

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78

S.G.C. GROSSETO - FANO

ADEGUAMENTO A 4 CORSIE

NEL TRATTO GROSSETO - SIENA (S.S. 223 "DI PAGANICO")

DAL KM 41+600 AL KM 53+400 - LOTTO 9

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **FI15**

PROGETTAZIONE: **ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA**

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Federico Durastanti
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A844

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

Il R.U.P.

Dott. Ing.
Raffaele Franco Carso

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

PROTOCOLLO

DATA

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA: MANDANTI:



Dott. Ing. N. Granieri	Dott. Ing. D. Carlaccini	Dott. Ing. V. Rotisciani
Dott. Arch. N. Kamenicky	Dott. Ing. S. Sacconi	Dott. Ing. F. Macchioni
Dott. Ing. V. Truffini	Dott. Ing. A. Rea	Geom. C. Vischini
Dott. Arch. A. Bracchini	Dott. Ing. V. De Gori	Dott. Ing. V. Piu'no
Dott. Ing. F. Durastanti	Dott. Ing. C. Consorti	Dott. Ing. G. Pulli
Dott. Ing. E. Bartolucci	Geom. F. Dominici	Geom. C. Sugaroni
Dott. Geol. G. Cerquiglini		
Geom. S. Scopetta		
Dott. Ing. L. Sbrenna		
Dott. Ing. E. Sellari		
Dott. Ing. L. Dinelli		
Dott. Ing. L. Nani		
Dott. Ing. F. Pambianco		
Dott. Agr. F. Berti Nulli		



PROGETTO STRADALE ELABORATI GENERALI

Relazione di dimensionamento della pavimentazione stradale

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00-EG00-TRA-RE02		
LOFI15	E	1901		A	-
CODICE ELAB.		T00EG00TRA RE02			
A	Emissione	28/02/2020	M.De Tursi	E.Bartolucci	N.Granieri
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. CONDIZIONI CLIMATICHE	4
3. INDAGINI IN SITU	5
4. PAVIMENTAZIONI DI PROGETTO	6
4.1 ASSE PRINCIPALE E RAMPE	6
4.1.1 PARAMENTRI MECCANICI.....	7
4.1.1.1 SOTTOFONDO	7
4.1.1.2 FONDAZIONE IN MISTO GRANULARE STABILIZZATO A LEGANTE NATURALE.....	7
4.1.1.3 SOTTOBASE IN MISTO GRANULARE STABILIZZATO A CEMENTO	7
4.1.1.4 STRATI IN CONGLOMERATO BITUMINOSO.....	7
4.2 VIABILITÀ COMUNALI, VICINALI E SECONDARIE	11
4.2.1 PARAMENTRI MECCANICI.....	11
4.2.1.1 SOTTOFONDO	11
4.2.1.2 FONDAZIONE IN MISTO GRANULARE STABILIZZATO A LEGANTE NATURALE.....	11
4.2.1.3 STRATI IN CONGLOMERATO BITUMINOSO.....	12
5. TRAFFICO DI PROGETTO	15
5.1 ASSE PRINCIPALE E RAMPE	15
5.2 VIABILITÀ COMUNALI, VICINALI E SECONDARIE	18
6. VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE.....	19
6.1 VERIFICA DEGLI STRATI IN CONGLOMERATO BITUMINOSO.....	20
6.2 VERIFICA DEGLI STRATI IN MISTO GRANULARE	20
6.3 VERIFICA DEL SOTTOFONDO	21
7. ANALISI DEI RISULTATI.....	23
7.1 FATICA CONGLOMERATI BITUMINOSI.....	23
7.1.1 ASSE PRINCIPALE E RAMPE	23
7.1.1 VIABILITÀ COMUNALI, VICINALI E SECONDARIE	24
7.2 FATICA STRATI IN MATERIALE GRANULARE	25
7.2.1 ASSE PRINCIPALE E RAMPE	25
7.2.2 VIABILITÀ COMUNALI, VICINALI E SECONDARIE	26
7.3 ORMAIAMENTO SOTTOFONDO	27

RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE

7.3.1 ASSE PRINCIPALE E RAMPE	27
7.3.2 VIABILITÀ COMUNALI, VICINALI E SECONDARIE	28
8. ALLEGATI.....	29

1. PREMESSA

La presente relazione di calcolo è relativa al dimensionamento della pavimentazione della strada SS273 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9.

La tipologia scelta è del tipo “flessibile” diversa a seconda delle viabilità interessate:

- Asse principale e rampe annesse: Costituita da uno strato di fondazione in misto granulate stabilizzato a legante naturale ed uno più in superficie stabilizzato a cemento, uno strato di base, uno di binder ed uno di usura drenante e fonoassorbente in conglomerato bituminoso;
- Strade comunali, vicinali e secondarie: Costituita da uno strato di fondazione in misto granulate stabilizzato a legante naturale, uno strato di base ed uno di usura drenante e fonoassorbente in conglomerato bituminoso.

Il calcolo è stato eseguito con il metodo “razionale” in alternativa ai metodi semi-empirici, in particolare per la risoluzione del multistrato elastico è stato utilizzato il software KENPAVE, ampiamente diffuso ed applicato anche in Italia.

Per il dimensionamento degli strati costituenti la sovrastruttura occorre conoscere le caratteristiche meccaniche del terreno di sottofondo. Di seguito si riportano dapprima le caratteristiche dei terreni interessati dall’infrastruttura viaria, dopodiché si illustra il calcolo della pavimentazione.

2. CONDIZIONI CLIMATICHE

Le proprietà meccaniche di alcuni materiali impiegati nella realizzazione delle pavimentazioni stradali (conglomerati bituminosi) risentono fortemente delle variazioni di temperatura, poiché essa influenza i valori del modulo complesso (parametro meccanico rappresentativo degli strati legati a bitume). Risulta necessario dunque suddividere l'anno in periodi caratterizzati da una temperatura media dell'aria pressoché uniforme (tipicamente 4 periodi della durata di 3 mesi ciascuno, corrispondenti alle 4 stagioni).

Nel caso in esame ci si è riferiti alle situazioni climatiche medie dell'Italia Centrale suggerite dal "Catalogo delle Pavimentazioni Stradali", riportati in sintesi della tabella seguente.

Stagione	T _{media}
	°C
estate	22.00
autunno	14.00
inverno	4.50
primavera	11.50

In particolare, sulla base delle temperature medie mensili dell'aria, si può risalire alla temperatura del conglomerato bituminoso alla profondità z (espressa in centimetri) secondo la nota formula introdotta di Witczak:

$$T_z = (1,467 + 0,043 \cdot z) + (1,362 - 0,005 \cdot z) \cdot T_a$$

dove T_z è la temperatura alla profondità z e T_a è la temperatura media dell'aria, espressa in °C.

3. INDAGINI IN SITU

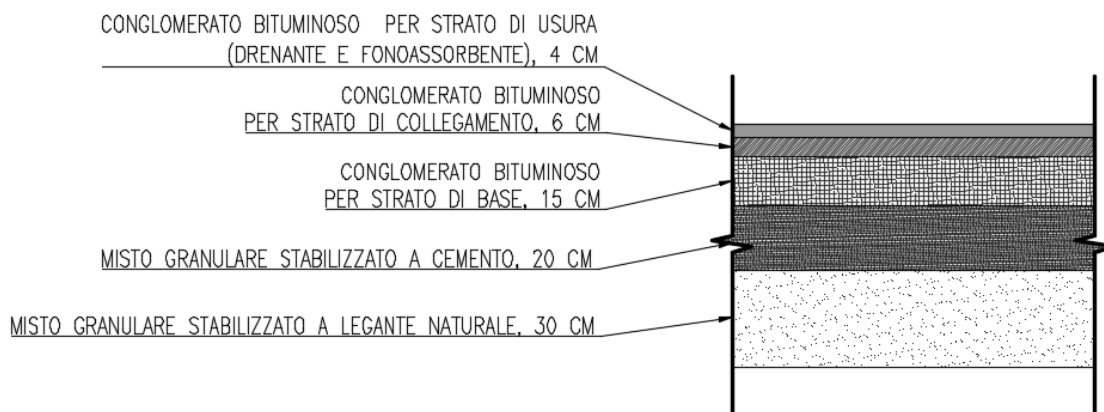
Per la determinazione delle caratteristiche meccaniche del terreno si fa riferimento alle prove di carico su piastra eseguite in situ, di cui si riporta una tabella riepilogativa, ed è valida per tutte le viabilità di progetto:

N.	ID	Sigla ID	M _{D1}	M _{D2}	M _{D1} /M _{D2}	W%
			MPa	MPa		
01	Pz01	PS104/19	18.96	273.73	0.07	14.58%
02	Pz02	PS105/19	40.74	236.84	0.17	14.08%
03	Pz03	PS098/19	32.03	187.50	0.17	6.68%
04	Pz04	PS099/19	28.30	236.84	0.12	8.54%
05	Pz05	PS088/19	95.78	375.00	0.26	7.79%
06	Pz06	PS100/19	36.00	225.00	0.16	8.30%
07	Pz07	PS101/19	14.50	219.51	0.07	17.19%
08	Pz08	PS102/19	25.79	230.77	0.11	9.92%
09	Pz09	PS103/19	16.95	290.32	0.06	11.54%
10	Pz10	PS093/19	13.94	310.34	0.04	12.81%
11	Pz11	PS094/19	12.89	166.67	0.08	13.55%
12	Pz12	PS095/19	21.95	225.00	0.10	6.49%
13	Pz13	PS096/19	14.75	310.34	0.05	9.85%
14	Pz14	PS097/19	15.44	333.33	0.05	11.76%
15	Pz15	PS089/19	15.23	360.00	0.04	9.48%
16	Pz16	PS090/19	21.53	473.68	0.05	10.24%
17	Pz17	PS091/19	18.56	160.71	0.12	9.54%
18	Pz18	PS092/19	16.67	152.54	0.11	10.79%

4. PAVIMENTAZIONI DI PROGETTO

4.1 ASSE PRINCIPALE E RAMPE

Sulla base della tipologia di traffico che interagisce con l’infrastruttura stradale, occorre realizzare una pavimentazione in grado di resistere ai carichi che vi transitano e agli effetti da essi indotti (accumulo di deformazioni verticali plastiche sul sottofondo- ormaimento – o sfondamento per fatica dovuto alle deformazioni di trazione per flessione negli strati bitumati).



Per rispondere a tali esigenze, si è previsto un pacchetto strutturale così composto.

STRATO	MATERIALE
Usura	Conglomerato bituminoso
Binder	Conglomerato bituminoso
Base	Conglomerato bituminoso
Sottobase	Misto granulare stabilizzato a cemento
Fondazione	Misto granulare

La sovrastruttura di progetto risulta essere composta da:

- 4 cm di tappeto di usura drenante e fonoassorbente monostrato;
- 6 cm di conglomerato bituminoso (binder);
- 15 cm di conglomerato bituminoso (base);
- 20 cm di misto granulare stabilizzato a cemento (sottobase);
- 30 cm di misto granulare stabilizzato a legante naturale (fondazione).

4.1.1 PARAMENTRI MECCANICI

4.1.1.1 SOTTOFONDO

Per il sottofondo, in accordo con numerose esperienze sperimentali, è stato ricavato il modulo resiliente M_R a partire dal modulo di deformazione M_D derivante dalle prove su piastra (metodo indicato nella CNR 146/1992 per stabilire l' idoneità del sottofondo).

Tali grandezze sono correlate da formulazioni empiriche, suggerite dal TRRL (*Transport and Road Research Laboratory*), che coinvolgono, inoltre, un ulteriore indice di portanza del sottofondo, il CBR (*California Bearing Ratio*):

$$CBR = 0.2 \cdot M_D$$
$$M_R = 17.6 \cdot CBR^{0.64}$$

Il modulo resiliente ricavato è pari a 50.00 Mpa. Il coefficiente di Poisson è stato posto pari a 0,45.

4.1.1.2 FONDAZIONE IN MISTO GRANULARE STABILIZZATO A LEGANTE NATURALE

Il modulo dello strato di fondazione in misto granulare è stato stimato in riferimento alla relazione proposta da Shell Institute, secondo cui il modulo dello strato in misto granulare è influenzato dallo spessore dello strato stesso e dal modulo del sottofondo:

$$E_{MG} = 0.2 \cdot h_{MG}^{0.45} \cdot E_{sf}$$

dove:

- E_{MG} = modulo elastico dello strato in misto granulare (MPa);
- h_{MG} = spessore dello strato in misto granulare (in cm);
- E_{sf} = modulo resiliente del sottofondo (MPa).

Si ottiene dunque un valore di E_{MG} pari a 134 MPa. Per il coefficiente di Poisson si è optato per un valore pari a 0,40.

4.1.1.3 SOTTOBASE IN MISTO GRANULARE STABILIZZATO A CEMENTO

Il modulo dello strato di sottobase in misto granulare stabilizzato a cemento è stato stimato in riferimento a quello dello strato immediatamente inferiore, ossia la fondazione in misto granulare, ed è stato posto pari al doppio di quest'ultimo.

Pertanto, si ottiene un valore de E_{SB} pari a 268 Mpa. Anche in questo caso si è optato per un valore pari a 0,40 per il coefficiente di Poisson.

4.1.1.4 STRATI IN CONGLOMERATO BITUMINOSO

Al fine di aumentare la durabilità della pavimentazione, gli strati in conglomerato bituminoso prevedono l'impiego di bitumi modificati (*Polymer Modified Bitumens, PMB*) come legante.

Tale provvedimento consentirà una migliore resa alle alte e basse temperature e diminuirà la suscettibilità all'invecchiamento.

Inoltre, al fine di diminuire l'impatto ambientale dell'opera in oggetto, il conglomerato bituminoso fresato ricavato dalla demolizione della pavimentazione preesistente sarà reimpiegato per la realizzazione dello strato di base, fino ad un massimo del 30% in peso (come da Capitolato ANAS). In particolare, in attesa di dati derivanti da indagini riguardo la manutenzione passata effettuata nella tratta esistente, si ipotizza ragionevolmente uno spessore di 20 cm per i neri. Nel caso non si trovassero ulteriori dati sulla pavimentazione esistente si rimanda alla DL il compito di effettuare una stima più precisa in fase di appalto.

La determinazione dei moduli degli strati in conglomerato bituminoso può essere effettuata attraverso la relazione di Franken e Vanelstraete (1996):

$$|E^*| = E_{\infty} \cdot R^*(T, f)$$

E_{∞} è il modulo vetroso puramente elastico che caratterizza il comportamento della miscela per bassissime temperature e/o per elevate frequenze. Esso è stimato tramite una formulazione sperimentale frutto di studi di vari autori e modificata per ottenere una migliore regressione dei dati sperimentali:

$$E_{\infty} = 14360 \cdot \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{0.55} \cdot e^{-0.0584 \cdot v} \quad [MPa]$$

dove:

- V_A = volume di aggregati (%);
- V_B = volume di bitume (%);
- v = volume di vuoti (%).

$R^*(T, f)$ è il modulo ridotto, ovvero un coefficiente adimensionale funzione della temperatura e della frequenza ($0 < R^* < 1$). Esso viene calcolato tramite la seguente relazione:

$$\log|R^*| = \log|F^*| \cdot \left\{ 1 - 1.35 \cdot \left[1 - e^{\left(-0.13 \cdot \frac{V_A}{V_B}\right)} \right] \cdot (1 + 0.11 \cdot \log|F^*|) \right\}$$

in cui $|F^*|$ è il modulo residuo di taglio, pari al rapporto tra il modulo a taglio $G^*(T, f)$ ed il modulo a taglio ultimo del legante per bassissime temperature $G^*_{rif} \approx 1000$ Mpa. $G^*(T, f)$ è pari a:

$$|G^*(T, f)| = \frac{S_b}{2(1 + \nu)} \cong \frac{S_b}{3} = \frac{1}{3} \cdot [1.57 \cdot 10^{-7} \cdot t^{-0.368} \cdot e^{-IP} \cdot (T_{PA} - T)^5]$$

con:

- t = tempo di carico, pari a $\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f}$, con f è la frequenza, adottata pari a 10 Hz;
- IP = indice di penetrazione del bitume, calcolabile come $\frac{20 - 500\alpha}{50\alpha + 1}$;
- α = suscettibilità termica del bitume, pari a $\frac{\log(800) - \log(penT^2)}{T_{PA} - 25}$;
- T_{PA} = temperatura di Palla-Anello (°C);
- T = temperatura a cui vengono valutate le caratteristiche del legante (°C).

RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE

Sono stati ottenuti, per i tre strati in conglomerato bituminoso, i seguenti valori del modulo vetroso:

Usura		Binder		Base	
V_B	8.00	V_B	10.00	V_B	10.00
V_a	72.00	V_a	87.00	V_a	85.00
v	20.00	v	3.00	v	5.00

Usura	
E_∞ (Mpa)	14953.12

Binder	
E_∞ (Mpa)	39609.71

Base	
E_∞ (Mpa)	34795.32

Le caratteristiche dei bitumi sono state reperite dal Capitolato Speciale di Appalto di ANAS (Parte 2^a Norme Tecniche – Pavimentazioni stradali/autostradali, 2009). Sono riportati i valori di penetrazione e di temperatura di rammollimento adottati nel prospetto di seguito:

STRATO	Pen	α	IP	T_{PA}
	dmm			°C
Usura	60.00	0.02	4.83	80.00
Binder	60.00	0.02	3.33	70.00
Base	60.00	0.02	3.33	70.00

Sulla base della temperatura del conglomerato bituminoso nella stagione di riferimento (determinabile tramite la relazione di Witczak, §2), delle caratteristiche meccaniche del bitume e della composizione della miscela, sono stati ricavati i valori del modulo complesso degli strati in conglomerato bituminoso nelle 4 diverse stagioni:

ESTATE:

Usura	
F^*	0.00052
R^*	0.0467

Binder	
F^*	0.00078
R^*	0.0577

Base	
F^*	0.00079
R^*	0.0552

STRATO	E^*	T
	MPa	°C
Usura	698.74	31.36
Binder	2283.99	30.96
Base	1921.25	30.84

RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE

AUTUNNO:

Usura	
F*	0.00143
R*	0.09

Binder	
F*	0.00258
R*	0.13

Base	
F*	0.00260
R*	0.12

STRATO	E*	T
	MPa	°C
Usura	1409.62	20.51
Binder	5043.71	20.35
Base	4231.45	20.30

INVERNO:

Usura	
F*	0.00380
R*	0.17

Binder	
F*	0.00801
R*	0.24

Base	
F*	0.00799
R*	0.23

STRATO	E*	T
	MPa	°C
Usura	2559.46	7.62
Binder	9468.34	7.74
Base	7958.68	7.78

PRIMAVERA:

Usura	
F*	0.00188
R*	0.11

Binder	
F*	0.00357
R*	0.15

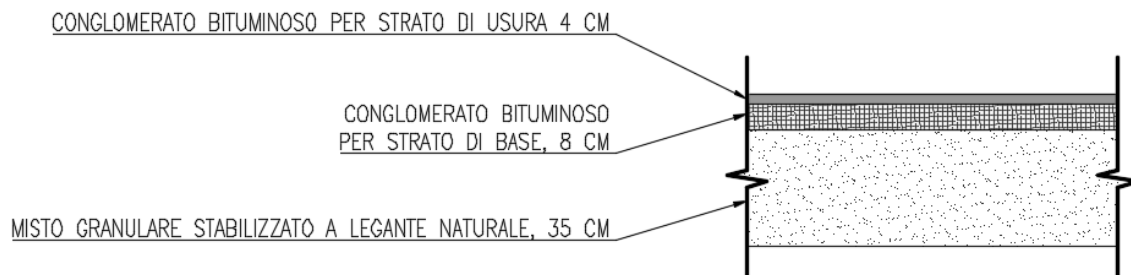
Base	
F*	0.00358
R*	0.15

STRATO	E*	T
	MPa	°C
Usura	1683.12	17.12
Binder	6107.95	17.03
Base	5125.05	17.00

4.2 VIABILITÀ COMUNALI, VICINALI E SECONDARIE

La sovrastruttura di progetto risulta essere composta da:

- 4 cm di tappeto di usura;
- 8 cm di conglomerato bituminoso (base);
- 35 cm di misto granulare stabilizzato a legante naturale (fondazione).



4.2.1 PARAMENTRI MECCANICI

4.2.1.1 SOTTOFONDO

Per il sottofondo, in accordo con numerose esperienze sperimentali, è stato ricavato il modulo resiliente M_R a partire dal modulo di deformazione M_D derivante dalle prove su piastra (metodo indicato nella CNR 146/1992 per stabilire l'idoneità del sottofondo).

Tali grandezze sono correlate da formulazioni empiriche, suggerite dal TRRL (*Transport and Road Research Laboratory*), che coinvolgono, inoltre, un ulteriore indice di portanza del sottofondo, il CBR (*California Bearing Ratio*):

$$CBR = 0.2 \cdot M_D$$

$$M_R = 17.6 \cdot CBR^{0.64}$$

Il modulo resiliente ricavato è pari a 50.00 Mpa. Il coefficiente di Poisson è stato posto pari a 0,45.

4.2.1.2 FONDAZIONE IN MISTO GRANULARE STABILIZZATO A LEGANTE NATURALE

Il modulo dello strato di fondazione in misto granulare è stato stimato in riferimento alla relazione proposta da Shell Institute, secondo cui il modulo dello strato in misto granulare è influenzato dallo spessore dello strato stesso e dal modulo del sottofondo:

$$E_{MG} = 0.2 \cdot h_{MG}^{0.45} \cdot E_{sf}$$

dove:

- E_{MG} = modulo elastico dello strato in misto granulare (MPa);

- h_{MG} = spessore dello strato in misto granulare (in cm);
- E_{sf} = modulo resiliente del sottofondo (MPa).

Si ottiene dunque un valore di E_{MG} pari a 144 MPa. Per il coefficiente di Poisson si è optato per un valore pari a 0,40.

4.2.1.3 STRATI IN CONGLOMERATO BITUMINOSO

La determinazione dei moduli degli strati in conglomerato bituminoso può essere effettuata attraverso la relazione di Franken e Vanelstraete (1996):

$$|E^*| = E_{\infty} \cdot R^*(T, f)$$

E_{∞} è il modulo vetroso puramente elastico che caratterizza il comportamento della miscela per bassissime temperature e/o per elevate frequenze. Esso è stimato tramite una formulazione sperimentale frutto di studi di vari autori e modificata per ottenere una migliore regressione dei dati sperimentali:

$$E_{\infty} = 14360 \cdot \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{0.55} \cdot e^{-0.0584 \cdot v} \quad [MPa]$$

dove:

- V_A = volume di aggregati (%);
- V_B = volume di bitume (%);
- v = volume di vuoti (%).

$R^*(T, f)$ è il modulo ridotto, ovvero un coefficiente adimensionale funzione della temperatura e della frequenza ($0 < R^* < 1$). Esso viene calcolato tramite la seguente relazione:

$$\log|R^*| = \log|F^*| \cdot \left\{ 1 - 1.35 \cdot \left[1 - e^{\left(-0.13 \cdot \frac{V_A}{V_B}\right)} \right] \cdot (1 + 0.11 \cdot \log|F^*|) \right\}$$

in cui $|F^*|$ è il modulo residuo di taglio, pari al rapporto tra il modulo a taglio $G^*(T, f)$ e il modulo a taglio ultimo del legante per bassissime temperature $G^*_{rif} \approx 1000$ Mpa. $G^*(T, f)$ è pari a:

$$|G^*(T, f)| = \frac{S_b}{2(1 + \nu)} \cong \frac{S_b}{3} = \frac{1}{3} \cdot [1.57 \cdot 10^{-7} \cdot t^{-0.368} \cdot e^{-IP} \cdot (T_{PA} - T)^5]$$

con:

- t = tempo di carico, pari a $\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f}$, con f è la frequenza, adottata pari a 10 Hz;
- IP = indice di penetrazione del bitume, calcolabile come $\frac{20 - 500\alpha}{50\alpha + 1}$;
- α = suscettibilità termica del bitume, pari a $\frac{\log(800) - \log(\text{pen}T2)}{T_{PA} - 25}$;
- T_{PA} = temperatura di Palla-Anello (°C);
- T = temperatura a cui vengono valutate le caratteristiche del legante (°C).

Sono stati ottenuti, per i 3 strati in conglomerato bituminoso, i seguenti valori del modulo vetroso:

RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE

Usura		Base	
V_B	8.00	V_B	7.00
V_a	89.00	V_a	88.00
v	3.00	v	5.00

Usura		Base	
E_∞ (Mpa)	45345.17	E_∞ (Mpa)	43152.11

Le caratteristiche dei bitumi sono state reperite dal Capitolato Speciale di Appalto di ANAS (Parte 2a Norme Tecniche – Pavimentazioni stradali/autostradali, 2009). Sono riportati i valori di penetrazione e di temperatura di rammollimento adottati nel prospetto di seguito:

STRATO	Pen	α	IP	T_{PA}
	dmm			°C
Usura	60.00	0.02	4.83	80.00
Base	60.00	0.02	3.33	70.00

Sulla base della temperatura del conglomerato bituminoso nella stagione di riferimento (determinabile tramite la relazione di Witczak, §2), delle caratteristiche meccaniche del bitume e della composizione della miscela, sono stati ricavati i valori del modulo complesso degli strati in conglomerato bituminoso nelle 4 diverse stagioni:

ESTATE:

Usura		Base	
F^*	0.00052	F^*	0.00078
R^*	0.0762	R^*	0.1306

STRATO	E^*	T
	MPa	°C
Usura	3453.36	31.36
Base	5634.29	30.90

RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE

AUTUNNO:

Usura	
B*	0.00143
R*	0.15

Base	
B*	0.00259
R*	0.27

STRATO	E*	T
	MPa	°C
Usura	6739.24	20.51
Base	11467.99	20.32

INVERNO:

Usura	
F*	0.00380
R*	0.26

Base	
F*	0.00800
R*	0.45

STRATO	E*	T
	MPa	°C
Usura	11736.33	7.62
Base	19545.80	7.76

PRIMAVERA:

Usura	
F*	0.00188
R*	0.18

Base	
F*	0.00358
R*	0.31

STRATO	E*	T
	MPa	°C
Usura	7959.92	17.12
Base	13536.45	17.01

5. TRAFFICO DI PROGETTO

Il progetto di una pavimentazione stradale si basa sul confronto del numero di applicazioni di carico “ammissibili” con il numero di applicazioni di carico “previste”.

I carichi che insistono sulla sovrastruttura derivano dai veicoli in transito e sono di entità variabile in funzione di:

- tipologia di veicoli;
- configurazione degli assi e delle ruote;
- distribuzione dei carichi sugli assi;
- area di contatto ruota-pavimentazione;
- velocità dei veicoli;
- posizione trasversale.

Alla luce della vasta eterogeneità dei carichi, ai fini del calcolo delle sovrastrutture risulta necessario riferirsi ad un carico di riferimento nel quale dover convertire tutti gli altri.

Gli effetti prodotti dagli assi sono espressi in termini di danno; il danno unitario è associato all’asse standard. Con l’omogeneizzazione dei carichi, il traffico nel suo complesso è trasformato in un equivalente numero di passaggi dell’asse standard.

I danni prodotti da ciascun asse si sommano sino a quando la sovrastruttura raggiunge condizioni di inservibilità (ipotesi di accumulo lineare del danno).

5.1 ASSE PRINCIPALE E RAMPE

Per il dimensionamento della pavimentazione dell’asse principale e delle rampe in oggetto è necessario conoscere il traffico attuale e quello che interesserà l’infrastruttura durante la sua vita utile, pari a 15 anni. Di seguito, vengono riportati i valori di veicoli transitanti in entrambe le direzioni di marcia al tempo t_0 (2018) e t_{15} (2033).

t_0	TGM ₀					
	LEGGERI			PESANTI		
2018	06:00-20:00	20:00-22:00	22:00-06:00	06:00-20:00	20:00-22:00	22:00-06:00
	3468	248	212	283	19	34
	3995	271	263	287	13	50
	8457			686		

t_{15}	TGM ₁₅	
	LEGGERI	PESANTI
2033	9966.00	833.00
r%	1.10%	1.30%

Il prospetto dei valori di traffico a t_{15} viene calcolato considerando i tassi di incremento $r\%$ di cui sopra e applicando la seguente formula:

$$TGM_0 = TGM_{15} \cdot (1 + r\%)^n$$

Dove $n=15$, ossia in numero di anni di vita utile della pavimentazione.

Per il dimensionamento della pavimentazione occorre conoscere il numero di passaggi di assi standard ($N_{8.2}$), il cui carico è pari a 80 kN (8.2 ton, Figura 1).

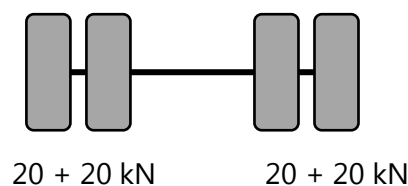


Figura 1: schematizzazione asse standard da 80KN

La ripartizione del traffico, inoltre, è stata scandita distinguendo le tipologie di veicolo, secondo la tabella seguente.

Tipo di veicolo*	Carico Utile (t)	Carico Totale (t)
2: Autovetture	=	=
4: Autocarri > 3000 kg	9	15.5
5: Autocarro con rimorchio	33	46.2

(*) per il tipo di veicolo si fa riferimento alla numerazione delle schede di censimento A.N.A.S.

Pertanto il valore di T.G.M. che ai fini della fatica interessa la pavimentazione risulta essere:

Tipo veicolo	#Veicoli	Carico per asse (KN)			
		Asse1	Asse2	Asse3	Asse4
2	8457.00	15.00	30.00	0.00	0.00
4	617.00	55.00	100.00	0.00	0.00
5	69.00	82.00	120.00	120.00	120.00

Per valutare l'effetto prodotto dai diversi assi dei veicoli sulla pavimentazione, ovvero dal danno che ognuno di essi induce nella sovrastruttura, è necessario stabilire un'equivalenza tra il carico generico degli assi dei veicoli in circolazione e quello dell'asse di riferimento da 8 ton.

Per fare questo utilizziamo la seguente espressione:

$$P_{reale} = C_{eq} \cdot P_{8.2}$$

con:

$$C_{eq} = \left(\frac{x}{y}\right)^4$$

Dove x è il carico dell'asse reale e y è quello dell'asse standard. Per i veicoli interessati nel presente progetto, i coefficienti risultano:

Tipo veicolo	Coeff. equivalenza			
	Asse1	Asse2	Asse3	Asse4
2	0.00124	0.01978		
4	0.22340	2.44141		
5	1.10381	5.06250	5.06250	5.06250

Determinati i coefficienti d'equivalenza, è possibile calcolare il numero di passaggi giornalieri di assi standard corrispondente ad ogni tipologia di veicolo:

$$N_{8.2,t_0} = \sum_{i=1}^k P_{reale,i} \cdot C_{eq,i} \cdot n_{veicoli,i}$$

Dove k=4=numero di assi.

Conseguentemente, è possibile derivare il traffico di progetto della singola carreggiata, ovvero il numero di passaggi standard cumulato durante la vita utile della pavimentazione tramite la seguente relazione:

$$N_{d,8.2} = \frac{1}{2} \cdot F \cdot \sum_{i=1}^m N_{8.2,t_0,i} \cdot \frac{(1+r\%)^n - 1}{r\%} \cdot 5 \cdot 52$$

dove:

- $N_{d,8.2}$ = traffico di progetto espresso in passaggi di assi standard;
- F = coefficiente di ripartizione, che tiene conto della suddivisione del traffico nelle diverse corsie della sezione stradale (per una strada di tipo B pari a 0.90);
- m = numero di tipologie di veicolo (nel caso in esame pari a 3);
- $N_{8.2,t_0,i}$ = passaggi equivalenti di assi standard per ogni tipologia di veicolo;
- r% = tasso di crescita annuale.

I risultati della precedente analisi sono riportati nel seguente prospetto:

Tipo veicolo	#Veicoli	N _d (assi standard 80 KN)				N _{d,t0} (assi standard 80 KN)	N _{d,t15} (assi standard 82 KN)
		Asse1	Asse2	Asse3	Asse4		
2	8457.00	10.45	167.24			177.69	674095
4	617.00	137.84	1506.35			1644.19	6327042
5	69.00	76.16	349.31	349.31	349.31	1124.10	4325681

Il traffico di progetto risulta pari a:

$$N_{d,8.2} = 5,663,409$$

5.2 VIABILITÀ COMUNALI, VICINALI E SECONDARIE

Non avendo a disposizione dati di traffico per queste viabilità, si ipotizza un traffico circolante pari al 5% di quello presente sull'infrastruttura principale e sulle rampe.

Di seguito, vengono riportati i valori di veicoli transitanti in entrambe le direzioni di marcia al tempo t_0 (2018) e t_{15} (2033).

t_0	TGM ₀					
	LEGGERI			PESANTI		
2018	06:00-20:00	20:00-22:00	22:00-06:00	06:00-20:00	20:00-22:00	22:00-06:00
	173.4	12.4	10.6	14.15	0.95	1.7
	199.75	13.55	13.15	14.35	0.65	2.5
	422.85			34.3		

t_{15}	TGM ₁₅	
	LEGGERI	PESANTI
2033	499.00	42.00
r%	1.10%	1.30%

Facendo riferimento al paragrafo precedente per le procedure di calcolo del numero di passaggi di assi equivalenti durante la vita utile dell'infrastruttura, si riporta il valore ricavato:

$$N_{d,8.2} = 271,619$$

6. VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE

I metodi razionali per il calcolo delle pavimentazioni si basano sulla determinazione dello stato tenso-deformativo all'interno della sovrastruttura stessa.

Lo schema di riferimento è quello del multistrato elastico, caratterizzato da una serie di strati di spessore predefinito al di sopra di un semispazio elastico. Le ipotesi alla base di tale modello sono le seguenti:

- materiali elastici, omogenei ed isotropi;
- spessore costante dei singoli strati;
- sottofondo considerato come semispazio;
- perfetta aderenza tra gli strati;
- i carichi applicati sono considerati circolari (impronta di carico circolare con pressione uniforme).

Al fine di poter procedere al calcolo tenso-deformativo, risulta dunque necessario assegnare, ai diversi strati, dei parametri meccanici che meglio rappresentino il loro comportamento sotto carico.

Una volta fissati i parametri di calcolo, è possibile determinare lo stato tenso-deformativo all'interno della pavimentazione mediante il software BISAR, sviluppato presso il laboratorio Koninklijke/Shell di Amsterdam.

Ottenuta la risposta della pavimentazione sotto carico, è necessario correlarla alla performance della pavimentazione stessa; ciò è possibile mediante le Leggi di Degradamento.

In riferimento a specifici ammaloramenti della pavimentazione, si determina il numero di passaggi dell'asse standard che porta a condizioni ultime la pavimentazione relativamente al fenomeno di degrado considerato. Tale numero di passaggi "consentiti" (N_c) è poi paragonato al numero di passaggi "previsto" (N_p) al fine di verificare la pavimentazione di progetto.

La pavimentazione risulterà verificata se il rapporto tra N_p e N_c è minore di 1.

Le verifiche devono essere condotte in riferimento ai periodi in cui è stato suddiviso l'anno; nel caso in esame è stata prevista una ripartizione omogenea del traffico nei 4 periodi considerati. La verifica sarà dunque del tipo:

$$\sum_{i=1}^k \frac{\left(\frac{N_x}{k} \right)}{N_i} = 1$$

La pavimentazione manifesterà un certo numero di applicazioni dell'asse standard che la porta in condizioni ultime in termini dei diversi fenomeni di degrado associati ai diversi strati; la verifica dovrà essere condotta sulla base della condizione più gravosa, ossia del fenomeno di degrado che si sviluppa in corrispondenza del minor numero di applicazioni dell'asse standard.

6.1 VERIFICA DEGLI STRATI IN CONGLOMERATO BITUMINOSO

Il fenomeno di degrado associato agli strati legati a bitume è la fessurazione per fatica. Il fenomeno è governato dalla massima deformazione di trazione orizzontale per flessione che si manifesta alla base dei suddetti strati.

La legge di fatica, dal punto di vista teorico, è espressa come segue:

$$N_t = f_1 \cdot \varepsilon_t^{-f_2} \cdot |E^*|^{-f_3}$$

dove:

- N_t = numero di cicli di applicazione del carico, riferito all'asse standard considerato, che causa la fessurazione del 10% della superficie stradale;
- ε_t = deformazione orizzontale di trazione massima alla base degli strati legati a bitume;
- $|E^*|$ = modulo complesso (espresso in MPa) dello strato più profondo in conglomerato bituminoso riferito alla temperatura effettiva dello strato stesso;
- f_1 , f_2 e f_3 sono coefficienti empirici.

Per una maggior completezza e per garantire una maggiore sicurezza al dimensionamento effettuato, sono stati confrontate varie leggi di fatica, che si differenziano sostanzialmente dai valori dei coefficienti empirici di cui sopra. Nello specifico, sono stati adottati i seguenti valori:

	f_1	f_2	f_3
Finn	8.26E-04	3.291	0.854
TRRL	1.66E-10	4.320	0.000
Minnesota University	2.83E-06	3.210	0.000

6.2 VERIFICA DEGLI STRATI IN MISTO GRANULARE

Per lo strato di fondazione in misto granulare stabilizzato e per quello di sub-base in misto granulare stabilizzato a cemento è stata utilizzata la legge di fatica proposta dal South African Mechanistic Pavement Design and Analysis (SAMPDAM):

$$N_B = 10^{(2.605122 \cdot F + 3.480098)}$$

dove N_B è il numero di cicli riferito all'asse standard considerato che causa l'accumulo critico di deformazioni permanenti ed F è un fattore di sicurezza che si determina con le formule seguenti:

$$F = \frac{\sigma_3 \left[K \left(\tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) - 1 \right) \right] + 2 K C \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)}{(\sigma_1 - \sigma_3)}$$

$$F = \frac{\sigma_3 \phi_{\text{term}} + C_{\text{term}}}{(\sigma_1 - \sigma_3)}$$

dove:

- σ_1, σ_3 = tensioni principali determinate alla profondità intermedia dello strato di fondazione;
- C = coesione (assunta pari a 100 kPa per materiale di classe G5 e condizioni di umidità moderata);
- Φ = angolo di attrito interno (assunto pari a 45° per materiale di classe G5 e condizioni di umidità moderata);
- C_{term} = coefficiente tabulato in funzione del tipo di materiale granulare (115 per materiale di classe G5 e condizioni di umidità moderata);
- Φ_{term} = coefficiente tabulato in funzione del tipo di materiale granulare (3,30 per materiale di classe G5 e condizioni di umidità moderata);
- K = costante che dipende dalle condizioni di umidità (0,8 per condizioni di umidità moderata).

6.3 VERIFICA DEL SOTTOFONDO

La natura ciclica dei carichi che transitano sulla superficie stradale è tale da produrre sulla sommità del terreno di sottofondo delle tensioni verticali σ_z che possono creare avvallamenti sul piano viabile per effetto di accumulo di deformazioni plastiche ε_z (ormae). Tale evenienza è tanto più probabile quanto più elevato è il livello tenso-deformativo trasferito dalla sovrastruttura.

Anche in questo caso, per una maggior completezza e per garantire una maggiore sicurezza al dimensionamento effettuato, sono stati confrontate varie leggi di ammaloramento.

La prima legge di degrado adottata per la verifica del sottofondo stradale riprende il modello sviluppato dal Transport Research Laboratory (TRRL):

$$\log N_z = -7.21 - 3.95 \cdot \log \varepsilon_z$$

dove:

- N_z = numero di cicli riferito all'asse standard considerato che causa l'accumulo critico di deformazioni permanenti;
- ε_z = deformazione verticale di compressione sulla sommità del sottofondo.

Ulteriori leggi di degrado sono state considerate ed esse assumono la seguente formulazione:

RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE

$$N_z = k_1 \cdot \varepsilon_z^{-k_2}$$

dove:

- N_z = numero di cicli riferito all’asse standard considerato che causa l’accumulo critico di deformazioni permanenti;
- ε_z = deformazione verticale di compressione sulla sommità del sottofondo;
- k_1, k_2 = coefficienti empirici.

Nello specifico, sono stati adottati i seguenti valori:

	k_1	k_2
AI	1.37E-09	4.477
SHELL	1.05E-07	4
Nottingham Un.	1.13E-06	3.67
AASHTO	6.15E-07	4
Verstraeten	5.19E-09	4.23

7. ANALISI DEI RISULTATI

I risultati delle verifiche esposte nei paragrafi precedenti sono riportati di seguito.
L'analisi tenso-deformativa, output del programma di calcolo BISAR, è riportata in allegato.

7.1 FATICA CONGLOMERATI BITUMINOSI

7.1.1 ASSE PRINCIPALE E RAMPE

Nelle tabelle seguenti sono riportate le verifiche eseguite in base ai diversi criteri esposti nel §6.1:

STRATO	MATERIALE	SPESSORE cm	E _{estate} MPa	E _{autunno} MPa	E _{inverno} MPa	E _{prim.} MPa	ε _{t,estate}	ε _{t,autunno}	ε _{t,inverno}	ε _{t,prim.}	N _{f,estate}	N _{f,autunno}	N _{f,inverno}	N _{f,prim.}	N _{d,estate}	N _{d,autunno}	N _{d,inverno}	N _{d,prim.}	MINER									
																			Estate	autunno	inverno	prim.						
Usura	CB	4	698.74	1409.62	2559.46	1683.12																						
Binder	CB	6	2283.99	5043.71	9468.34	6107.95	1.81E-05	1.27E-06	-2.42E-06	-4.38E-07	4.51E+09	1.44E+13			1.42E+06	1.42E+06					0.00	0.00			3.14E-04	FINN		
Base	CB	15	1921.25	4231.45	7958.68	5125.05	1.74E-04	1.11E-04	7.31E-05	9.85E-05	3.04E+06	6.76E+06	1.58E+07	8.60E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06			0.47	0.21	0.09	0.16	0.93			
Sub-Base	MGSt	20	268.27	268.27	268.27	268.27																						
Fondazione	MGS	30	134.13	134.13	134.13	134.13																						
Sottofondo	TN	-	50.00	50.00	50.00	50.00																						
											N _{f,estate}	N _{f,autunno}	N _{f,inverno}	N _{f,prim.}	N _{d,estate}	N _{d,autunno}	N _{d,inverno}	N _{d,prim.}										TRRL
											5.07E+10	4.90E+15			1.42E+06	1.42E+06											2.79E-05	
											2.87E+06	1.98E+07	1.22E+08	3.37E+07	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06					0.00	0.00			0.62	
											N _{f,estate}	N _{f,autunno}	N _{f,inverno}	N _{f,prim.}	N _{d,estate}	N _{d,autunno}	N _{d,inverno}	N _{d,prim.}										MINNESOTA UNIVERSITY
											3.29E+06	1.38E+07			1.42E+06	1.42E+06											5.33E-01	
											3.29E+06	1.38E+07	5.35E+07	2.05E+07	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06					0.43	0.10			0.63	

7.2 FATICA STRATI IN MATERIALE GRANULARE

7.2.1 ASSE PRINCIPALE E RAMPE

Nelle tabelle seguenti sono riportate le verifiche eseguite in base ai diversi criteri esposti nel §6.2:

STRATO	MATERIALE	SPESSORE	E _{estate}	E _{autunno}	E _{inverno}	E _{prim.}
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa
Usura	CB	4	698.74	1409.62	2559.46	1683.12
Binder	CB	6	2283.99	5043.71	9468.34	6107.95
Base	CB	15	1921.25	4231.45	7958.68	5125.05
Sub-Base	MGSt	20	268.27	268.27	268.27	268.27
Fondazione	MGS	30	134.13	134.13	134.13	134.13
Sottofondo	TN	-	50.00	50.00	50.00	50.00

$\sigma_{zz,estate}$	$\sigma_{zz,autunno}$	$\sigma_{zz,inverno}$	$\sigma_{zz,prim.}$
KPa	KPa	KPa	KPa
5.34E+01	3.50E+01	2.40E+01	3.13E+01
1.85E+01	1.38E+01	1.06E+01	1.28E+01
$\sigma_{yy,estate}$	$\sigma_{yy,autunno}$	$\sigma_{yy,inverno}$	$\sigma_{yy,prim.}$
KPa	KPa	KPa	KPa
1.99E+01	1.44E+01	1.02E+01	1.31E+01
9.84E+00	7.55E+00	5.67E+00	6.97E+00
F _{estate}	F _{autunno}	F _{inverno}	F _{prim.}
5.263332338	5.625559883	5.76177326	5.682903
7.044012871	7.278175171	7.13767081	7.269323
N _{f,estate}	N _{f,autunno}	N _{f,inverno}	N _{f,prim.}
1.56E+17	1.37E+18	3.10E+18	1.93E+18
6.79E+21	2.77E+22	1.19E+22	2.62E+22
N _{d,estate}	N _{d,autunno}	N _{d,inverno}	N _{d,prim.}
1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06
1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06
MINER			
Estate	autunno	inverno	prim.
9.08E-12	1.03E-12	4.57E-13	7.33E-13
2.08E-16	5.12E-17	1.19E-16	5.40E-17

7.2.2 VIABILITÀ COMUNALI, VICINALI E SECONDARIE

Nelle tabelle seguenti sono riportate le verifiche eseguite in base ai diversi criteri esposti nel §6.2:

STRATO	MATERIALE	SPESSORE	E _{estate}	E _{autunno}	E _{inverno}	E _{prim.}
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa
Usura	CB	4	3453.36	6739.24	11736.33	7959.92
Base	CB	8	5634.29	11467.99	19545.80	13536.45
Fondazione	MGSt	35	143.77	143.77	143.77	143.77
Sottofondo	TN	-	50.00	50.00	50.00	50.00

$\sigma_{zz,estate}$	$\sigma_{zz,autunno}$	$\sigma_{zz,inverno}$	$\sigma_{zz,prim.}$
KPa	KPa	KPa	KPa
5.96E+01	4.31E+01	3.27E+01	3.97E+01
$\sigma_{yy,estate}$	$\sigma_{yy,autunno}$	$\sigma_{yy,inverno}$	$\sigma_{yy,prim.}$
KPa	KPa	KPa	KPa
8.15E+00	5.73E+00	4.15E+00	5.22E+00
F _{estate}	F _{autunno}	F _{inverno}	F _{prim.}
3.825402998	3.809072408	3.78412598	3.80315
N _{f,estate}	N _{f,autunno}	N _{f,inverno}	N _{f,prim.}
2.80E+13	2.53E+13	2.18E+13	2.45E+13
N _{d,estate}	N _{d,autunno}	N _{d,inverno}	N _{d,prim.}
6.79E+04	6.79E+04	6.79E+04	6.79E+04
MINER			
Estate	autunno	inverno	prim.
2.43E-09	2.68E-09	3.11E-09	2.78E-09
			1.10E-08

7.3 ORMAIAMENTO SOTTOFONDO

7.3.1 ASSE PRINCIPALE E RAMPE

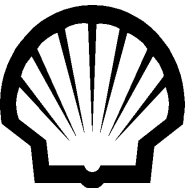
Nelle tabelle seguenti sono riportate le verifiche eseguite in base ai diversi criteri esposti nel §6.3:

STRATO	MATERIALE	SPESSORE cm	E _{estate}	E _{autunno}	E _{inverno}	E _{prim.}	ε _{z,estate}	ε _{z,autunno}	ε _{z,inverno}	ε _{z,prim.}	N _{f,estate}	N _{f,autunno}	N _{f,inverno}	N _{f,prim.}	N _{d,estate}	N _{d,autunno}	N _{d,inverno}	N _{d,prim.}	MINER							
			MPa	MPa	MPa	MPa													Estate	autunno	inverno	prim.				
Usura	CB	4	698.74	1409.62	2559.46	1683.12																				
Binder	CB	6	2283.99	5043.71	9468.34	6107.95																				
Base	CB	15	1921.25	4231.45	7958.68	5125.05																				
Sub-Base	MGSt	20	268.27	268.27	268.27	268.27																				
Fondazione	MGS	30	134.13	134.13	134.13	134.13																				
Sottofondo	TN	-	50.00	50.00	50.00	50.00	0.000262	0.000204	0.000159	0.00019	1.48E+07	4.61E+07	1.40E+08	6.34E+07	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	0.10	0.03	0.01	0.02	0.16
											N _{f,estate}	N _{f,autunno}	N _{f,inverno}	N _{f,prim.}	N _{d,estate}	N _{d,autunno}	N _{d,inverno}	N _{d,prim.}								
											2.22E+07	6.12E+07	1.66E+08	8.14E+07	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	0.06	0.02	0.01	0.02	0.11
											N _{f,estate}	N _{f,autunno}	N _{f,inverno}	N _{f,prim.}	N _{d,estate}	N _{d,autunno}	N _{d,inverno}	N _{d,prim.}								
											1.58E+07	3.99E+07	9.93E+07	5.18E+07	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	0.09	0.04	0.01	0.03	0.17
											N _{f,estate}	N _{f,autunno}	N _{f,inverno}	N _{f,prim.}	N _{d,estate}	N _{d,autunno}	N _{d,inverno}	N _{d,prim.}								
											7.33E+06	2.14E+07	6.12E+07	2.89E+07	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	0.19	0.07	0.02	0.05	0.33
											N _{f,estate}	N _{f,autunno}	N _{f,inverno}	N _{f,prim.}	N _{d,estate}	N _{d,autunno}	N _{d,inverno}	N _{d,prim.}								
											8.65E+06	2.35E+07	6.28E+07	3.11E+07	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	1.42E+06	0.16	0.06	0.02	0.05	0.29

8. ALLEGATI

Di seguito si allegano gli output derivanti dall’analisi al multistrato elastico effettuata con software BISAR.

ASSE PRINCIPALE E RAMPE



BISAR 3.0 - Block Report

E78-50

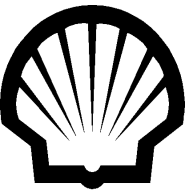
System 1: E78 - Estate

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical		Horizontal (Shear)		Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
					Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Stress (MPa)				
1	0,040	6,990E+02	0,30	1	4,100E+01	7,722E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,300E-01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	0,060	2,280E+03	0,30									
3	0,150	1,920E+03	0,30									
4	0,200	2,680E+02	0,40									
5	0,300	1,350E+02	0,40									
6		5,000E+01	0,45									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements		
					XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	UY (μ m)	UZ (μ m)
1	2	0,000E+00	0,000E+00	1,000E-01	-1,861E-01	-1,861E-01	-5,719E-01	1,812E+01	1,811E+01	-2,019E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,629E+02
2	3	0,000E+00	0,000E+00	1,000E-01	-1,954E-01	-1,954E-01	-5,719E-01	1,812E+01	1,811E+01	-2,368E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,629E+02
3	3	0,000E+00	0,000E+00	2,500E-01	4,347E-01	4,347E-01	-1,008E-01	1,743E+02	1,742E+02	-1,884E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,350E+02
4	4	0,000E+00	0,000E+00	2,500E-01	1,062E-02	1,062E-02	-1,008E-01	1,743E+02	1,742E+02	-4,079E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,350E+02
5	5	0,000E+00	0,000E+00	7,500E-01	1,652E-02	1,652E-02	-1,245E-02	1,103E+02	1,103E+02	-1,901E+02	0,000E+00	0,000E+00	3,135E+02
6	6	0,000E+00	0,000E+00	7,500E-01	-1,557E-04	-1,559E-04	-1,245E-02	1,103E+02	1,103E+02	-2,462E+02	0,000E+00	0,000E+00	3,135E+02
7	4	0,000E+00	0,000E+00	3,500E-01	2,025E-02	2,025E-02	-5,585E-02	1,287E+02	1,287E+02	-2,688E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,022E+02
8	5	0,000E+00	0,000E+00	6,000E-01	1,014E-02	1,014E-02	-1,913E-02	1,018E+02	1,018E+02	-2,018E+02	0,000E+00	0,000E+00	3,419E+02



BISAR 3.0 - Block Report

E78-50

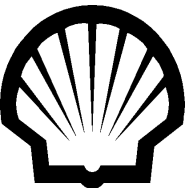
System 2: E78 - Autunno

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical		Horizontal (Shear)		Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
					Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Stress (MPa)				
1	0,040	1,410E+03	0,30	1	4,100E+01	7,722E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,300E-01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	0,060	5,040E+03	0,30									
3	0,150	4,230E+03	0,30									
4	0,200	2,680E+02	0,40									
5	0,300	1,350E+02	0,40									
6		5,000E+01	0,45									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements		
					XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	UY (μ m)	UZ (μ m)
1	2	0,000E+00	0,000E+00	1,000E-01	-2,312E-01	-2,312E-01	-5,608E-01	1,266E+00	1,266E+00	-8,375E+01	0,000E+00	0,000E+00	3,825E+02
2	3	0,000E+00	0,000E+00	1,000E-01	-2,327E-01	-2,327E-01	-5,608E-01	1,271E+00	1,266E+00	-9,958E+01	0,000E+00	0,000E+00	3,825E+02
3	3	0,000E+00	0,000E+00	2,500E-01	6,464E-01	6,464E-01	-6,290E-02	1,114E+02	1,114E+02	-1,066E+02	0,000E+00	0,000E+00	3,693E+02
4	4	0,000E+00	0,000E+00	2,500E-01	7,835E-03	7,835E-03	-6,290E-02	1,114E+02	1,114E+02	-2,581E+02	0,000E+00	0,000E+00	3,693E+02
5	5	0,000E+00	0,000E+00	7,500E-01	1,264E-02	1,264E-02	-9,925E-03	8,557E+01	8,557E+01	-1,484E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,827E+02
6	6	0,000E+00	0,000E+00	7,500E-01	-3,417E-04	-3,418E-04	-9,925E-03	8,557E+01	8,557E+01	-1,923E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,827E+02
7	4	0,000E+00	0,000E+00	3,500E-01	1,492E-02	1,492E-02	-3,683E-02	8,839E+01	8,838E+01	-1,820E+02	0,000E+00	0,000E+00	3,479E+02
8	5	0,000E+00	0,000E+00	6,000E-01	7,873E-03	7,873E-03	-1,435E-02	7,750E+01	7,750E+01	-1,529E+02	0,000E+00	0,000E+00	3,047E+02



BISAR 3.0 - Block Report

E78-50

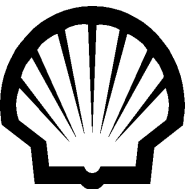
System 3: E78 - Inverno

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical		Horizontal (Shear)		Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
					Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Stress (MPa)				
1	0,040	2,560E+03	0,30	1	4,100E+01	7,722E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,300E-01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	0,060	9,470E+03	0,30									
3	0,150	7,960E+03	0,30									
4	0,200	2,680E+02	0,40									
5	0,300	1,350E+02	0,40									
6		5,000E+01	0,45									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements		
					XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	UY (μ m)	UZ (μ m)
1	2	0,000E+00	0,000E+00	1,000E-01	-2,704E-01	-2,704E-01	-5,543E-01	-2,422E+00	-2,427E+00	-4,140E+01	0,000E+00	0,000E+00	3,266E+02
2	3	0,000E+00	0,000E+00	1,000E-01	-2,651E-01	-2,652E-01	-5,543E-01	-2,423E+00	-2,427E+00	-4,965E+01	0,000E+00	0,000E+00	3,266E+02
3	3	0,000E+00	0,000E+00	2,500E-01	8,136E-01	8,136E-01	-4,126E-02	7,310E+01	7,310E+01	-6,651E+01	0,000E+00	0,000E+00	3,192E+02
4	4	0,000E+00	0,000E+00	2,500E-01	5,147E-03	5,147E-03	-4,126E-02	7,310E+01	7,310E+01	-1,693E+02	0,000E+00	0,000E+00	3,192E+02
5	5	0,000E+00	0,000E+00	7,500E-01	9,601E-03	9,599E-03	-8,008E-03	6,640E+01	6,639E+01	-1,162E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,562E+02
6	6	0,000E+00	0,000E+00	7,500E-01	-5,161E-04	-5,165E-04	-8,008E-03	6,640E+01	6,639E+01	-1,509E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,562E+02
7	4	0,000E+00	0,000E+00	3,500E-01	1,068E-02	1,068E-02	-2,536E-02	6,176E+01	6,176E+01	-1,265E+02	0,000E+00	0,000E+00	3,048E+02
8	5	0,000E+00	0,000E+00	6,000E-01	5,968E-03	5,968E-03	-1,101E-02	5,914E+01	5,914E+01	-1,169E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,733E+02



BISAR 3.0 - Block Report

E78-50

System 4: E78 - Primavera

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical		Horizontal (Shear)		Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
					Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Stress (MPa)				
1	0,040	1,680E+03	0,30	1	4,100E+01	7,722E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,300E-01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	0,060	6,110E+03	0,30									
3	0,150	5,130E+03	0,30									
4	0,200	2,680E+02	0,40									
5	0,300	1,350E+02	0,40									
6		5,000E+01	0,45									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements		
					XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	UY (μ m)	UZ (μ m)
1	2	0,000E+00	0,000E+00	1,000E-01	-2,433E-01	-2,433E-01	-5,588E-01	-4,438E-01	-4,439E-01	-6,755E+01	0,000E+00	0,000E+00	3,648E+02
2	3	0,000E+00	0,000E+00	1,000E-01	-2,427E-01	-2,427E-01	-5,588E-01	-4,381E-01	-4,439E-01	-8,053E+01	0,000E+00	0,000E+00	3,648E+02
3	3	0,000E+00	0,000E+00	2,500E-01	6,981E-01	6,981E-01	-5,553E-02	9,851E+01	9,851E+01	-9,248E+01	0,000E+00	0,000E+00	3,538E+02
4	4	0,000E+00	0,000E+00	2,500E-01	6,983E-03	6,982E-03	-5,553E-02	9,851E+01	9,851E+01	-2,280E+02	0,000E+00	0,000E+00	3,538E+02
5	5	0,000E+00	0,000E+00	7,500E-01	1,169E-02	1,169E-02	-9,330E-03	7,961E+01	7,961E+01	-1,384E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,748E+02
6	6	0,000E+00	0,000E+00	7,500E-01	-3,966E-04	-3,966E-04	-9,330E-03	7,961E+01	7,961E+01	-1,795E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,748E+02
7	4	0,000E+00	0,000E+00	3,500E-01	1,358E-02	1,358E-02	-3,299E-02	7,965E+01	7,964E+01	-1,636E+02	0,000E+00	0,000E+00	3,347E+02
8	5	0,000E+00	0,000E+00	6,000E-01	7,288E-03	7,288E-03	-1,328E-02	7,174E+01	7,174E+01	-1,416E+02	0,000E+00	0,000E+00	2,953E+02

VIABILITÀ COMUNALI, VICINALI E SECONDARIE

MANDATARIA



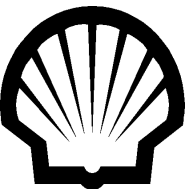
MANDANTE



**GEOTECHNICAL
DESIGN GROUP**



ICARIA
società di ingegneria



BISAR 3.0 - Block Report

E78-Secondarie

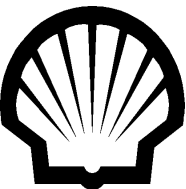
System 1: E78 - Estate

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical		Horizontal (Shear)		Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
					Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Stress (MPa)				
1	0,040	3,450E+03	0,30	1	4,100E+01	7,722E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,300E-01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	0,080	5,630E+03	0,30									
3	0,350	1,440E+02	0,40									
4		5,000E+01	0,45									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements		
					XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	UY (μ m)	UZ (μ m)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-8,575E-01	-8,575E-01	-6,466E-01	-1,177E+02	-1,177E+02	-3,831E+01	0,000E+00	0,000E+00	6,836E+02
2	2	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-1,224E+00	-1,224E+00	-6,466E-01	-1,177E+02	-1,177E+02	1,560E+01	0,000E+00	0,000E+00	6,836E+02
3	2	0,000E+00	0,000E+00	1,200E-01	2,141E+00	2,141E+00	-1,408E-01	2,737E+02	2,737E+02	-2,532E+02	0,000E+00	0,000E+00	6,749E+02
4	3	0,000E+00	0,000E+00	1,200E-01	-2,817E-02	-2,817E-02	-1,408E-01	2,737E+02	2,737E+02	-8,212E+02	0,000E+00	0,000E+00	6,749E+02
5	3	0,000E+00	0,000E+00	2,950E-01	8,523E-03	8,525E-03	-6,184E-02	2,073E+02	2,073E+02	-4,768E+02	0,000E+00	0,000E+00	5,646E+02
6	3	0,000E+00	0,000E+00	4,700E-01	3,904E-02	3,904E-02	-2,990E-02	2,457E+02	2,457E+02	-4,245E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,910E+02
7	4	0,000E+00	0,000E+00	4,700E-01	-2,124E-03	-2,125E-03	-2,990E-02	2,457E+02	2,457E+02	-5,597E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,910E+02



BISAR 3.0 - Block Report

E78-Secondarie

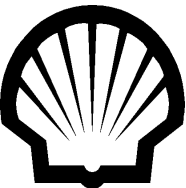
System 2: E78 - Autunno

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical		Horizontal (Shear)		Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
					Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Stress (MPa)				
1	0,040	6,740E+03	0,30	1	4,100E+01	7,722E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,300E-01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	0,080	1,150E+04	0,30									
3	0,350	1,440E+02	0,40									
4		5,000E+01	0,45									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements		
					XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	UY (μ m)	UZ (μ m)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-9,991E-01	-9,991E-01	-6,360E-01	-7,546E+01	-7,546E+01	-5,421E+00	0,000E+00	0,000E+00	5,797E+02
2	2	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-1,512E+00	-1,512E+00	-6,360E-01	-7,545E+01	-7,546E+01	2,359E+01	0,000E+00	0,000E+00	5,797E+02
3	2	0,000E+00	0,000E+00	1,200E-01	2,763E+00	2,763E+00	-9,288E-02	1,706E+02	1,706E+02	-1,522E+02	0,000E+00	0,000E+00	5,750E+02
4	3	0,000E+00	0,000E+00	1,200E-01	-2,098E-02	-2,098E-02	-9,288E-02	1,706E+02	1,706E+02	-5,285E+02	0,000E+00	0,000E+00	5,750E+02
5	3	0,000E+00	0,000E+00	2,950E-01	6,059E-03	6,060E-03	-4,491E-02	1,500E+02	1,500E+02	-3,456E+02	0,000E+00	0,000E+00	5,001E+02
6	3	0,000E+00	0,000E+00	4,700E-01	2,943E-02	2,943E-02	-2,399E-02	1,892E+02	1,892E+02	-3,301E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,442E+02
7	4	0,000E+00	0,000E+00	4,700E-01	-2,423E-03	-2,424E-03	-2,399E-02	1,893E+02	1,892E+02	-4,362E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,442E+02



BISAR 3.0 - Block Report

E78-Secondarie

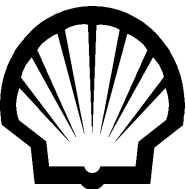
System 3: E78 - Inverno

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical		Horizontal (Shear)		Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
					Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Stress (MPa)				
1	0,040	1,170E+04	0,30	1	4,100E+01	7,722E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,300E-01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	0,080	1,950E+04	0,30									
3	0,350	1,440E+02	0,40									
4		5,000E+01	0,45									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements		
					XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	UY (μ m)	UZ (μ m)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-1,114E+00	-1,114E+00	-6,281E-01	-5,053E+01	-5,053E+01	3,432E+00	0,000E+00	0,000E+00	5,057E+02
2	2	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-1,677E+00	-1,677E+00	-6,281E-01	-5,053E+01	-5,053E+01	1,938E+01	0,000E+00	0,000E+00	5,057E+02
3	2	0,000E+00	0,000E+00	1,200E-01	3,206E+00	3,206E+00	-6,591E-02	1,161E+02	1,161E+02	-1,020E+02	0,000E+00	0,000E+00	5,027E+02
4	3	0,000E+00	0,000E+00	1,200E-01	-1,607E-02	-1,607E-02	-6,591E-02	1,161E+02	1,161E+02	-3,684E+02	0,000E+00	0,000E+00	5,027E+02
5	3	0,000E+00	0,000E+00	2,950E-01	4,435E-03	4,435E-03	-3,416E-02	1,134E+02	1,134E+02	-2,619E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,485E+02
6	3	0,000E+00	0,000E+00	4,700E-01	2,266E-02	2,266E-02	-1,965E-02	1,490E+02	1,490E+02	-2,623E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,048E+02
7	4	0,000E+00	0,000E+00	4,700E-01	-2,528E-03	-2,528E-03	-1,965E-02	1,490E+02	1,490E+02	-3,474E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,048E+02



BISAR 3.0 - Block Report

E78-Secondarie

System 4: E78 - Primavera

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical		Horizontal (Shear)		Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
					Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Stress (MPa)				
1	0,040	7,960E+03	0,30	1	4,100E+01	7,722E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,300E-01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	0,080	1,350E+04	0,30									
3	0,350	1,440E+02	0,40									
4		5,000E+01	0,45									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements		
					XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	UY (μ m)	UZ (μ m)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-1,033E+00	-1,033E+00	-6,334E-01	-6,701E+01	-6,701E+01	-1,681E+00	0,000E+00	0,000E+00	5,566E+02
2	2	0,000E+00	0,000E+00	4,000E-02	-1,564E+00	-1,564E+00	-6,334E-01	-6,701E+01	-6,701E+01	2,258E+01	0,000E+00	0,000E+00	5,566E+02
3	2	0,000E+00	0,000E+00	1,200E-01	2,898E+00	2,898E+00	-8,387E-02	1,522E+02	1,522E+02	-1,350E+02	0,000E+00	0,000E+00	5,525E+02
4	3	0,000E+00	0,000E+00	1,200E-01	-1,939E-02	-1,939E-02	-8,387E-02	1,522E+02	1,522E+02	-4,747E+02	0,000E+00	0,000E+00	5,525E+02
5	3	0,000E+00	0,000E+00	2,950E-01	5,542E-03	5,543E-03	-4,143E-02	1,382E+02	1,382E+02	-3,185E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,845E+02
6	3	0,000E+00	0,000E+00	4,700E-01	2,729E-02	2,729E-02	-2,264E-02	1,766E+02	1,766E+02	-3,088E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,325E+02
7	4	0,000E+00	0,000E+00	4,700E-01	-2,468E-03	-2,468E-03	-2,264E-02	1,766E+02	1,766E+02	-4,084E+02	0,000E+00	0,000E+00	4,325E+02