



Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione

COLLEGAMENTO MEDIANO "MURCIA - POLLINO" TRATTO GIOIA DEL COLLE - MATERA - FERRANDINA - PISTICCI BY-PASS DI MATERA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

IL PROGETTISTA

Dott. Ing. Dino Bonadies
Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n° A829

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Stefano Piazzoli
Ordine Geologi Regione Umbria n. 107

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

Dott. Arch. Enrica Rasimelli
Ordine Architetti, Paesaggisti, Pianificatori e Conservatori
Provincia di Perugia n° 430

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Dott. Ing. Dino Bonadies
Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n° A829

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:



Str. del Gallo, Via - Fraz. Fontene
06130 Perugia - Italia



UNI ISO 9001:2008



UNI EN ISO 14001:2004

Ing. D. BONADIES
Ing. M. RASIMELLI
Ing. P. LOSPENNATO
Ing. S. PELLEGRINI
Ing. M. PROCACCI
Ing. R. CERQUIGLINI
Ing. M. CARAFFINI
Geom. M. BINAGLIA

MANDATARIA



Via Nizza 154, 00198 Roma

MANDANTE

Ing. N. SARACA
Ing. A. NUNZIATI
Ing. E. CAPANIA



SETAC S.r.l.

Servizi & Engineering: Trasporti Ambiente
Via Don Guanella 15/B - 70124 Bari

MANDANTE

Ing. L. MONTERISI
Ing. G. CICIRIELLO



Studio R.B.A.

Studio Romanazzi - Boscia e Associati
Via Amendola 172/C - 70125 Bari

MANDANTE

Ing. F. PACCAPELO
Ing. S. GIOTTA

VISTO: IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO

VISTO: IL VICE DIRETTORE
AREA INGEGNERIA
SPECIALISTICA

VISTO: IL RESPONSABILE
DI AREA

PROTOCOLLO

DATA

INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO

DIMENSIONAMENTO PAVIMENTAZIONE

CODICE PROGETTO
PZ138 - PZ139

CODICE FILE
P02-PS00-TRA-RE02-A

REVISIONE

PAG.

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.
L O [] [] [] [] [] [] [] [] [] []

CODICE ELAB. P 0 2 P S 0 0 T R A R E 0 2

A

1 di 20

Revisione	Descrizione	Data	Redatto	Verificato	Approvato
A	PRIMA EMISSIONE	GIUGNO 2021	LOSPENNATO	LOSPENNATO	BONADIES

INDICE

1	DIMENSIONAMENTO DELLE PAVIMENTAZIONI	3
1.1.	PREMESSA.....	3
1.2.	CRITERI DI DIMENSIONAMENTO.....	3
1.3.	RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE DEI MATERIALI	8
1.3.1.	Verifica della deflessione massima in superficie sotto asse da 100kN	9
1.1.1	9
1.3.2.	Verifica delle deformazioni di trazione alla base dei conglomerati bituminosi sotto asse da 130 kN	10
1.3.3.	Verifica delle tensioni di trazione alla base dei conglomerati bituminosi sotto asse da 130 kN.....	10
1.3.4.	Verifica a fatica nei conglomerati bituminosi sotto asse da 120 kN	11
1.3.5.	Verifica delle tensioni di trazione alla base del misto cementato sotto asse da 130 kN	12
1.3.6.	Verifica a fatica del sottofondo sotto asse da 81.6 kN (tensioni)	13
1.3.7.	Verifica a fatica del sottofondo sotto asse da 120 kN (deformazioni).....	14
1.3.8.	Verifica della deformazione unitaria verticale di compressione sul sottofondo sotto asse da 130 kN	15
1.4.	CONCLUSIONI.....	16

1. DIMENSIONAMENTO DELLE PAVIMENTAZIONI

1.1. PREMESSA

Il dimensionamento e la verifica del pacchetto stradale relativamente alla progettazione di fattibilità tecnico economica (PFTE) viene eseguito in modo da assolvere una molteplicità di requisiti atti a garantire l'efficienza prestazionale della sovrastruttura e le caratteristiche funzionali legate alla sicurezza del piano viabile ed al comfort di marcia.

La pavimentazione viene modellata con un apposito solutore alla Burmister, che, a partire dall'attribuzione degli spessori e delle caratteristiche di deformabilità del multistrato elastico, permette la qualificazione dello stato tensio-deformativo nei punti notevoli del pacchetto stradale.

Nel dimensionamento si tiene conto di molteplici configurazioni di carico sperimentabili dalla sovrastruttura.

Dall'analisi sono stati estrapolati degli indicatori di stato della pavimentazione specifici per ciascuna forma di ammaloramento (deflessione, fessurazioni per fatica degli strati legati e non legati, ormaiamento, ecc).

Da questi è possibile risalire, tramite formulazioni empiriche implementate nel modello di calcolo, al numero di passaggi di Assi Standard Equivalenti (ESA) ammissibile per il pacchetto nell'orizzonte temporale di progetto.

Il numero di applicazioni tollerabili nel corso della vita utile della pavimentazione viene comparato con il traffico di progetto presumibile.

I volumi e lo spettro del traffico di progetto monodirezionale sulla corsia più caricata vengono stimati da dati reali di traffico rilevati per sezioni di censimento ANAS ubicate in prossimità dell'area di progetto, analizzati nella Relazione Trasportistica allegata al SIA.

1.2. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO

Si riassumono di seguito la procedura e gli aspetti rilevanti del dimensionamento della pavimentazione interessata dalla progettazione.

Al fine del calcolo di una pavimentazione si devono considerare i seguenti elementi:

- caratteristiche meccaniche e dimensioni (spessori) dei diversi materiali che costituiscono i vari strati della pavimentazione;
- traffico previsto per la sovrastruttura durante il tempo di vita utile;
- carico agente sull'asse tipo di riferimento.

La soluzione progettuale adottata è di tipo semirigido ed è rappresentata graficamente in Figura 1.1.

La pavimentazione di progetto prevede la sezione stradale organizzata come di seguito specificato:

- Sottofondazione in misto stabilizzato per uno spessore di 25 cm
- Fondazione in misto cementato per uno spessore di 20 cm;
- Strato di base in conglomerato bituminoso per uno spessore di 15 cm;
- Strato di collegamento in conglomerato bituminoso per uno spessore di 8 cm;
- Strato di usura in conglomerato bituminoso drenante fonoassorbente (CDF) per uno spessore di 5 cm.

SOVRASTRUTTURA STRADALE DI PROGETTO

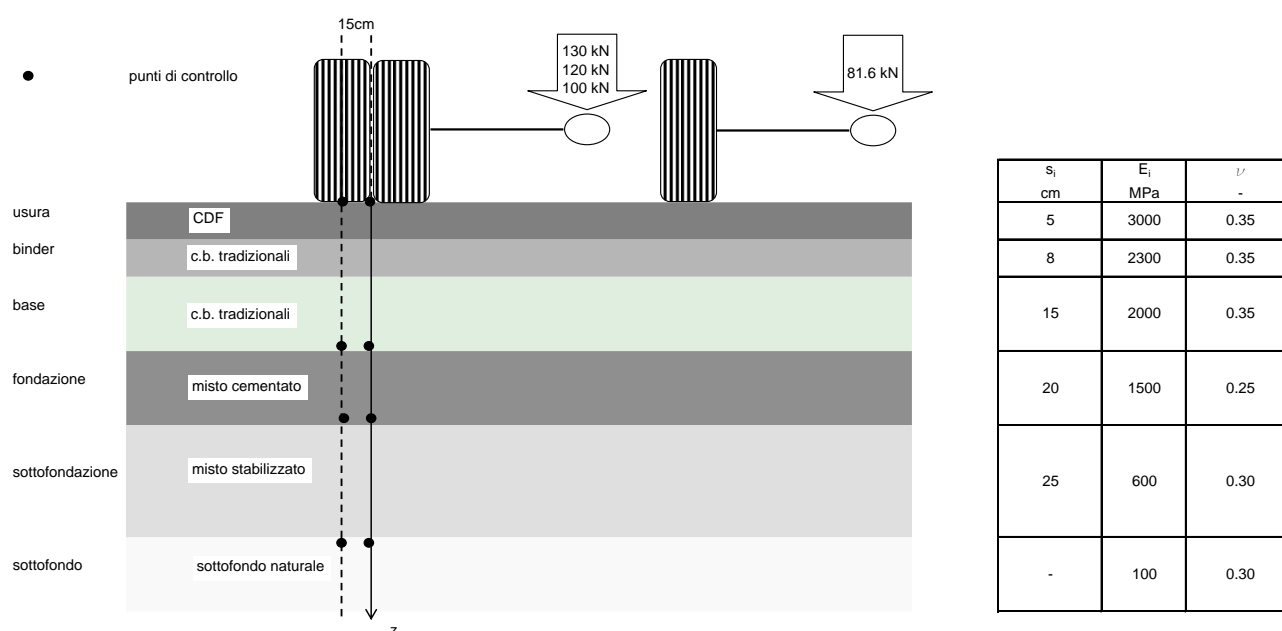


Figura 1.1 – Sovrastruttura stradale di progetto.

Si sottopone direttamente a verifica la sezione tipo in trincea.

Per qualificare e quantificare l'andamento delle tensioni, delle deformazioni e degli spostamenti lungo le tre direzioni mutuamente ortogonali x , y , z all'interno della sovrastruttura stradale d'interesse, si è proceduto alla sua modellazione mediante il metodo razionale BISAR secondo il programma elaborato dal KONINSKLIJKE SHELL LABORATORIUM. Quest'ultimo, impiegando la teoria elastica, ipotizza un comportamento elastico, lineare, omogeneo e isotropo per i diversi materiali costituenti i vari strati della pavimentazione analizzata.

I dati di input necessari alla modellazione sono riportati nella tabella di Figura 1.1.

Da sinistra verso destra vengono riportati lo spessore s_i , il modulo di elasticità E_i ed il coefficiente di Poisson ν dello strato i -esimo.

I parametri elastici sono stati assegnati da valori presenti nella letteratura scientifica di settore e da apposite sperimentazioni effettuate presso il laboratorio del Settore Strade del Dipartimento DISTART dell'Università di Bologna e sono riferibili ad una temperatura di esercizio di 25° C.

In particolare, per la fondazione in misto cementato prevista nel pacchetto in oggetto, nel calcolo è stato introdotto il modulo elastico del materiale fessurato, cioè del materiale elastico ideale che ha la stessa deformabilità del materiale lesionato. Si è assunto, in accordo con le indicazioni di *Giannini et al.*, un valore pari a 1500 MPa.

Per le caratteristiche meccaniche del sottofondo, l'attribuzione del modulo elastico in campo dinamico E può avvenire a mezzo della seguente espressione, calibrata in base a studi precedenti condotti da DISTART:

$$E(\text{MPa}) = 2 \cdot M_{E1}.$$

In base alle prescrizioni di capitolato, il valore di M_{E1} , misurato in condizioni di umidità prossima a quella di costipamento, al primo ciclo di carico e nell'intervallo di pressione comprese fra 0,15 e 0,25 MPa, non dovrà essere inferiore a 50 MPa, da cui deriva, a mezzo della relazione, un valore del modulo dinamico $E = 100\text{MPa}$.

Si è ipotizzata la completa collaborazione fra gli strati confinanti, senza fenomeni di scollamento fra gli strati (*debonding*).

Non si considerano le azioni tangenziali che si esplicano nelle fasi inerziali.

Nello schema di calcolo di Figura 1.1 sono anche evidenziati i punti notevoli di calcolo per tensioni, deformazioni specifiche e spostamenti.

Per la pavimentazione di progetto, sono stati presi in considerazione n.8 punti all'interno del pacchetto stradale, di cui 4 sulla verticale passante per la mezzeria del pneumatico e 4 sull'asse di simmetria della coppia di ruote gemelle. In particolare, le profondità investigate sono sulla superficie dei conglomerati bituminosi, alla base dei conglomerati bituminosi, alla base della fondazione in misto cementato ed in sommità al sottofondo.

In riferimento ai volumi di traffico, dai dati del censimento ANAS disponibili per tratti di strada impegnate da traffico comparabile con quello del tratto in oggetto, il traffico di progetto è stimato in circa 2750 veicoli commerciali transitanti in un giorno per direzione di marcia.

Ai fini del presente dimensionamento, si è assunto cautelativamente che il traffico commerciale lento impegni un'unica corsia. Il traffico giornaliero sulla corsia più sollecitata, dunque, è quantificabile in 2750 veicoli commerciali per giorno nell'anno 2027 di apertura al traffico come desumibili dalla relazione trasportistica.

COLLEGAMENTO MEDIANO MURCIA - POLLINO
 TRATTO GIOIA DEL COLLE – MATERA – FERRANDINA – PISTICCI
 BY-PASS DI MATERA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

Dimensionamento Pavimentazione

File: P02_PS00_TRA_RE02_A

Data Giugno 2021

Pag. 6 di 20

È stata eseguita una proiezione sul traffico durante la vita utile della pavimentazione secondo la legge di capitalizzazione composta.

Per vita utile si intende il periodo di tempo al di là del quale la degradazione subita dalla strada ne rende necessario il rifacimento.

Si è assunta per le valutazioni a carattere prestazionale dei pacchetti a confronto una vita utile di 20 anni dall'entrata in esercizio.

Si è ipotizzata la seguente composizione percentuale del traffico di progetto in termini di categorie, con relativa distribuzione dei carichi su asse.

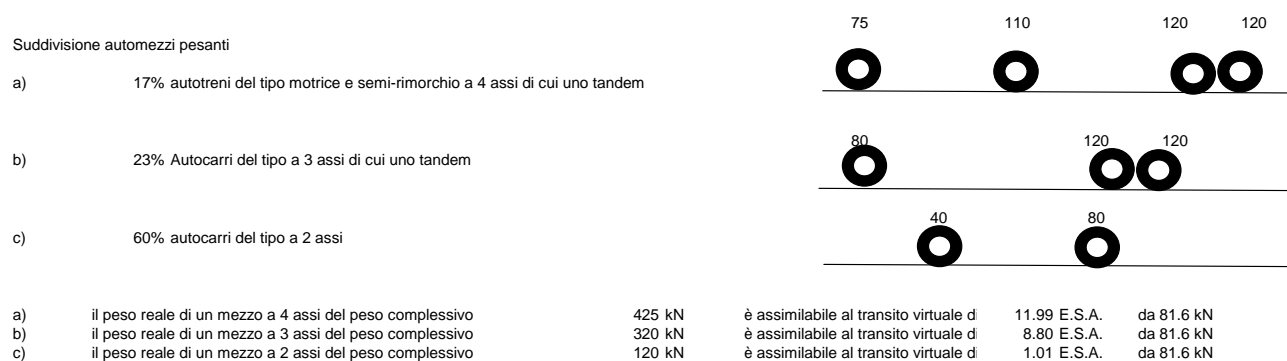


Figura 1.2 – Spettro di traffico.

Il parametro relativo al traffico è rappresentato dal numero N di passaggi di assi singoli da 81.6 kN (asse di riferimento E.S.A., *equivalent standard axle*), equivalente, agli effetti del deterioramento della pavimentazione, al numero di passaggi di assi reali gravati da carichi diversi nell'arco di tempo considerato in sede di progettazione (20 anni nella presente elaborazione).

Per questa operazione di conversione di ogni gruppo di carico in un singolo asse equivalente, si impiegano i fattori di equivalenza tabulati in Tabella 1.1.

COLLEGAMENTO MEDIANO MURGIA - POLLINO
TRATTO GIOIA DEL COLLE – MATERA – FERRANDINA – PISTICCI
BY-PASS DI MATERA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

Dimensionamento Pavimentazione

File: P02_PS00_TRA_RE02_A

Data Giugno 2021

Pag. 7 di 20

peso asse singolo (kN)	EF	EF _{TANDEM}
45	0.08	0.11
47	0.10	0.14
51	0.15	0.21
57	0.23	0.32
58.5	0.25	0.35
63	0.30	0.41
70	0.51	0.70
72	0.57	0.79
73	0.60	0.83
75	0.70	0.97
80	0.93	1.28
81.6	1.00	1.38
100	2.40	3.31
110	3.42	4.72
120	5.70	7.87
130	8.20	11.32
145	13.30	18.35

Tabella 1.1 – Fattori di equivalenza per ottenere assi da 81.6 kN.

Ad esempio, per la categoria di veicoli a) (autotreni del tipo motrice e semi-rimorchio a 4 assi di cui uno tandem), il passaggio “reale” di un mezzo a 4 assi del peso complessivo di 425 kN (75+110+120+120) può essere assimilato al transito “virtuale” di 11.99 (0.70+3.42+7.87) E.S.A. da 81.6 kN.

DETERMINAZIONE E.S.A. IN 20 ANNI

TIPO VEICOLO	%	N° veicoli a 20 anni	N° ESA 81.6 kN	N° ESA 100 kN	N° ESA 120 kN	N° ESA 130 kN
a) motrice e semi-rimorchio	17%	2292925	27482995	11451248	4821578	3351585
b) autocarro 3 assi (tandem)	23%	3102192	27286882	11369534	4787172	3327669
c) autocarro 2 assi	60%	8092675	8173602	3405668	1433965	996781
TOTALE	100%	13487792	62943479	26226450	11042716	7676034

Tabella 1.2 – Calcolo degli assi equivalenti standard E.S.A. dal traffico.

Il numero di veicoli transitanti della i-esima categoria nella vita utile di progetto è dato dal traffico totale per la frequenza percentuale competente alla categoria (es: $13487792 \times 17\% = 2292925$, categoria a). Il numero di E.S.A. è ottenuto moltiplicando il N° dei veicoli transitati al termine della vita utile per la data categoria per il peso “virtuale” espresso in E.S.A. del singolo veicolo appartenente alla categoria (es: $2292925 \times 11.99 = 27482995$, categoria a).

Sommando rispetto a tutte le categorie, si ottiene il numero di E.S.A., transitanti nell’arco della durata di progetto, stimabile dai volumi di traffico per il tratto in questione (es: 26226450 E.S.A. da 120 kN per la durata di progetto 20 anni).

Questo è il volume di traffico di progetto da confrontare con il numero di passaggi di assi standard ammissibile per la pavimentazione in esame (cfr. §1.3)

Per il calcolo della sovrastruttura è necessario conoscere il carico sulla singola ruota del semi asse P , la pressione di gonfiaggio dei pneumatici p e il raggio r della superficie d'impronta della singola ruota, supposta circolare.

Convenzionalmente, nel calcolo razionale delle sovrastrutture, il carico trasmesso da una ruota viene rappresentato attraverso una distribuzione di tipo cilindrico, ipotizzando un'area di carico di tipo circolare ed una tensione verticale costante. Il valore di tale tensione è posto pari alla pressione di gonfiaggio p delle ruote, che può raggiungere nei casi più severi anche 8 MPa, assumendo che la rigidità della carcassa del pneumatico sia ininfluente ai fini della distribuzione delle pressioni di contatto.

I carichi di verifica considerati sono l'asse standard gemellato da 120 kN (il massimo carico per asse contemplato nella normativa), l'asse standard gemellato da 100 kN, l'asse standard su ruota singola da 81.6 kN.

Tuttavia, considerato che spesso le amministrazioni gestrici delle strade concedono deroghe, e che spesso gli autocarri sono in condizioni di sovraccarico, si assume come ulteriore scenario di verifica l'asse standard gemellato da 130 kN.

In Tabella 1.3 vengono riportati i valori delle suddette grandezze specifici per il caso in esame.

		E.S.A.			
		130	120	100	81.6
P	(kN)	32.5	30	25	40.8
p	(MPa)	0.8	0.8	0.8	0.8
r	(cm)	11.4	10.9	10.0	12.7

Tabella 1.3 – Carichi e caratteristiche geometriche di riferimento.

1.3. RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE DEI MATERIALI

I tabulati di output dei calcoli di verifica eseguiti vengono allegati in calce al presente elaborato.

Dall'analisi dei risultati della progettazione razionale per la sovrastruttura di progetto in termini di tensioni, deformazioni e spostamenti per i quattro scenari di sollecitazione veicolare adottati (asse standard gemellato da 130 kN, asse standard gemellato da 120 kN, asse standard gemellato da 100 kN, asse standard su ruota singola da 81.6 kN), si evince l'idoneità dello stato tenso-deformativo offerto dalla pavimentazione di progetto, conferendo allo stato del piano viabile un'elevata efficienza durante l'intero corso della vita utile.

Vengono di seguito brevemente commentati i risultati ottenuti per i materiali componenti il multistrato elastico per la pavimentazione soggetta a verifica.

1.3.1. Verifica della deflessione massima in superficie sotto asse da 100kN

Facendo riferimento alla teoria di Jeuffroy, la deforma

massima della sovrastruttura f_{MAX} viene messa in relazione con N_{100} , numero di assi standard E.S.A. da 100 kN transitanti per giorno e per corsia sulla sovrastruttura all'anno n di fine vita utile.

In termini analitici:

$$f_{MAX} = 0.17 - 0.026 \cdot \log(N_{100})$$

Facendo riferimento al ventesimo anno di vita, si può assumere secondo quanto riportato in Tabella 1.4, $N_{100} = 8856$, da cui $f_{MAX} = 0.067\text{cm}$.

TIPO	VEICOLO	%	N° veicoli al gg e per corsia al 20 anno	N° ESA 81.6 kN	N° ESA 100 kN
a)	motrice e semi-rimorchio	17%	774	9281	3867
b)	autocarro 3 assi (tandem)	23%	1048	9214	3839
c)	autocarro 2 assi	60%	2733	2760	1150
<i>totale</i>			4555	21255	8856

Tabella 1.4 – Traffico veicolare giornaliero per corsia stimato a fine vita utile.

Dai dati di output, per quanto riguarda il controllo delle deflessioni u_{zz} in superficie (punti di controllo a $z=0$), si ha che:

	u_{zz}	
	μm	cm
Sovrastruttura di progetto	3.75E+02	0.037

Tabella 1.5 – Deflessioni massime in superficie.

Dall'analisi dei risultati emerge che:

- o la freccia massima u_{zz} per la sovrastruttura di progetto è pari a 0.037 cm, inferiore al valore di riferimento $f_{MAX} = 0.067\text{cm}$.

1.3.2. Verifica delle deformazioni di trazione alla base dei conglomerati bituminosi sotto asse da 130 kN

Dall'esperienza, è possibile asserire che il valore massimo della deformazione unitaria orizzontale di trazione ε_{rad} alla base dei conglomerati bituminosi quando sottoposti al massimo carico statico è $300\mu\varepsilon$.

Studi americani (Monismith) hanno mostrato che il contenimento delle ε_{rad} sotto i $65 \div 70\mu\varepsilon$, può annullare la formazione di fessurazioni *bottom-up* e trasformare il pacchetto in "perpetuo" (vita utile 50 anni).

Dai dati di output, per quanto riguarda il controllo delle deformazioni unitarie ε_{xx} e ε_{yy} (punti di controllo a $z=0.279\text{m}$ per la sovrastruttura di progetto), si ha che:

	ε_{rad} $\mu\varepsilon$
Sovrastruttura di progetto	50

Tabella 1.6 – Deformazioni nei conglomerati bituminosi.

Dall'analisi dei risultati emerge che:

- il valore della deformazione a trazione ε_{rad} massimo per la sovrastruttura di progetto è pari a $50\mu\varepsilon$, inferiore al valore di riferimento $300\mu\varepsilon$ ed idoneo anche a poter definire il pacchetto come "perpetuo".

Il valore di calcolo desunto per il pacchetto, ottimale in assoluto, è da imputarsi alla presenza nelle pavimentazioni dello strato sottostante in misto cementato, che costituisce un piano d'appoggio rigido per gli strati neri, nonché alle caratteristiche prestazionali dei conglomerati bituminosi speciali previsti superficialmente nella pavimentazione verificata.

1.3.3. Verifica delle tensioni di trazione alla base dei conglomerati bituminosi sotto asse da 130 kN

In base all'esperienza, i valori massimi di resistenza a trazione per i conglomerati bituminosi superficiali possono essere assunti pari a 0.50 MPa (DISTART Bologna).

Dai dati di output, per quanto riguarda il controllo delle tensioni massime σ_{xx} e σ_{yy} nei conglomerati bituminosi alla base degli stessi (punti di controllo a $z=0.279\text{m}$ per la sovrastruttura di progetto), si ha che:

	σ_{rad} MPa
Sovrastruttura di progetto	0.05

Tabella 1.7 – Tensioni di trazione nei conglomerati bituminosi.

Dall'analisi dei risultati emerge che:

- il valore della tensione a trazione σ_{rad} massimo per la sovrastruttura di progetto è pari a 0.05MPa , inferiore al valore di riferimento 0.5MPa e, dunque, adeguato al target prestazionale fissato.

Il valore di calcolo desunto per il pacchetto di progetto risulta ottimale in assoluto. Tale risultato è imputabile alla circostanza che il pacchetto denota spessori di progetto conservativi in relazione al traffico di progetto, assorbendo una cospicua parte di sollecitazione e riducendo lo stato tenso-deformativo negli strati neri superficiali.

1.3.4. Verifica a fatica nei conglomerati bituminosi sotto asse da 120 kN

Per quanto riguarda la verifica a fatica nei conglomerati bituminosi, si paragona il numero di passaggi di E.S.A. da 120 kN ammissibile per quel multistrato (N_{MAX}) e l'intensità di traffico in E.S.A. da 120 kN N_{120} prevista per il prefissato orizzonte temporale di progetto (20 anni).

La verifica risulta ovviamente soddisfatta se $N_{MAX} > N_{120}$.

Per il calcolo di N_{MAX} , si assume la legge di *Verstreaten* adattata alla realtà italiana secondo la formulazione della società Autostrade per l'Italia S.p.A. che tiene conto dei fenomeni di autoriparazione, dei tempi intercorrenti fra successive applicazioni del carico e della variabilità delle traiettorie:

$$N_{MAX} = \left(\frac{\varepsilon_{rad}}{47.4 \cdot 10^{-4}} \right)^{1/0.234}$$

con ε_{rad} deformazione unitaria orizzontale alla rottura per trazione, per un numero di applicazioni N espresso in assi da 120 kN (N_{MAX}).

Dai dati di output, per quanto riguarda la verifica a fatica dei conglomerati bituminosi alla base degli stessi (punti di controllo a $z=0.279\text{m}$ per la sovrastruttura di progetto), si ha che:

	NMAX
Sovrastruttura di progetto	3.23E+08

Tabella 1.8 – Confronto dei valori di NMAX per le due sovrastrutture.

Il valore stimato per N_{120} in riferimento alla vita utile di progetto (20 anni) è $1.10 \cdot 10^7$ (11042716, cfr. Tabella 1.2).

Dall'analisi dei risultati emerge che:

- il valore N_{MAX} di assi transitanti corrispondente al valore di deformazione massima per la sovrastruttura di progetto è di gran lunga superiore al numero di assi N_{120} da 120 kN transitanti nel corso della vita utile stimati per la sovrastruttura.

Dai risultati di calcolo si può notare che la pavimentazione di progetto raggiunge la crisi per affaticamento dei conglomerati bituminosi dopo $N_{MAX}=323$ milioni di cicli di carico.

Il valore dedotto per la pavimentazione di progetto risulta ottimale in assoluto. Tale risultato è imputabile alla circostanza che il pacchetto denota spessori di progetto conservativi in relazione al traffico di progetto, assorbendo una cospicua parte di sollecitazione e riducendo lo stato tenso-deformativo negli strati neri superficiali.

1.3.5. Verifica delle tensioni di trazione alla base del misto cementato sotto asse da 130 kN

La sollecitazione di trazione per flessione ammissibile $\sigma_{rad ADM}$ può essere assunta pari a all'85% della sollecitazione a rottura, fissata in 0.35 MPa, da cui $\sigma_{rad ADM} = 0.30\text{MPa}$.

Dai dati di output, per quanto riguarda il controllo delle tensioni massime σ_{xx} e σ_{yy} nel misto cementato alla base dello stesso (punto di controllo a $z=0.479\text{m}$ per la sovrastruttura di progetto), si ha che:

	σ_{rad} MPa
Sovrastruttura di progetto	0.10

Tabella 1.9 – Tensioni di trazione nel misto cementato.

Il valore calcolato per la sovrastruttura di progetto è inferiore al valore limite $\sigma_{rad ADM} = 0.30MPa$ e la verifica risulta soddisfatta.

1.3.6. Verifica a fatica del sottofondo sotto asse da 81.6 kN (tensioni)

Per la legge di fatica dei materiali di sottofondo, si esegue il calcolo affinché sia evitata la formazione di ormaie in superficie.

La massima sollecitazione verticale in sommità σ_{zzMAX} è legata al numero $N_{81.6}$ di ripetizioni di carico dell'asse da 81.6 kN ed al modulo elastico del sottofondo E_0 dalla relazione proposta da *Kerhoven* e *Dormon* per la quale:

$$\sigma_{zzMAX} = \frac{0.006 \cdot E_0}{1 + 0.7 \cdot \log N_{81.6}}$$

Il valore stimato per $N_{81.6}$ è $1.35 \cdot 10^7$ (13487792, cfr. Tabella 1.2), mentre per E_0 si è assunto un valore di 100 MPa.

Si ottiene quindi $\sigma_{zzMAX} = 0.093MPa$.

Dai dati di output, per quanto riguarda il controllo delle tensioni massime verticali σ_{zz} nel sottofondo (punti di controllo a $z=0.731m$ per la sovrastruttura di progetto), si ha che:

	σ_{zz} MPa
Sovrastruttura di progetto	-0.006

Tabella 1.10 – Tensioni verticali massime nel sottofondo.

Dall'analisi dei risultati emerge che:

- o il valore della tensione verticale σ_{zz} massimo per la sovrastruttura di progetto è pari a $0.006MPa$, inferiore al limite tensionale $\sigma_{zzMAX} = 0.093MPa$ e, dunque, adeguato per il target prestazionale fissato.

1.3.7. Verifica a fatica del sottofondo sotto asse da 120 kN (deformazioni)

Per quanto riguarda la verifica a fatica del sottofondo, per ogni schema progettuale si paragona il numero di passaggi di E.S.A. da 120 kN ammissibile per quel multistrato (N_{MAX}) e l'intensità di traffico in E.S.A. da 120 kN N_{120} prevista.

La verifica risulta ovviamente soddisfatta se $N_{MAX} > N_{120}$.

È possibile calcolare il numero di ripetizioni di carico ammissibili sul sottofondo tramite la seguente espressione dell'AASHTO americana che lega la deformazione unitaria ε_{zz} con il numero di applicazioni di carico N di assi da 120 kN (N_{MAX}):

$$N_{MAX} = \left(\frac{0.028}{\varepsilon_{ZZ}} \right)^{1/0.25}$$

Dai dati di output, per quanto riguarda la verifica a fatica del sottofondo in sommità (punti di controllo a $z=0.731$ m per la sovrastruttura di progetto), si ha che:

	NMAX
Sovrastruttura di progetto	3.53E+08

Tabella 1.11 – Confronto dei valori di NMAX per le due sovrastrutture.

Il valore stimato per N_{120} in riferimento alla vita utile di progetto (20 anni) è $1.10 \cdot 10^7$ (11042716, cfr. Tabella 1.2).

Dall'analisi dei risultati emerge che:

- il valore N_{MAX} di assi transitanti corrispondente al valore di deformazione massima per la sovrastruttura di progetto è largamente superiore al numero di assi N_{120} da 120 kN transitanti nel corso della vita utile stimati per la sovrastruttura.

Si noti, in particolare, come il numero di E.S.A. che porta a fatica i materiali profondi sia molto maggiore di quello che porta a fatica i materiali bituminosi di superficie (cfr. con i valori di N_{MAX} trovati in § 1.3.4 per i conglomerati bituminosi). In tal modo si evita di dover intervenire in profondità quando gli strati superficiali hanno ancora risorse utili. Il pacchetto risulta fuori fatica e la progettazione razionale della pavimentazione risulta dunque ottimizzata.

Dai risultati di calcolo si può notare che la pavimentazione di progetto raggiunge la crisi nel sottofondo dopo $N_{MAX}=353$ milioni di cicli di carico di assi standard.

Il valore dedotto per la pavimentazione di progetto risulta ottimale in assoluto. Tale risultato è imputabile alla circostanza che il pacchetto denota spessori di progetto conservativi in relazione al traffico di progetto, assorbendo una cospicua parte di sollecitazione e riducendo lo stato tenso-deformativo nell'intero sviluppo della sovrastruttura.

1.3.8. Verifica della deformazione unitaria verticale di compressione sul sottofondo sotto asse da 130 kN

Per limitare il fenomeno dell'ormaiamento si deve verificare che per la massima deformazione specifica verticale ε_{zz} sia soddisfatta la limitazione $\varepsilon_{zz} < 500\mu\varepsilon$.

Anche per il sottofondo vi sono indicazioni circa la realizzazione di pavimentazioni "perpetue".

Monismith suggerisce di contenere le deformazioni specifiche verticali entro i $250\mu\varepsilon$ per fare in modo che il sottofondo non risenta in modo significativo dei carichi in superficie.

Dai dati di output, per quanto riguarda il controllo delle deformazioni massime ε_{zz} nel sottofondo in testa allo stesso (punti di controllo a $z=0.731$ m per la sovrastruttura di progetto), si ha che:

	ε_{zz} $\mu\varepsilon$
Sovrastruttura di progetto	-170

Tabella 1.12 – Tensioni di trazione nei conglomerati bituminosi.

Dall'analisi dei risultati emerge che:

- il valore della deformazione verticale unitaria ε_{zz} massimo per la sovrastruttura di progetto è pari a $170\mu\varepsilon$, inferiore al valore di riferimento $500\mu\varepsilon$ e, dunque, adeguato al target prestazionale fissato.

Il valore calcolato per il pacchetto di progetto risulta inferiore alla soglia dei $250\mu\varepsilon$ e permette di classificare come "perpetua" la pavimentazione di progetto anche per quello che concerne le verifiche relative al sottofondo.

1.4. CONCLUSIONI

A sintesi dei risultati ottenuti si possono effettuare le seguenti osservazioni:

- La sovrastruttura stradale di progetto risulta essere rispondente sia alle verifiche degli stati tenso-deformativi a singolo ciclo di carico, sia a quelle di fatica a fine vita utile.
- Le valutazioni sono state effettuate su un arco temporale di riferimento pari a 20 anni. I valori tenso-deformativi ottenuti per la pavimentazione oggetto di calcolo indicano una vita utile preventivabile prossima a 50 anni per il traffico di progetto presumibile, permettendo quindi di classificare il pacchetto come “perpetuo”. Tale risultato è imputabile alla circostanza che il pacchetto in parola denota spessori conservativi in relazione al traffico di progetto, assorbendo una cospicua parte di sollecitazione e riducendo lo stato tenso-deformativo negli strati neri superficiali. Le verifiche di resistenza a fatica effettuate per il sottofondo, analogamente, hanno evidenziato un elevato livello prestazionale della pavimentazione.
- I valori tensionali e deformativi calcolati per il pacchetto di progetto sono in assoluto ottimali ad assolvere le funzionalità della sovrastruttura.
- I valori degli assi standard che possono transitare prima che intervengano rotture per fatica nei conglomerati bituminosi e nel sottofondo sono correttamente differenti. In particolare, il valore più superficiale è minore di quello più profondo relativo alla verifica del sottofondo. In tal modo si evita di dover intervenire in profondità quando gli strati superficiali hanno ancora risorse utili. Il pacchetto risulta fuori fatica, la progettazione razionale della pavimentazione risulta dunque ottimizzata ed i costi manutentivi ridotti.

COLLEGAMENTO MEDIANO MURGIA - POLLINO
 TRATTO GIOIA DEL COLLE – MATERA – FERRANDINA – PISTICCI
 BY-PASS DI MATERA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

Dimensionamento Pavimentazione

File:T00-EG00-GEN-RE02-A

Data: Giugno 2021

Pag. 17 di 20



BISAR 3.0 - Block Report

SA-RC

System 1: SCHEMA DI CALCOLO CON ESA da 130 kN

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	0.050	3.000E+03	0.35	1	3.250E+01	7.960E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.140E-01	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00
2	0.080	2.300E+03	0.35	2	3.250E+01	7.960E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.140E-01	-1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00
3	0.150	2.000E+03	0.35									
4	0.200	1.500E+03	0.25									
5	0.250	6.000E+02	0.30									
6		1.000E+02	0.30									

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	0.000E+00	-8.524E-03	-3.810E-01	0.000E+00	4.161E+01	-1.260E+02	4.545E+01	0.000E+00	0.000E+00	2.662E+02
2	1	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	-9.140E-01	-9.754E-01	-7.960E-01	-9.802E+01	-1.256E+02	-4.491E+01	-8.312E+00	0.000E+00	2.853E+02
3	3	0.000E+00	0.000E+00	2.790E-01	9.805E-03	5.007E-02	-1.551E-01	2.329E+01	5.046E+01	-8.804E+01	0.000E+00	0.000E+00	2.503E+02
4	3	1.500E-01	0.000E+00	2.790E-01	1.845E-02	4.668E-02	-1.510E-01	2.748E+01	4.653E+01	-8.698E+01	3.871E+00	0.000E+00	2.452E+02
5	4	0.000E+00	0.000E+00	4.790E-01	8.453E-02	9.698E-02	-4.859E-02	4.930E+01	5.860E+01	-6.263E+01	0.000E+00	0.000E+00	2.345E+02
6	4	1.500E-01	0.000E+00	4.790E-01	7.564E-02	9.088E-02	-4.421E-02	4.265E+01	5.535E+01	-5.723E+01	6.968E+00	0.000E+00	2.305E+02
7	6	0.000E+00	0.000E+00	7.310E-01	2.101E-03	2.495E-03	-1.565E-02	6.047E+01	6.559E+01	-1.703E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.143E+02
8	6	1.500E-01	0.000E+00	7.310E-01	1.759E-03	2.382E-03	-1.499E-02	5.541E+01	6.351E+01	-1.623E+02	8.813E+00	0.000E+00	2.117E+02

Figura 1.3 – Sovrastruttura di progetto: schema di calcolo con E.S.A. da 130 kN.

COLLEGAMENTO MEDIANO MURGIA - POLLINO
TRATTO GIOIA DEL COLLE – MATERA – FERRANDINA – PISTICCI
BY-PASS DI MATERA
PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA
Dimensionamento Pavimentazione

File:T00-EG00-GEN-RE02-A
 Data: Giugno 2021
 Pag. 18 di 20



BISAR 3.0 - Block Report

SA-RC

System 2: SCHEMA DI CALCOLO CON ESA da 120 kN

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	0.050	3.000E+03	0.35	1	3.000E+01	8.037E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.090E-01	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00
2	0.080	2.300E+03	0.35	2	3.000E+01	8.037E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.090E-01	-1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00
3	0.150	2.000E+03	0.35									
4	0.200	1.500E+03	0.25									
5	0.250	6.000E+02	0.30									
6		4.000E+01	0.40									

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	0.000E+00	-4.733E-02	-3.963E-01	0.000E+00	3.046E+01	-1.266E+02	5.176E+01	0.000E+00	0.000E+00	4.242E+02
2	1	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	-9.556E-01	-1.013E+00	-8.037E-01	-1.066E+02	-1.324E+02	-3.824E+01	-9.125E+00	0.000E+00	4.444E+02
3	3	0.000E+00	0.000E+00	2.790E-01	1.429E-02	5.263E-02	-1.403E-01	2.248E+01	4.836E+01	-8.185E+01	0.000E+00	0.000E+00	4.114E+02
4	3	1.500E-01	0.000E+00	2.790E-01	2.318E-02	4.954E-02	-1.377E-01	2.702E+01	4.481E+01	-8.157E+01	3.770E+00	0.000E+00	4.062E+02
5	4	0.000E+00	0.000E+00	4.790E-01	9.805E-02	1.097E-01	-3.965E-02	5.352E+01	6.325E+01	-6.040E+01	0.000E+00	0.000E+00	3.967E+02
6	4	1.500E-01	0.000E+00	4.790E-01	8.948E-02	1.039E-01	-3.496E-02	4.816E+01	6.018E+01	-5.553E+01	7.766E+00	0.000E+00	3.924E+02
7	6	0.000E+00	0.000E+00	7.310E-01	-1.327E-04	2.837E-05	-8.215E-03	7.855E+01	8.419E+01	-2.043E+02	0.000E+00	0.000E+00	3.769E+02
8	6	1.500E-01	0.000E+00	7.310E-01	-2.645E-04	-8.027E-06	-7.945E-03	7.292E+01	8.189E+01	-1.959E+02	1.150E+01	0.000E+00	3.738E+02

Figura 1.4 – Sovrastruttura di progetto: schema di calcolo con E.S.A. da 120 kN.

COLLEGAMENTO MEDIANO MURGIA - POLLINO
TRATTO GIOIA DEL COLLE – MATERA – FERRANDINA – PISTICCI
BY-PASS DI MATERA
PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA
Dimensionamento Pavimentazione

File:T00-EG00-GEN-RE02-A
 Data: Giugno 2021
 Pag. 19 di 20



BISAR 3.0 - Block Report

SA-RC

System 3: SCHEMA DI CALCOLO CON ESA da 100 kN

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	0.050	3.000E+03	0.35	1	2.500E+01	7.958E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-01	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00
2	0.080	2.300E+03	0.35	2	2.500E+01	7.958E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.000E-01	-1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00
3	0.150	2.000E+03	0.35									
4	0.200	1.500E+03	0.25									
5	0.250	6.000E+02	0.30									
6		4.000E+01	0.40									

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	0.000E+00	-3.207E-02	-3.292E-01	0.000E+00	2.772E+01	-1.060E+02	4.215E+01	0.000E+00	0.000E+00	3.530E+02
2	1	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	-9.193E-01	-9.672E-01	-7.958E-01	-1.008E+02	-1.223E+02	-4.517E+01	-7.613E+00	0.000E+00	3.749E+02
3	3	0.000E+00	0.000E+00	2.790E-01	1.123E-02	4.489E-02	-1.178E-01	1.837E+01	4.109E+01	-6.871E+01	0.000E+00	0.000E+00	3.431E+02
4	3	1.500E-01	0.000E+00	2.790E-01	2.037E-02	4.252E-02	-1.172E-01	2.316E+01	3.825E+01	-6.959E+01	3.150E+00	0.000E+00	3.388E+02
5	4	0.000E+00	0.000E+00	4.790E-01	8.199E-02	9.193E-02	-3.243E-02	4.474E+01	5.393E+01	-5.061E+01	0.000E+00	0.000E+00	3.308E+02
6	4	1.500E-01	0.000E+00	4.790E-01	7.486E-02	8.704E-02	-2.934E-02	4.029E+01	5.044E+01	-4.655E+01	6.494E+00	0.000E+00	3.272E+02
7	6	0.000E+00	0.000E+00	7.310E-01	-1.076E-04	2.801E-05	-6.857E-03	6.560E+01	7.035E+01	-1.706E+02	0.000E+00	0.000E+00	3.142E+02
8	6	1.500E-01	0.000E+00	7.310E-01	-2.170E-04	-2.606E-06	-6.632E-03	6.092E+01	6.842E+01	-1.636E+02	9.603E+00	0.000E+00	3.116E+02

Figura 1.5 – Sovrastruttura di progetto: schema di calcolo con E.S.A. da 100 kN.

COLLEGAMENTO MEDIANO MURGIA - POLLINO
 TRATTO GIOIA DEL COLLE – MATERA – FERRANDINA – PISTICCI
 BY-PASS DI MATERA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

Dimensionamento Pavimentazione

File:T00-EG00-GEN-RE02-A

Data: Giugno 2021

Pag. 20 di 20



BISSAR 3.0 - Block Report

SA-RC

System 4: SCHEMA DI CALCOLO CON ESA da 81.6kN

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	0.050	3.000E+03	0.35	1	4.080E+01	8.052E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.270E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	0.080	2.300E+03	0.35									
3	0.150	2.000E+03	0.35									
4	0.200	1.500E+03	0.25									
5	0.250	6.000E+02	0.30									
6		4.000E+01	0.40									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses (MPa)			Strains (µstrain)			Displacements (µm)		
					XX	YY	ZZ	XX	YY	ZZ	UX	UY	UZ
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-9.445E-01	-9.445E-01	-8.052E-01	-1.107E+02	-1.107E+02	-4.801E+01	0.000E+00	0.000E+00	3.307E+02
2	3	0.000E+00	0.000E+00	2.750E-01	4.428E-02	4.426E-02	-1.519E-01	4.097E+01	4.097E+01	-9.145E+01	0.000E+00	0.000E+00	2.871E+02
3	4	0.000E+00	0.000E+00	4.750E-01	8.094E-02	8.094E-02	-3.229E-02	4.585E+01	4.585E+01	-4.851E+01	0.000E+00	0.000E+00	2.734E+02
4	6	0.000E+00	0.000E+00	7.310E-01	4.300E-05	4.300E-05	-5.620E-03	5.884E+01	5.884E+01	-1.464E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.585E+02

Figura 1.6 – Sovrastruttura di progetto: schema di calcolo con E.S.A. da 81.6 kN.