

AUTOSTRADA VALDASTICO

A31 NORD

1° LOTTO

Piovene Rocchette - Valle dell'Astico

PROGETTO DEFINITIVO

CUP G21B1 30006 60005
WBS B25.A31N.L1
COMMESSA J16L1

COMMITTENTE



S.p.A. AUTOSTRADA BRESCIA VERONA VICENZA PADOVA
Area Costruzioni Autostradali

CAPO COMMESSA
PER LA PROGETTAZIONE
Dott. Ing. Gabriella Costantini

PRESTATORE DI SERVIZI:
CONSORZIO RAETIA



RAPPRESENTANTE: Dott. Ing. Alberto Scotti

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE
TRA LE PROIEZIONI SPECIALISTICHE:
Technital S.p.A. - Dott. Ing. Andrea Renso



PROGETTAZIONE:



ELABORATO: **PROGETTO STRADALE**
ASSE PRINCIPALE
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE

Progressivo Rev.
06 01 01 002 02

Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione	SCALA: -
00	MARZO 2017	PRIMA EMISSIONE	TECHNITAL - M.MARINELLI	M.MARINELLI	A.RENSO	NOME FILE: J16L1_06_01_01_002_0101_OPD_02.doc
01	GIUGNO 2017	REVISIONE PER VERIFICA	TECHNITAL - M.MARINELLI	M.MARINELLI	A.RENSO	CM. PROGR. FG. LV. REV.
02	LUGLIO 2017	RECEPIMENTO OSSERVAZIONI	TECHNITAL - M.MARINELLI	M.MARINELLI	A.RENSO	J16L1_06_01_01_002_0101_OPD_02

**AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE**

Committente:



Progettazione:

CONSORZIO RAETIA



PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE

INDICE

1	PREMESSA	2
2	CARATTERISTICHE DEGLI STRATI	3
3	NORMATIVA	10
4	ANALISI DEL TRAFFICO E DEI CARICHI	10
5	ANALISI SOVRASTRUTTURA	13
	5.1 METODO SEMPIEMPIRICO: AASHO INTERIM GUIDE	13
	5.2 METODO RAZIONALE	17
	<i>5.2.1 Materiali</i>	<i>18</i>
	<i>5.2.2 Analisi tenso-deformativa</i>	<i>19</i>
	<i>5.2.3 Verifica a Fatica</i>	<i>21</i>
	5.3 Conclusioni calcolo sovrastruttura	24
6	ALLEGATO 1	25

1 PREMESSA

Nella presente relazione si riporta il dimensionamento della sovrastruttura stradale da impiegare nel progetto del tronco Trento - Valdastico - Piovene Rocchette dell'autostrada A31 Trento - Rovigo.

La soluzione di tipo semirigida che tiene conto delle buone caratteristiche del terreno di sottofondo, prevede i seguenti strati (figura 1):

- usura in conglomerato bituminoso drenante: 4 cm;
- collegamento (binder) in conglomerato bituminoso: 6 cm;
- base in conglomerato bituminoso: 22 cm;
- base in misto cementato: 25 cm.

Semirigida - spessore cm 57

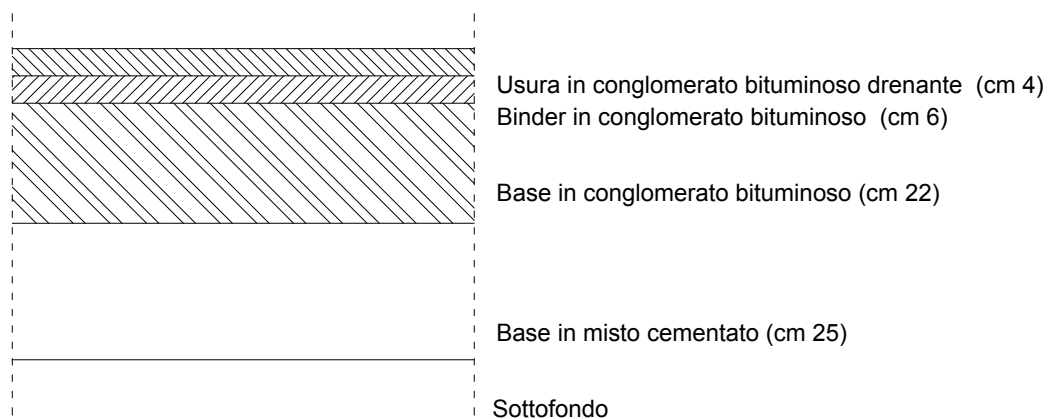


Figura 1: Composizione pacchetto di pavimentazione

2 CARATTERISTICHE DEGLI STRATI

Strato di usura e strato di binder

In analogia con quanto previsto nel progetto preliminare, per lo strato di usura e per quello di binder sono stati adottati i conglomerati bituminosi tiepidi (Warm Mix Asphalt).

I conglomerati bituminosi “tiepidi” o “a bassa energia” consentono di ridurre le temperature di produzione e di stesa delle tradizionali tecniche a caldo, dando luogo ad un sensibile risparmio energetico e ad un cospicuo abbattimento delle emissioni, senza compromettere la qualità finale, con evidenti vantaggi in termini ambientali e di condizioni di lavoro (figure 2÷5, tabella 1).

Tabella 1: vantaggi dei conglomerati bituminosi “a bassa energia”

Salvaguardia ambientale	<ul style="list-style-type: none">▪ fino al 40÷50% di risparmio energetico in produzione, in quanto si utilizzano minori quantità di combustibile;▪ fino al 40% in meno di emissioni di CO₂, 60% in meno di NO_x;▪ fino al 50% in meno di emissioni di polveri.
Miglioramento delle condizioni di lavoro	<ul style="list-style-type: none">▪ minor pericolo, o addirittura assenza, di ustioni;▪ riduzione dei fumi emessi.
Organizzazione del cantiere	<ul style="list-style-type: none">▪ a parità di temperatura finale, copertura di maggiori distanze di trasporto del materiale proveniente dagli impianti di confezionamento;▪ riduzione dei tempi di attesa per l’apertura al traffico di tratti di pavimentazione appena messa in opera;▪ estensione del periodo lavorativo anche nelle stagioni meno calde.
Prestazioni dei materiali	<ul style="list-style-type: none">▪ minor invecchiamento del legante bituminoso, per cui maggior durabilità;▪ in genere migliori caratteristiche prestazionali.

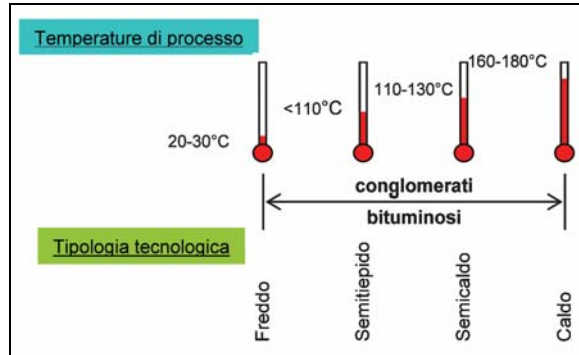


Figura 2: temperature di produzione e di stesa per conglomerati bituminosi



Figura 3: confronto tra conglomerato bituminoso tradizionale e Warm Mix Asphalt in termini di produzione di fumi in impianto



Figura 4: confronto tra conglomerato bituminoso tradizionale e Warm Mix Asphalt in termini di produzione di fumi durante la stesa



Figura 5: temperatura della miscela durante la compattazione dello strato

Le tecnologie per il confezionamento delle miscele tiepide si suddividono in due grandi categorie in funzione del metodo con cui fluidificano il conglomerato (tabella 7):

- quelle che utilizzano additivi fluidificanti che riducono la viscosità del bitume;
- quelle che sfruttano la formazione di schiuma di bitume per rendere più lavorabile la miscela.

Tabella 2: classificazione delle tecnologie per il confezionamento di miscele tiepide

Tecnologie per il confezionamento di WMA	Descrizione
Additivazione con fluidificanti del bitume	Paraffine o cere cristalline
Formazione di schiuma del bitume	<ul style="list-style-type: none">▪ Schiuma di emulsione bituminosa modificata▪ Bitume schiumato con aggregati riscaldati▪ Sistema a due componenti di legante▪ Sabbie umide▪ Additivazione con zeoliti

La tabella 3 riporta un quadro riassuntivo relativo alle tecniche di produzione di miscele tiepide.

Tabella 3: quadro riassuntivo relativo alle tecniche di produzione di miscele tiepide

Processo	Additivi		Risparmi	Caratteristiche aggiuntive	Temperatura stoccaggio bitume	Temperatura di miscelazione	Temperatura di posatura	Impianto di confezionamento	Applicazioni	Caratteristiche medie prestazionali
	Natura	Dose								
Additivazione con fluidificanti del bitume	Paraffine FT	2-4% su bitume	Energetici, riduzione fumi, Tempi ridotti per miscelazione e compattazione	Irridimento del bitume Stessa più veloce	30°C inferiore alla temperatura usuale di stoccaggio	130-150°C	120-130°C	Continui e Discontinui	Basi e tappeti inclusi conglomerati chiusi, SMA, mastici	Maggiore resistenza a ormaimento rispetto alle HMA
Schiuma di emulsione	Agente schiumante e emulsionante	N/A	Energetici, riduzione fumi	Bassa ossidazione bitume. Richiede stoccaggio tiepido del bitume	80-90 °C surriscaldato alla miscela a 110-125 °C	Aggregato 110-120 °C	75-90 °C in funzione del legnate	Treni di riciclaggio a caldo. Impianti con miscele con emulsioni a freddo	Ampia gamma di miscele particolarmente con RAP	Resistenza a ormaimento intermedia, tra miscele chiuse e SMA. Compattazione simile a HMA
Bitume schiumato e aggregati riscaldati	Dope d'adesione o composto reattivo igroscopico	N/A	Energetici, riduzione fumi	Miscela lavorabili quanto quelle tradizionali HMA	Temperatura di stoccaggio bitume abituale	Aggregato 90 °C	60-70 °C	Continui e discontinui con adattamenti ulteriori a barra schiumato per discontinui	Basi chiuse e tappeti con ampia gamma di miscele particolarmente con RAP	Stessa delle miscele a caldo
Sistema a due componenti di legante	Dope d'adesione nel bitume soft. Agenti schiumante nell'hard	N/A	30% di carburante & 30% CO ₂ e 50-60% riduzione di polvere	Miscela con più lunga stabilità allo stoccaggio. Impianto riscaldamento e raccolta polveri più semplici	Temperatura di stoccaggio legante abituale	100-120 °C	70-100 °C	Impianti continui e discontinui	Adatto per basi e tappeti	Stesse pre-stazioni HMA (ormai, regolarità e tessitura superficiale) per miscele dense
Sabbie umide	Dope d'adesione	0,3% mix	50% energia & 50% CO ₂ e IPA	Abbattimento polveri e pulizia attrezzatura	Normale (140-180°C)	60-90°C	60-70°C	Continui e Discontinui	Ampia gamma di miscele con RAP e modificato	Stessa delle Miscele a caldo
Additivazione con Zeoliti	Zeoliti nella miscela	0,3% mix	30% carburante, 75% fumi, riduzione particolato	Nessuna influenza sulla prestazione dell'impianto. Meno ossidazione bitume	Solita (140-180 °C)	130-145 °C	100 °C	Impianti continui e discontinui	Ampia gamma di miscele incluso modificato, asfalti con RAP e mastici	Stessa delle Miscele a caldo

Per la determinazione delle proprietà meccaniche di questi materiali è necessario prendere in considerazione la temperatura, in quanto essa influenza i valori del modulo complesso, quelli del coefficiente di Poisson ed il comportamento a fatica della miscela.

In tabella 4 sono riportate le temperature medie stagionali rilevate dal 1951 ad oggi presso le principali stazioni meteorologiche della zona di ubicazione del tracciato in esame. La temperatura di calcolo è stata assunta pari alla media di queste ultime.

Tabella 4: temperature medie stagionali e temperature di calcolo [°]

Stagione	Provincia						Temperatura di calcolo
	Trento	Bolzano	Vicenza	Verona	Rovigo	Padova	
Inverno	2,7	1,8	0,9	1,9	2,9	1,9	2,0
Primavera	12,1	12,2	12,4	13,1	13,1	12,2	12,5
Estate	21,3	20,6	20,4	21,4	23,0	21,4	21,3
Autunno	12,3	10,9	12,6	12,7	13,9	13,0	12,5

Il calore assorbito per irraggiamento dallo strato superficiale della pavimentazione è trasmesso agli strati più profondi. In tal modo la pavimentazione raggiunge abbastanza rapidamente una temperatura superiore a quella dell'aria. È necessario conoscere, quindi, la temperatura di ogni singolo strato per poter eseguire correttamente il calcolo.

Nota la temperatura dell'aria ($TMPAA$) è possibile risalire a quella degli strati legati a bitume (T_{mix}) utilizzando per esempio la relazione sviluppata da Marchionna ed al. per condizioni climatiche tipiche dell'Italia:

$$T_{mix} = TMPAA \cdot (1.362 - 0.0005 \cdot s) + (1.46 + 0.0043 \cdot s)$$

dove s rappresenta lo spessore degli strati legati a bitume espresso in mm.

In tabella 5 sono riportate le temperature stagionali medie degli strati legati a bitume utilizzate per stabilire il valore del modulo complesso.

Tabella 5: temperature utilizzate per stabilire il valore del modulo complesso [°]

Strato	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
Usura + binder	4,5	18,3	29,9	18,3
Base	4,9	18,0	29,1	18,1

In tabella 6 sono riportati i moduli dei WMA per calcolare lo stato tensionale nel multistrato.

Tabella 6: valori del modulo al variare della temperatura

Strato	Modulo [MPa]			Coefficiente di Poisson
	Inverno	Primavera-Autunno	Estate	
Usura	10000 ÷ 12000	6500 ÷ 8000	2000 ÷ 3000	0.35
Binder	14000 ÷ 17000	8000 ÷ 12000	2500 ÷ 3500	0.35

Strato di base

Per lo strato di base, in coerenza con quanto previsto nel progetto preliminare, è stata adottata una soluzione ottimale sotto il profilo ambientale grazie al parziale riutilizzo di materie prime non convenzionali.

Nello specifico è stato adottato il conglomerato bituminoso con granulato di gomma proveniente dal riciclaggio dei pneumatici dismessi. Quest'ultimo deriva soprattutto dai pneumatici dei veicoli pesanti ed è prodotto per triturazione della gomma fino a raggiungere la granulometria desiderata (figura 6).



Figura 6: granulato di gomma

Le tecnologie più utilizzate sono:

- la triturazione meccanica, effettuata per mezzo di lame e coltelli rotanti;
- la triturazione criogenica, che consiste in una fase iniziale di triturazione meccanica grossolana, seguita da uno sbriciolamento criogenico e da una polverizzazione finale. La gomma viene raffreddata con azoto liquido, in modo che assuma una struttura cristallina fragile per essere macinata più finemente senza difficoltà;

- quella elettrotermica, durante la quale il pneumatico è introdotto in un forno verticale ad induzione elettromagnetica all'interno del quale il metallo si distacca dalla gomma la quale, preventivamente triturrata, viene riportata ad una struttura chimica vicina a quella di partenza mediante processi di devulcanizzazione e rigenerazione.

La triturazione meccanica è quella che fornisce un granulato di gomma avente la morfologia più appropriata alla reazione con il bitume, in quanto, a differenza degli altri processi, produce particelle aventi superfici irregolari e non lisce.

I principali metodi di modificazione con gomma si dividono in due grandi categorie:

- il processo dry (secco), che produce direttamente conglomerati bituminosi;
- il processo wet (umido), relativo alla produzione di leganti bituminosi modificati.

Il primo prevede l'uso sia del polverino sia della gomma granulata con funzione di aggregato che, essendo aggiunto all'aggregato lapideo prima della miscelazione col bitume, integra l'inerte tradizionale dando luogo ad un conglomerato bituminoso additivato a caldo.

Nel processo wet, invece, il granulato di gomma sotto forma di polverino viene miscelato al legante bituminoso prima che quest'ultimo venga aggiunto all'aggregato. La gomma, durante la reazione con il bitume, rammollisce e rigonfia, dando origine ad un legante modificato, noto come Asphalt Rubber, avente caratteristiche reologiche migliorate rispetto al bitume originario in virtù della maggiore densità, del maggiore punto di rammollimento, della minore suscettività termica, della maggiore resistenza allo scorrimento, del minore invecchiamento, della minore tendenza alla fessurazione nei climi freddi, dell'ottima impermeabilità all'acqua e all'adesione all'aggregato.

I due processi differiscono anche per la quantità e la granulometria della gomma impiegata, nonché per le attrezzature necessarie ad effettuare la produzione in impianto. Il processo dry, introducendo una quantità di granulato di gomma pari al 2-5% in peso dell'aggregato, permette di riciclare un quantitativo di gomma decisamente maggiore di quello impiegabile nel processo wet. Inoltre la necessità di far reagire insieme il bitume e la gomma comporta per il processo wet la necessità di disporre di equipaggiamenti specifici per facilitare la reazione ad elevate temperature che non sono necessari, invece, per il processo dry. Ne deriva, quindi, che il processo dry è più facile da effettuare.

I conglomerati bituminosi additivati con granulato di gomma (tecnica dry), che potranno essere utilizzati nello strato di base nell'infrastruttura in questione in misura del 5% in peso, sono in grado di minimizzare il contributo della pavimentazione al fenomeno di propagazione delle vibrazioni, esaltandone le proprietà smorzanti. Diventa quindi possibile realizzare conglomerati simili a quelli tradizionali, dal punto di vista meccanico, ottenendo i seguenti vantaggi:

- aumento delle capacità di assorbimento delle vibrazioni provocate dalle irregolarità superficiali in prossimità della sorgente, con conseguente aumento dell'efficacia dell'intervento;
- salvaguardia ambientale.

3 NORMATIVA

Nel redigere il presente elaborato si é tenuto conto delle normative e raccomandazioni tecniche riportate di seguito.

D.M. 11 Marzo 1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione” (G.U. 1.6.1988 n. 127 supplemento);

CNR B.U. 178/95 “Catalogo delle Pavimentazioni stradali”;

D. Lgs. 30 Aprile 1992, n.285 “Nuovo Codice della Strada”;

DM 5/11/2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”.

4 ANALISI DEL TRAFFICO E DEI CARICHI

Il dimensionamento mediante calcolo “a fatica” di una sovrastruttura stradale richiede la previsione dei carichi che questa dovrà sopportare durante la sua vita utile e quindi del traffico veicolare, in particolar modo di quello pesante in quanto le autovetture e gli autocarri di piccole dimensioni non sono significativi ai fini del calcolo.

Non esiste un criterio Normativo che stabilisca un valore minimo per la vita utile di una sovrastruttura stradale ma, nella pratica corrente, si assume convenzionalmente un valore pari a 20 anni. Le verifiche che seguono sono pertanto basate su questo criterio.

I dati di traffico utilizzati sono quelli ottenuti dalle previsioni effettuate dallo scenario di entrata in esercizio (anno 2024) a quello di progetto (anno 2043), tratto dallo studio del traffico di cui di seguito si riporta uno stralcio.

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

Tabella 7: stralcio dati di traffico

scenario 2024 entrata in esercizio										
VALDASTICO NORD	punta della mattina 8:00 - 9:00						esercizio giornaliero TGMA bidirezionale			
	direzione NORD			direzione SUD			Leggeri	Pesanti	Totali	% Pes.
Tratto elementare	Leg.	Pes.	Tot.	Leg.	Pes.	Tot.				
Piovene Rocchette - Cogollo	848	220	1'068	675	220	895	21'757	7'333	29'090	25,20%
Cogollo - Valle dell'Astico	796	215	1'011	631	214	845	20'386	7'150	27'536	26,00%
Valle dell'Astico - Caldonazzo	827	219	1'046	705	221	926	21'886	7'317	29'203	25,10%
Caldonazzo - Allacc. A22	814	205	1'019	712	229	941	21'800	7'233	29'033	24,90%

scenario 2025 medio termine										
VALDASTICO NORD	punta della mattina 8:00 - 9:00						esercizio giornaliero TGMA bidirezionale			
	direzione NORD			direzione SUD			Leggeri	Pesanti	Totali	% Pes.
Tratto elementare	Leg.	Pes.	Tot.	Leg.	Pes.	Tot.				
Piovene Rocchette - Cogollo	855	221	1'076	698	223	921	22'186	7'400	29'586	25,00%
Cogollo - Valle dell'Astico	814	217	1'031	653	217	870	20'957	7'233	28'190	25,70%
Valle dell'Astico - Caldonazzo	852	221	1'073	728	224	952	22'571	7'417	29'988	24,70%
Caldonazzo - Allacc. A22	827	203	1'030	738	234	972	22'357	7'283	29'640	24,60%

scenario 2030 medio-lungo termine										
VALDASTICO NORD	punta della mattina 8:00 - 9:00						esercizio giornaliero TGMA bidirezionale			
	direzione NORD			direzione SUD			Leggeri	Pesanti	Totali	% Pes.
Tratto elementare	Leg.	Pes.	Tot.	Leg.	Pes.	Tot.				
Piovene Rocchette - Cogollo	897	244	1'141	732	255	987	23'271	8'317	31'588	26,30%
Cogollo - Valle dell'Astico	849	241	1'090	686	249	935	21'929	8'167	30'095	27,10%
Valle dell'Astico - Caldonazzo	889	245	1'134	764	257	1'021	23'614	8'367	31'981	26,20%
Caldonazzo - Allacc. A22	873	233	1'106	790	268	1'058	23'757	8'350	32'107	26,00%

scenario 2035 lungo termine										
VALDASTICO NORD	punta della mattina 8:00 - 9:00						esercizio giornaliero TGMA bidirezionale			
	direzione NORD			direzione SUD			Leggeri	Pesanti	Totali	% Pes.
Tratto elementare	Leg.	Pes.	Tot.	Leg.	Pes.	Tot.				
Piovene Rocchette - Cogollo	954	264	1'218	777	274	1'051	24'729	8'967	33'695	26,60%
Cogollo - Valle dell'Astico	900	259	1'159	733	269	1'002	23'329	8'800	32'129	27,40%
Valle dell'Astico - Caldonazzo	928	263	1'191	809	276	1'085	24'814	8'983	33'798	26,60%
Caldonazzo - Allacc. A22	954	268	1'222	836	288	1'124	25'571	9'267	34'838	26,60%

L'eterogeneità del traffico veicolare pesante richiede di rapportare gli effetti prodotti da un dato carico ad una sola tipologia di carico. Attraverso il calcolo del numero di assi standard equivalenti ($E.S.A.$, *Equivalent Standard Axle*) è possibile omogeneizzare, rispetto ad un asse di riferimento, i carichi che agiscono su una determinata pavimentazione stradale, in modo da potere poi confrontare il numero di tali assi standard (N_{ESA}) con quelli che la pavimentazione è in grado di sopportare nell'arco dell'intera vita utile (N_{MAX}). Per calcolare la sovrastruttura, utilizzando un unico carico di riferimento, è necessario determinare il coefficiente di equivalenza totale del veicolo generico (EF_{TOT}), con la seguente metodologia:

- individuazione della distribuzione frazionale dei tipi di veicoli (p_j) componenti il traffico;
- determinazione, limitatamente ai soli veicoli commerciali (tara > 15 kN), del coefficiente di equivalenza del singolo veicolo appartenente alla classe j-esima (EF_j), come somma dei coefficienti di equivalenza dei suoi assi, siano essi singoli, tandem o tridem;
- coefficiente di equivalenza totale (EF) riferito alle m tipologie di veicoli commerciali transistanti sulla sovrastruttura dato dalla sommatoria:

$$EF_{TOT} = \sum_{j=1,m} p_j \cdot EF_j$$

da cui è possibile calcolare: $N_{ESA} = EF_{TOT} \cdot TGM$

Le percentuali delle singole tipologie di veicoli sono state calcolate sulla base di quanto esposto nella CNR B.U. 178/95 “Catalogo delle pavimentazioni stradali” che indica:

- gli spettri tipici dei veicoli commerciali con la frequenza espressa in percentuale (tabella 8) per il tipo di strada in esame, ossia un tipo 1- autostrada extraurbana.
- le tipologie dei veicoli, il numero di assi e la distribuzione di carichi per asse (tabella 9);

Tabella 8: CNR B.U. 178/95 “Catalogo delle Pavimentazioni stradali” – spettri di traffico

TIPO DI STRADA	TIPO DI VEICOLO															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. Autostrada extraurbana	12.2	-	24.4	14.6	2.4	12.2	2.4	4.9	2.4	4.9	2.4	4.9	0.10	-	-	12.2
2. Autostrada urbana	18.2	18.2	16.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	18.2	27.3	-
3. Strade extr. principali e secondarie a forte traffico	-	13.1	39.5	10.5	7.9	2.6	2.6	2.5	2.6	2.5	2.6	2.6	0.5	-	-	10.5
4. Strade extr. secondarie ordinarie	-	-	58.8	29.4	-	5.9	-	2.8	-	-	-	-	0.2	-	-	2.9
5. Strade extr. secondarie turistiche	24.5	-	40.8	16.3	-	4.15	-	2	-	-	-	-	0.05	-	-	12.2
6. Strade urbane di scorrimento	18.2	18.2	16.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	18.2	27.3	-
7. Strade urbane di quartiere e locali	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-
8. Corsie Preferenziali	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	53	-

Tabella 9: CNR B.U. 178/95 “Catalogo delle Pavimentazioni stradali” – tipi di veicoli organizzati ai fini della progettazione stradale di pavimentazioni

Tipo di veicolo	N° di assi	Distribuzione dei carichi per asse in KN		
Autocarri leggeri	2	↓10	↓20	
Autocarri leggeri	2	↓15	↓30	
Autocarri medi e pesanti	2	↓40	↓80	
Autocarri medi e pesanti	2	↓50	↓110	
Autocarri pesanti	3	↓40	↓80 ↓80	
Autocarri pesanti	3	↓60	↓100 ↓100	
Autotreni e autoarticolati	4	↓40	↓90	↓80 ↓80
Autotreni e autoarticolati	4	↓60	↓100	↓100 ↓100
Autotreni a autoarticolati	5	↓40 ↓80 ↓80	↓80 ↓80	
Autotreni e autoarticolati	5	↓60 ↓90 ↓90	↓100 ↓100	
Autotreni e autoarticolati	5	↓40 ↓100	↓80	↓80 ↓80
Autotreni e autoarticolati	5	↓60 ↓110	↓90	↓90 ↓90
Mezzi d'opera	5	↓50 ↓120	↓130	↓130 ↓130
Autobus	2	↓40	↓80	
Autobus	2	↓60	↓100	
Autobus	2	↓50	↓80	

Per quanto riguarda il tracciato in esame, classificabile come autostrada extraurbana (tipo 1),

l'analisi condotta fornisce un *Equivalency Factor* totale pari a:

$$EF_{TOT} = \sum_{j=1,m} p_j \cdot EF_j = 2,585$$

Si ottiene, quindi, un valore di traffico cumulativo massimo pari a:

$$N_{ESA-81.6kN} = EF_{TOT} \cdot TGM = 6,01 \cdot 10^7$$

$$N_{ESA-120kN} = \frac{N_{ESA81.6kN}}{EF_{120kN}} = 1,05 \cdot 10^7$$

5 ANALISI SOVRASTRUTTURA

L'analisi della sovrastruttura viene condotta con due differenti metodi:

- metodo semi-empirico: si basa sui risultati sperimentali integrati da considerazioni teoriche, tenendo conto della portanza dei terreni di sottofondo, della condizione igrometrica e del traffico;
- metodo razionale: si basa sul controllo degli stati tenso -deformativi generati dai carichi esterni in alcuni punti significativi della sovrastruttura.

5.1 METODO SEMPIEMPIRICO: AASHO INTERIM GUIDE

Il metodo empirico dell'AASHTO Guide for Design of Pavement Structure – 1993 - permette di ricavare il numero totale di passaggi di assi equivalenti da 8,2 t (ESALS) che la pavimentazione riesce a sopportare prima di raggiungere il valore di PSI finale (PSI = Present Serviceability Index), in corrispondenza del quale si ritiene che la pavimentazione sia giunta al termine della sua vita utile e quindi necessiti di manutenzione.

Note le caratteristiche dei materiali (degli strati legati a bitume, di quelli in misto granulare o stabilizzato, della portanza del sottofondo), ed avendo assegnato spessori di primo tentativo ai vari strati, è possibile avviare un procedimento iterativo che permette di convergere verso la soluzione finale.

La convergenza del metodo prevede che il numero massimo di assi che la pavimentazione può sopportare sia superiore o al limite uguale al traffico previsto sulla sovrastruttura in esame durante l'intera vita utile, espresso sempre in numero di assi di veicoli commerciali equivalenti e derivante da analisi di traffico.

Le variabili su cui agire per portare a convergenza il metodo sono, quindi, proprio gli spessori dei vari strati e le caratteristiche dei materiali. La formula utilizzata è la seguente:

$$\log(W_{18}) = Z_r \cdot S_0 + 9.36 \cdot \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log(M_r) - 8.07$$

essendo:

W18 numero massimo di assi equivalenti da 8,2 t (ESALS) che portano la pavimentazione al valore PSI finale;

ΔPSI differenza tra l'indice di funzionalità (PSI) della pavimentazione all'inizio (assunto di solito pari a 4.2 per pavimentazioni flessibili) e al termine della vita utile; il valore di PSI finale (assunto pari a 3) - tabella 9 del Catalogo delle Pavimentazioni CNR;

SOdeviazione standard relativa alle variazioni dalle previsioni di traffico e dalle prestazioni della pavimentazione, valore assunto mediamente pari a 0,45;

Zr fattore di affidabilità, dedotto dall'interpolazione dei valori di tabella del Catalogo della Pavimentazioni CNR (di seguito riportata), in funzione dell'affidabilità percentuale R1, assunta pari al 90%:

Fattore di Affidabilità Zr				
R1	80%	85%	90%	95%
Zr	-0,841	-1,037	-1,282	-1,645

Mr Il parametro scelto per caratterizzare la portanza del sottofondo è il modulo resiliente Mr, modulo elastico che consente di tener conto anche della componente viscosa reversibile della deformazione che viene ricavato mediante prove dinamiche a bassa frequenza 0.5÷1 Hz;

SN indice strutturale, che tiene conto degli spessori degli strati (si), delle caratteristiche dei materiali dei vari strati (ai), del drenaggio assicurato dagli strati non legati a bitume (mi):

$$SN = \sum_i a_i \cdot s_i \cdot m_i$$

Occorre infine considerare la correzione relativa alla temperatura, per tener conto del diverso comportamento dei materiali che si trovano in zone differenti da quelle in cui è stato validato il modello AASHTO. Nei calcoli il fattore di correzione, assunto come unitario, viene indicato con "R".

Verifica sovrastruttura

Per il calcolo si suppone che la parte sommitale del sottofondo (per uno spessore pari a 30 cm) sia caratterizzata da un grado di compattazione tale da garantire un modulo resiliente pari a quello di uno stabilizzato granulometrico.

Inoltre si fa riferimento ai seguenti parametri: una portanza del sottofondo pari a 120 N/mm² (modulo resiliente Mr), un livello di affidabilità pari al 90%, un indice di funzionalità finale PSIf = 3 ed un numero complessivo di passaggi di autoveicoli commerciali da 81.6 kN sulla corsia più caricata di tipo "pesante" nell'arco della vita utile pari a 6,01·10⁷.

Nello specifico i parametri utilizzati nel calcolo risultano essere i seguenti:

DATI TRAFFICO	
W81,6 kN	6,01E+07
Affidab.	90%
Zr	-1,282
So	0,45

INDICI DI FUNZIONALITÀ		
PSIi	PSIf	A
4,2	3	1,2

CARATTERISTICHE DEL SOTTOFONDO	
Mr	120 N/mm ²

Si riporta di seguito la tabella di calcolo del parametro SN: il valore ottenuto deve essere espresso in pollici, per cui lo si divide per il fattore di conversione 2,54.

SUCCESSIONE STRATIGRAFICA DEL PACCHETTO STRADALE			
Strato	Descrizione	si [cm]	ai*si*mi
1	<i>Usura WMA</i>	4	1,8
2	<i>Binder WMA</i>	6	2,4
3	<i>Base misto bitumato</i>	22	6,6
4	<i>Misto cementato</i>	25	5,8
5	<i>Primi 30 cm sottofondo</i>	30	3,3
SN = Σ (ai*si*mi)/2.54			7,80

Il numero di assi standard che portano al PSI finale (pari a 3) la pavimentazione è pari a:

<i>W 18 max</i>	9,57*10⁸	<i>NESA da 8,2 t</i>	<i>> Ndes</i>
-----------------	----------------------------	----------------------	------------------

Il numero di assi standard equivalenti che può sopportare la pavimentazione è superiore a quello previsto nell'arco della sua vita utile.

Per completezza, essendo il presente metodo pesantemente dipendente dagli strati costituenti la sovrastruttura, si riporta anche il calcolo teorico sviluppato non considerando che lo strato di sottofondo sia tale da potere garantire per i primi 30 cm caratteristiche equiparabili ad un misto granulare stabilizzato.

I parametri adottati per la sovrastruttura sono i medesimi del caso precedente: una portanza del sottofondo pari a 120 N/mm^2 (modulo resiliente M_r), un livello di affidabilità pari al 90%, un indice di funzionalità finale $PSI_f = 3$ ed un numero complessivo di passaggi di autoveicoli commerciali da 81.6 kN sulla corsia più caricata di tipo "pesante" nell'arco della vita utile pari a $6,01 \cdot 10^7$.

Nello specifico i parametri utilizzati nel calcolo risultano essere i seguenti:

DATI TRAFFICO	
W _{81,6 kN}	6,01E+07
Affidab.	90%
Z _r	-1,282
S ₀	0,45

INDICI DI FUNZIONALITÀ		
PSI _i	PSI _f	A
4,2	3	1,2

CARATTERISTICHE DEL SOTTOFONDO	
Mr	120 N/mm^2

Si riporta di seguito la tabella di calcolo del parametro SN: il valore ottenuto deve essere espresso in pollici, per cui lo si divide per il fattore di conversione 2,54.

SUCCESIONE STRATIGRAFICA DEL PACCHETTO STRADALE			
Strato	Descrizione	si [cm]	ai*si*mi
1	Usura WMA	4	1,8
2	Binder WMA	6	2,4
3	Base misto bitumato	22	6,6
4	Misto cementato	25	5,8
5	Primi 30 cm sottofondo	0	0,0
SN = $\Sigma (ai*si*mi)/2.54$			6,50

Il numero di assi standard che portano al PSI finale (pari a 3) la pavimentazione è pari a:

W 18 max	$2,32 \cdot 10^8$ NESAs da 8,2 t	> N _{des}
----------	--	--------------------

Anche in questo caso il numero di assi standard equivalenti che può sopportare la pavimentazione è superiore a quello previsto nell'arco della sua vita utile.

5.2 METODO RAZIONALE

Il calcolo con il metodo razionale o degli strati è stato svolto mediante il software BISAR, prodotto dalla Shell, che schematizza la pavimentazione come un multistrato elastico, costituito da un insieme di strati sovrapposti ed appoggiati su un semispazio elastico (Sottofondo). Le ipotesi di base sono:

- a) gli strati hanno spessore uniforme su tutta la larghezza;
- b) gli strati hanno dimensione illimitata nel piano orizzontale e spessore finito, ad eccezione del sottofondo che ha anche spessore illimitato;
- c) nell'ambito di ogni strato il materiale è omogeneo isotropo e perfettamente elastico ed è quindi caratterizzato dalle costanti E (modulo elastico di Young) e ν (coefficiente di Poisson);
- d) non vi è possibilità di scorrimento sui piani orizzontali fra i vari strati (perfetta aderenza).

Mediante il programma BISAR è stato possibile calcolare tensioni, dilatazioni e spostamenti di un punto qualsiasi di un multistrato elastico soggetto a carichi circolari in superficie.

Per questa sovrastruttura è stata realizzata un'analisi numerica al fine di valutare lo stato tensionale e deformativo indotto dal carico nei punti critici della sovrastruttura e di verificarne la vita utile.

Sulla base della teoria del multistrato elastico è stato impostato il carico agente sulla pavimentazione, le caratteristiche meccaniche dei materiali e gli spessori degli strati. I punti e le sollecitazioni critiche dipendono dallo strato e dal comportamento di ogni materiale in studio e, in questo contesto, sono state prese in considerazione la deformazione di trazione alla base dello strato in conglomerato bituminoso, la deformazione di compressione in sommità del sottofondo e la tensione di rottura a trazione per gli strati legati a cemento. Il processo di dimensionamento prevede poi l'impiego di opportuni modelli di calcolo che permettono di definire i cicli di carico a rottura per ogni strato fino a determinare la vita utile dell'intera sovrastruttura e la successiva verifica del traffico di pro-getto. In letteratura sono presenti numerosi modelli di calcolo, ognuno riferito a specifici casi, che possono dare risultati a volte diversi. Per tale ragione, nella relazione di progetto sono state utilizzate varie leggi e, a fine di verifica, sono state considerate le più restrittive.

5.2.1 *Materiali*

La sovrastruttura in esame, di spessore complessivo pari a 57 cm, presenta le specifiche riportate di seguito.

Si suppone, in particolare, che la parte sommitale del sottofondo (per uno spessore pari a 30 cm) sia caratterizzata da un grado di compattazione tale da garantire un modulo pari a quello indicato.

Conglomerato bituminoso usura

Modulo	$E = 4600 \text{ MPa}$
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0.35$

Conglomerato bituminoso binder

Modulo	$E = 4600 \text{ MPa}$
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0.35$

Conglomerato bituminoso di base

Modulo	$E = 4600 \text{ MPa}$
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0.35$

Misto cementato

Modulo	$E = 2000 \text{ MPa}$
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0.25$

Sottofondo

Modulo	$E = 400 \text{ MPa}$
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0.40$

5.2.2 Analisi tenso-deformativa

Nella figura 7 viene riportato il carico utilizzato per il dimensionamento, nonché la descrizione del pacchetto e l'indicazione dei punti in cui sono stati valutati le tensioni, le deformazioni e gli spostamenti.

Inoltre, in relazione ai carichi, i valori utilizzati sono riportati di seguito:

- a) Carico asse = 120 kN
- b) Carico sulla singola coppia di ruote gemellate = 60 kN
- c) Carico su ogni ruota = 30 kN
- d) Pressione di gonfiaggio = 0.75 MPa

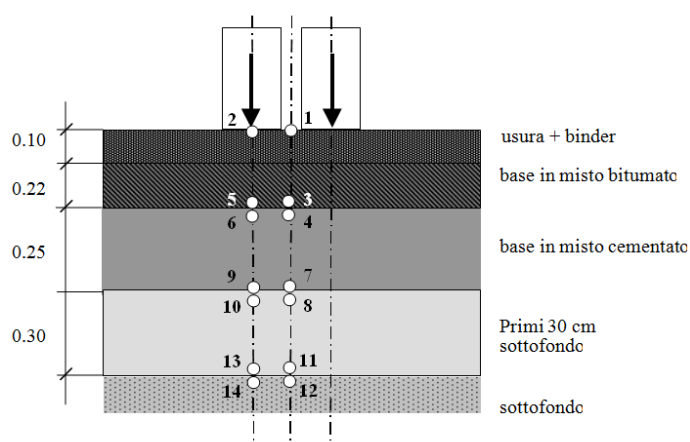


Figura 7 – punti di monitoraggio per il calcolo della sovrastuttura

I parametri di deformabilità, unitamente agli spessori considerati nel dimensionamento della presente sovrastuttura, sono indicati in tabella 10 (E = modulo, ν = coefficiente di Poisson, s = spessore):

Tabella 10: materiali costituenti della sovrastuttura stradale

Tipo di materiale (strato)	Spessore [m]	Modulo E [MPa]	Coefficiente di Poisson (ν)
Conglomerato bituminoso (usura)	0.04	4600	0.35
Conglomerato bituminoso (binder)	0.06	4600	0.35
Conglomerato bituminoso (base)	0.22	4600	0.35
Misto cementato (base)	0.25	2000	0.25
Terreno (sottofondo primi 30 cm)	0.30	400	0.40
Terreno (sottofondo)		100	0.40

I punti in cui devono essere attuate le verifiche a fatica sono comunemente quelli segnalati nella figura sopra riportata. In particolare occorre identificare la massima deformazione

specifica orizzontale alla base dei conglomerati bituminosi nei punti 3 e 5 della figura sopra riportata ed inserirla nell'espressione $\varepsilon_N = A \cdot N^{-\alpha}$ che fornisce la vita utile in termini di Assi Standard Equivalenti; in forma analitica ciò viene espresso mediante la relazione:

$$\varepsilon_N = \max\left\{\varepsilon_{xx}^A, \varepsilon_{yy}^A, \varepsilon_{xx}^B, \varepsilon_{yy}^B\right\}$$

Infatti lo strato di base è quello a cui è demandato principalmente il compito di resistere ai carichi verticali trasmessi localmente dagli strati superficiali, ripartendoli sui sottostanti; gli strati superficiali, usura e binder, immediatamente sottostanti al piano viabile, sono destinati rispettivamente alle azioni locali, verticali e tangenziali, indotte dai veicoli ed a trasmetterle con intensità attenuate agli strati sottostanti, nonché assicurare le richieste caratteristiche di rugosità superficiale per garantire l'aderenza.

Alla sommità del sottofondo, occorre verificare le tensioni verticali σ_{zz} al fine di utilizzare

l'espressione $\sigma = \frac{0,006 \cdot E_0}{1 + 0,7 \cdot \log N}$ e occorre controllare anche le deformazioni specifiche

verticali al fine di utilizzare le espressioni:

$$\varepsilon_{zz}(85\%) = 0,021 \cdot N^{-0,25}$$

$$\varepsilon_{zz}(95\%) = 0,018 \cdot N^{-0,25}$$

dove σ_{zz} rappresenta la tensione specifica verticale alla sommità del sottofondo ed i valori percentuali in parentesi indicano il percentile ottenibile nella valutazione dei parametri di traffico o di deformazione.

Nella tabella 11 si riportano i risultati dell'analisi.

Tabella 11

	Asse	n	Stress	Stress	Stress	Strain	Strain	Strain	Displacement	Displacement	Displacement	
			σ_{xx}	σ_{yy}	σ_{zz}	ε_{xx}	ε_{yy}	ε_{zz}	w _{xx}	w _{yy}	w _{zz}	
			(MPa)	(MPa)	(MPa)	μ strain	μ strain	μ strain	(μ m)	(μ m)	(μ m)	
Superficie	Sup	mezz	1	-0,048	-0,312	0,000	13,220	-64,130	27,410	0,000	0,000	190,100
	Sup	carico	2	-0,785	-0,830	-0,751	-50,460	-63,520	-40,280	-4,920	0,000	200,500
Interfaccia cb - misto	Sup	mezz	3	0,110	0,152	-0,101	19,950	32,240	-41,730	0,000	0,000	183,400
	Inf	mezz	4	0,017	0,035	-0,101	19,960	32,240	-59,450	0,000	0,000	183,400
	Sup	carico	5	0,107	0,142	-0,095	19,650	29,900	-39,480	3,032	0,000	180,600
cementato	Inf	carico	6	0,018	0,033	-0,095	19,650	29,900	-56,120	3,032	0,000	180,600
	Sup	mezz	7	0,096	0,102	-0,022	33,910	38,160	-45,690	0,000	0,000	171,900
Interfaccia misto cementato - stab.	Inf	mezz	8	0,011	0,013	-0,022	33,910	38,160	-70,020	0,000	0,000	171,900
	Sup	carico	9	0,088	0,097	-0,021	30,680	36,630	-42,640	4,924	0,000	169,900
	Inf	carico	10	0,010	0,012	-0,021	30,680	36,630	-65,210	4,924	0,000	169,900
Interfaccia sottofondo	Sup	mezz	11	0,017	0,017	-0,009	36,660	38,490	-43,080	0,000	0,000	156,600
	Inf	mezz	12	0,000	0,001	-0,009	36,680	38,490	-90,500	0,000	0,000	156,600
primi 30 cm - sottofondo	Sup	carico	13	0,016	0,017	-0,008	34,600	37,690	-41,640	5,395	0,000	155,400
	Inf	carico	14	0,000	0,001	-0,008	34,600	37,690	-87,480	5,395	0,000	155,400

Nel conglomerato bituminoso superficiale le sollecitazioni medie devono essere tali da non superare i seguenti valori:

$\sigma_{\max \text{ compressione}} = -0,96 \text{ MPa}$

$\sigma_{\max \text{ trazione}} = 0,54 \text{ MPa}$

Le verifiche sono soddisfatte essendo i valori rispettivamente:

$\sigma_{\max \text{ compressione calcolo}} = -0,83 \text{ MPa}$

$\sigma_{\max \text{ trazione calcolo}} = 0,15 \text{ MPa}$

Al fine di limitare la fessurazione nel misto cementato, la tensione radiale di trazione, nei confronti della tensione di rottura per trazione deve essere:

$$\sigma_{\text{rad}} \leq 0.8 \sigma_r$$

Considerando che la resistenza a trazione indiretta σ_r quale risulta dalla prova brasiliana sia superiore a 0.35 Mpa, si ha:

$$\sigma_{\text{rad}} \leq 0.28 \text{ MPa}$$

Tale disequazione é sempre soddisfatta in quanto il valore massimo risulta:

$$\sigma_{\max} = 0.10 \text{ MPa}$$

Per evitare deformazioni plastiche di fondazione deve essere, alla sommità del sottofondo:

$$\sigma_{zz} < 800 \mu\epsilon$$

Tale limitazione risulta pienamente soddisfatta.

La deflessione massima in superficie risulta pari a 0.02 cm inferiore, quindi, al valore limite di riferimento pari a 0.1 cm.

5.2.3 Verifica a Fatica

Per la verifica a fatica si é proceduto come indicato nei punti seguenti:

- calcolo delle deformazioni in direzione orizzontale alla base degli strati superficiali in CB e determinazione, mediante la legge di Verstraeten, del numero di passaggi ammessi del carico, utilizzando la massima deformazione ottenuta;
- valutazione delle tensioni in sommità del sottofondo in asse alla coppia di ruote gemellate e determinazione della tensione ammissibile per N_{des} passaggi di un asse da 120 kN mediante l'espressione di Kerhoven e Dormon, riportata successivamente, e valutazione della deformazione specifica verticale σ_{zz} , sempre alla sommità del sottofondo, e in asse alla coppia di ruote gemellate, al

fine di valutare il numero di ripetizioni di carico possibili nel sottofondo mediante le relazioni sperimentali riportate nel manuale Shell;

Di seguito si sviluppano le verifiche sopra descritte riferendole al caso in esame.

Strati legati

Il comportamento a fatica del conglomerato bituminoso viene definito attraverso una legge del tipo:

$$\varepsilon_N = A \cdot N^{-\alpha}$$

essendo ε_N la deformazione specifica massima in direzione radiale ammessa per N cicli di carico, A la deformazione per $N = 1$ ($\cong 50 \cdot 10^{-4}$) e α un coefficiente sperimentale compreso tra 0.20 e 0.25. Si considera in seguito il valore suggerito dalla Società AUTOSTRADE: $\alpha = 0.234$.

Dai risultati ottenuti sul conglomerato bituminoso, considerata la massima deformazione specifica presente all'intradosso dello strato superficiale, si rileva che gli strati di conglomerato bituminoso sono sufficienti a garantire una vita utile adeguata alla sovrastruttura.

Qualora non vi siano eventi straordinari sulla sovrastruttura stessa questa sarà in grado di garantire un numero di passaggi di assi standard da 120 kN uguali a:

$$N_{120} = \left(\frac{50}{\varepsilon} \right)^{\frac{1}{0.234}} = 1,85 \cdot 10^9 \gg N_{des120} = 1,05 \cdot 10^7$$

Misto cementato

Passando alla verifica a fatica del misto cementato si prende in considerazione una legge sperimentale del tipo:

$$\sigma_N = \sigma_R \cdot (1 - K \cdot \log N)$$

con K costante sperimentale che assume valori variabili tra $0.03 \div 0.05$ e σ_r resistenza a rottura del materiale per carico singolo ($N=1$) e assumendo $K = 0.05$ e $\sigma_r = 0,35$ MPa si ottiene per $N = N_{des1} = 1,05 \cdot 10^7$:

$$\sigma_N = 0.22 \text{ MPa} > \sigma_{rad}$$

Quindi anche la fondazione in misto cementato assicura un'adeguata vita utile alla sovrastruttura.

Sottofondo:

Affinché sia evitata la formazione di ormaie, la massima sollecitazione verticale (σ_{zz}) ammessa sul sottofondo, è legata al numero N di ripetizioni del carico ed al modulo E_0 del sottofondo dalla relazione di Kerhoven e Dormon:

$$\sigma = \frac{0,006 \cdot E_0}{1 + 0,7 \cdot \log N}$$

Per $E_0 = 120$ MPa e $N = N_{des120}$ risulta σ_{max} superiore al valore ottenuto sulla sovrastruttura in esame. La verifica risulta, pertanto, soddisfatta.

Inoltre, sebbene gli strati non legati risentano meno del danneggiamento da fatica, è possibile comunque valutare il numero di ripetizioni di carico possibili in tali strati mediante le relazioni sperimentali seguenti riportate nel manuale Shell:

$$\sigma_{85\%} = 0.021 \cdot N^{-0.25}$$

$$\sigma_{95\%} = 0.018 \cdot N^{-0.25}$$

dove e_{zz} rappresenta la deformazione specifica verticale alla sommità del sottofondo ed i valori percentuali in parentesi indicano il percentile ottenibile nella valutazione dei parametri di traffico o di deformazione.

In questo caso la verifica viene fatta accettando che la probabilità di avere un valore superiore a quello determinato non sia superiore al 5 %. Utilizzando la seconda delle espressioni sopra riportate si ottiene:

$$N = 1,6 \cdot 10^9 \gg N_{des120} = 1,05 \cdot 10^7$$

Anche il livello tensionale presente nel sottofondo permette quindi di escludere che durante la vita utile della sovrastruttura si manifestino deformazioni permanenti tali da comprometterne la funzionalità.

5.3 Conclusioni calcolo sovrastruttura

Dall'analisi tenso-deformativa condotta risulta che la sovrastruttura proposta di 57 cm consente di soddisfare tutti i requisiti fissati e di garantire una vita utile teorica > 20 anni per quanto riguarda gli strati bituminosi e per i rimanenti strati profondi.

6 ALLEGATO 1

TABULATI DI CALCOLO

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE



BISAR 3.0 - Detailed Report

A31- definitivo -1

System 1: A31 - progetto definitivo _1

Layer Number	Thickness (m)	Young's Modulus (Pa)	Poisson's Ratio	Shear Spring Compliance (m ³ /N)
1	0,320	4,600E+09	0,35	0,000E+00
2	0,249	2,000E+09	0,35	0,000E+00
3	0,300	4,000E+08	0,25	0,000E+00
4		1,000E+08	0,40	

Load Number	Normal Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Radius of Loaded Area (m)	Load - Position X (m)	Y (m)	Shear Direction (°)
1	7,505E+05	0,000E+00	1,128E-01	1,500E-01	0,000E+00	0,000E+00
2	7,505E+05	0,000E+00	1,128E-01	-1,500E-01	0,000E+00	0,000E+00



BISAR 3.0 - Detailed Report

A31- definitivo -1

System 1: A31 - progetto definitivo _1

Position Number: 1 Layer Number: 1 X Coord (m): 0,000E+00 Y Coord (m): 0,000E+00 Z Coord (m): 0,000E+00

Load No.	Distance to Load Axis (m)	Theta (°)	Displacement (m)			Stress (Pa)						Strain							
			Radial	Tangential	Vertical	Radial	Tangential	Vertical	Rad. Tang.	Rad./Ver.	Tang./Ver.	Radial	Tangential	Vertical	Rad. Tang.	Rad./Ver.	Tang./Ver.		
1	1,500E+01	1,800E+02	-4,310E-06	0,000E+00	9,507E-05	-2,418E-04	-1,560E-05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,612E-06	-2,207E-05	1,371E-05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	1,500E+01	0,000E+00	-4,310E-06	0,000E+00	9,507E-05	-2,418E-04	-1,560E-05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,612E-06	-2,207E-05	1,371E-05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00

Total Stresses (Pa)	XX:	-4,835E+04	YY:	-3,119E+05	ZZ:	0,000E+00	YZ:	0,000E+00	XZ:	0,000E+00	XY:	0,000E+00
Total Strains	XX:	1,322E-05	YY:	-6,413E-05	ZZ:	2,741E-05	YZ:	0,000E+00	XZ:	0,000E+00	XY:	0,000E+00
Total Displacements (m)	UX:	0,000E+00	UY:	0,000E+00	UZ:	1,901E-04	YZ:	0,000E+00	XZ:	0,000E+00	XY:	0,000E+00

Principal Values and Directions of Total Stresses and Strains

	Normal Stress (Pa)	Normal Strain	Shear Stress (Pa)	Shear Strain	X Comp.	Y Comp.	Z Comp.
Maximum:	0,000E+00	2,741E-05			0,0000	0,0000	1,0000
Minimum:	-4,835E+04	1,322E-05			1,0000	0,0000	0,0000
Maximum:	-3,119E+05	-6,413E-05			0,0000	1,0000	0,0000
Minimum:	-1,560E+05		1,560E+05	4,577E-05	0,0000	-0,7071	0,7071
Minimum:			1,318E+05	3,868E-05	0,0000	0,7071	0,7071
Minimum:	-1,801E+05				0,7071	-0,7071	0,0000
Minimum:			2,418E+04	7,095E-06	-0,7071	0,7071	0,0000
Minimum:	-2,418E+04				0,7071	0,0000	0,7071

Strain Energy (J): 9,683E+00 Strain Energy of Distortion (J): 8,272E+00

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE



BISAR 3.0 - Detailed Report

A31- definitivo -1

System 1: A31 - progetto definitivo_1

Position Number: 2 Layer Number: 1 X Coord (m): 1,500E-01 Y Coord (m): 0,000E+00 Z Coord (m): 0,000E+00

No. Displacement	No. Load Axis (m)	Theta (°)	Displacement (m)			Stress (Pa)						Strain							
			Radial	Tangential	Vertical	Radial	Tangential	Vertical	Rad./Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.	Radial	Tangential	Vertical	Rad./Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.		
1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,131E-04	-7,376E-05	-7,376E-05	-7,303E-05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	3,000E-01	0,000E+00	-8,920E-06	0,000E+00	8,333E-05	-4,763E-04	-2,211E-04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	-3,344E-06	-1,640E-05	1,063E-05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00

Total Stresses (Pa)	XX:	-7,852E+05	YY:	-8,297E+05	ZZ:	-7,505E+05	YZ:	0,000E+00	XZ:	0,000E+00	XY:	0,000E+00
Total Strains	XX:	-5,046E-05	YY:	-6,352E-05	ZZ:	-4,028E-05	YZ:	0,000E+00	XZ:	0,000E+00	XY:	0,000E+00
Total Displacements (m)	UX:	-4,920E-06	UY:	0,000E+00	UZ:	2,005E-04						

Principal Values and Directions of Total Stresses and Strains

	Normal Stress (Pa)	Normal Strain	Shear Stress (Pa)	Shear Strain	X Comp.	Y Comp.	Z Comp.
Maximum:	-7,505E+05	-4,028E-05			0,0000	0,0000	1,0000
Minimax:	-7,852E+05	-5,046E-05			1,0000	0,0000	0,0000
Minimum:	-8,297E+05	-6,352E-05			0,0000	1,0000	0,0000
Maximum:			3,960E+04	1,162E-05	0,0000	-0,7071	0,7071
Minimax:	-7,901E+05				0,0000	0,7071	0,7071
Minimum:	-8,074E+05		2,225E+04	6,529E-06	0,7071	-0,7071	0,0000
Minimum:	-7,679E+05		1,735E+04	5,092E-06	0,7071	0,0000	0,7071

Strain Energy (J): 6,128E-01

Strain Energy of Distortion (J): 4,625E-01



BISAR 3.0 - Detailed Report

A31- definitivo -1

System 1: A31 - progetto definitivo_1

Position Number: 3 Layer Number: 1 X Coord (m): 0,000E+00 Y Coord (m): 0,000E+00 Z Coord (m): 3,200E-01

No. Displacement	No. Load Axis (m)	Theta (°)	Displacement (m)			Stress (Pa)						Strain						
			Radial	Tangential	Vertical	Radial	Tangential	Vertical	Rad./Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.	Radial	Tangential	Vertical	Rad./Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.	
1	1,500E-01	1,800E+02	2,418E-06	0,000E+00	2,168E-05	5,479E-04	7,573E-04	-5,030E-04	0,000E+00	-2,916E-04	0,000E+00	0,000E+00	9,977E-06	1,612E-05	-2,047E-05	0,000E+00	-8,559E-06	0,000E+00
2	1,500E-01	0,000E+00	2,418E-06	0,000E+00	2,168E-05	5,479E-04	7,573E-04	-5,030E-04	0,000E+00	-2,916E-04	0,000E+00	0,000E+00	9,977E-06	1,612E-05	-2,047E-05	0,000E+00	-8,559E-06	0,000E+00

Total Stresses (Pa)	XX:	1,096E+05	YY:	1,515E+05	ZZ:	-1,006E+05	YZ:	0,000E+00	XZ:	0,000E+00	XY:	0,000E+00
Total Strains	XX:	1,995E-05	YY:	3,224E-05	ZZ:	-4,173E-05	YZ:	0,000E+00	XZ:	0,000E+00	XY:	0,000E+00
Total Displacements (m)	UX:	0,000E+00	UY:	0,000E+00	UZ:	1,834E-04						

Principal Values and Directions of Total Stresses and Strains

	Normal Stress (Pa)	Normal Strain	Shear Stress (Pa)	Shear Strain	X Comp.	Y Comp.	Z Comp.
Maximum:	1,515E+05	3,224E-05			0,0000	1,0000	0,0000
Minimax:	1,096E+05	1,995E-05			1,0000	0,0000	0,0000
Minimum:	-1,006E+05	-4,173E-05			0,0000	0,0000	1,0000
Maximum:			1,260E+05	3,699E-05	0,0000	0,7071	-0,7071
Minimax:	2,543E+04				0,0000	0,7071	0,7071
Minimum:	4,490E+03		1,051E+05	3,084E-05	0,7071	0,0000	-0,7071
Minimum:	1,305E+05		2,094E+04	6,145E-06	-0,7071	0,7071	0,0000

Strain Energy (J): 5,635E+00

Strain Energy of Distortion (J): 5,355E+00

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE



BISAR 3.0 - Detailed Report

A31- definitivo -1

System 1: A31 - progetto definitivo_1

Position Number: 4 Layer Number: 2 X Coord (m): 0,000E+00 Y Coord (m): 0,000E+00 Z Coord (m): 3,200E-01

Lead No.	Diameter (mm)	Theta (°)	Displacement (m)			Stresses (Pa)						Strains					
			Radial	Tangential	Vertical	Radial	Tangential	Vertical	Rad./Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.	Radial	Tangential	Vertical	Rad./Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.
1	1,500E+01	1,500E+02	2,418E-06	0,000E+00	9,168E-05	8,518E-03	1,762E-04	-8,030E-04	0,000E+00	-2,516E+04	0,000E+00	9,979E-06	1,612E-05	-2,972E-05	0,000E+00	-1,969E-05	0,000E+00
2	1,500E+01	0,000E+00	2,418E-06	0,000E+00	9,168E-05	8,518E-03	1,762E-04	-8,030E-04	0,000E+00	-2,516E+04	0,000E+00	9,979E-06	1,612E-05	-2,972E-05	0,000E+00	-1,969E-05	0,000E+00

Total Stresses (Pa) XX: 1,704E+04 YY: 3,524E+04 ZZ: -1,006E+05 YZ: 0,000E+00 XZ: 0,000E+00 XY: 0,000E+00
Total Strains XX: 1,996E-05 YY: 3,224E-05 ZZ: -5,945E-05 YZ: 0,000E+00 XZ: 0,000E+00 XY: 0,000E+00
Total Displacements (m) UX: 0,000E+00 UY: 0,000E+00 UZ: 1,834E-04

Principal Values and Directions of Total Stresses and Strains

	Normal Stress (Pa)	Normal Strain	Shear Stress (Pa)	Shear Strain	X Comp.	Y Comp.	Z Comp.
Maximum:	3,524E+04	3,224E-05			0,0000	1,0000	0,0000
Minimum:	1,704E+04	1,996E-05			1,0000	0,0000	0,0000
Maximum:	-1,006E+05	-5,945E-05	6,792E+04	4,585E-05	0,0000	0,0000	1,0000
Minimum:	-3,268E+04		5,882E+04	3,970E-05	0,0000	0,7071	-0,7071
Maximum:	1,704E+04		9,102E+03	6,144E-06	0,7071	0,0000	-0,7071
Minimum:	-4,179E+04				0,7071	0,0000	0,7071
Maximum:	2,614E+04				-0,7071	0,7071	0,0000
Minimum:					0,7071	0,7071	0,0000

Strain Energy (J): 3,729E+00 **Strain Energy of Distortion (J):** 3,670E+00



BISAR 3.0 - Detailed Report

A31- definitivo -1

System 1: A31 - progetto definitivo_1

Position Number: 5 Layer Number: 1 X Coord (m): 1,500E-01 Y Coord (m): 0,000E+00 Z Coord (m): 3,200E-01

Lead No.	Diameter (mm)	Theta (°)	Displacement (m)			Stresses (Pa)						Strains					
			Radial	Tangential	Vertical	Radial	Tangential	Vertical	Rad./Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.	Radial	Tangential	Vertical	Rad./Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.
1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	9,448E-05	9,923E-04	9,924E-04	-7,586E-04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,979E-05	1,980E-05	-1,198E-05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	3,000E+01	0,000E+00	3,032E-06	0,000E+00	8,610E-05	7,725E-03	4,267E-04	-1,866E-04	0,000E+00	-2,784E+04	0,000E+00	-1,483E-07	1,011E-05	-7,888E-06	0,000E+00	-4,171E-06	0,000E+00

Total Stresses (Pa) XX: 1,070E+05 YY: 1,419E+05 ZZ: -9,451E+04 YZ: 0,000E+00 XZ: -2,784E+04 XY: 0,000E+00
Total Strains XX: 1,965E-05 YY: 2,990E-05 ZZ: -3,948E-05 YZ: 0,000E+00 XZ: -8,171E-06 XY: 0,000E+00
Total Displacements (m) UX: 3,032E-06 UY: 0,000E+00 UZ: 1,806E-04

Principal Values and Directions of Total Stresses and Strains

	Normal Stress (Pa)	Normal Strain	Shear Stress (Pa)	Shear Strain	X Comp.	Y Comp.	Z Comp.
Maximum:	1,419E+05	2,990E-05			0,0000	1,0000	0,0000
Minimum:	1,107E+05	2,075E-05			0,9909	0,0000	-0,1344
Maximum:	-9,828E+04	-4,059E-05	1,201E+05	3,525E-05	0,1344	0,0000	0,9909
Minimum:	2,181E+04		1,045E+05	3,067E-05	-0,0951	0,7071	-0,7007
Maximum:	6,227E+03		1,559E+04	4,574E-06	0,6056	0,0000	-0,7957
Minimum:	1,263E+05				0,7957	0,0000	0,6056
Maximum:					-0,7007	0,7071	0,0951
Minimum:					0,7007	0,7071	-0,0951

Strain Energy (J): 5,265E+00 **Strain Energy of Distortion (J):** 5,006E+00

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE



BISAR 3.0 - Detailed Report

A31- definitivo -1

System 1: A31 - progetto definitivo _1

Position Number: 6		Layer Number: 2		X Coord (m): 1,500E-01		Y Coord (m): 0,000E+00		Z Coord (m): 3,200E-01								
Elev. Distance to No. Lead Axis (m)	Thick (°)	Displacement (m)			Stresses (Pa)											
		Radial	Tangential	Vertical	Radial	Tangential	Vertical	Rad./Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.	Radial	Tangential	Vertical	Rad./Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.
1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	9,441E-05	2,007E-04	2,006E-04	-7,546E-04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,930E-05	1,979E-05	-4,491E-05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	3,000E-01	0,000E+00	3,032E-06	8,610E-05	-3,317E-03	1,281E-04	-1,865E-04	0,000E+00	-2,784E-04	0,000E+00	-1,484E-07	1,011E-05	-1,117E-05	0,000E+00	-1,879E-05	0,000E+00

Total Stresses (Pa)	XX: 1,775E-04	YY: 3,294E-04	ZZ: -9,451E-04	YZ: 0,000E+00	XZ: -2,784E-04	XY: 0,000E+00
Total Strains	XX: 1,965E-05	YY: 2,990E-05	ZZ: -5,612E-05	YZ: 0,000E+00	XZ: -1,879E-05	XY: 0,000E+00
Total Displacements (m)	UX: 3,032E-06	UY: 0,000E+00	UZ: 1,806E-04			

Principal Values and Directions of Total Stresses and Strains

	Normal Stress (Pa)	Normal Strain	Shear Stress (Pa)	Shear Strain	X Comp.	Y Comp.	Z Comp.
Maximum:	3,294E+04	2,990E-05			0,0000	1,0000	0,0000
Minimum:	2,428E+04	2,405E-05			0,9736	0,0000	-0,2282
Maximum:	-1,010E+05	-6,053E-05			0,2282	0,0000	0,9736
Minimum:	-3,405E+04		6,698E-04	4,521E-05	-0,1614	0,7071	-0,6884
Minimum:	-3,838E+04		6,265E-04	4,229E-05	0,1614	0,7071	0,6884
Minimum:			4,331E-03	2,923E-06	0,5271	0,0000	-0,8498
Minimum:					0,8498	0,0000	0,5271
Minimum:					-0,6884	0,7071	0,1614
Minimum:					0,6884	0,7071	-0,1614

Strain Energy (J): 3,842E-00 Strain Energy of Distortion (J): 3,794E-00



BISAR 3.0 - Detailed Report

A31- definitivo -1

System 1: A31 - progetto definitivo _1

Position Number: 7		Layer Number: 2		X Coord (m): 0,000E+00		Y Coord (m): 0,000E+00		Z Coord (m): 5,690E-01									
Elev. Distance to No. Lead Axis (m)	Thick (°)	Displacement (m)			Stresses (Pa)												
		Radial	Tangential	Vertical	Radial	Tangential	Vertical	Rad./Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.	Radial	Tangential	Vertical	Rad./Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.	
1	1,500E-01	1,500E-02	1,502E-06	0,000E+00	1,592E-05	4,792E-04	5,107E-04	-1,104E-04	0,000E+00	-3,511E-03	0,000E+00	1,696E-05	1,908E-05	-2,184E-05	0,000E+00	-3,370E-06	0,000E+00
2	1,500E-01	0,000E+00	1,502E-06	0,000E+00	1,592E-05	4,792E-04	5,107E-04	-1,104E-04	0,000E+00	-3,511E-03	0,000E+00	1,696E-05	1,908E-05	-2,184E-05	0,000E+00	-3,370E-06	0,000E+00

Total Stresses (Pa)	XX: 9,584E+04	YY: 1,021E+05	ZZ: -2,208E+04	YZ: 0,000E+00	XZ: 0,000E+00	XY: 0,000E+00
Total Strains	XX: 3,391E-05	YY: 3,816E-05	ZZ: -4,569E-05	YZ: 0,000E+00	XZ: 0,000E+00	XY: 0,000E+00
Total Displacements (m)	UX: 0,000E+00	UY: 0,000E+00	UZ: 1,719E-04			

Principal Values and Directions of Total Stresses and Strains

	Normal Stress (Pa)	Normal Strain	Shear Stress (Pa)	Shear Strain	X Comp.	Y Comp.	Z Comp.
Maximum:	1,021E+05	3,816E-05			0,0000	1,0000	0,0000
Minimum:	9,584E+04	3,391E-05			1,0000	0,0000	0,0000
Minimum:	-2,208E+04	-4,569E-05			0,0000	0,0000	1,0000
Maximum:			6,211E-04	4,192E-05	0,0000	0,7071	-0,7071
Minimum:			5,896E-04	3,980E-05	0,0000	0,7071	0,7071
Minimum:					0,7071	0,0000	0,7071
Minimum:					-0,7071	0,7071	0,0000
Minimum:					0,7071	0,7071	0,0000

Strain Energy (J): 4,078E+00 Strain Energy of Distortion (J): 3,305E+00

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE



BISAR 3.0 - Detailed Report

A31- definitivo -1

System 1: A31 - progetto definitivo_1

Position Number: 8		Layer Number: 3		X Coord (m): 0,000E+00			Y Coord (m): 0,000E+00			Z Coord (m): 5,690E-01							
Lead Distance (m)	Thick (°)	Displacement (m)			Stresses (Pa)						Strains						
		Radial	Tangential	Vertical	Radial	Tangential	Vertical	Rad.Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.	Radial	Tangential	Vertical	Rad.Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.	
1	1,500E+01	1,800E+02	2,862E+04	0,000E+00	8,592E+05	5,590E+03	6,270E+03	-1,104E+04	0,000E+00	-3,511E+03	0,000E+00	1,694E+05	1,908E+05	-3,501E+05	0,000E+00	-1,097E+05	0,000E+00
2	1,500E+01	0,000E+00	2,862E+04	0,000E+00	8,592E+05	5,590E+03	6,270E+03	-1,104E+04	0,000E+00	-3,511E+03	0,000E+00	1,694E+05	1,908E+05	-3,501E+05	0,000E+00	-1,097E+05	0,000E+00

Total Stresses (Pa)	XX: 1,118E+04	YY: 1,254E+04	ZZ: -2,208E+04	YZ: 0,000E+00	XZ: 0,000E+00	XY: 0,000E+00
Total Strains	XX: 3,391E-05	YY: 3,816E-05	ZZ: -7,002E-05	YZ: 0,000E+00	XZ: 0,000E+00	XY: 0,000E+00
Total Displacements (m)	UX: 0,000E+00	UY: 0,000E+00	UZ: 1,719E-04			

Principal Values and Directions of Total Stresses and Strains

	Normal Stress (Pa)	Normal Strain	Shear Stress (Pa)	Shear Strain	X Comp.	Y Comp.	Z Comp.
Maximum:	1,254E+04	3,816E-05			0,0000	1,0000	0,0000
Minimum:	1,118E+04	3,391E-05			1,0000	0,0000	0,0000
Maximum:	-2,208E+04	-7,002E-05			0,0000	0,0000	1,0000
Maximum:			1,731E+04	5,409E-05	0,0000	0,7071	-0,7071
Minimum:			1,663E+04	5,197E-05	0,7071	0,0000	-0,7071
Minimum:			6,799E+02	2,125E-06	-0,7071	0,7071	0,0000
Minimum:					0,7071	0,7071	0,0000

Strain Energy (J): 1,202E+00

Strain Energy of Distortion (J): 1,201E+00



BISAR 3.0 - Detailed Report

A31- definitivo -1

System 1: A31 - progetto definitivo_1

Position Number: 9		Layer Number: 2		X Coord (m): 1,500E-01			Y Coord (m): 0,000E+00			Z Coord (m): 5,690E-01						
Lead Distance (m)	Thick (°)	Displacement (m)			Stresses (Pa)						Strains					
		Radial	Tangential	Vertical	Radial	Tangential	Vertical	Rad.Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.	Radial	Tangential	Vertical	Rad.Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.
1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	8,732E-05	2,546E+04	2,546E+04	-1,232E+04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,022E+05	2,022E+05	-2,567E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	3,000E+01	0,000E+00	4,924E+06	0,000E+00	2,263E+04	4,144E+04	-8,011E+03	0,000E+00	-3,147E+03	0,000E+00	1,046E+05	1,641E+05	-1,697E+05	0,000E+00	-3,474E+06	0,000E+00

Total Stresses (Pa)	XX: 8,809E+04	YY: 9,690E+04	ZZ: -2,053E+04	YZ: 0,000E+00	XZ: -5,147E+03	XY: 0,000E+00
Total Strains	XX: 3,068E-05	YY: 3,663E-05	ZZ: -4,264E-05	YZ: 0,000E+00	XZ: -3,474E-06	XY: 0,000E+00
Total Displacements (m)	UX: 4,924E-06	UY: 0,000E+00	UZ: 1,699E-04			

Principal Values and Directions of Total Stresses and Strains

	Normal Stress (Pa)	Normal Strain	Shear Stress (Pa)	Shear Strain	X Comp.	Y Comp.	Z Comp.
Maximum:	9,690E+04	3,663E-05			0,0000	1,0000	0,0000
Minimum:	8,833E+04	3,068E-05			0,9999	0,0000	-0,0472
Minimum:	-2,077E+04	-4,280E-05			0,0472	0,0000	0,9999
Maximum:			5,884E+04	3,972E-05	-0,0334	0,7071	-0,7065
Minimum:			5,455E+04	3,682E-05	0,0334	0,7071	-0,7065
Minimum:			4,285E+03	2,893E-06	0,6729	0,0000	-0,7397
Minimum:					0,7397	0,0000	0,6729
Minimum:					-0,7063	0,7071	0,0334
Minimum:					0,7063	0,7071	-0,0334

Strain Energy (J): 3,582E+00

Strain Energy of Distortion (J): 2,905E+00

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE



BISAR 3.0 - Detailed Report

A31- definitivo -1

System 1: A31 - progetto definitivo _1

Position Number: 10 Layer Number: 3 X Coord (m): 1,500E-01 Y Coord (m): 0,000E+00 Z Coord (m): 5,690E-01

Lead No.	Distance (m)	Theta (°)	Displacement (m)			Stresses (Pa)						Strains																	
			Radial	Tangential	Vertical	Radial	Tangential	Vertical	Rad.Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.	Radial	Tangential	Vertical	Rad.Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.												
1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	8,721E-05	6,609E-05	6,609E-05	-1,252E-04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	
2	3,000E-01	0,000E+00	4,924E-06	0,000E+00	8,272E-05	3,543E-05	3,449E-05	-8,012E-05	0,000E+00	-3,147E-05	0,000E+00	1,046E-05	1,641E-05	-2,365E-05	0,000E+00	0,000E+00	-1,608E-05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00

Total Stresses (Pa) XX: 1,015E+04 YY: 1,206E+04 ZZ: -2,053E-04 YZ: 0,000E+00 XZ: -5,147E-05 XY: 0,000E+00
Total Strains XX: 3,068E-05 YY: 3,663E-05 ZZ: -6,521E-05 YZ: 0,000E+00 XZ: -1,608E-05 XY: 0,000E+00
Total Displacements (m) UX: 4,924E-06 UY: 0,000E+00 UZ: 1,699E-04

Principal Values and Directions of Total Stresses and Strains

	Normal Stress (Pa)	Normal Strain	Shear Stress (Pa)	Shear Strain	X Comp.	Y Comp.	Z Comp.
Maximum:	1,206E+04	3,663E-05			0,0000	1,0000	0,0000
Minimum:	1,099E+04	3,331E-05			0,9869	0,0000	-0,1611
Maximum:	-2,137E+04	-6,784E-05	1,671E+04	5,223E-05	0,1611	0,0000	0,9869
Minimum:	-4,657E+03		1,618E+04	5,057E-05	-0,1139	0,7071	-0,6979
Maximum:	-5,188E+03		5,315E+02	1,661E-06	0,1139	0,7071	-0,6979
Minimum:	1,153E+04				0,5839	0,0000	0,4161
					-0,6979	0,7071	0,1139
					0,6979	0,7071	-0,1139

Strain Energy (J): 1,129E+00 Strain Energy of Distortion (J): 1,128E+00



BISAR 3.0 - Detailed Report

A31- definitivo -1

System 1: A31 - progetto definitivo _1

Position Number: 11 Layer Number: 3 X Coord (m): 0,000E+00 Y Coord (m): 0,000E+00 Z Coord (m): 8,690E-01

Lead No.	Distance (m)	Theta (°)	Displacement (m)			Stresses (Pa)						Strains																
			Radial	Tangential	Vertical	Radial	Tangential	Vertical	Rad.Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.	Radial	Tangential	Vertical	Rad.Tang.	Rad./Vert.	Tang./Vert.											
1	1,200E-01	1,200E+02	2,816E-04	0,000E+00	7,131E-05	8,431E-05	8,721E-05	-4,201E-05	0,000E+00	-3,041E-02	0,000E+00	1,831E-05	1,924E-05	-2,144E-05	0,000E+00	0,000E+00	-1,575E-04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	1,200E-01	0,000E+00	2,816E-06	0,000E+00	7,131E-05	8,431E-05	8,721E-05	-4,201E-05	0,000E+00	-3,041E-02	0,000E+00	1,831E-05	1,924E-05	-2,144E-05	0,000E+00	0,000E+00	-1,575E-06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00

Total Stresses (Pa) XX: 1,686E+04 YY: 1,745E+04 ZZ: -8,656E+03 YZ: 0,000E+00 XZ: 0,000E+00 XY: 0,000E+00
Total Strains XX: 3,666E-05 YY: 3,849E-05 ZZ: -4,308E-05 YZ: 0,000E+00 XZ: 0,000E+00 XY: 0,000E+00
Total Displacements (m) UX: 0,000E+00 UY: 0,000E+00 UZ: 1,566E-04

Principal Values and Directions of Total Stresses and Strains

	Normal Stress (Pa)	Normal Strain	Shear Stress (Pa)	Shear Strain	X Comp.	Y Comp.	Z Comp.
Maximum:	1,745E+04	3,849E-05			0,0000	1,0000	0,0000
Minimum:	1,686E+04	3,666E-05			1,0000	0,0000	0,0000
Maximum:	-8,656E+03	-4,308E-05	1,305E+04	4,078E-05	0,0000	0,7071	-0,7071
Minimum:	4,395E+03		1,276E+04	3,987E-05	0,0000	0,7071	-0,7071
Maximum:	4,103E+03		2,915E+02	9,110E-07	0,7071	0,0000	0,7071
Minimum:	1,715E+04				-0,7071	0,7071	0,0000
					0,7071	0,7071	0,0000

Strain Energy (J): 8,313E-01 Strain Energy of Distortion (J): 6,942E-01

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

BISAR 3.0 - Detailed Report																			
A31- definitivo -1																			
System 1: A31 - progetto definitivo _1																			
Position Number: 12		Layer Number: 4		X Coord (m): 0,000E+00				Y Coord (m): 0,000E+00				Z Coord (m): 8,690E-01							
Lead	Distance to	Displacements (m)						Stresses (Pa)						Strains					
No.	Lead Axis (m)	Thick (°)	Radial	Tangential	Vertical	Radial	Tangential	Vertical	Rad.Tang.	Rad./Ver.	Tang./Ver.	Radial	Tangential	Vertical	Rad.Tang.	Rad./Ver.	Tang./Ver.		
1	1,500E+01	1,800E+02	2,816E-06	0,000E+00	7,831E-02	2,140E-02	2,787E-02	-4,321E-03	0,000E+00	-8,041E-02	0,000E+00	1,814E-05	1,924E-05	-4,522E-05	0,000E+00	-7,027E-06	0,000E+00		
2	1,500E+01	0,000E+00	2,816E-06	0,000E+00	7,831E-02	2,140E-02	2,787E-02	-4,321E-03	0,000E+00	-8,041E-02	0,000E+00	1,814E-05	1,924E-05	-4,522E-05	0,000E+00	-7,027E-06	0,000E+00		
Total Stresses (Pa)			XX:	4,281E+02	YY:	5,574E+02	ZZ:	-8,656E+03	YZ:	0,000E+00	XZ:	0,000E+00	XY:	0,000E+00					
Total Strains			XX:	3,668E-05	YY:	3,849E-05	ZZ:	-9,050E-05	YZ:	0,000E+00	XZ:	0,000E+00	XY:	0,000E+00					
Total Displacements (m)			UX:	0,000E+00	UY:	0,000E+00	UZ:	1,566E-04											
Principal Values and Directions of Total Stresses and Strains																			
		Normal Stress (Pa)	Normal Strain	Shear Stress (Pa)	Shear Strain	X Comp.	Y Comp.	Z Comp.											
Maximum:		5,574E+02	3,849E-05			0,0000	1,0000	0,0000											
Minimum:		4,281E+02	3,668E-05			1,0000	0,0000	0,0000											
Maximum:		-8,656E+03	-9,050E-05			0,0000	0,0000	1,0000											
Minimum:		-4,049E+03		4,607E+03	6,449E-05	0,0000	0,7071	-0,7071											
Maximum:				4,542E+03	6,359E-05	0,7071	0,0000	-0,7071											
Minimum:				4,114E+03		0,7071	0,0000	0,7071											
Maximum:				6,463E+01	9,049E-07	-0,7071	0,7071	0,0000											
Minimum:				4,927E+02		0,7071	0,7071	0,0000											
Strain Energy (J):			4,103E-01																
Strain Energy of Distortion (J):			3,907E-01																

BISAR 3.0 - Detailed Report																			
A31- definitivo -1																			
System 1: A31 - progetto definitivo _1																			
Position Number: 13		Layer Number: 3		X Coord (m): 1,500E-01				Y Coord (m): 0,000E+00				Z Coord (m): 8,690E-01							
Lead	Distance to	Displacements (m)						Stresses (Pa)						Strains					
No.	Lead Axis (m)	Thick (°)	Radial	Tangential	Vertical	Radial	Tangential	Vertical	Rad.Tang.	Rad./Ver.	Tang./Ver.	Radial	Tangential	Vertical	Rad.Tang.	Rad./Ver.	Tang./Ver.		
1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	7,839E-02	0,000E+00	0,000E+00	-4,479E-03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,871E-05	1,871E-05	-2,247E-05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00		
2	3,000E+01	0,000E+00	3,392E-06	0,000E+00	7,643E-02	6,526E-03	7,947E-03	-3,840E-03	0,000E+00	-8,813E-02	0,000E+00	1,433E-05	1,793E-05	-1,916E-05	0,000E+00	-2,714E-06	0,000E+00		
Total Stresses (Pa)			XX:	1,598E+04	YY:	1,697E+04	ZZ:	-8,419E+03	YZ:	0,000E+00	XZ:	-8,813E+02	XY:	0,000E+00					
Total Strains			XX:	3,460E-05	YY:	3,769E-05	ZZ:	-4,164E-05	YZ:	0,000E+00	XZ:	-2,754E-06	XY:	0,000E+00					
Total Displacements (m)			UX:	5,395E-06	UY:	0,000E+00	UZ:	1,554E-04											
Principal Values and Directions of Total Stresses and Strains																			
		Normal Stress (Pa)	Normal Strain	Shear Stress (Pa)	Shear Strain	X Comp.	Y Comp.	Z Comp.											
Maximum:		1,697E+04	3,769E-05			0,0000	1,0000	0,0000											
Minimum:		1,601E+04	3,470E-05			0,9993	0,0000	-0,0361											
Maximum:		-8,451E+03	-4,174E-05			0,0361	0,0000	0,9993											
Minimum:		4,258E+03		1,271E+04	3,971E-05	-0,0255	0,7071	-0,7066											
Maximum:				1,223E+04	3,822E-05	0,0255	0,7071	-0,7066											
Minimum:				3,778E+03		0,6812	0,0000	-0,7321											
Maximum:				4,799E+02	1,500E-06	0,7321	0,0000	0,6812											
Minimum:				1,649E+04		-0,7066	0,7071	0,0255											
Maximum:						0,7066	0,7071	-0,0255											
Strain Energy (J):			7,738E-01																
Strain Energy of Distortion (J):			6,485E-01																

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE



BIPAR 3.0 - Detailed Report

A31- definitivo -1

System 1: A31 - progetto definitivo _1

Position Number: 14 Layer Number: 4 X Coord (m): 1,500E-01 Y Coord (m): 0,000E+00 Z Coord (m): 8,690E-01

Lead No.	Distance to Lead Axis (m)	Theta (°)	Displacements (m)			Stresses (Pa)						Strains					
			Radial	Tangential	Vertical	Radial	Tangential	Vertical	Rad. Tang.	Rad. Vert.	Tang. Vert.	Radial	Tangential	Vertical	Rad. Tang.	Rad. Vert.	Tang. Vert.
1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	7,869E-05	2,991E+02	2,991E+02	-4,479E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,971E-03	1,971E-03	-4,711E-03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	3,000E+01	0,000E+00	3,392E-06	0,000E+00	7,642E-05	1,963E+00	2,231E+02	-3,240E+03	0,000E+00	-8,812E+02	0,000E+00	1,483E-03	1,792E-03	-4,030E-03	0,000E+00	-1,214E-03	0,000E+00

Total Stresses (Pa) XX: 3,010E+02 YY: 5,224E+02 ZZ: -8,419E+03 YZ: 0,000E+00 XZ: -8,813E+02 XY: 0,000E+00
Total Strains XX: 3,460E-05 YY: 3,769E-05 ZZ: -8,748E-05 YZ: 0,000E+00 XZ: -1,234E-05 XY: 0,000E+00
Total Displacements (m) UX: 5,395E-06 UY: 0,000E+00 UZ: 1,554E-04

Principal Values and Directions of Total Stresses and Strains

	Normal Stress (Pa)	Normal Strain	Shear Stress (Pa)	Shear Strain	X Comp.	Y Comp.	Z Comp.
Maximum:	5,224E+02	3,769E-05			0,0000	1,0000	0,0000
Minimum:	3,892E+02	3,583E-05			0,9950	0,0000	-0,0996
Maximum:	-8,507E+03	-8,872E-05	4,515E+03	6,321E-05	0,0996	0,0000	0,9950
Minimum:	-3,992E+03		4,448E+03	6,227E-05	-0,0704	0,7071	-0,7036
Maximum:	-4,059E+03		6,659E+01	9,322E-07	0,0704	0,0000	-0,7740
Minimum:	4,558E+02				0,7740	0,0000	0,6332
					-0,7036	0,7071	0,0704
					0,7036	0,7071	-0,0704

Strain Energy (J): 3,942E-01 Strain Energy of Distortion (J): 3,749E-01