



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
delle Infrastrutture  
e dei Trasporti



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



Regione  
Lombardia



PROVINCIA  
DI BERGAMO



COMUNE DI BERGAMO

Finanziato dall'Unione Europea - Next Generation EU - Trasporto rapido di massa - Misura M2C2 - 4.2 del PNRR

SOGGETTO ATTUATORE DI PRIMO LIVELLO



COMUNE DI BERGAMO

COMUNE DI BERGAMO

Piazza Giacomo Matteotti, 27 - 24122 Bergamo (BG)

SOGGETTO ATTUATORE DI SECONDO LIVELLO



ATB Mobility S.p.A.

Via Gleno, 13 - 24125 Bergamo (BG)

## REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO

# PROGETTO DEFINITIVO

CUP: H11B21006730001 - CIG: 9562909A25

APPALTATORE



Vitali S.p.A.

via Lombardia 2/A

20068 -Peschiera Borromeo (MI)

Mandanti:



Artelia Sas

Rue Simone Veil 16  
93400 Saint-Ouen-sur-Seine  
(France)



Erregi Srl

Piazza del Viminale 14  
00184 Roma (RM)



Studio Carrara

Via T. Tasso 89  
24121 - Bergamo (BG)



Pide

Via Fosse 13  
36063 Marostica (VI)



Pini

Via Cavour 2  
22074 - Lomazzo (CO)

PROGETTISTI

Capogruppo/mandataria



Artelia Italia S.p.A.

Piazza G. Marconi 25

00144 - Roma (RM)

IL PROGETTISTA

Ing.ArchGiovanni Zalocco

IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE

Ing. Marco Gonella

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Ing. C. Rita Donato

C					
B					
A	Novembre 2023	Emissione	A.Flores	G.Conte	G.Zalocco
REV	DATA	TIPO DI EMISSIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO/AUTORIZZATO

## 05 TRACCIAMENTO

### 5.6 PAVIMENTAZIONE STRADALE

### RELAZIONE DI CALCOLO

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

SCALA:

DATA:

NOVEMBRE 2023

Commissa

B 2 3 D

Lotto

0 0

Fase

D

Tratto

0 0

Tipo doc.

R H

Disciplina / WBS 1-2


I F B R C 0

Progressivo

2 0 1

Revi

A

<p>Capogruppo/mandataria:</p>  <p>France &amp; Solutions Italia</p> <p>Mandanti:</p>  <p>France</p>  <p>PROEQU</p>  <p>ARCHITETTURA INgegNERIA</p>  <p>SMART ENGINEERING</p>	<p><b>REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b></p> <p><b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b></p>					
<p><b>5.8 PAVIMENTAZIONE STRADALE RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>B23D</b></p>	<p>LOTTO</p> <p><b>00 D 00</b></p>	<p>CODIFICA</p> <p><b>RH</b></p>	<p>DOCUMENTO</p> <p><b>IFBR00 201</b></p>	<p>REV.</p> <p><b>A</b></p>	<p>FOGLIO</p> <p><b>1 di 14</b></p>

## Indice

COMMESSA .....	1
1. PREMESSA .....	2
2. DATI DI INPUT .....	3
3. TRAFFICO DI PROGETTO .....	4
4. CALCOLO DEGLI ESAL'S .....	8
5. PORTANZA DEL SOTTOFONDO .....	8
6. SPESSORE STRATI DI PROGETTO .....	10
7. PACCHETTI UTILIZZATI.....	12

<p>Capogruppo/mandataria:</p>  <p>Mandanti:</p>    	<p align="center"><b>REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b></p> <p align="center"><b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b></p>					
<p><b>5.8 PAVIMENTAZIONE STRADALE RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<p>COMMESSA <b>B23D</b></p>	<p>LOTTO <b>00 D 00</b></p>	<p>CODIFICA <b>RH</b></p>	<p>DOCUMENTO <b>IFBR00 201</b></p>	<p>REV. <b>A</b></p>	<p>FOGLIO <b>2 di 14</b></p>

## 1. PREMESSA

Il presente documento costituisce parte integrante del progetto Definitivo *E-BRT BERGAMO* ed è relativo alla relazione di calcolo del pacchetto stradale da prevedere nei tratti fuori dall'attuale sede stradale, dove è previsto il passaggio dell' E-BRT. Nelle altre parti, dove la nuova piattaforma è di poco superiore a quella esistente, la nuova sovrastruttura avrà solo parte del pacchetto di calcolo. La presente relazione tecnica, evidenzia i passi concettuali e progettuali di una pavimentazione flessibile che si prevede per la sede del E-BRT di Bergamo.

Con il termine "*pavimentazione*" si intende la porzione di sede stradale che garantisce la transitabilità del traffico di progetto nel rispetto delle condizioni di sicurezza e comfort. Dal punto di vista tecnico, è indicata anche con il termine di "*s sovrastruttura*", poiché si tratta effettivamente di una vera e propria struttura soggetta a carichi di vario tipo e sollecitazioni piuttosto complesse. L'elaborato tratta il dimensionamento delle pavimentazioni ottenuto tramite procedura empirica dell'AASHTO.

Le pavimentazioni flessibili sono costituite da tre strati sovrapposti di aggregati lapidei legati a bitume (usura, binder, base) e da uno strato di materiale sciolto poggiante sul terreno di posa (fondazione). L'organizzazione a strati di queste pavimentazioni assicura la distribuzione dei carichi fino al terreno sottostante e fa sì che la sovrastruttura, anziché assorbire gli sforzi mediante resistenze flessionali, reagisca con la sua adattabilità deformativa alle azioni trasmesse dai carichi veicolari e alle reazioni del terreno sottostante.

Le pavimentazioni semirigide differiscono da quelle flessibili per l'interposizione di uno strato di materiale granulare con cemento (misto cementato) tra lo strato di base bitumato e la fondazione. Gli strati superficiali sono direttamente esposti alle azioni del traffico e degli agenti atmosferici, mentre la struttura portante ha la funzione di mantenere inalterata la configurazione del soprastante manto, sopportando e distribuendo sul sottofondo le sollecitazioni dovute al traffico. Lo strato superficiale è quello che costituisce il piano viabile destinato a far fronte alle azioni verticali e tangenziali indotte dai veicoli e a trasmetterle con intensità attenuata agli strati sottostanti. Viene realizzato con conglomerato bituminoso caratterizzato da notevole resistenza al taglio, generalmente è suddiviso in:

- Usura, posto a contatto con i pneumatici dei veicoli, deve garantire delle ottime condizioni di aderenza ed assicurare adeguate caratteristiche di regolarità
- Binder, (strato di collegamento) destinato a integrare le funzioni portanti dello strato superiore e ad assicurare la collaborazione con gli strati sottostanti.

<p>Capogruppo/mandataria:</p>  <p>Mandanti:</p>    	<p><b>REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b></p> <p><b>- PROGETTO DEFINITIVO -</b></p>					
<p><b>5.8 PAVIMENTAZIONE STRADALE RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<p>COMMESSA <b>B23D</b></p>	<p>LOTTO <b>00 D 00</b></p>	<p>CODIFICA <b>RH</b></p>	<p>DOCUMENTO <b>IFBR00 201</b></p>	<p>REV. <b>A</b></p>	<p>FOGLIO <b>3 di 14</b></p>

Lo strato di Base ha la funzione principale di ripartire i carichi sul sottostante strato di fondazione di minore qualità portante e deve possedere un'elevata resistenza ai fenomeni di fatica e all'ormaiamento.

Lo strato di Fondazione è la parte a contatto con il sottofondo e ha la funzione di ripartire i carichi e rendere la sollecitazione compatibile con il sottostante strato, ma ha anche la funzione di rendere la superficie regolare per stendere lo strato superiore di base.

## 2. DATI DI INPUT

L'obiettivo che ci si prefigge nella progettazione della sovrastruttura è di assicurare attraverso normali operazioni di manutenzione un livello minimo di funzionalità, per un prefissato periodo di tempo; poiché:

- le caratteristiche dei materiali utilizzati non si mantengono costanti nel tempo,
- i carichi sono dispersi per posizione ed entità,
- il fenomeno stesso della rottura per fatica risulta essere un fenomeno aleatorio,

l'obiettivo deve essere definito in termini probabilistici.

Il dimensionamento di una sovrastruttura stradale dipende dalla composizione e dall'entità del traffico, valutato tra l'entrata in esercizio e il termine del periodo di progetto dell'infrastruttura.

Il *Periodo di riferimento per il progetto* della pavimentazione, entro il quale deve mantenere adeguati livelli di prestazione senza interventi programmati di manutenzione, è pari a 20 anni.

Il *PSI (Present Serviceability Index)* rappresenta una misura del grado di ammaloramento della sovrastruttura, in termini di sicurezza e comfort.

Il livello di funzionalità finale  $PSI_f$  ritenuto generalmente accettabile per la pavimentazione flessibile, prima che si rendano necessari radicali interventi sulla pavimentazione è 2.5 Utilizzando un metodo sperimentale, occorre eseguire alcune considerazioni di carattere probabilistico, introducendo una variabile come *l'Affidabilità (%)*, la quale rappresenta la probabilità che il numero di passaggi di assi singoli equivalenti che la pavimentazione possa sopportare, prima di raggiungere un prefissato grado di ammaloramento finale, sia maggiore o uguale al numero di passaggi che realmente si verificano sulla corsia più carica durante il periodo di progetto.

<p>Capogruppo/mandataria:</p>  <p>Mandanti:</p>    	<p><b>REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b></p> <p><b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b></p>					
<p><b>5.8 PAVIMENTAZIONE STRADALE</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>B23D</b></p>	<p>LOTTO</p> <p><b>00 D 00</b></p>	<p>CODIFICA</p> <p><b>RH</b></p>	<p>DOCUMENTO</p> <p><b>IFBR00 201</b></p>	<p>REV.</p> <p><b>A</b></p>	<p>FOGLIO</p> <p><b>4 di 14</b></p>

L’Affidabilità comprende sia l’errore che si può commettere sulla valutazione del traffico sia la variabilità delle prestazioni della pavimentazione. I valori assunti dipendono dal tipo di strada e dalla sua ubicazione, in relazione alla strada in esame risulta pari a:

<b>AFFIDABILITÀ</b>	<b>85</b>
<b>DEVIAZIONE STANDARD</b>	<b>0.45</b>

### 3. TRAFFICO DI PROGETTO

La SP 525 , strada lungo la quale si sviluppa il BRT e con le dimensioni attuali, è una strada classificata in base al Dm11/2001 come assimilabile a una Strada locale extraurbana F2.

Dallo studio del traffico estrapolati dal PFTE non ce’ un confronto del traffico sulla Sp525 prima e dopo la realizzazione del progetto.

Dal Pums di Bergamo, scenario 2030 si dovrebbero avere lungo la Sp 525 tra 500 a 1.000 veicoli /Hdp cioè  $800 \times 24 \text{ ore} = 19.200 \text{ veicoli/gg}$  pari a circa 7.0 milioni/anno.

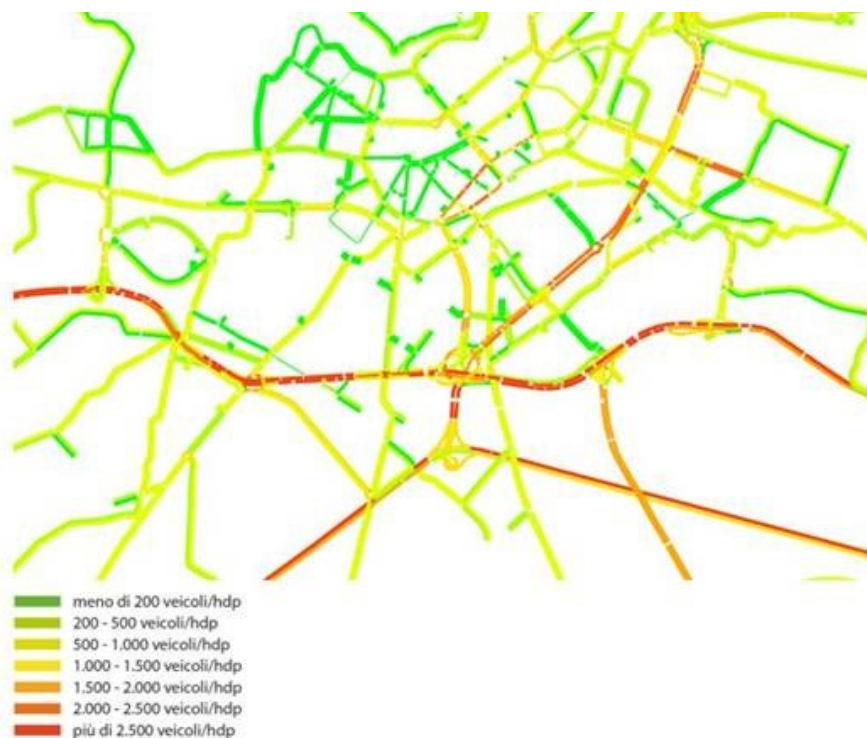



Figura 7-7: Flussogramma della simulazione riferita allo Scenario di Piano (2030) – Bergamo

<p>Capogruppo/mandataria:</p>  <p>Mandanti:</p>    	<p><b>REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b></p> <p><b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b></p>					
<p><b>5.8 PAVIMENTAZIONE STRADALE</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<p>COMMESSA <b>B23D</b></p>	<p>LOTTO <b>00 D 00</b></p>	<p>CODIFICA <b>RH</b></p>	<p>DOCUMENTO <b>IFBR00 201</b></p>	<p>REV. <b>A</b></p>	<p>FOGLIO <b>5 di 14</b></p>

Confrontato anche con i dati risalenti pero' al 2010 nel tratto di Dalmine si ha sulla Sp525 un TGM 23.625 cioè circa 8.6 Milioni passaggi /anno quindi tra 4 e 10 milioni.

Tabella A - SEZIONI DI RILEVAMENTO FISSE

STRADA	PROGRESSIVA CHILOMETRICA	COMUNE	TGM (Traffico giornaliero medio)				NOTE
			2005		2010		
			Veicoli leggeri Mezzi pesanti > ml 7,50	TOTALE	Veicoli leggeri Mezzi pesanti >ml 7,50	TOTALE	
SP 170	Km 3+865	Suisio	16.519 1.392	17.911	15.904 1.126	17.030	
SP 184	Km 2+176	Brembate			18.629 1.840	20.469	
SP 185	Km 1+175	Arzago d'Adda	14.342 1.427	15.769	14.195 1.591	15.786	
SP ex SS 342	Km 6+200	Curno	27.986 1.353	29.339	27.802 706	28.508	
SP ex SS 342	Km 20+160	Cisano Bergamasco	15.133 1.312	16.445	12.839 964	13.803	Aggiornata con postazione mobile
SP ex SS 469	Km 20+910	Predore			7.961 281	8.242	
SP ex SS 470	Km 6+815	Almè	24.243 524	24.767	29.299 486	29.785	
SP ex SS 470	Km 22+343	San Pellegrino Terme	8.097 445	8.542	8.911 242	9.153	
SP ex SS 470 dir.	km 2+577	Paladina	24.794 4.784	29.578	30.538 1.279	31.817	Aggiornata con postazione mobile
SP ex SS 472	Km 7+620	Arzago d'Adda	6.936 324	7.260	7.913 381	8.294	Aggiornata con postazione mobile
SP ex SS 498	Km 16+142	Martinengo			17.770 809	18.579	
SP ex SS 525	Km 6+528	Dalmine	25.347 1.717	27.064	22.400 1.225	23.625	Aggiornata con postazione mobile
SP ex SS 525	Km 15+286	Canonica d'Adda	16.179 873	17.052	14.605 1.237	15.842	Aggiornata con postazione mobile

Nell'analisi del traffico devono tenersi in considerazione solo i veicoli pesanti, ossia quei veicoli che scaricano per asse più di 3 tonnellate, ciò significa supporre che i veicoli leggeri al loro passaggio non arrechino alcun danno alla sovrastruttura. Il traffico giornaliero medio *TGM* previsto di circa 23.600 con una percentuale di *Veicoli Commerciali* pari a 5.6 % e considerando un *tasso di incremento annuale del traffico* del 1 % (tab 1)

TIPOLOGIA STRADA	Strada extraurbana secondaria e locale
LEGGE DI INCREMENTO DEL TRAFFICO	Costante
TGM	23.600
PERCENTUALE DEI VEICOLI COMMERCIALI	5.6 %
TASSO INCREMENTO ANNUALE DEL TRAFFICO	1 %
PERIODO DI PROGETTO	20
TRAFFICO DI PROGETTO (365 giorni lavorativi annui)	9.647.680



<p>Capogruppo/mandataria:</p>  <p>Mandanti:</p>    	<p><b>REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b></p> <p><b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b></p>					
<p><b>5.8 PAVIMENTAZIONE STRADALE</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>B23D</b></p>	<p>LOTTO</p> <p><b>00 D 00</b></p>	<p>CODIFICA</p> <p><b>RH</b></p>	<p>DOCUMENTO</p> <p><b>IFBR00 201</b></p>	<p>REV.</p> <p><b>A</b></p>	<p>FOGLIO</p> <p><b>6 di 14</b></p>

<p><b>TRAFFICO IN NUMERO DI VEICOLI COMMERCIALI SULLA</b> <b>CORSIA PIÙ TRAFFICATA</b></p>	<p><b>4.823.840</b></p>
<p><b>CLASSE DI TRAFFICO</b></p>	<p><b>M (medio)</b></p>

La classificazione dei veicoli è in genere effettuata in funzione del numero di assi e del peso per asse. La procedura di classificazione più utilizzata è standardizzata dalla norma ASTM E1572-93 per la classificazione dei veicoli partendo dal numero e dalla interdistanza degli assi. Riferendosi ai veicoli commerciali (massa complessiva, corrispondente al peso totale a terra, maggiore o uguale a 3 t) il catalogo italiano delle pavimentazioni stradali adotta la seguente classificazione:

Tipo di veicolo	N° Assi	Distribuzione dei carichi per asse in KN			
1) autocarri leggeri	2	↓10	↓20		
2) " "	"	↓15	↓30		
3) autocarri medi e pesanti	"	↓40	↓80		
4) " " "	"	↓50	↓110		
5) autocarri pesanti	3	↓40	↓80	↓80	
6) " "	"	↓60	↓100	↓100	
7) autotreni e autoarticolati	4	↓40	↓90	↓80	↓80
8) " "	"	↓60	↓100	↓100	↓100
9) " "	5	↓40	↓80	↓80	↓80
10) " "	"	↓60	↓90	↓90	↓100
11) " "	"	↓40	↓100	↓80	↓80
12) " "	"	↓60	↓110	↓90	↓90
13) mezzi d'opera	"	↓50	↓120	↓130	↓130
14) autobus	2	↓40	↓80		
15) "	2	↓60	↓100		
16) "	2	↓50	↓80		

associando ad essa opportuni spettri di traffico per tipologia di strada, per questo progetto è stata scelta la seguente tipologia di strada: **Strada extraurbana secondaria e locale**

<p>Capogruppo/mandataria:</p>  <p>Mandanti:</p>    	<p><b>REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b></p> <p><b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b></p>					
<p><b>5.8 PAVIMENTAZIONE STRADALE</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<p>COMMESSA <b>B23D</b></p>	<p>LOTTO <b>00 D 00</b></p>	<p>CODIFICA <b>RH</b></p>	<p>DOCUMENTO <b>IFBR00 201</b></p>	<p>REV. <b>A</b></p>	<p>FOGLIO <b>7 di 14</b></p>

TIPO DI STRADA	TIPO DI VEICOLO															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Autostrada extraurbana	12,2	0	24,4	14,6	2,4	12,2	2,4	4,9	2,4	4,9	2,4	4,9	0,1	0	0	12,2
Autostrada urbana	18,2	18,2	16,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	18,2	27,3	0
Strada extraurb. Princ. e second. a forte traffico	0	13,1	39,5	10,5	7,9	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	0,5	0	0	10,5
Strada extraurbana secondaria ordinaria	0	0	58,8	29,4	0	5,9	0	2,8	0	0	0	0	0,2	0	0	2,9
Strada extraurbana secondaria-turistica	24,5	0	40,8	16,3	0	4,15	0	2	0	0	0	0	0,05	0	0	12,2
Strada urbana di scorrimento	18,2	18,2	16,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	18,2	27,3	0
Strade urbane di quartiere e locali	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
Corsie preferenziali	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	53	0

Il traffico è stato convertito in un numero di passaggi di assi standard equivalenti impiegando il criterio suggerito dall'AASHTO.



<p>Capogruppo/mandataria:</p>  <p>Mandanti:</p>    	<p><b>REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b></p> <p><b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b></p>					
<p><b>5.8 PAVIMENTAZIONE STRADALE RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<p>COMMESSA <b>B23D</b></p>	<p>LOTTO <b>00 D 00</b></p>	<p>CODIFICA <b>RH</b></p>	<p>DOCUMENTO <b>IFBR00 201</b></p>	<p>REV. <b>A</b></p>	<p>FOGLIO <b>8 di 14</b></p>

## 4. CALCOLO DEGLI ESAL'S

L'incidenza del traffico viene quasi sempre considerata mediante una semplificata ed ampiamente accettata procedura basata sull'utilizzo di fattori di equivalenza che permettono di convertire ogni gruppo di carico in un singolo asse equivalente. La *Metodologia degli assi equivalenti (ESAL)* permette di ricondurre le diverse tipologie di assi reali transitanti sulla strada ad un asse di riferimento da 80 KN (8,2 t); conseguentemente all'utilizzo di opportuni coefficienti di equivalenza, è possibile valutare il danno a fatica prodotto dal numero di passaggi dei carichi reali. Il numero di  $ESAL_{tot}$  ottenuto risulta essere pari a 20.251.605 passaggi.

Infine introducendo due ulteriori parametri  $D_i$  e  $D_d$ , che derivano dalle seguenti considerazioni:

- $D_d$  è funzione della distribuzione del traffico nelle due direzioni.  
Nel caso del progetto in esame si è scelto il valore pari a  $D_d = 0.5$
- $D_i$  è funzione della distribuzione del traffico tra le corsie nelle due direzioni. Indubbiamente la condizione di traffico più gravosa si manifesterà nella corsia più lenta, adibita al transito dei veicoli commerciali:

NUMERO DI CORSIE NELLE DUE DIREZIONI	$D_L$
1	1

Il numero di assi standard da 80 KN equivalenti al traffico sulla corsia più caricata della strada in progetto è:

$$ESAL_{progetto} = ESAL_{tot} * D_d * D_i = 10.125.802 \text{ Passaggi}$$

## 5. PORTANZA DEL SOTTOFONDO

Il *sottofondo* è quella parte di terreno posto al di sotto della fondazione della sovrastruttura, il cui stato tensionale può ancora essere causa di cedimenti. Il parametro che caratterizza il sottofondo è la *portanza*, o capacità portante, ossia il carico massimo sopportabile, in determinate condizioni, che

<p>Capogruppo/mandataria:</p>  <p>Mandanti:</p>    	<p><b>REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b></p> <p><b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b></p>					
<p><b>5.8 PAVIMENTAZIONE STRADALE</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<p>COMMESSA <b>B23D</b></p>	<p>LOTTO <b>00 D 00</b></p>	<p>CODIFICA <b>RH</b></p>	<p>DOCUMENTO <b>IFBR00 201</b></p>	<p>REV. <b>A</b></p>	<p>FOGLIO <b>9 di 14</b></p>

realizza un prestabilito cedimento. Il piano di posa della sovrastruttura stradale, sia nei tratti in trincea che in quelli in rilevato, dovrà garantire un valore minimo della portanza del sottofondo, individuato attraverso il California Bearing Ratio, C.B.R. = 9%.

La capacità portante della sovrastruttura è rappresentata dallo *Structural Number (SN)*. L'AASHTO fornisce una relazione che tiene conto delle caratteristiche strutturali dei diversi strati, consentendo di ripartire tra di essi la capacità portante complessiva.

$$SN = a_1 h_1 + a_2 m_2 h_2 + a_3 m_3 h_3$$



Dove:

- $h_i$  = spessore dello strato i-esimo ( valori incogniti da determinare );
- $a_i$  = coefficienti strutturali che indicano l'aliquota di resistenza fornita dal materiale costituente lo strato;
- $m_i$  = coefficiente che tiene conto delle condizioni del drenaggio.

Il termine:

- $a_1 h_1$  rappresenta la capacità portante fornita dagli strati superficiali → usura + binder,
- $a_2 h_2 m_2$  rappresenta la capacità portante dello strato di base,
- $a_3 h_3 m_3$  rappresenta la capacità portante della fondazione.

SN = 3.94			
STRATO	TIPO MATERIALE	METODO DI CALCOLO	COEFFICIENTE STRUTTURALE
USURA	Conglomerato bituminoso	Modulo resiliente	$a_1 = 0.481$
BINDER	Conglomerato bituminoso	Modulo resiliente	
BASE	Conglomerato bituminoso	Stabilita' Marshall	$a_2 = 0.276$
FONDAZIONE	Misto cementato	Modulo resiliente fondazione	$a_3 = 0.214$

<p>Capogruppo/mandataria:</p>  <p>France &amp; Solutions Italia</p> <p>Mandanti:</p>  <p>France</p>  <p>PRODIGE</p>  <p>PRODIGE</p>  <p>PRODIGE</p> <p>pide</p>  <p>SMART ENGINEERING</p> <p>studioCARRARA</p> <p>ARCHITETTURA INGENIERIA</p> <p>Giuseppe Carrara</p>	<p><b>REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b></p> <p><b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b></p>					
<p><b>5.8 PAVIMENTAZIONE STRADALE</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>B23D</b></p>	<p>LOTTO</p> <p><b>00 D 00</b></p>	<p>CODIFICA</p> <p><b>RH</b></p>	<p>DOCUMENTO</p> <p><b>IFBR00 201</b></p>	<p>REV.</p> <p><b>A</b></p>	<p>FOGLIO</p> <p><b>10 di 14</b></p>

I coefficienti di drenaggio  $m_i$  tengono conto dell'effetto dell'acqua sulle proprietà dei materiali e quindi sulla capacità portante della pavimentazione, sono funzione della qualità del drenaggio dei materiali e della percentuale di tempo in cui la pavimentazione è esposta ad un grado d'umidità prossimo alla saturazione.

Il coefficiente di drenaggio viene considerato solo per il misto granulare sciolto dello strato di fondazione e/o base:  $m_3 = 1$

## 6. SPESSORE STRATI DI PROGETTO

La pavimentazione progettata è tenuta ad assolvere le seguenti funzioni:

- Ripartire sul sottofondo le azioni dei veicoli in modo che siano compatibili con le caratteristiche di portanza,
- Mantenimento della regolarità e dell'aderenza del piano viabile affinché il moto avvenga in condizioni di comfort e sicurezza
- Protezione degli strati sottostanti dall'azione degli agenti atmosferici

Il dimensionamento ottenuto dei vari strati risulta essere:

STRATO	MATERIALE	SPESSORE (cm)
USURA	Conglomerato bituminoso	4
BINDER	Conglomerato bituminoso	5
BASE	Conglomerato bituminoso	10
FONDAZIONE	Misto cementato	20

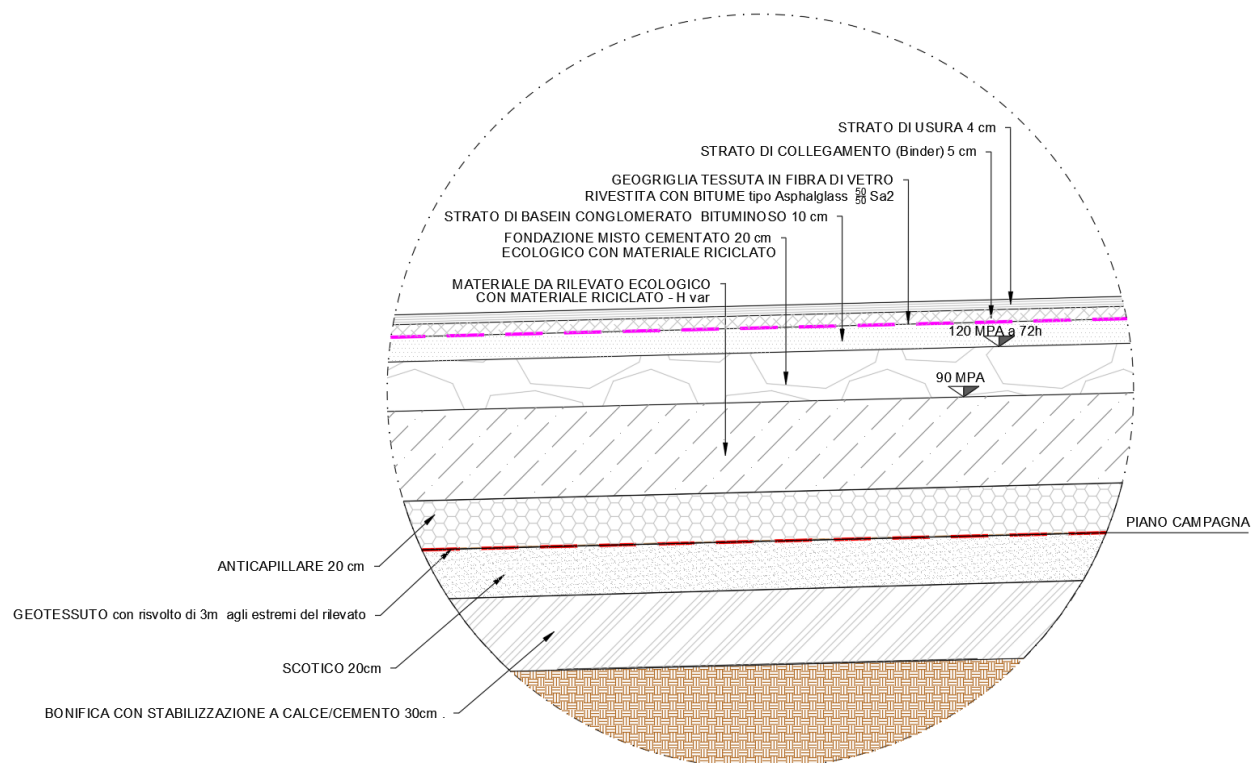
<div>Capogruppo/mandataria:</div> <div><div>Passion &amp; Solutions Italia</div></div> <div><div>Mandanti:</div><div><div>Pass &amp; Solutions France</div></div><div><div>INGEGNERIA DI ARCHITETTURA</div></div><div><div>progettazione integrata design</div></div><div><div>SMART ENGINEERING</div></div><div><div>ARCHITETTURA INGENIERIA design bulles</div></div></div>	<div>REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</div> <div>-PROGETTO DEFINITIVO-</div>					
<div>5.8 PAVIMENTAZIONE STRADALE</div> <div>RELAZIONE DI CALCOLO</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	B23D	00 D 00	RH	IFBR00 201	A	11 di 14

## La geogriglia prebitumata

Tra lo strato di base e il Binder si prevede, nei tratti di nuova realizzazione, una geogriglia tessuta ad elevato modulo, realizzata in fibra di vetro ricoperta da un film di bitume polimero, ideale per il rinforzo delle pavimentazioni in asfalto.

La geogriglia permette di incrementare la resistenza e la vita utile del manto stradale rispetto alle sollecitazioni e alle delaminazioni locali, ormaie e fessure, causate dai mezzi preservandone l'integrità nel tempo. La fibra di vetro di cui è composta le permette di sopportare la temperatura alla quale viene steso il bitume.

Si riduce inoltre la propagazione delle fessurazioni dall'asfalto vecchio a quello nuovo steso sopra e diminuisce gli stati di coazione interni causati dagli sbalzi di temperatura



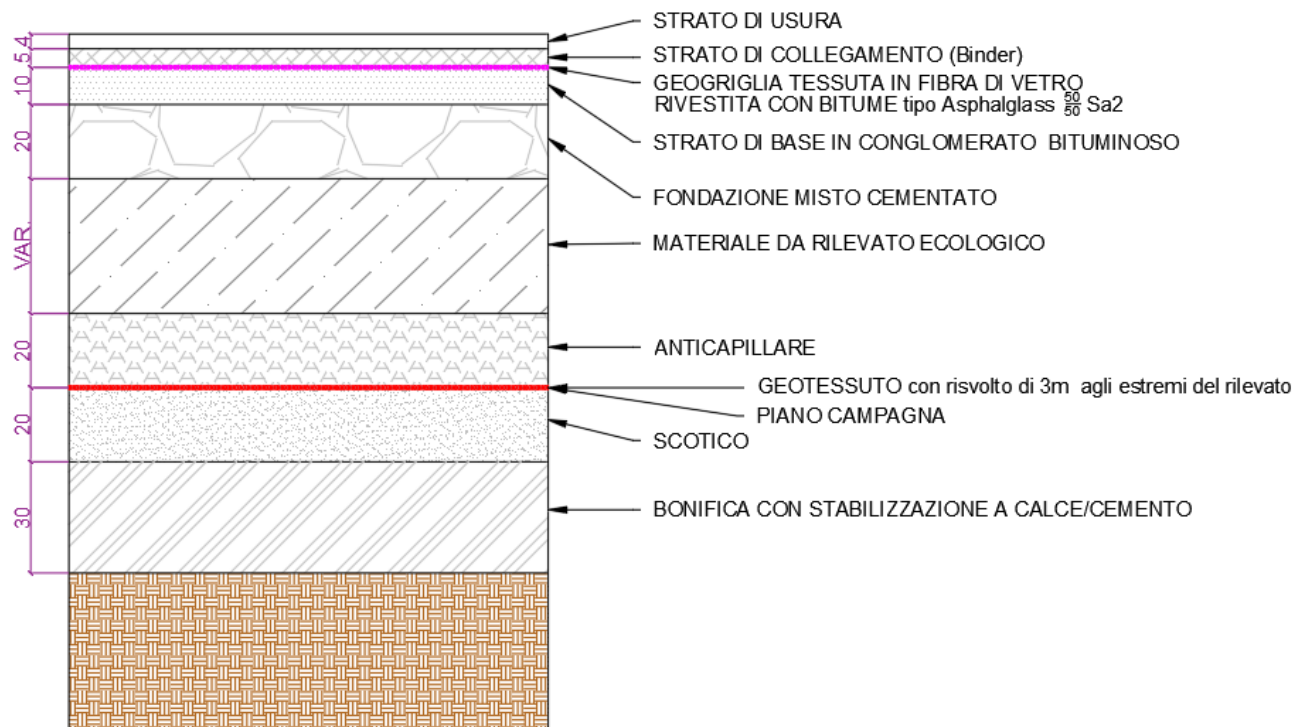
<p>Capogruppo/mandataria:</p> <p><b>ARTELIA</b> Progetti &amp; Soluzioni Italia</p> <p>Mandanti:</p> <p><b>ARTELIA</b> Progetti &amp; Soluzioni France</p> <p><b>PRODIGE</b> Studio di Progettazione Progettazione di Infrastrutture</p> <p><b>pide</b></p> <p><b>OPINI</b> SMART ENGINEERING</p> <p><b>studioCARRARA</b> ARCHITETTURA INFORMATICA Giancarlo Carrara</p>	<p><b>REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b></p> <p><b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b></p>					
<p><b>5.8 PAVIMENTAZIONE STRADALE RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p><b>B23D</b></p>	<p>LOTTO</p> <p><b>00 D 00</b></p>	<p>CODIFICA</p> <p><b>RH</b></p>	<p>DOCUMENTO</p> <p><b>IFBR00 201</b></p>	<p>REV.</p> <p><b>A</b></p>	<p>FOGLIO</p> <p><b>12 di 14</b></p>

## 7. PACCHETTI UTILIZZATI

Il particolare tipo di progetto che prevede un tracciato in gran parte su sede stradale esistente e tratti, in particolare quello della Roggia, dove la piattaforma stradale esistente deve essere ampliata.

Per questo motivo sulla base del dimensionamento precedente, sono stati individuati 4 tipi di intervento sulla piattaforma stradale in funzione della presenza o meno di un pavimentazione esistente .

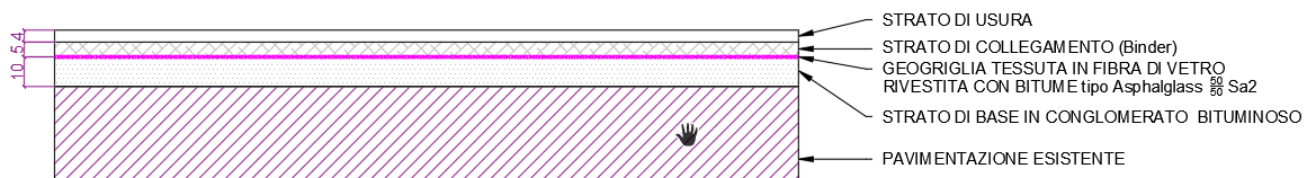
### Pavimentazione tipo 1



Questa pavimentazione tipo è necessaria nei tratti dove non è prevista una precedente pavimentazione, come per alcune parti delle nuove rotatorie, per la variante di Via Roma, nel tratto tra rotatoria e parcheggio, nel nuovo deposito di via per Levate e nel piazzale esterno nel Deposito di Gleno. L'utilizzo della Geogriglia sotto il binder è fondamentale per la ripartizione delle tensioni e limitare le fessurazioni oltre a garantire un miglior ammorsamento negli ampliamenti della piattaforma.

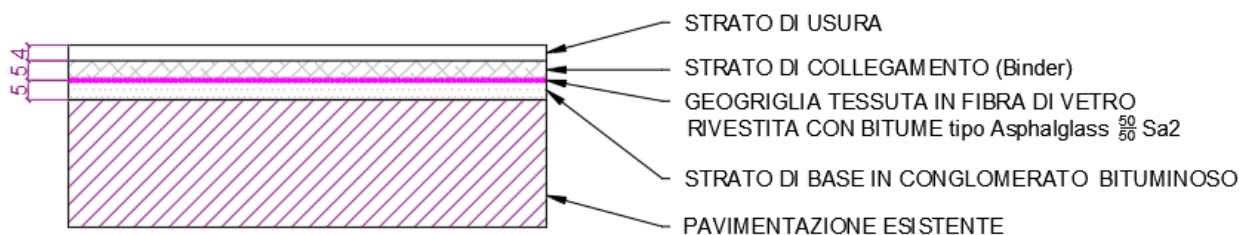
<p>Capogruppo/mandataria:</p>  <p>Mandanti:</p>    	<p><b>REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b></p> <p><b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b></p>					
<p><b>5.8 PAVIMENTAZIONE STRADALE</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b></p>	<p>COMMESSA <b>B23D</b></p>	<p>LOTTO <b>00 D 00</b></p>	<p>CODIFICA <b>RH</b></p>	<p>DOCUMENTO <b>IFBR00 201</b></p>	<p>REV. <b>A</b></p>	<p>FOGLIO <b>13 di 14</b></p>

## Pavimentazione tipo 2



Il tratto di ampliamento nel tratto della Roggia, avverrà con il canale già intubato con il riempimento con livellamento a quota strada attuale e con materiali da rilevato e superiore con fondazione in misto cementato. Una volata stabilizzata la base si realizzerà l'ampliamento della sede stradale, con la pavimentazione tipo 2, realizzata con la posa dello strato base, geogriglia, binder e usura.

## Pavimentazione tipo 3



Questa pavimentazione è prevista nei tratti dove si è in presenza di pavimentazione esistente ed è necessario modificare l'altezza. Previa rullatura della pavimentazione esistente, si procede alla posa dello strato di base, binder ed usura.

## Pavimentazione tipo 4



E' prevista nei tratti dove si deve uniformare la piattaforma, rullando l'esistente e posando uno strato di usura di 4 cm.