/4 (corrispondente ad un diametro nominale di 19.1 mm)
p3/8	Trattenuto cumulativo al setaccio ASTM 3/8 (corrispondente ad un diametro nominale di 9.52 mm)
p4	Trattenuto cumulativo al setaccio ASTM 4 (corrispondente ad un diametro nominale di 4.76 mm)
p200	passante al setaccio ASTM 200 (corrispondente ad un diametro nominale di 0.074 mm)
Va	Volume dei vuoti residui (%)
Vb	Volume effettivo di bitume (%)
A, VTS	parametri caratterizzanti il comportamento del legante

H	spessore dello strato (cm)
Dati caratterizzanti i misti cementati tradizionali	
H	spessore dello strato (cm)
Ein	modulo elastico dello strato integro (MPa)
Ef	modulo elastico dello strato fessurato (MPa)
F	Resistenza a trazione per flessione (MPa)
Dati caratterizzanti le fondazioni in misto granulare non legato	
MAT	Tipo di materiale (secondo classificazione AASHTO/CNR-UNI 10006 o in base al tipo di materiale – di frantumazione, naturale alluvionale, da riciclaggio di conglomerato bituminoso etc)
H	spessore dello strato (cm)
E	modulo elastico dello strato (MPa)
Dati caratterizzanti il sottofondo (per ciascuno strato caratterizzante il sottofondo)	
MAT	Tipo di materiale (secondo classificazione AASHTO/CNR-UNI 10006 o secondo la classificazione Unified Soil Classification)
H	spessore dello strato, se non si tratta dell'ultimo (cm)
Dati caratterizzanti il traffico	
TGM	Traffico Giornaliero Medio di mezzi pesanti per carreggiata
CMIX	composizione della mix (% per ogni tipo di mezzo)
-	Descrizione dei mezzi che compongono la mix (percentuale di assi di un dato tipo e con un dato carico per asse)
CC	percentuale di mezzi transitanti sulla corsia più caricata
Dati caratterizzanti le condizioni climatiche (per ogni ora e giorno dell'anno)	
Ta	Temperatura dell'aria
V	Velocità del vento
P	Pioggia
S	% sole
U	umidità %
PF	profondità della falda dalla quota pavimentazione (in m)

**Tabella 1 - Sintesi dei dati di input necessari per l'impiego del metodo M-E PDG al livello III**

Essendo previsti leganti non convenzionali (come ad esempio i bitumi modificati) i parametri A, VTS devono essere determinati a partire dalle prove di caratterizzazione meccanica delle miscele con particolare riguardo al valore assunto dal modulo elastico della miscela alle diverse temperature.

Nella fase di studio finale delle miscele in fase costruttiva dovranno essere comunque eseguite le prove di laboratorio di Livello I (prove reologiche per la determinazione del modulo dinamico  $E^*$  a diverse temperature e con diverse condizioni di carico) al fine di consentire la caratterizzazione di dettaglio delle specifiche miscele adottate.

### 3. DATI DI PROGETTO

#### 3.1 Periodo di riferimento per l'analisi

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

#### 3.2 Dati di traffico dell'infrastruttura

I dati di traffico dell'infrastruttura sono stati forniti dalla "Società di Progetto BreBeMi spa" dai quali sono stati estratti i valori di TGM relativo ai veicoli pesanti di massa superiore a 3.5 ton (VP), attesi sui diversi archi a partire dall'anno 2018, anno in cui è previsto l'inizio del regime ordinario del sistema viario di connessione, fino all'anno 2033, anno di massima domanda di traffico.

Lo schema sintetico dei vari Tratti di strada (A, B, C, D) e Svincoli (1, 2, 3) oggetto di studio è rappresentato in Figura 2.

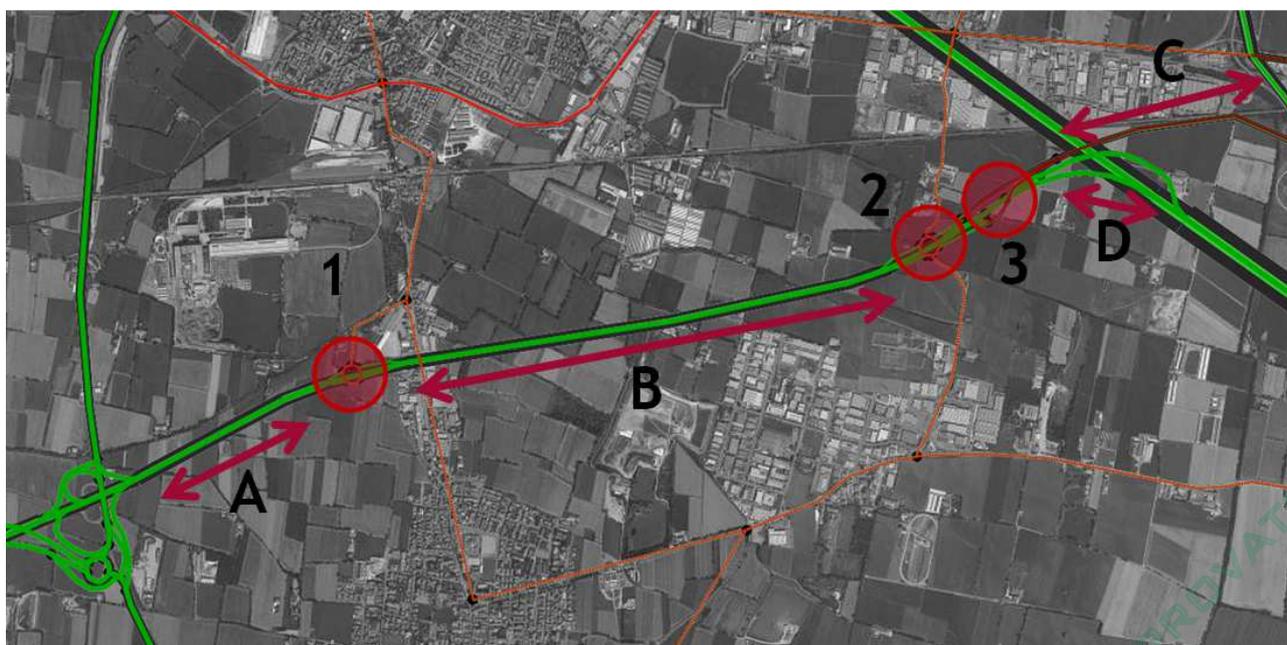


Figura 2 – Schema dei Tronchi stradali dello studio di traffico

Nelle tabelle riportate nel seguito (Tabella 2, Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 5) sono sintetizzate le indicazioni relative ai volumi di traffico di veicoli pesanti di progetto per le pavimentazioni.

Tabella 2 – TGM VP dei Tratti dell'Asse principale

Tratta		Veicoli pesanti giornalieri 2018 (monodirezionali)	Veicoli pesanti giornalieri 2033 (monodirezionali)
A	SP19 (Corda Molle) - Travagliato Ovest	3940	5460
B	Travagliato Ovest - Travagliato Est	4020	5660
C	Travagliato Est - Tangenziale Brescia	1590	2760
D	Travagliato Est - A4	3480	3980

Società di Progetto  
BrebeMi SpA



**Tabella 3 – TGM VP delle rampe dello svincolo di Travagliato Ovest**

	Rampa	Veicoli pesanti giornalieri 2018	Veicoli pesanti giornalieri 2033
1	Diversione: dir. BS -Travagliato O	185	135
2	Immissione: Travagliato O - dir. BS	270	345
3	Diversione: dir. MI - Travagliato O	270	345
4	Immissione: Travagliato O - dir. MI	185	135

**Tabella 4 – TGM VP delle rampe dello svincolo di Travagliato Est**

	Rampa	Veicoli pesanti giornalieri 2018	Veicoli pesanti giornalieri 2033
1	Diversione: dir. BS -Travagliato O	290	470
2	Immissione: Travagliato O - dir. BS	30	50
3	Diversione: dir. MI - Travagliato O	30	50
4	Immissione: Travagliato O - dir. MI	290	470

**Tabella 5 – TGM VP collegamento con Tangenziale di Brescia**

	Rampa	Veicoli pesanti giornalieri 2018	Veicoli pesanti giornalieri 2033
1	Diversione: dir. BS - Tangenziale BS	1590	2760
2	Immissione: Tangenziale BS - dir. MI	1590	2760

### 3.3 Individuazione della corsia più caricata

In base ai dati forniti e riportati al par. 3.2 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 (a) per i 20 anni dell'orizzonte temporale considerato:

$$VP_i = VP_0(1 + a)^i$$

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

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.

**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	5660	2.31%	36.7 milioni
Rampa collegamento con Tangenziale Sud	1570	2760	3.83%	16.8 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

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA

traffico di progetto risulta  $36.7 \text{ milioni} \times 0.9 = 33.0 \text{ milioni}$ . 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	16.8 milioni

### 3.4 Portanza del terreno di sottofondo

La portanza del terreno di sottofondo è caratterizzata da un Modulo Resiliente ( $M_r$ ) 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. 60502-00003). Per lo strato superficiale deve esser garantito comunque un Modulo di Deformazione ( $M_d$ ) minimo pari a 50 MPa che corrispondono ad un modulo resiliente di 100 MPa.

### 3.5 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;
- Altezza di pioggia;
- Velocità del vento;
- Percentuale di insolazione;
- Umidità relativa dell'aria.

Con riferimento all'elenco precedente, sono stati utilizzati i dati di input riportati in Tabella 8:

**Tabella 8 - dati climatici di input assunti per le analisi delle pavimentazioni**

Stagione	Temperature (°C)			h pioggia (mm)	vento (km/h)	Percentuale di insolazione (media annuale)	Umidità relativa (media annuale)
	media	Max media	Min media				
Inverno	4.4	10.5	-1.5	0.120	13.0	50%	70%
Primavera	11.4	19.0	4.0	0.135	13.0		
Estate	21.9	32.6	11.4	0.119	13.0		
Autunno	13.9	22.3	5.7	0.129	13.0		

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

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

Società di Progetto  
Brebemi SpA



### 3.6 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.

Come richiesto dal Committente si farà riferimento ad un valore dell'affidabilità medio rimandando ad un aggiuntivo approfondimento nella successiva fase di progetto esecutivo.

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

#### 3.7.1 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 ai soli strati legati a bitume secondo le richieste del Committente;
- 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 assunto come riferimento per il progetto delle diverse sezioni stradali considerate.

#### 3.7.2 Limiti di ammissibilità assunti nelle verifiche

In Tabella 9 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 9 – Limiti di ammissibilità per gli indicatori prestazionali**

INDICATORE PRESTAZIONALE	UNITÀ DI MISURA	LIMITE MASSIMO	NOTE
Fessurazione "bottom up"	%	25	A
Fessurazione "top down"	m/km	200	B
Danno a fatica <sup>(nota 1)</sup>	%	50%	C
Profondità di ormaie	mm	15.0	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-

Brebemi SpA

Nota 1: 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.

50% la progressione nel tempo delle rotture per fatica della pavimentazione aumenta in modo esponenziale.

- D. Il valore limite fissato in base alle richieste del Committente.
- 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.

### 3.8 Caratteristiche dei materiali della pavimentazione degli interventi di riqualifica

#### 3.8.1 Riqualifica del Lotto 0A

In Tabella 10 e Tabella 11 sono rappresentate le principali caratteristiche fisico meccaniche dei materiali costituenti gli interventi previsti per la riqualifica della pavimentazione del Lotto 0A esistente.

**Tabella 10 – Parametri utilizzati per gli strati in CB per l’analisi con il metodo M-E PDG per le riqualifiche della pavimentazione del Lotto 0A esistente**

PARAMETRO	$\rho_{3/4}$ [%]	$\rho_{3/8}$ [%]	$\rho_4$ [%]	$\rho_{200}$ [%]	Va [%]	Vb [%]	A	VTS
USURA in CB Drenante	0.40	50.5	84.3	6.0	20.0	10.6	9.5140	-3.1280
BINDER in CB con bitume modificato	5.3	32.4	51.1	6.0	5.5	11.4	9.5140	-3.1280
BASE in MCAD_EM	16.6	41.4	56.9	6.0	6.0	10.7	8.1290	-2.6480

**Tabella 11 – Moduli elastici per l’analisi con il metodo M-E PDG degli strati di sottobase e fondazione per le riqualifiche della pavimentazione del Lotto 0A esistente**

Strato	E (MPa)
Misto cementato (nuovo o esistente)	1000
Misto Granulare Non Legato (esistente)	216 (*)
(*) Modulo ottenuto applicando la formula Shell Oil Company noto Mr del sottofondo e lo spessore dello strato di MGNL.	

Sulla base di queste caratteristiche sono stati definiti i valori delle grandezze che qualificano i materiali nel software del metodo di calcolo ME-PDG.

Tutte le quantità utilizzate nel calcolo sono coerenti con quanto riportato nelle Norme Tecniche del CSA (cod. 60502-00003).

#### 3.8.2 Nuove pavimentazioni della carreggiata Nord

In Tabella 12 e Tabella 13 sono rappresentate le principali caratteristiche fisico meccaniche dei materiali costituenti la nuova pavimentazione della Carreggiata Nord.

**Tabella 12 – Parametri utilizzati per gli strati in CB per l’analisi con il metodo M-E PDG per la pavimentazione nuova della carreggiata nord**

PARAMETRO	$\rho_{3/4}$ [%]	$\rho_{3/8}$ [%]	$\rho_4$ [%]	$\rho_{200}$ [%]	Va [%]	Vb [%]	A

Società di Progetto  
Brevetsi SpA



		Doc. N. 60061-00002-A01.docx		CODIFICA DOCUMENTO			REV. 01	FOGLIO 11 di 37
USURA in Conglomerato Bituminoso (CB) Drenante	0.40	50.5	84.3	6.0	20.0	10.6	9.5140	-3.1280
BINDER in CB con bitume modificato tipo hard	5.3	32.4	51.1	6.0	5.5	11.4	9.5140	-3.1280
BASE in CB con bitume modificato tipo hard	16.6	41.4	56.9	6.0	6.0	10.7	9.209	-3.019

**Tabella 13 – Modulo elastico per l'analisi con il metodo M-E PDG dello strato di sottobase della pavimentazione nuova della carreggiata nord**

Strato	E (MPa)
Misto cementato	1000

Sulla base di queste caratteristiche sono stati definiti i valori delle grandezze che qualificano i materiali nel software del metodo di calcolo ME-PDG.

Tutte le quantità utilizzate nel calcolo sono coerenti con quanto riportato nelle Norme Tecniche del CSA (cod. 60502-00003).

### 3.8.3 Pavimentazioni delle rampe di svincolo

In Tabella 14 e Tabella 15 sono rappresentate le principali caratteristiche fisico meccaniche dei materiali costituenti la pavimentazione delle rampe di svincolo, con esclusione di quelle di interconnessione con l'autostrada A4.

**Tabella 14 - Parametri utilizzati per gli strati in CB 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
USURA in Splittmastix Asphalt (SMA)	0.1	20.6	60	10.5	4.5	15.2	10.5254	-3.5047
BINDER in CB con bitume modificato tipo hard	4.3	27.2	43.9	7.0	4.5	11.4	9.5140	-3.1280
BASE in CB con bitume modificato tipo hard	26.0	43.9	56.8	5.0	5.0	10.2	9.209	-3.019

**Tabella 15 – Moduli elastici per l'analisi con il metodo M-E PDG degli strati di sottobase e fondazione delle pavimentazioni degli svincoli**

Strato	E (MPa)
Misto cementato	1000
Misto Granulare Non Legato	216 (*)
(*) Modulo ottenuto applicando la formula Shell Oil Company noto Mr del sottofondo e lo spessore dello strato di MGNL.	

Sulla base di queste caratteristiche sono stati definiti i valori delle grandezze che qualificano i materiali nel software del metodo di calcolo ME-PDG.

Tutte le quantità utilizzate nel calcolo sono coerenti con quanto riportato nelle Norme Tecniche del CSA (cod. 60502-00003).

### 3.8.4 Pavimentazioni delle rampe di collegamento con l'autostrada A4

In Tabella 16 e Tabella 17 sono rappresentate le principali caratteristiche fisico meccaniche dei materiali costituenti la pavimentazione delle rampe di interconnessione con l'autostrada A4.

**Tabella 16 - Parametri utilizzati per gli strati in CB per l'analisi con il metodo M-E PDG della pavimentazione del collegamento con l'autostrada A4**

PARAMETRO	$\rho_{3/4}$ [%]	$\rho_{3/8}$ [%]	$\rho_4$ [%]	$\rho_{200}$ [%]	Va [%]	Vb [%]	A	VTS
USURA in SMA	0.40	50.5	84.3	6.0	20.0	10.6	9.5140	-3.1280
BINDER con bitume modificato tipo hard	4.3	27.2	43.9	7.0	4.5	11.4	9.5140	-3.1280
BASE in CB con bitume modificato tipo hard	26.0	43.9	56.8	5.0	5.0	10.2	9.209	-3.019

**Tabella 17 – Modulo elastico per l'analisi con il metodo M-E PDG dello strato di sottobase della pavimentazione del collegamento con l'autostrada A4**

Strato	E (MPa)
Misto cementato	1000

Sulla base di queste caratteristiche sono stati definiti i valori delle grandezze che qualificano i materiali nel software del metodo di calcolo ME-PDG.

Tutte le quantità utilizzate nel calcolo sono coerenti con quanto riportato nelle Norme Tecniche del CSA (cod. 60502-00003).

## 4. RIQUALIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE DEL LOTTO 0A ESISTENTE

### 4.1 Descrizione dell'intervento

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 aperto al traffico, verrà interessato da un intervento di riqualifica che prevede la sua conversione nella carreggiata sud in direzione Brescia come rappresentato graficamente in Figura 1.

L'intervento di riqualifica, tra la progressiva di progetto 0+840 e la progressiva 4+840, per complessivi 4 km, comporta la trasformazione della sagoma stradale esistente a doppia falda in una sagoma a falda unica con pendenze trasversali, tra l'altro diverse rispetto a quelle esistenti quale conseguenza della variazione di velocità di progetto che comporta il passaggio da strada di categoria C1 a strada di categoria A.

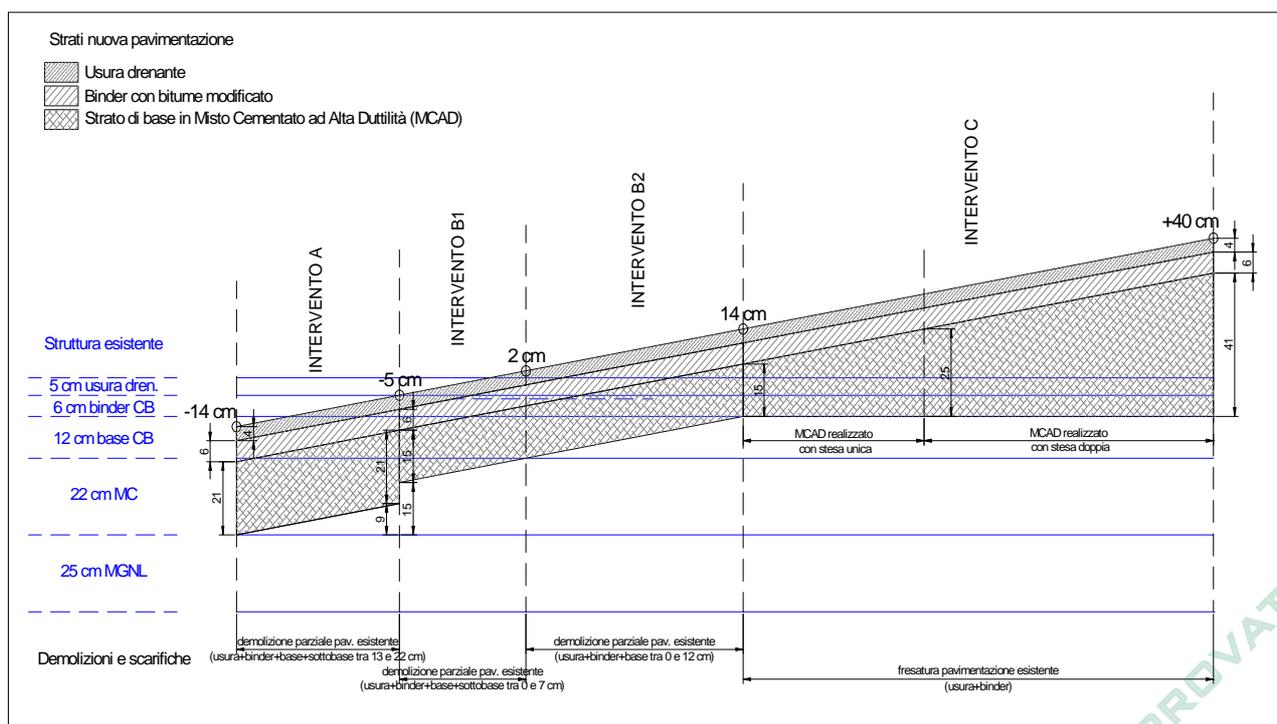
Con riferimento all'asse di tracciamento della strada attuale tipo C1 sono stati individuati i valori delle differenze di quota tra la strada esistente (QE) e la quota di progetto futura (QP) per la carreggiata nord e sud (rispettivamente Tabella 35 e Tabella 36 dell'Allegato al presente documento).

In funzione dell'entità dei lavori di risagomatura, la pavimentazione esistente potrà essere oggetto di una semplice scarifica superficiale o di interventi di demolizione parziale e successiva ricostruzione oppure di ricopertura con nuovi materiali.

Nei tratti in cui è prevista la ricostruzione della pavimentazione è previsto l'impiego di tecniche di riciclaggio in sito o in centrale in modo da ridurre al massimo le necessità di trasporto a discarica dei materiali risultanti dalle fresature e demolizioni.

Gli interventi sono stati suddivisi in base ad un indice letterale da A a C e la descrizione è riportata in Tabella 18 mentre in Figura 3 sono rappresentati schematicamente i vari interventi in funzione delle differenze di quota tra la pavimentazione esistente e quella riqualificata.

Tipo intervento	Dislivello tra piano viabile esistente e nuovo		Lavori su pavimentazione esistente	Nuova pavimentazione
	da	a		
A	-14	-5	Demolizione parziale della pavimentazione esistente (usura + binder+base+sottobase tra 13 a 22 cm)	Usura drenante (4 cm) + binder con bitume modificato tipo hard (6 cm) + base MCAD (21 cm)
B	B1	-5	Demolizione parziale della pavimentazione esistente (usura + binder+base+sottobase tra 0 e 7 cm)	Usura drenante (4 cm) + binder con bitume modificato tipo hard (6 cm) + base MCAD (15 cm)
	B2	2	Demolizione parziale della pavimentazione esistente (usura + binder+base tra 0 e 12 cm)	
C	14	40	Fresatura della pavimentazione esistente (usura + binder)	Usura drenante (4 cm) + binder con bitume modificato tipo hard (6 cm) + base MCAD (spessore var. da 15 a 41 cm) (nota 2)



**Figura 3 - 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.

La planimetria schematica degli interventi di riqualifica è rappresentata nell'elaborato cod. 60197-00000-A00.

Nella verifica degli interventi di riqualifica previsti, sintetizzati in Tabella 18 e descritti nei paragrafi che seguono, si è tenuto conto degli effetti sulle prestazioni della pavimentazione esistente del fatto che essa è aperta al traffico da circa un anno. Qualora gli interventi di riqualifica vengano attuati non immediatamente, ma siano rinviati nel tempo, prima della realizzazione degli interventi di riqualifica secondo quanto previsto in progetto dovrà esser verificata la vita residua della pavimentazione esistente, sottoposta al traffico effettivamente transitato durante il periodo di esercizio, per valutare se il suo grado di ammaloramento possa inficiare qualcuna delle soluzioni di riqualifica previste in questa fase. Queste ultime, infatti, si ricorda, presuppongono un'anzianità della pavimentazione esistente pari a circa un anno.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



Nota 2 : per spessori di MCAD superiori a 25 cm si deve realizzare lo strato con doppia stesa di materiale.

## 4.2 Verifica delle prestazioni dell'intervento tipo A

La verifica è effettuata con riferimento alla struttura più debole che è quella in corrispondenza dei punti in cui la differenza di quota vecchio/nuovo è di -14 cm (v.Figura 3).

La stratigrafia dell'intervento di riqualifica tipo A è riassunta in Tabella 19.

**Tabella 19 – Pavimentazioni previste dell'intervento di riqualifica tipo A**

Strato	Spessore	
Usura in Conglomerato Bituminoso Drenante	cm	4
Strato di collegamento in CB con bitume modificato	cm	6
Strato di base in MCAD_EM con bitume modificato	cm	21
Strato di fondazione in Misto Granulare Non Legato (esistente)	cm	25
TOTALE	cm	56

Questa pavimentazione, verificata mediante il metodo M-E PDG con i dati di progetto esplicitati nel capitolo 3, ha fornito i risultati riportati in Tabella 20.

**Tabella 20 – Risultati delle verifiche effettuate con il metodo M-E PDG sulla pavimentazione dell'intervento di riqualifica tipo A**

Traffico	33.0 milioni di VP
<b>INDICATORE DI PRESTAZIONE</b>	
Fessurazione di tipo "bottom-up" (%)	1.45% (limite 25%)
Fessurazione di tipo "top-down" (m/km)	$7 \times 10^{-3}$ (limite 200 m/km)
Danno per fatica (Bottom-up)	$2.69 \times 10^{-6}$ % (limite $5 \times 10^{-1}$ %)
Profondità ormaie (mm)	4.82 (limite 15 mm)
IRI (mm/m)	1.35 (limite 2.1 mm/m)

L'andamento nel tempo dei diversi indici di prestazione è riportato in Figura 4, in Figura 5 e in Figura 6 riferite rispettivamente alle deformazioni permanenti (ormaie), alla regolarità superficiale (IRI) ed alla fessurazione Top-Down. Come risulta evidente tutti gli indicatori mantengono valori inferiori a quelli ammissibili in tutto il periodo di analisi.

Deformazione Permanente

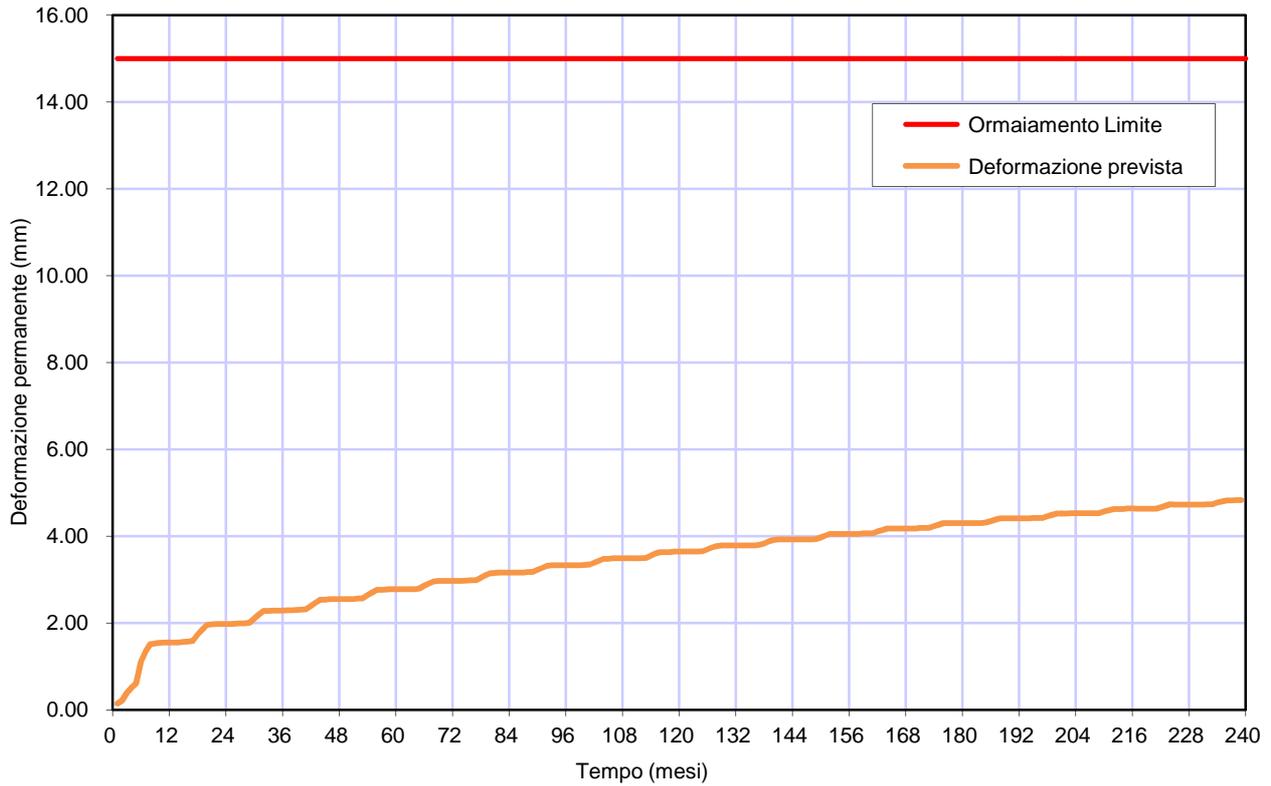


Figura 4 - Andamento della deformazione permanente nella pavimentazione dell'intervento tipo A

IRI

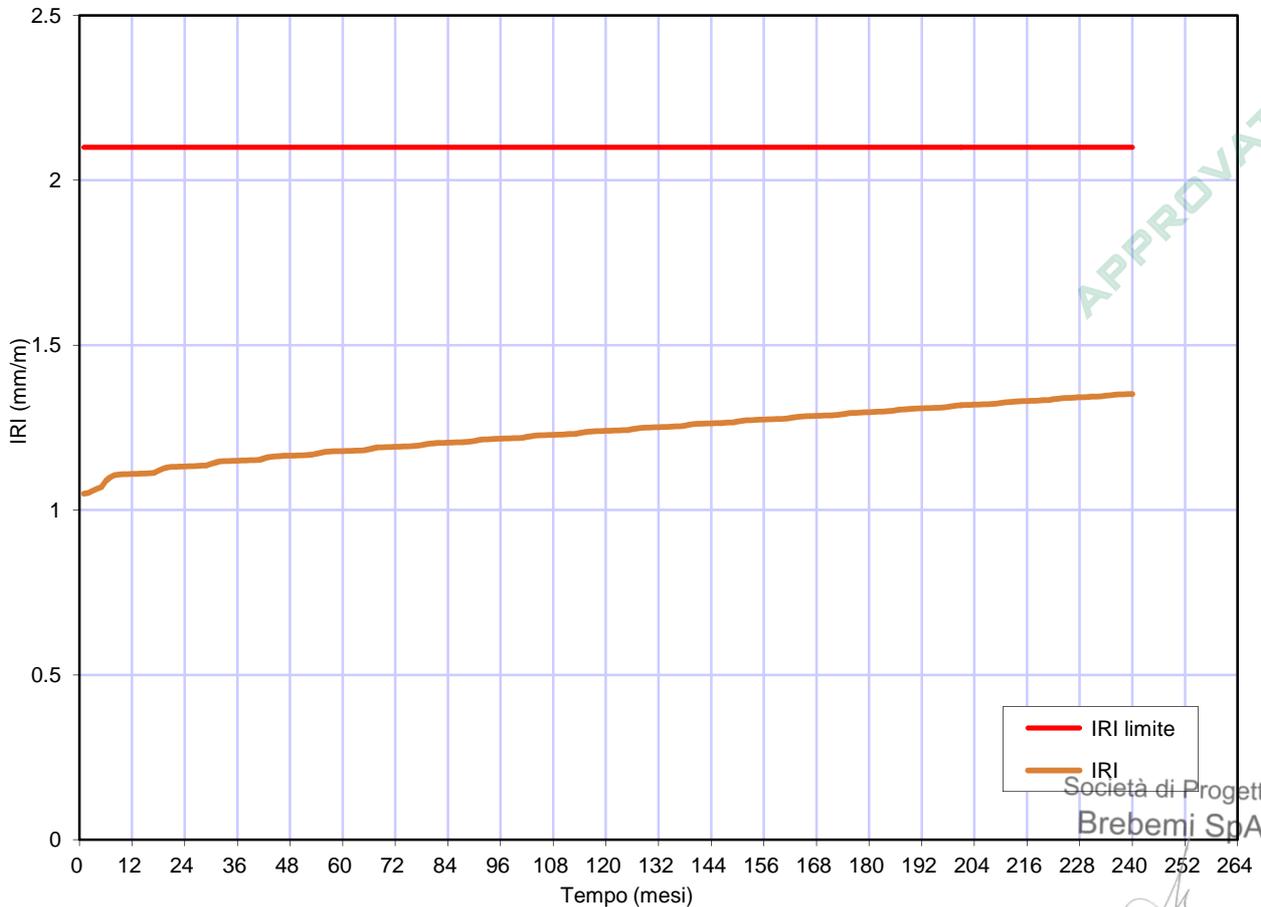
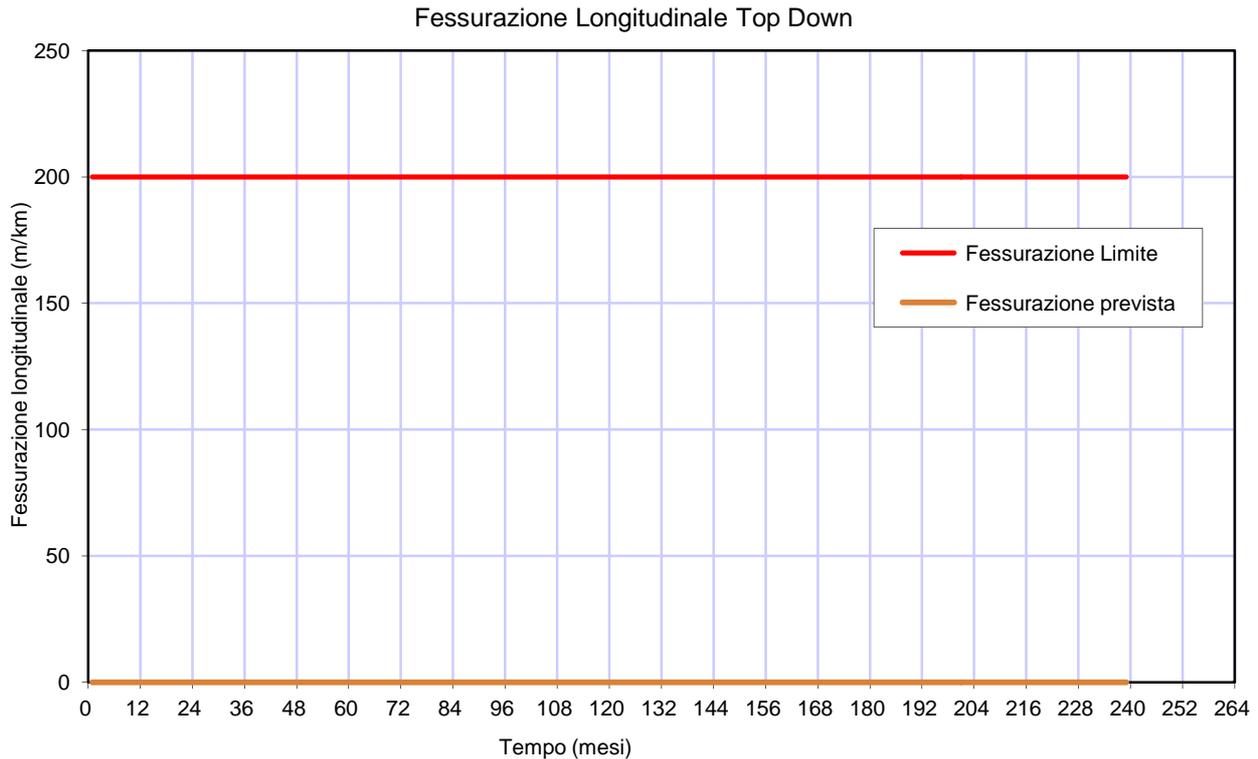


Figura 5 - Andamento della irregolarità longitudinale (indice IRI) nella pavimentazione dell'intervento tipo A

Società di Progetto  
Brebemi SpA



**Figura 6 - Andamento della fessurazione longitudinale “top-down” nella pavimentazione dell’intervento tipo A**

Alla luce dei risultati delle verifiche effettuate si deduce che la struttura della pavimentazione dell’intervento di riqualifica tipo A è idonea a sopportare i nuovi livelli di traffico. Dovranno comunque esser previsti durante l’esercizio interventi di manutenzione con ripristino del manto di usura drenante per rinnovare le sue caratteristiche di drenaggio e di aderenza.

### 4.3 Verifica delle prestazioni dell’intervento tipo B1

La verifica è effettuata con riferimento alla struttura più debole che è quella in corrispondenza dei punti in cui la differenza di quota vecchio/nuovo è di -5 cm (v.Figura 3).

La stratigrafia dell’intervento di riqualifica tipo B1 è riassunta in Tabella 21.

**Tabella 21 – Pavimentazioni previste dell’intervento di riqualifica tipo B1**

Strato	Spessore	
Usura in Conglomerato Bituminoso Drenante	cm	4
Strato di collegamento in CB con bitume modificato	cm	6
Strato di base in MCAD_EM con bitume modificato	cm	15
Strato di sottobase in Misto Cementato (esistente)	cm	15
Strato di fondazione in Misto Granulare Non Legato (esistente)	cm	25
<b>TOTALE</b>	<b>cm</b>	<b>65</b>

Società di Progetto  
Brebemi SpA

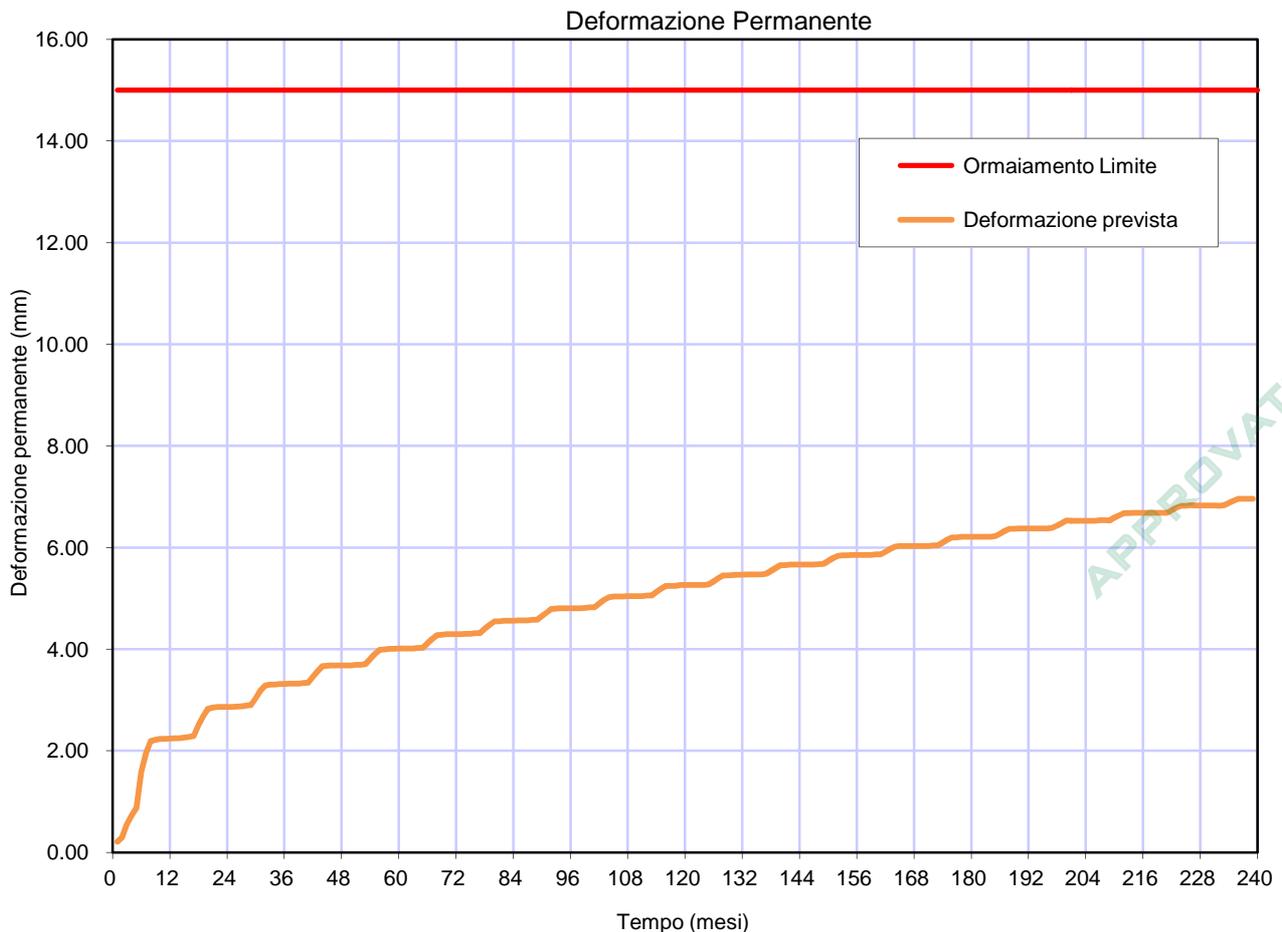
Questa pavimentazione, verificata mediante il metodo M-E PDG con i dati di progetto esplicitati nel capitolo 3, ha fornito i risultati riportati in Tabella 22.



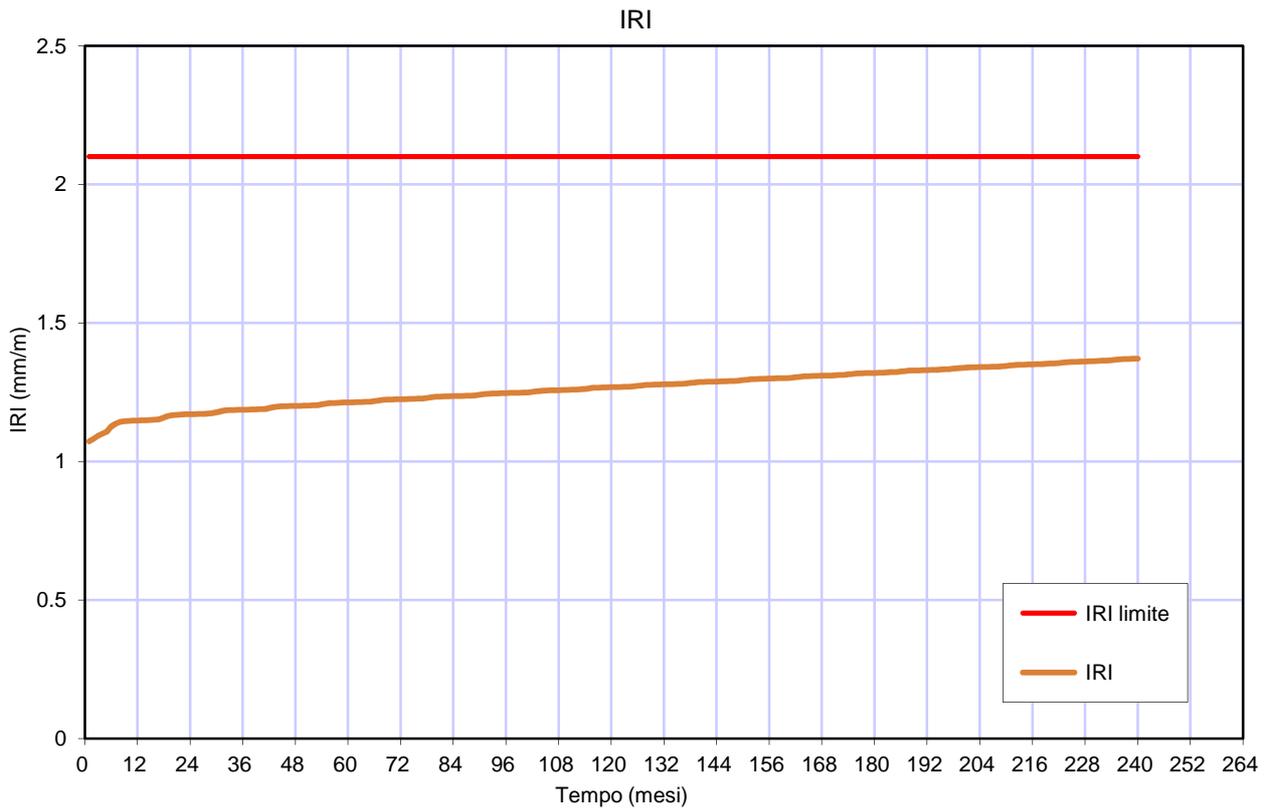
**Tabella 22 – Risultati delle verifiche effettuate con il metodo M-E PDG sulla pavimentazione dell'intervento di riqualifica tipo B1**

Traffico	33.0 milioni di VP
<b>INDICATORE DI PRESTAZIONE</b>	
Fessurazione di tipo "bottom-up" (%)	1.45% (limite 25%)
Fessurazione di tipo "top-down" (m/km)	$1.1 \times 10^{-2}$ (limite 200 m/km)
Danno per fatica (Bottom-up)	$1.76 \times 10^{-6}$ % (limite $5 \times 10^{-1}$ %)
Profondità ormaie (mm)	6.95 (limite 15 mm)
IRI (mm/m)	1.37 (limite 2.1 mm/m)

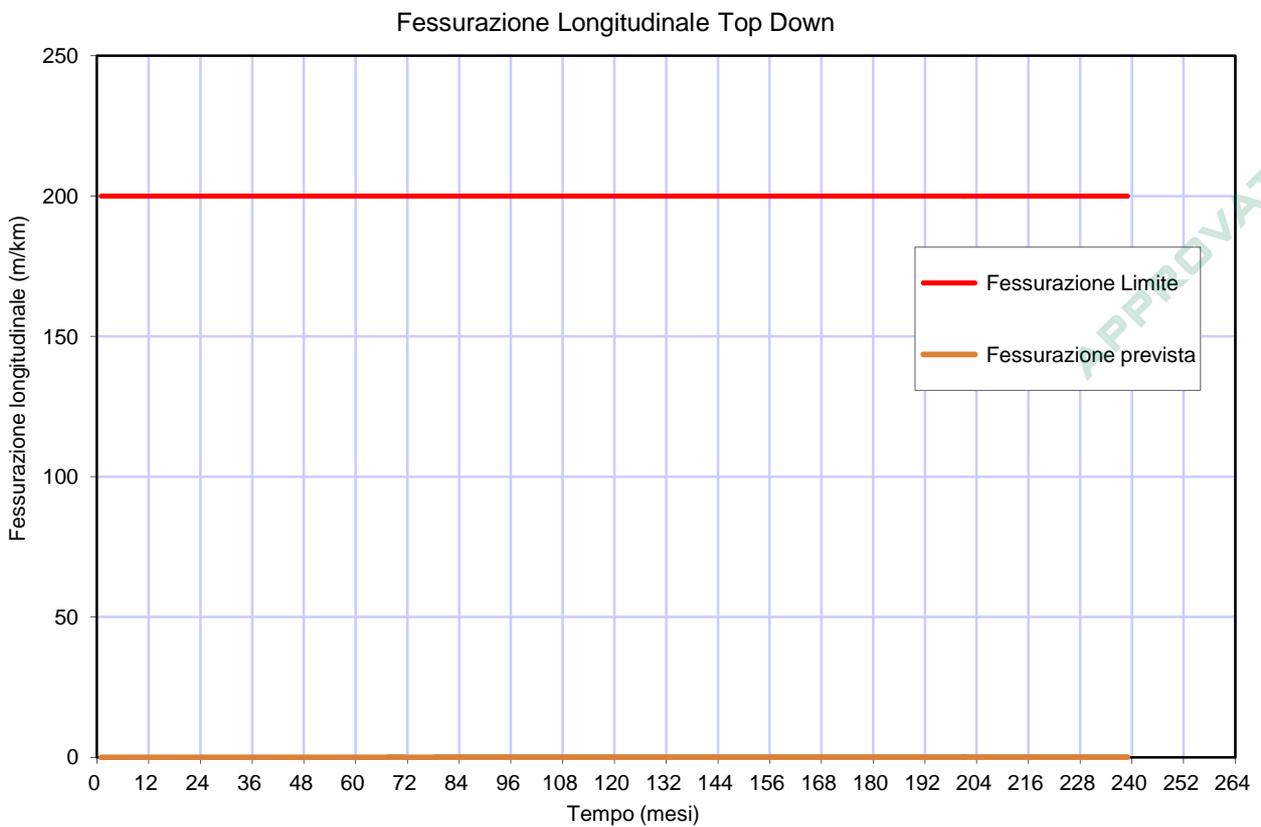
L'andamento nel tempo dei diversi indici di prestazione è riportato in Figura 7, in Figura 8 e in Figura 9 riferite rispettivamente alle deformazioni permanenti (ormaie), alla regolarità superficiale (IRI) ed alla fessurazione Top-Down. Come risulta evidente tutti gli indicatori mantengono valori inferiori a quelli ammissibili in tutto il periodo di analisi.



**Figura 7 - Andamento della deformazione permanente nella pavimentazione dell'intervento tipo B1**



**Figura 8 - Andamento della irregolarità longitudinale (indice IRI) nella pavimentazione dell'intervento tipo B1**



**Figura 9 - Andamento della fessurazione longitudinale "top-down" nella pavimentazione dell'intervento tipo B1**

Alla luce dei risultati delle verifiche effettuate si deduce che la struttura della pavimentazione dell'intervento di riqualifica tipo B1 è idonea a sopportare i nuovi livelli di traffico.  
Dovranno comunque esser previsti durante l'esercizio interventi di manutenzione con ripristino del manto di usura drenante per rinnovare le sue caratteristiche di drenaggio e aderenza.

#### 4.4 Verifica delle prestazioni dell'intervento tipo B2

La verifica è effettuata con riferimento alla struttura più debole che è quella in corrispondenza dei punti in cui la differenza di quota vecchio/nuovo è di 2 cm (v. Figura 3).  
La stratigrafia dell'intervento di riqualifica tipo B2 è riassunta in Tabella 23.

**Tabella 23 – Pavimentazioni previste dell'intervento di riqualifica tipo B2**

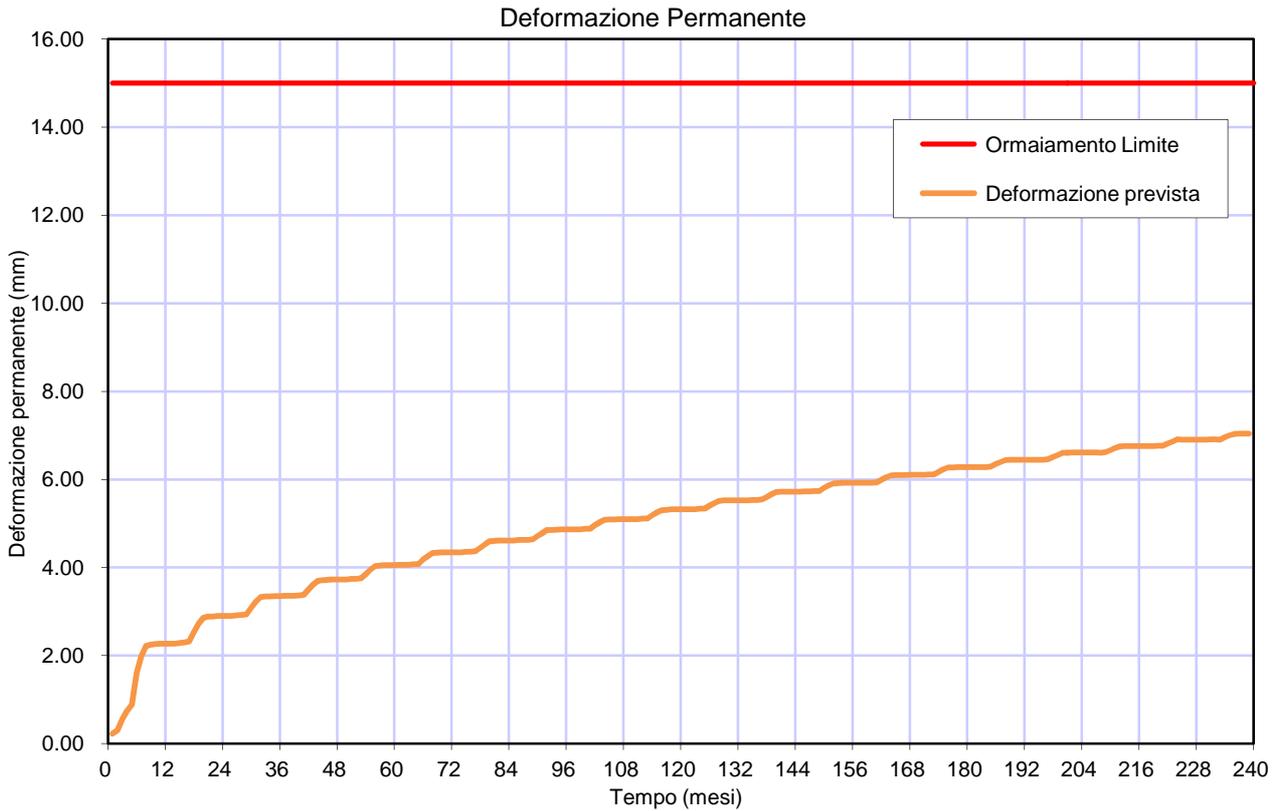
Strato	Spessore	
Usura in Conglomerato Bituminoso Drenante	cm	4
Strato di collegamento in CB con bitume modificato	cm	6
Strato di base in MCAD_EM con bitume modificato	cm	15
Strato di sottobase in Misto Cementato (esistente)	cm	22
Strato di fondazione in Misto Granulare Non Legato (esistente)	cm	25
TOTALE	cm	72

Questa pavimentazione, verificata mediante il metodo M-E PDG con i dati di progetto esplicitati nel capitolo 3, ha fornito i risultati riportati in Tabella 24.

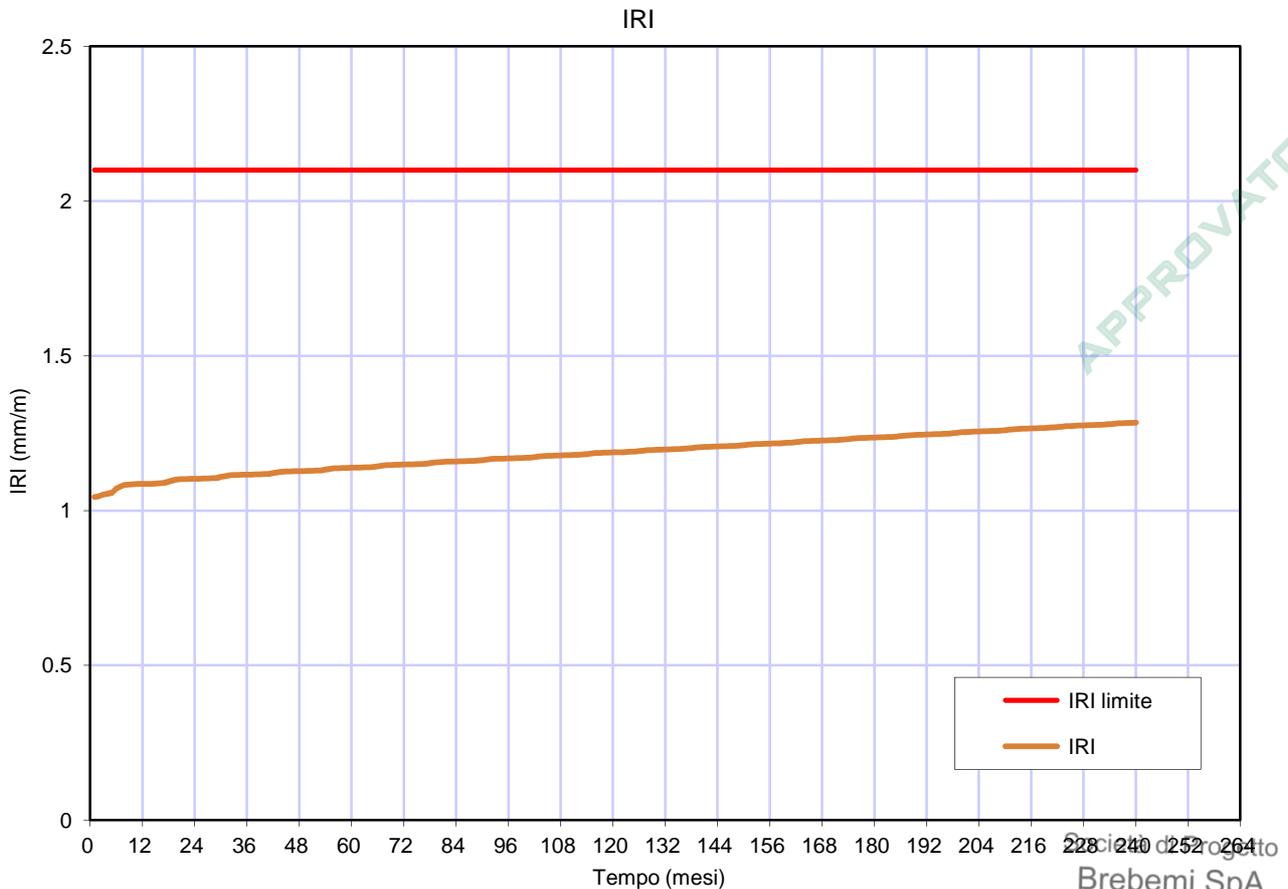
**Tabella 24 – Risultati delle verifiche effettuate con il metodo M-E PDG sulla pavimentazione dell'intervento di riqualifica tipo B2**

Traffico	33.0 milioni di VP
<b>INDICATORE DI PRESTAZIONE</b>	
Fessurazione di tipo "bottom-up" (%)	1.66% (limite 25%)
Fessurazione di tipo "top-down" (m/km)	1.64x10 <sup>-2</sup> (limite 200 m/km)
Danno per fatica (Bottom-up)	9.1x10 <sup>-2</sup> % (limite 5x10 <sup>1</sup> %)
Profondità ormaie (mm)	7.04 (limite 15 mm)
IRI (mm/m)	1.28 (limite 2.1 mm/m)

L'andamento nel tempo dei diversi indici di prestazione è riportato in Figura 10, in Figura 11 e in Figura 12 riferite rispettivamente alle deformazioni permanenti (ormaie), alla regolarità superficiale (IRI) ed alla fessurazione Top-Down. Come risulta evidente tutti gli indicatori mantengono valori inferiori a quelli ammissibili in tutto il periodo di analisi.



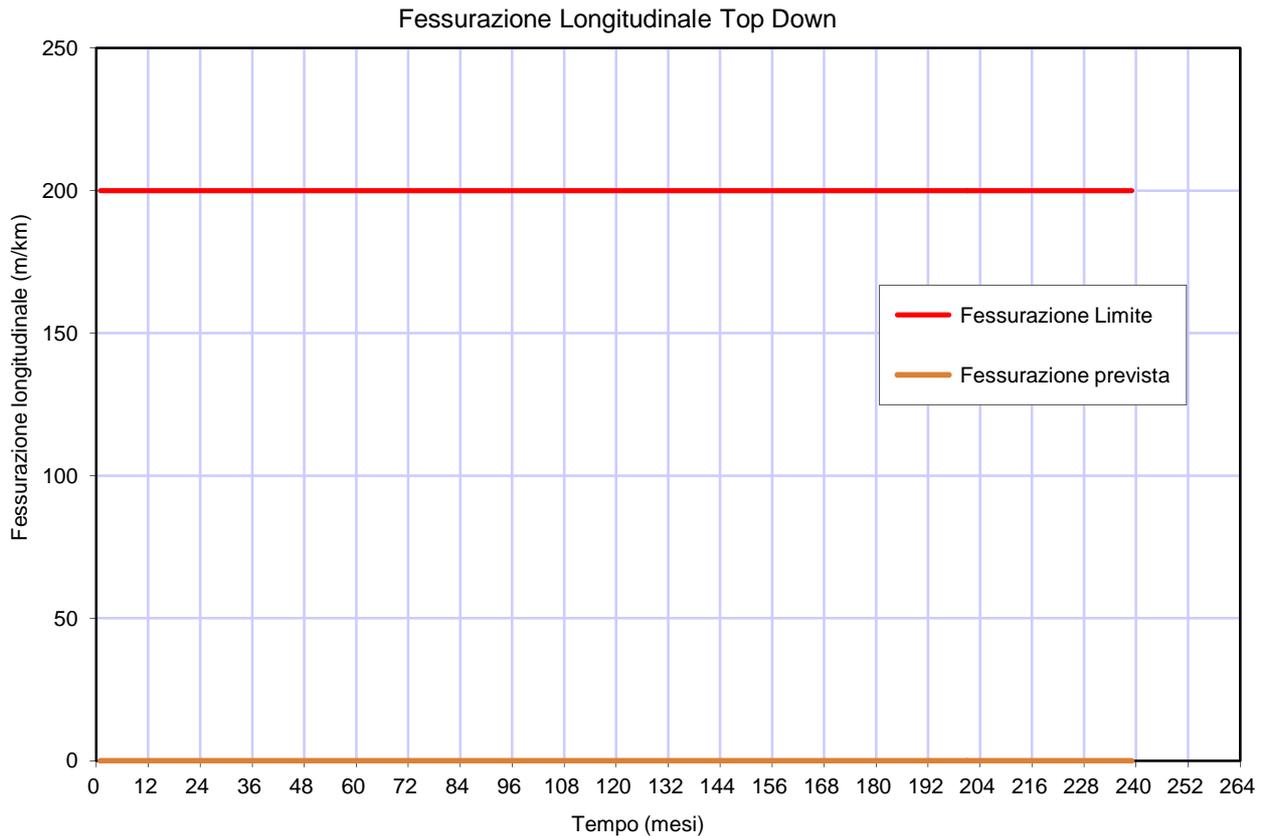
**Figura 10 - Andamento della deformazione permanente nella pavimentazione dell'intervento tipo B2**



**Figura 11 - Andamento della irregolarità longitudinale (indice IRI) nella pavimentazione dell'intervento tipo B2**

APPROVATO SDP

228 240 252 264  
 Brebemi SpA  

**Figura 12 - Andamento della fessurazione longitudinale “top-down” nella pavimentazione dell’intervento tipo B2**

Alla luce dei risultati delle verifiche effettuate si deduce che la struttura della pavimentazione dell’intervento di riqualifica tipo B2 è idonea a sopportare i nuovi livelli di traffico. Dovranno comunque esser previsti durante l’esercizio interventi di manutenzione con ripristino del manto di usura drenante per rinnovare le sue caratteristiche di drenaggio e aderenza.

#### 4.5 Verifica delle prestazioni dell’intervento tipo C

La verifica è effettuata con riferimento alla struttura più debole che è quella in corrispondenza dei punti in cui la differenza di quota vecchio/nuovo è di 14 cm (v.Figura 3).

La stratigrafia dell’intervento di riqualifica tipo C è riassunta in Tabella 25.

**Tabella 25 – Pavimentazioni previste dell’intervento di riqualifica tipo C**

Strato	Spessore	
	cm	
Usura in Conglomerato Bituminoso Drenante	cm	4
Strato di collegamento in CB con bitume modificato	cm	6
Strato di base in MCAD_EM con bitume modificato	cm	15
Strato di base in CB (esistente)	cm	12
Strato di sottobase in Misto Cementato (esistente)	cm	22
Strato di fondazione in Misto Granulare Non Legato (esistente)	cm	25
<b>TOTALE</b>	cm	<b>84</b>

APPROVATO SDP

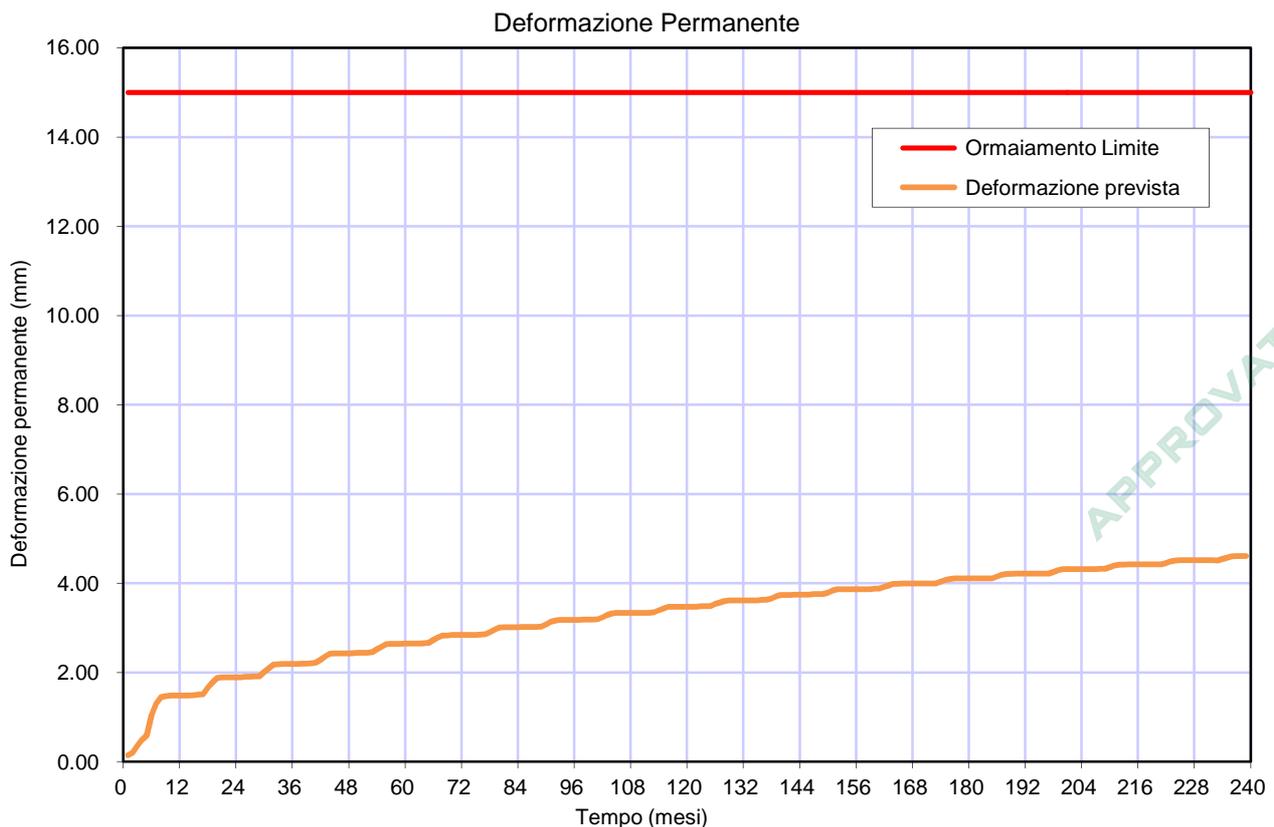
Società di Progetto  
**Brebemi SpA**

Questa pavimentazione, verificata mediante il metodo M-E PDG con i dati di progetto esplicitati nel capitolo 3, ha fornito i risultati riportati in Tabella 26.

**Tabella 26 – Risultati delle verifiche effettuate con il metodo M-E PDG sulla pavimentazione dell'intervento di riqualifica tipo C**

Traffico	33.0 milioni di VP
<b>INDICATORE DI PRESTAZIONE</b>	
Fessurazione di tipo "bottom-up" (%)	1.66% (limite 25%)
Fessurazione di tipo "top-down" (m/km)	1.64 x 10 <sup>-2</sup> (limite 200 m/km)
Danno per fatica (Bottom-up)	4.0x10 <sup>-2</sup> % (limite 5x10 <sup>1</sup> %)
Profondità ormaie (mm)	4.61 (limite 15 mm)
IRI (mm/m)	1.28 (limite 2.1 mm/m)

L'andamento nel tempo dei diversi indici di prestazione è riportato in Figura 13, in Figura 14 e in Figura 15 riferite rispettivamente alle deformazioni permanenti (ormaie), alla regolarità superficiale (IRI) ed alla fessurazione Top-Down. Come risulta evidente tutti gli indicatori mantengono valori inferiori a quelli ammissibili in tutto il periodo di analisi.



**Figura 13 - Andamento della deformazione permanente nella pavimentazione dell'intervento tipo C**

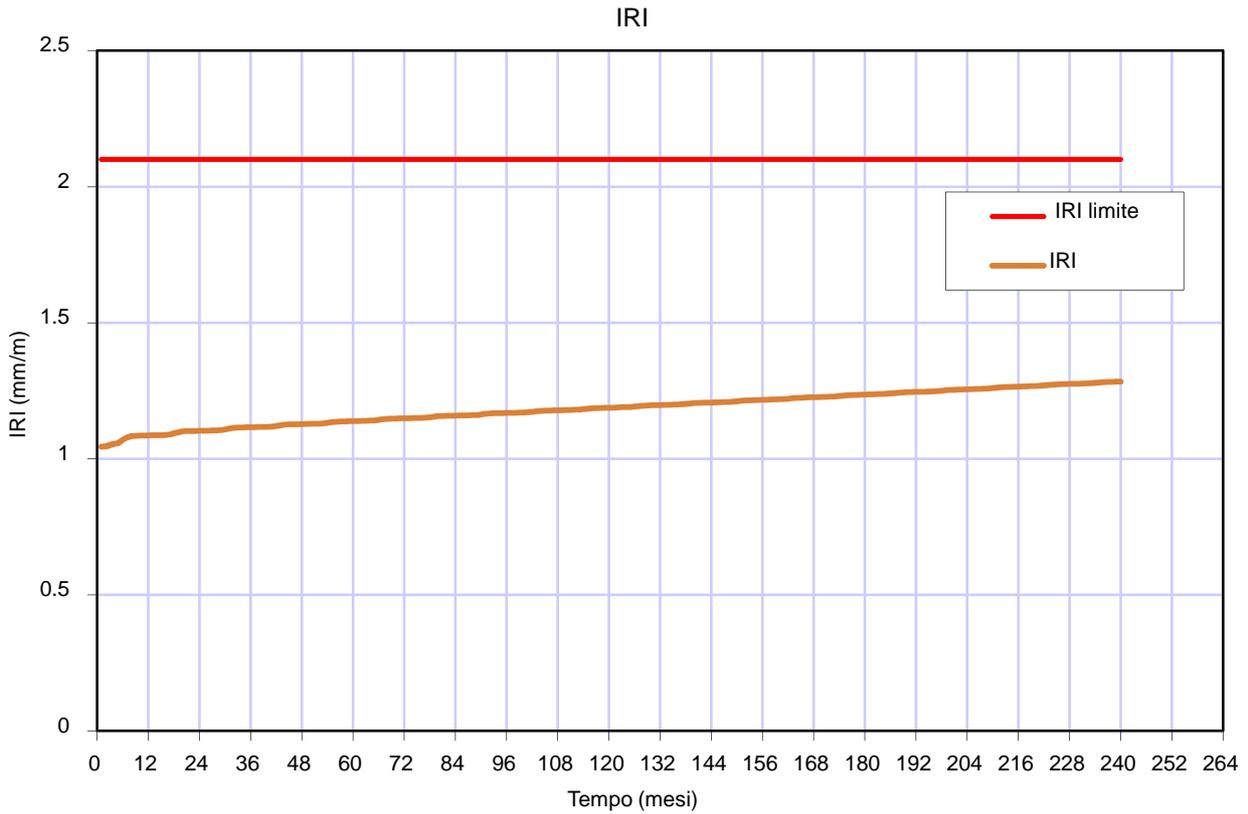


Figura 14 - Andamento della irregolarità longitudinale (indice IRI) nella pavimentazione dell'intervento tipo C

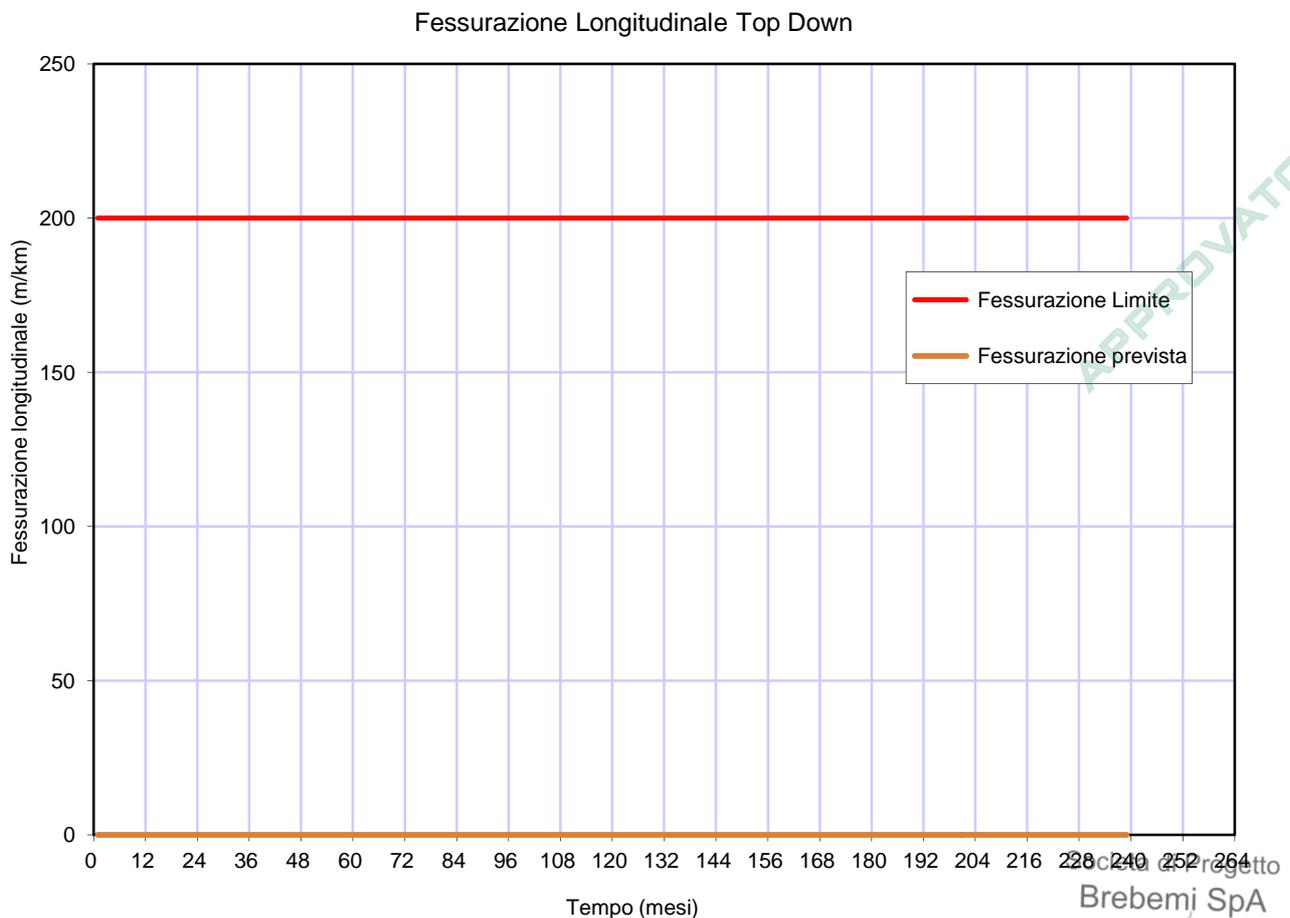


Figura 15 - Andamento della fessurazione longitudinale "top-down" nella pavimentazione dell'intervento tipo C

Progetto  
Brebemi SpA

Per quanto riguarda l'intervento C si è voluto sottoporre a verifica anche la condizione in cui lo spessore di ricarica della pavimentazione esistente, previa scarifica dello strato di usura e binder, assume il valore massimo di 51 cm (v.Figura 3).

La stratigrafia dell'intervento di riqualifica tipo C nel punto di spessore massimo è riassunta in Tabella 27.

**Tabella 27 – Pavimentazioni previste dell'intervento tipo C nel punto di spessore massimo**

Strato	Spessore	
Usura in Conglomerato Bituminoso Drenante	cm	4
Strato di collegamento in CB con bitume modificato	cm	6
Strato di base MCAD_EM con bitume modificato	cm	41
Strato di base in CB (esistente)	cm	12
Strato di sottobase in Misto Cementato (esistente)	cm	22
Strato di fondazione in Misto Granulare Non Legato (esistente)	cm	25
TOTALE	cm	110

Questa pavimentazione, verificata mediante il metodo M-E PDG con i dati di progetto esplicitati nel capitolo 3, ha fornito i risultati riportati in Tabella 28.

**Tabella 28 – Risultati delle verifiche effettuate con il metodo M-E PDG sulla pavimentazione dell'intervento tipo C nel punto di spessore massimo**

Traffico	33.0 milioni di VP
<b>INDICATORE DI PRESTAZIONE</b>	
Fessurazione di tipo "bottom-up" (%)	1.66% (limite 25%)
Fessurazione di tipo "top-down" (m/km)	$2.1 \times 10^{-4}$ (limite 200 m/km)
Danno per fatica (Bottom-up)	$3.0 \times 10^{-3}$ % (limite $5 \times 10^1$ %)
Profondità ormaie (mm)	3.07 (limite 15 mm)
IRI (mm/m)	1.22 (limite 2.1 mm/m)

L'andamento nel tempo dei diversi indici di prestazione è riportato in Figura 16, in Figura 17 e in Figura 18 riferite rispettivamente alle deformazioni permanenti (ormaie), alla regolarità superficiale (IRI) ed alla fessurazione Top-Down. Come risulta evidente tutti gli indicatori mantengono valori inferiori a quelli ammissibili in tutto il periodo di analisi.

Deformazione Permanente

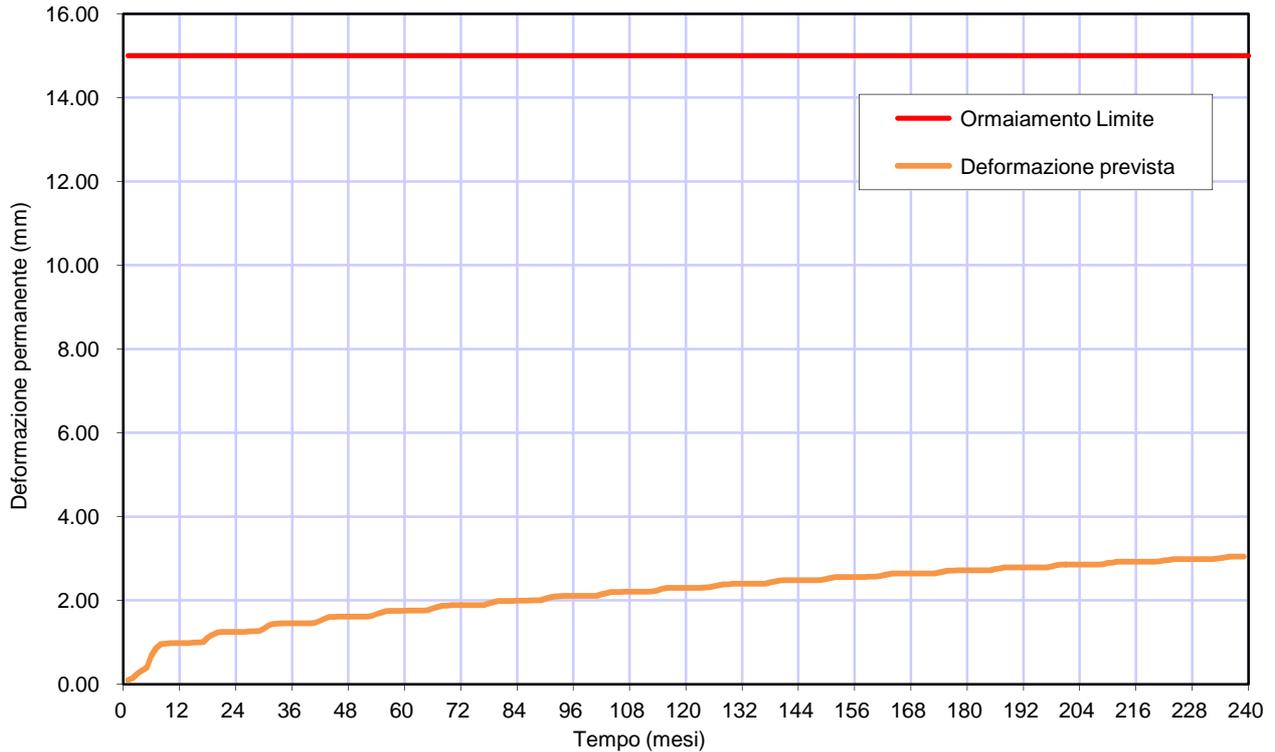


Figura 16 - Andamento della deformazione permanente nella pavimentazione dell'intervento tipo C nel punto di spessore massimo

IRI

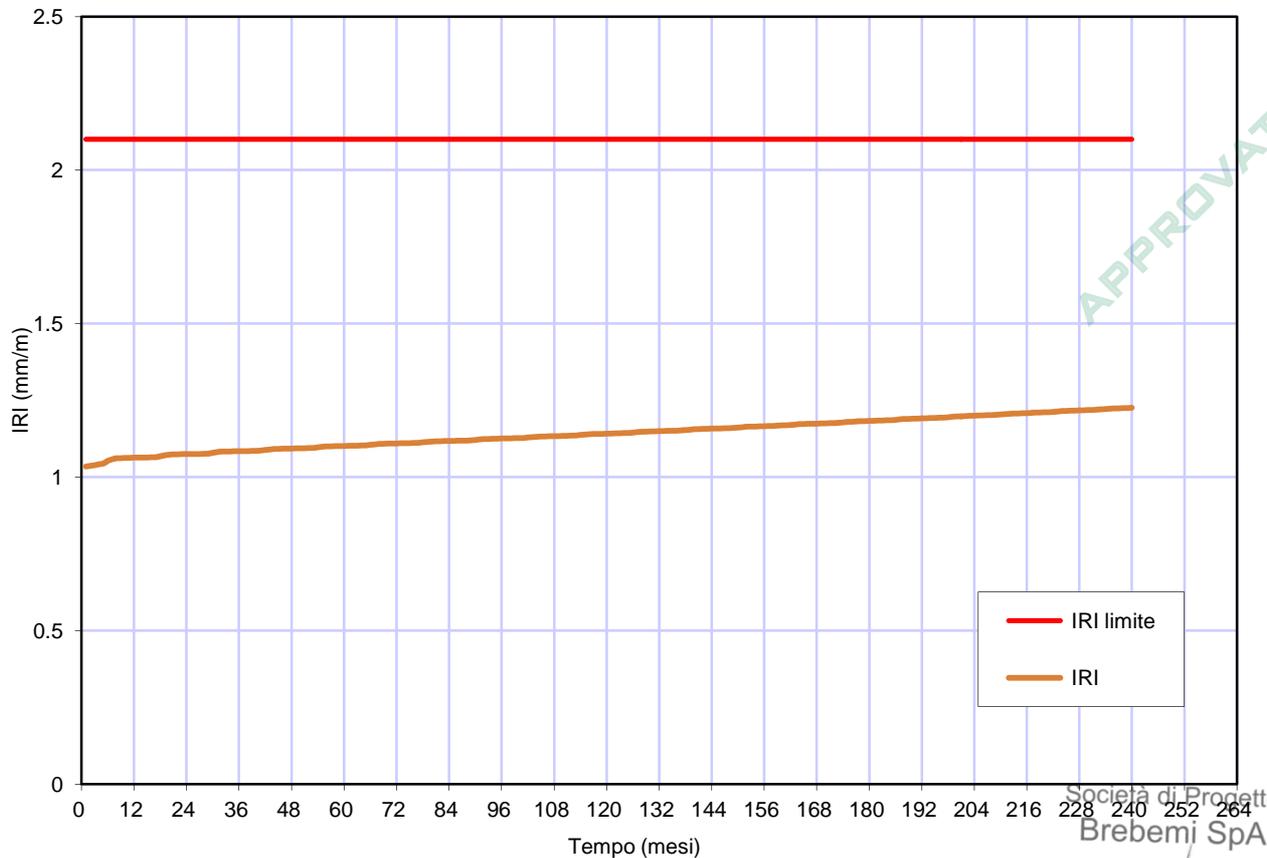
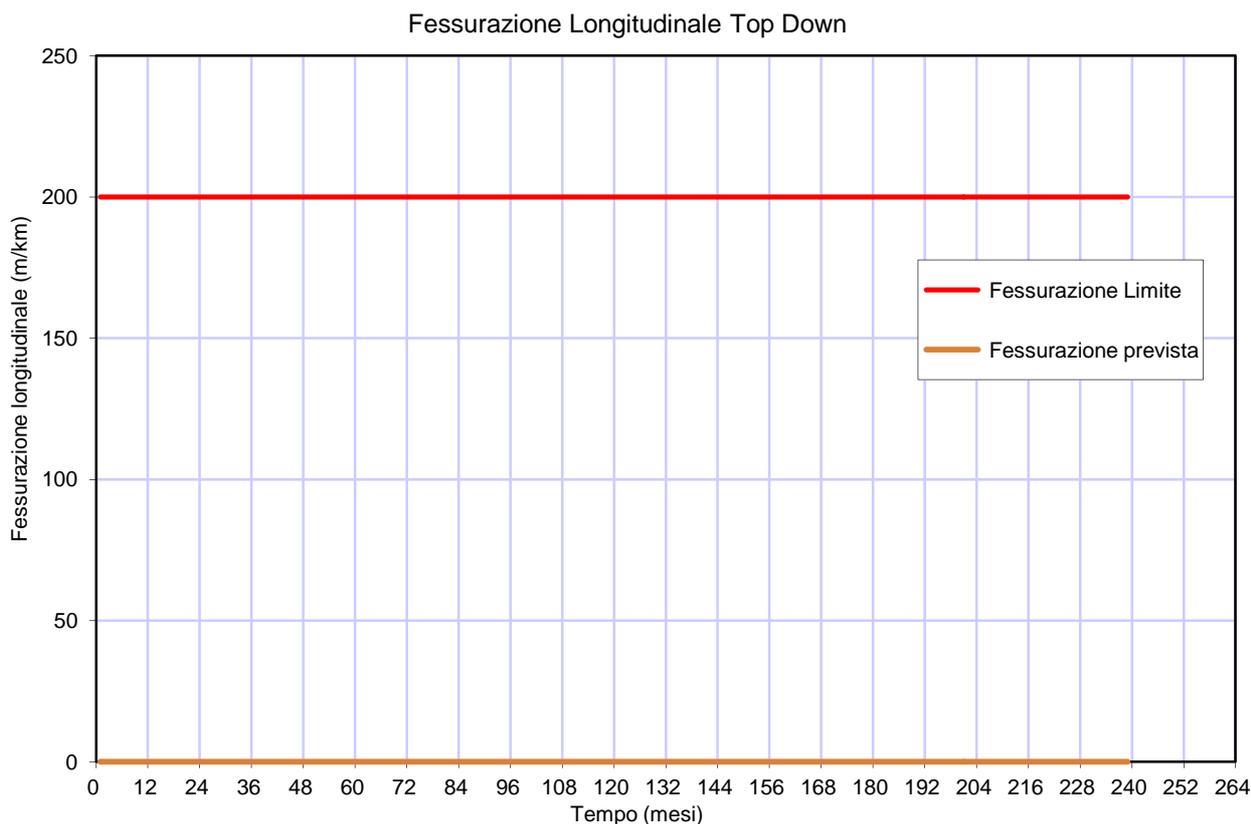


Figura 17 - Andamento della irregolarità longitudinale (indice IRI) nella pavimentazione dell'intervento tipo C nel punto di spessore massimo

Società di Progetto  
Brebemi SpA  
*[Signature]*



**Figura 18 - Andamento della fessurazione longitudinale "top-down" nella pavimentazione dell'intervento tipo C nel punto di spessore massimo**

Alla luce dei risultati delle verifiche effettuate si deduce che la struttura della pavimentazione dell'intervento di riqualifica tipo C nella configurazione con spessore massimo è idonea a sopportare i nuovi livelli di traffico. Dovranno comunque esser previsti durante l'esercizio interventi di manutenzione con ripristino del manto di usura drenante per rinnovare le sue caratteristiche di drenaggio e aderenza.

## 5. PAVIMENTAZIONE NUOVA SU 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 29.

**Tabella 29 – Struttura pavimentazione nuova della carreggiata nord**

Strato	Spessore	
	cm	
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
TOTALE	cm	55

Società di Progetto  
Brehemi SpA

Questa pavimentazione, verificata mediante il metodo M-E PDG con i dati di progetto esplicitati nel capitolo 3, ha fornito i risultati riportati in Tabella 30.

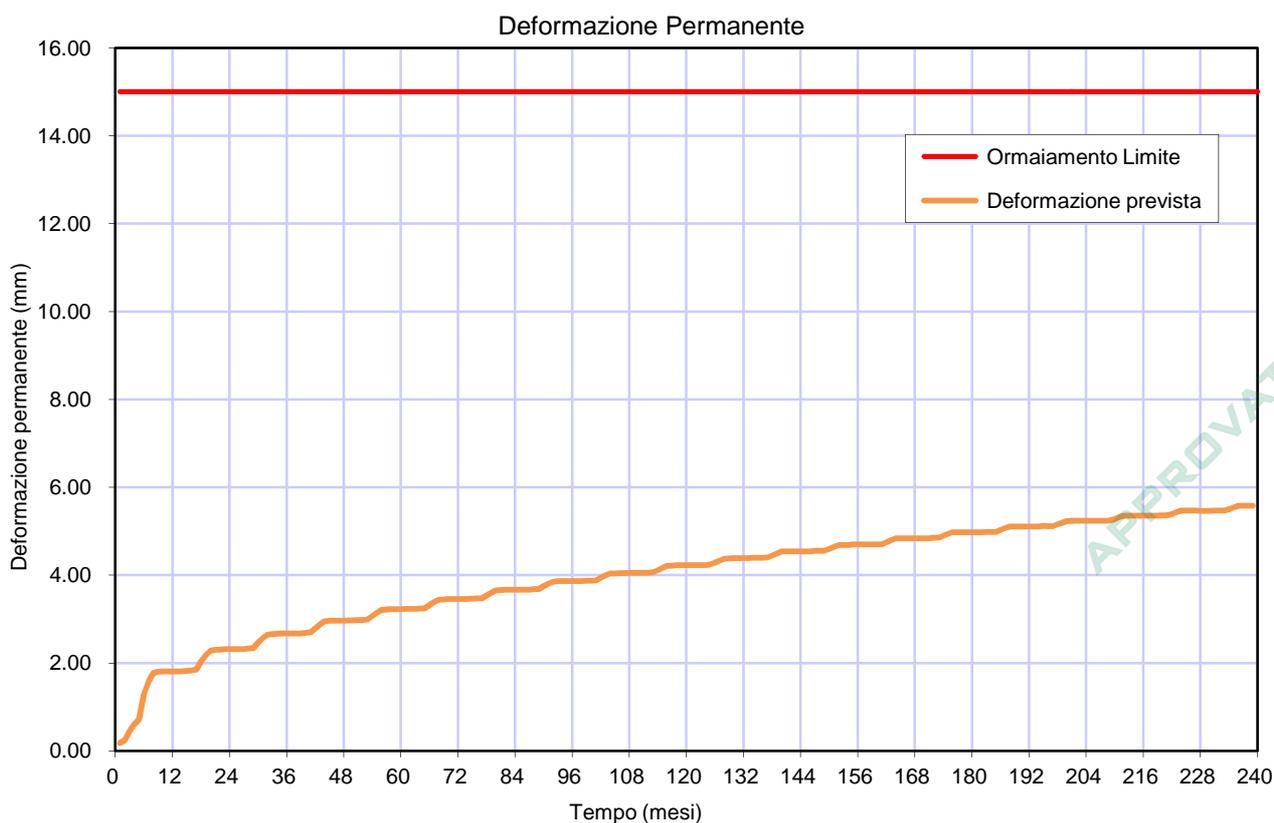


**Tabella 30 - Risultati delle verifiche effettuate con il metodo M-E PDG sulla pavimentazione nuova della carreggiata nord**

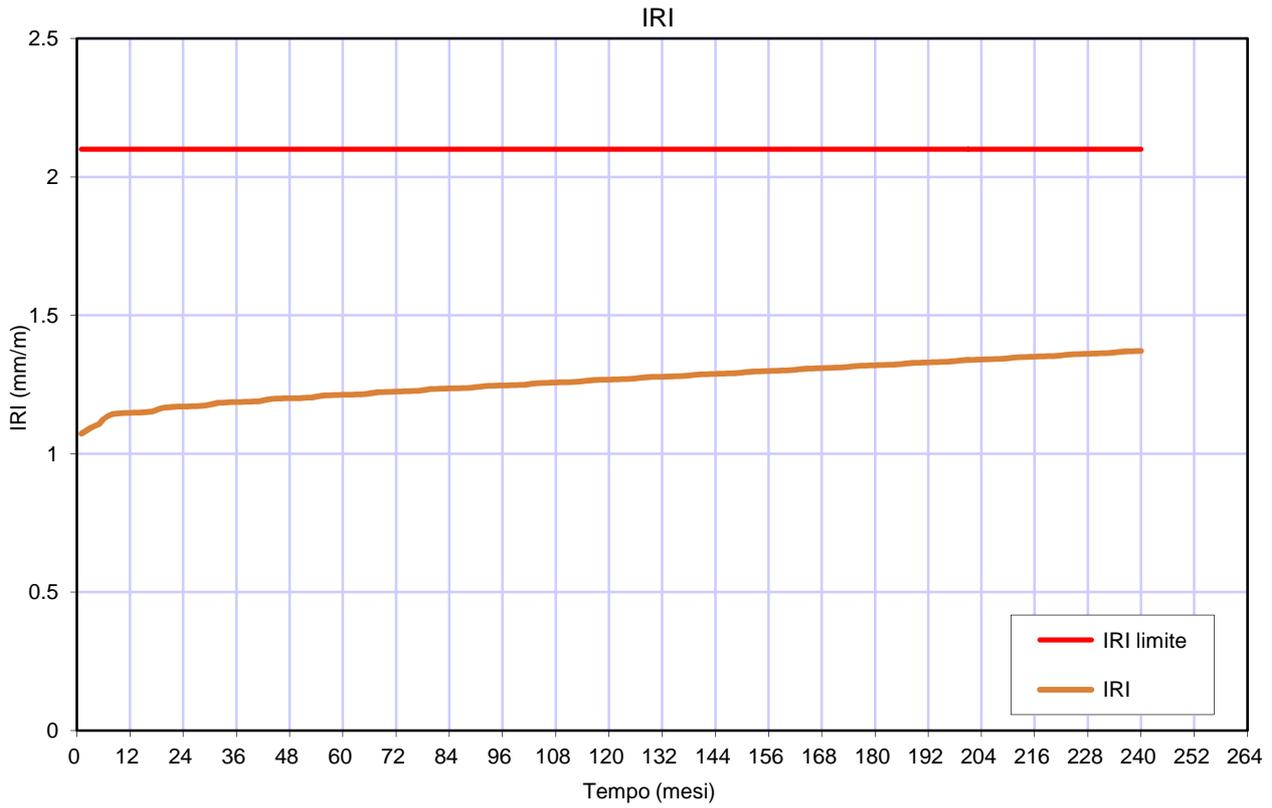
Traffico	33.0 milioni di VP
<b>INDICATORI DI PRESTAZIONE</b>	
Fessurazione di tipo "bottom-up" (%)	1.45% (limite 25%)
Fessurazione di tipo "top-down" (m/km)	$3.9 \times 10^{-2}$ (limite 200 m/km)
Danno per fatica (Bottom-up)	$2.33 \times 10^{-6}$ (limite $5 \times 10^{-1}$ %)
Profondità ormaie (mm)	5.58 (limite 15 mm)
IRI (mm/m)	1.37 (limite 2.1 mm/m)

L'andamento nel tempo dei diversi indici di prestazione è riportato in Figura 19, in Figura 20 e in Figura 21 riferite rispettivamente alle deformazioni permanenti (ormai), alla regolarità superficiale (IRI) ed alla fessurazione Top-Down.

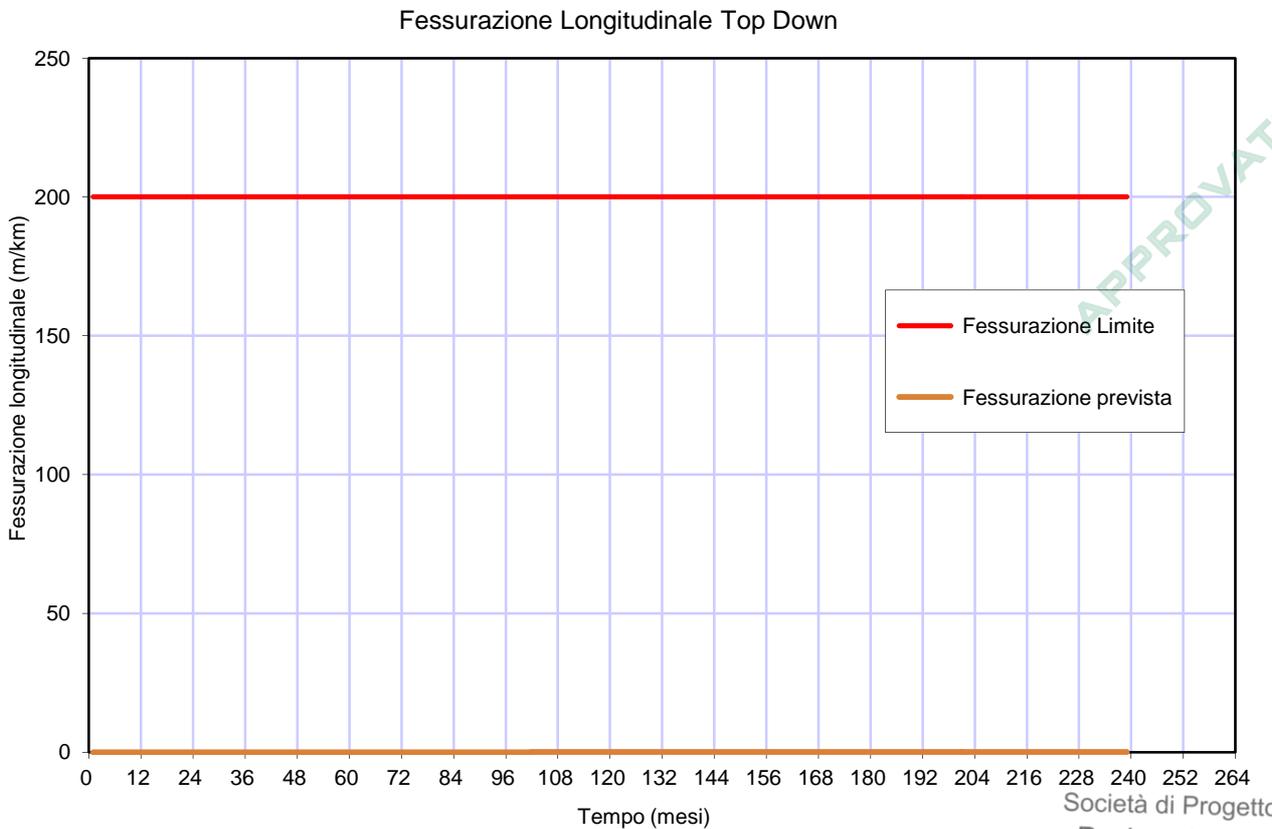
Tutti gli indici di valutazione delle prestazioni della pavimentazione al termine del periodo di analisi si mantengono al di sotto dei limiti ammissibilità previsti.



**Figura 19 - Andamento della deformazione permanente nella pavimentazione nuova della carreggiata nord**



**Figura 20 - Andamento della irregolarità longitudinale (indice IRI) nella pavimentazione nuova della carreggiata nord**



**Figura 21 - Andamento della fessurazione longitudinale "top-down" nella pavimentazione nuova della carreggiata nord**

Società di Progetto  
Brehemi SpA

Alla luce dei risultati delle verifiche effettuate si deduce che la struttura della pavimentazione della nuova carreggiata Nord è idonea a sopportare i nuovi livelli di traffico. Dovranno comunque esser previsti durante l'esercizio interventi di manutenzione con ripristino del manto di usura drenante per rinnovare le sue caratteristiche di drenaggio e aderenza.

## 6. PAVIMENTAZIONE SULLE RAMPE DI SVINCOLO

Per quanto concerne la realizzazione delle rampe di svincolo 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 31.

**Tabella 31 - Struttura pavimentazione prevista per gli svincoli**

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

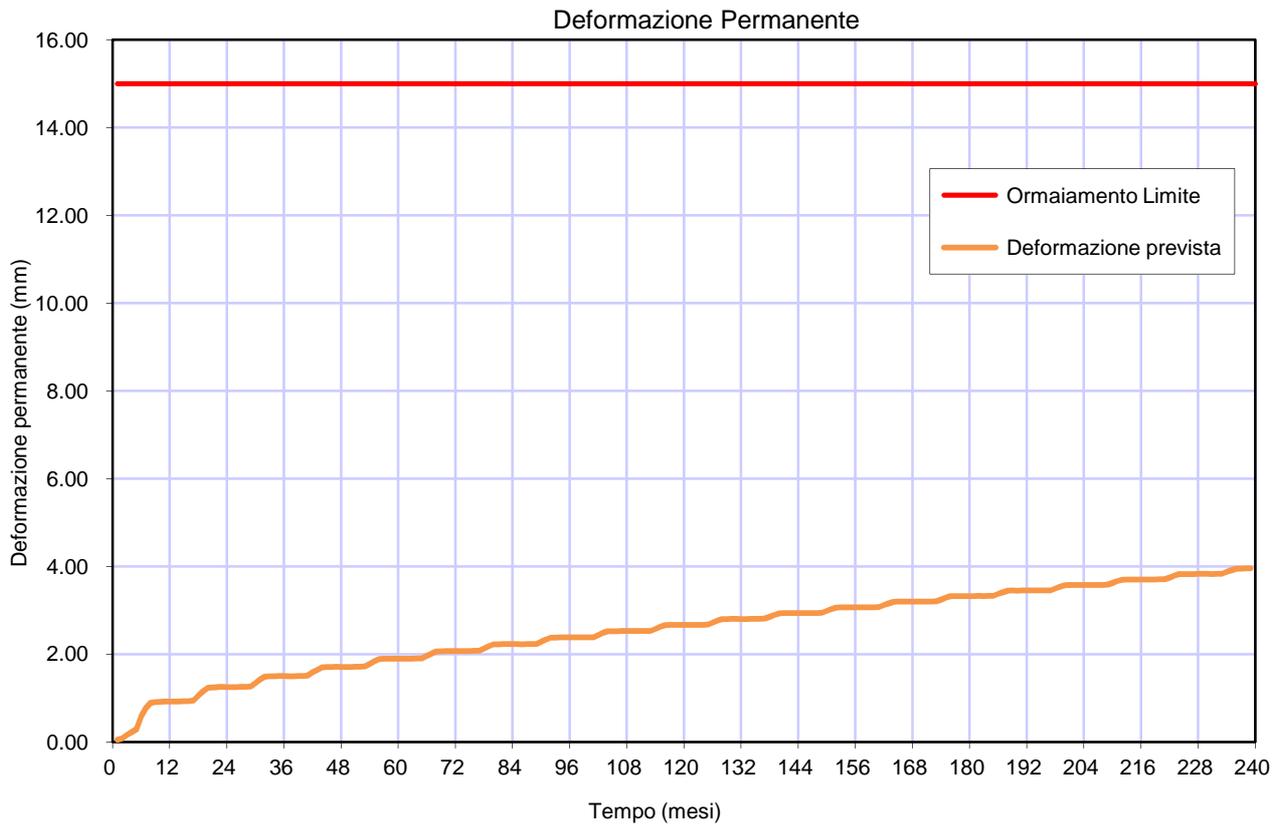
Questa pavimentazione, verificata mediante il metodo M-E PDG con i dati di progetto esplicitati nel capitolo 3, ha fornito i risultati riportati in Tabella 32.

**Tabella 32 - Risultati delle verifiche effettuate con il metodo M-E PDG sulla pavimentazione prevista per gli svincoli**

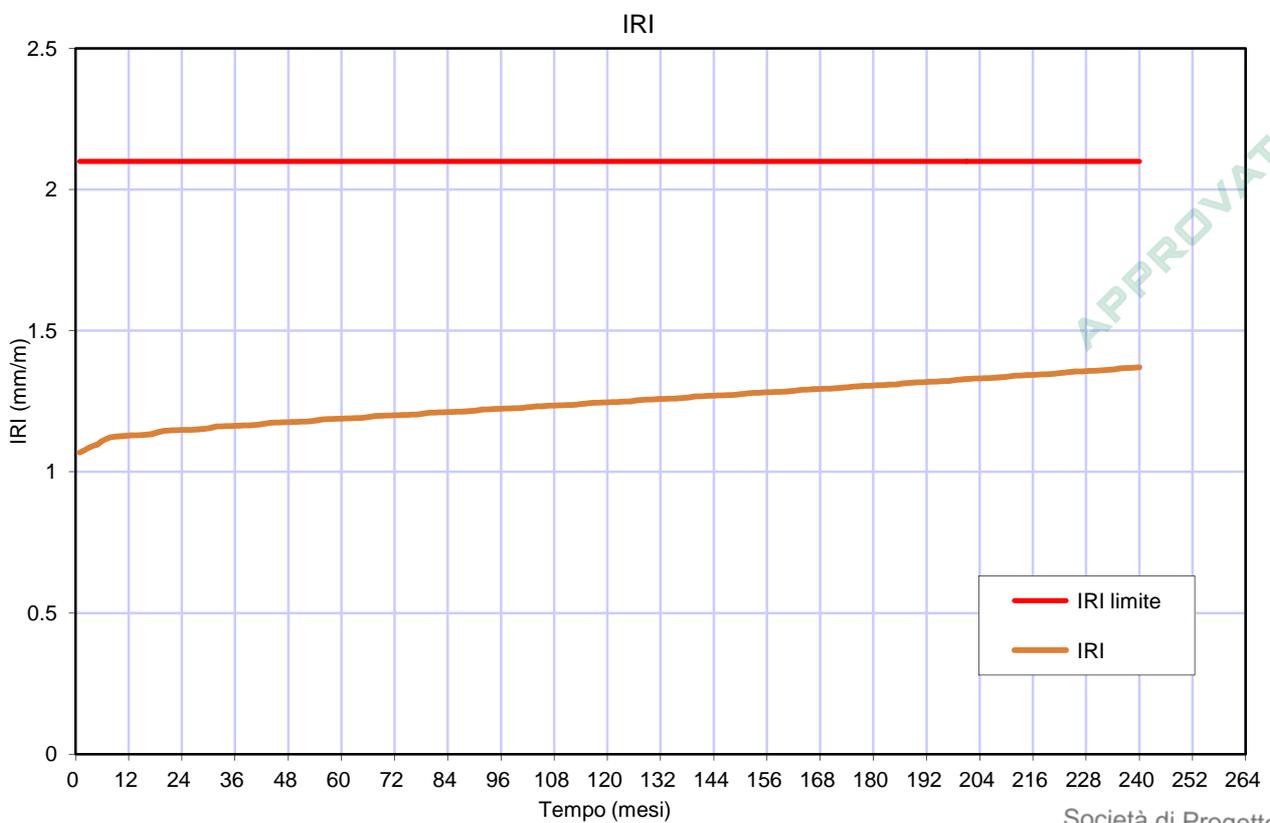
Traffico	16.8 milioni di VP
<b>INDICATORE DI PRESTAZIONE</b>	
Fessurazione di tipo "bottom-up" (%)	1.74% (limite 25%)
Fessurazione di tipo "top-down" (m/km)	$1.0 \times 10^{-2}$ (limite 200 m/km)
Danno per fatica (Bottom-up)	0.041 % (limite $5 \times 10^1$ %)
Profondità ormaie (mm)	3.95 (limite 15 mm)
IRI (mm/m)	1.37 (limite 2.1 mm/m)

L'andamento nel tempo dei diversi indici di prestazione è riportato in Figura 22, in Figura 23 e in Figura 24, riferite rispettivamente alle deformazioni permanenti (ormaie), alla regolarità superficiale (IRI) ed alla fessurazione Top-Down.

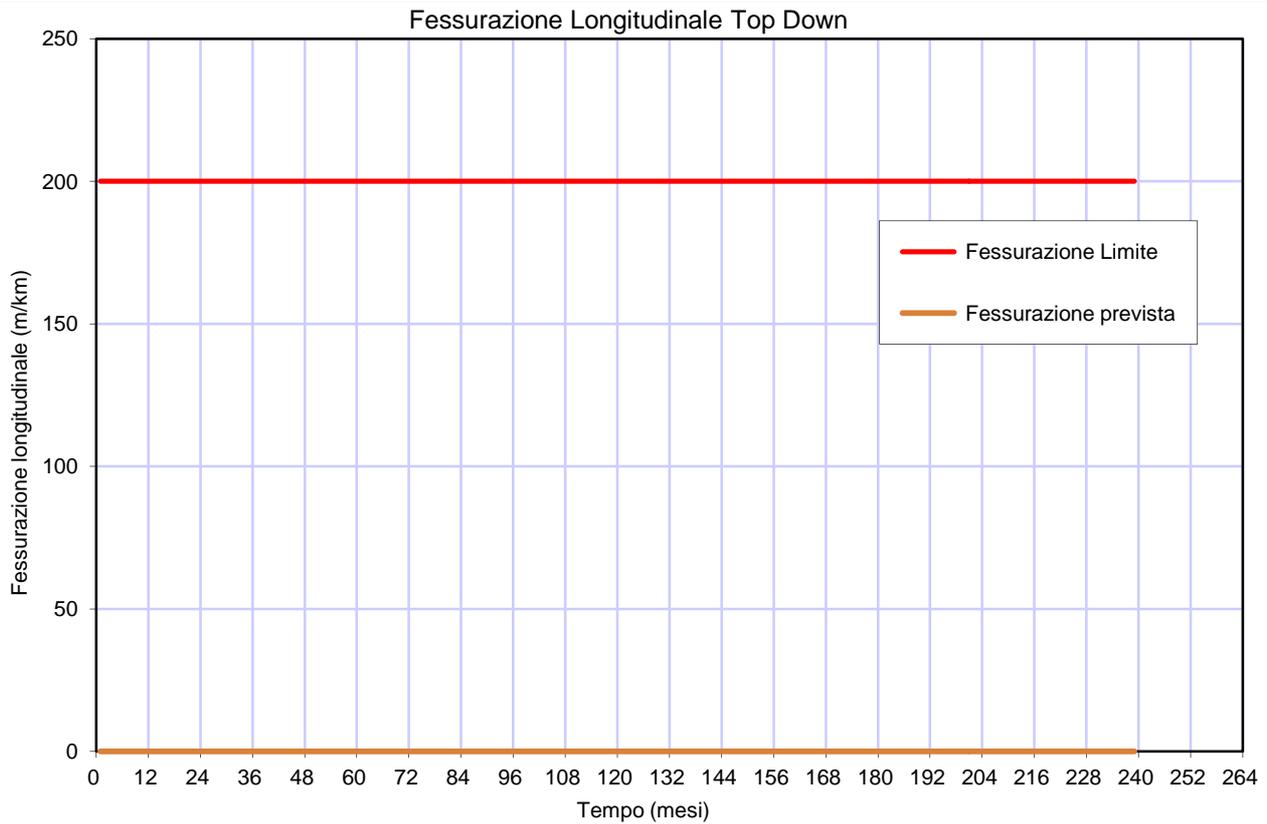
Tutti gli indici di valutazione della prestazione della pavimentazione sono al di sotto dei limiti ammissibili e quindi la struttura è idonea a sopportare il traffico di progetto per tutto il periodo di analisi.



**Figura 22 – Andamento della deformazione permanente nella pavimentazione degli svincoli**



**Figura 23 – Andamento della irregolarità longitudinale (indice IRI) nella pavimentazione degli svincoli**



**Figura 24 - Andamento della fessurazione longitudinale "top-down" nella pavimentazione di PE**

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA

## 7. PAVIMENTAZIONE SULLE RAMPE DI COLLEGAMENTO ALL'AUTOSTRADA A4

Per quanto concerne la realizzazione della pavimentazioni delle rampe di collegamento con l'A4, corrispondenti alla tratta D di Tabella 2 del par. 3.2, si prevede una pavimentazione semirigida confezionata con materiali ad alte prestazioni. Il volume di traffico che interessa queste rampe è quantificabile in circa 27 milioni di veicoli in 20 anni. Trattandosi di rampe di svincoli, questi 27 milioni di passaggi costituiscono anche un valore di progetto. Dal momento che il numero di passaggi è paragonabile a quello dell'Asse Principale (33.0 milioni) piuttosto che a quello degli svincoli (16.8 milioni), per questo tipo di pavimentazione si prevede una struttura molto simile a quella dell'Asse Principale ad eccezione dello strato di usura che non è in conglomerato bituminoso drenante bensì in splittmastix asphalt (SMA). La stratigrafia della pavimentazione prevista per queste rampe è riassunta in Tabella 33.

**Tabella 33 - Pavimentazioni previste per le rampe di collegamento con l'autostrada A4.**

Strato	Spessore	
	Usura in Conglomerato SMA	cm
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

Questa pavimentazione, verificata mediante il metodo M-E PDG con i dati di progetto esplicitati nel capitolo 3, ha fornito i risultati riportati in Tabella 34.

**Tabella 34 - Risultati delle verifiche effettuate con il metodo M-E PDG sulla pavimentazione delle rampe di collegamento con l'autostrada A4.**

Traffico	33.0 milioni di VP
<b>INDICATORI DI PRESTAZIONE</b>	
Fessurazione di tipo "bottom-up" (%)	1.45% (limite 25%)
Fessurazione di tipo "top-down" (m/km)	$4.3 \times 10^{-8}$ (limite 200 m/km)
Danno per fatica (Bottom-up)	$2.28 \times 10^{-7}$ (limite $5 \times 10^{-10}$ )
Profondità ormaie (mm)	0.53 (limite 15 mm)
IRI (mm/m)	1.24 (limite 2.1 mm/m)

Tutti gli indici di valutazione della prestazione della pavimentazione sono al di sotto dei limiti. In Figura 25 si riporta solo il grafico della deformazione permanente da cui si osserva come per la struttura prevista essa si mantenga al di sotto del limite per tutti i 20 anni di periodo di riferimento dell'analisi. La struttura è quindi idonea a sopportare il traffico di progetto per tutta la durata del periodo di analisi.

### Deformazione Permanente

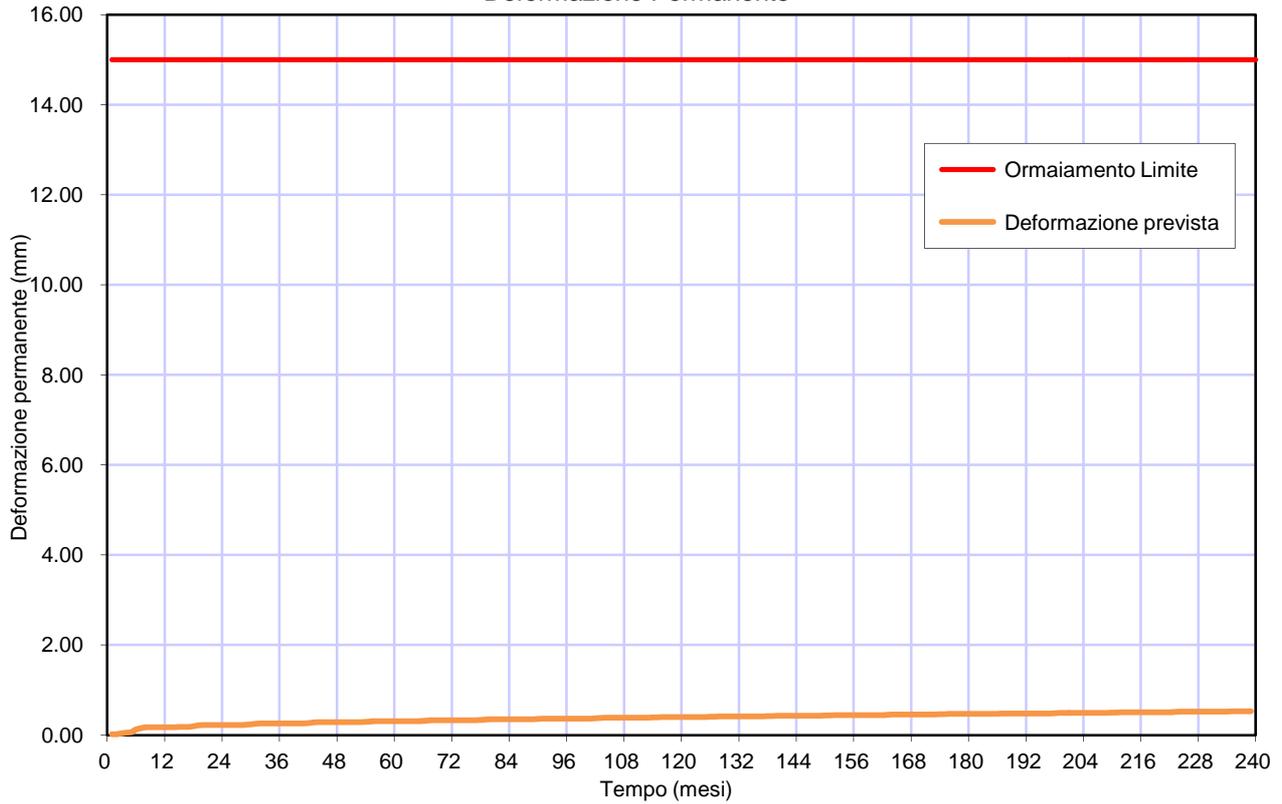


Figura 25 - Andamento della deformazione permanente nella pavimentazione delle rampe di collegamento con l'autostrada A4.

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA

	Doc. N. 60061-00002-A01.docx	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 01	FOGLIO 34 di 37
--	---------------------------------	--------------------	------------	--------------------

## 8. CONCLUSIONI

Le pavimentazioni analizzate portano alle seguenti conclusioni:

- la pavimentazioni previste come intervento di riqualifica in occasione degli interventi di risagomatura comunque necessari per fornire alla pavimentazione esistente la sagoma del nuova infrastruttura, sono idonee a sopportare i carichi del traffico veicolare previsto nei 20 anni di periodo di riferimento.
- la pavimentazione proposta per la nuova carreggiata nord in direzione Milano non manifesta nessun problema di eccessivo ormaimento, di carattere fessurativo o di regolarità superficiale.
- la pavimentazione prevista per gli svincoli presenta un basso livello fessurativo ed una regolarità superficiale entro i limiti per tutto il periodo di riferimento. Con la soluzione prevista di adottare 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 manutenzione per il superamento del limite di uno degli indicatori di prestazione considerati.
- la pavimentazione prevista per le rampe del collegamento con l'A4 presenta una struttura simile a quello dell'asse principale ad eccezione dello strato di usura che viene realizzato in conglomerato bituminoso chiuso tipo splittmastix asphalt (SMA). Tutti gli indicatori di prestazione si mantengono al di sotto dei limiti di ammissibilità.

Si rimanda alla fase di progettazione esecutiva ogni approfondimento riguardo alla tematica delle pavimentazioni.

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



**ALLEGATO: DIFFERENZE DI QUOTA TRA PROGETTO ED ESISTENTE NEL LOTTO 0A**

**Tabella 35 - Differenze tra QP e QE in carreggiata NORD dir. Milano**

Progressiva	Sezione	Differenze di quota QP-QE carreggiata NORD dir MI
839.760	47	9
859.749	48	10
879.736	49	7
899.722	50	5
919.706	51	12
939.689	52	20
959.670	53	20

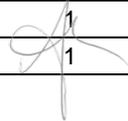
**Tabella 36 - Differenze tra QP e QE in carreggiata SUD dir. Brescia**

Progressiva	Sezione	Differenze di quota QP-QE carreggiata NORD dir BS	Progressiva	Sezione	Differenze di quota QP-QE carreggiata NORD dir BS
839.760	47	-5	1460.278	80	6
859.749	48	-6	1480.335	81	7
879.736	49	-7	1500.393	82	8
899.722	50	-8	1520.450	83	8
919.706	51	-4	1540.508	84	9
939.689	52	3	1560.565	85	10
959.670	53	12	1580.622	86	11
979.649	54	15	1600.680	87	11
999.628	55	13	1620.737	88	12
1019.624	56	10	1640.795	89	13
1039.625	57	-1	1656.917	90	14
1059.625	58	-3	1680.909	91	14
1079.616	59	-6	1700.967	92	15
1079.626	60	-8	1721.024	93	16
1099.627	61	-8	1741.072	94	16
1119.633	62	-10	1751.612	95	17
1139.642	63	-11	1762.543	96	16
1156.643	64	-11	1781.196	97	15
1156.653	65	-9	1801.254	98	13
1179.672	66	-9	1821.311	99	11
1199.693	67	0	1833.500	100	9
1219.717	68	0	1834.098	101	8
1239.746	69	0	1851.387	102	7
1259.778	70	0	1858.575	103	6
1279.814	71	0	1862.649	104	5
1299.853	72	0	1873.371	105	4
1319.897	73	0	1884.598	106	3
1339.943	74	0	1901.541	107	2
1359.994	75	0	1913.074	108	1
1380.048	76	0	1921.598	109	Società di Progetto Brebemj SpA
1400.106	77	0	1938.637	110	
1420.163	78	0	1939.838	111	0
1440.221	79	0	1961.713	112	0

Progressiva	Sezione	Differenze di quota QP-QE carreggiata NORD dir BS	Progressiva	Sezione	Differenze di quota QP-QE carreggiata NORD dir BS
1981.771	113	0	2722.332	163	6
1986.785	114	0	2747.332	164	6
1986.885	115	0	2767.332	165	5
2001.828	116	0	2782.332	166	5
2021.885	117	-1	2802.332	167	6
2041.941	118	-1	2822.332	168	6
2061.994	119	-1	2842.332	169	5
2082.042	120	-1	2862.332	170	6
2102.087	121	-1	2882.332	171	5
2122.128	122	0	2902.332	172	5
2132.137	123	0	2922.332	173	4
2132.147	124	0	2942.332	174	5
2142.165	125	0	2962.332	175	4
2162.199	126	0	2982.332	176	4
2182.228	127	0	3002.332	177	5
2202.254	128	0	3022.332	178	6
2222.277	129	0	3042.332	179	4
2229.273	130	0	3062.332	180	4
2229.283	131	0	3082.332	181	3
2242.295	132	0	3102.332	182	3
2257.296	133	0	3122.332	183	3
2257.307	134	0	3142.332	184	3
2262.310	135	0	3162.332	185	3
2282.321	136	0	3182.332	186	3
2302.328	137	0	3202.332	187	3
2314.321	138	1	3222.270	188	3
2314.331	139	1	3242.332	189	2
2322.332	140	1	3262.332	190	2
2329.232	141	1	3282.332	191	2
2329.242	142	1	3302.332	192	2
2342.332	143	1	3327.332	193	2
2362.332	144	1	3347.332	194	2
2382.332	145	0	3367.332	195	2
2402.332	146	-1	3387.332	196	2
2422.332	147	-1	3407.332	197	2
2422.342	148	-1	3427.332	198	2
2442.332	149	-1	3447.332	199	2
2462.332	150	0	3467.332	200	2
2482.332	151	1	3487.332	201	2
2502.332	152	-1	3507.332	202	2
2522.332	153	-1	3527.332	203	1
2542.332	154	3	3547.332	204	1
2562.332	155	1	3567.332	205	1
2587.332	156	3	3587.332	206	1
2602.332	157	1	3607.332	207	1
2622.332	158	2	3627.332	208	1
2642.332	159	4	3647.332	209	1
2662.332	160	4	3667.332	210	1
2682.332	161	6	3687.332	211	1
2702.332	162	5	3707.332	212	1

APPROVATO BDP

 Società di Progetto  
Brebem SpA



Progressiva	Sezione	Differenze di quota QP-QE carreggiata NORD dir BS	Progressiva	Sezione	Differenze di quota QP-QE carreggiata NORD dir BS
3722.332	213	1	4361.629	244	4
3742.332	214	1	4381.561	245	3
3767.332	215	1	4401.492	246	3
3787.332	216	1	4418.434	247	3
3817.332	217	0	4436.372	248	3
3842.332	218	0	4456.303	249	2
3862.270	219	0	4476.234	250	2
3887.332	220	0	4498.159	251	2
3907.332	221	0	4521.080	252	1
3922.332	222	0	4541.011	253	1
3942.332	223	0	4560.943	254	0
3962.332	224	0	4580.874	255	0
3982.332	225	0	4580.884	256	0
4002.332	226	0	4600.805	257	0
4022.329	227	-2	4620.737	258	-1
4042.322	228	0	4636.592	259	-1
4062.311	229	1	4636.602	260	-2
4082.295	230	0	4650.633	261	-2
4102.275	231	0	4650.643	262	-2
4122.251	232	0	4660.599	263	-2
4142.222	233	1	4680.530	264	-2
4162.189	234	1	4700.462	265	-3
4182.151	235	2	4720.393	266	-3
4202.109	236	2	4740.324	267	-2
4222.063	237	2	4760.256	268	-2
4242.012	238	3	4760.355	269	-2
4261.957	239	3	4785.170	270	-2
4281.898	240	3	4805.101	271	-2
4301.835	241	4	4820.000	272	-2
4321.767	242	4	4840.000	273	-2
4341.698	243	4			

APPROVATO BDP

