



# ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

## PA17/08

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 - Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121

### Bolognetta S.c.p.a.

## - PERIZIA DI VARIANTE N.3 -

Il Responsabile Ambientale:  
Dott. Maurizio D'angelo



Titolo elaborato:

### MODIFICA TECNICA N. 260A PROGETTO DELL'INFRASTRUTTURA VIABILITA' PROVINCIALI

### Proposta di modifica alla sovrastruttura stradale alternativa alla soluzione di progetto approvato

Codice Unico Progetto (CUP): **F41B03000230001**

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	PE	MT 260A	RT 01	6	0

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA:
13	PEMT260A_RT01_60_4137	1=1	4 1 3 7	
5				
4				
3				
2				
1				
0	PRIMA EMISSIONE		Maggio 2021	F. Rondelli S. Fortino N. Behmann
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

Il Progettista Responsabile  
*Ing. Fabio Picariello*



Il Coordinatore per la Sicurezza  
in fase di Esecuzione:  
*Arch. Francesco Rondelli*

Il Coordinatore per la  
Esecuzione dei Lavori  
*arch. Francesco Rondelli*

Il Direttore dei Lavori:  
*Ing. Sandro Favero*

Il Direttore dei Lavori

ANAS S.p.A.

DATA: \_\_\_\_\_ PROTOCOLLO: \_\_\_\_\_

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

CODICE PROGETTO

LO410C E 1101

*Dott. Ing. Luigi Mupo*



# ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

COMMITTENTE: ANAS S.p.A.

\*\*\*\*\*

CONTRAENTE GENERALE: BOLOGNETTA S.C.p.A.

SS 189 e SS 121

ITINERARIO PALERMO - AGRIGENTO

PA 17/08

Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km 0,0 del lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km 33,6 del lotto 2 - svincolo Manganaro incluso), compresi i raccordi con le attuali S.S. n. 189 e S.S. n. 121

CUP F41B03000230001

Contratto per affidamento a Contraente Generale, stipulato in Roma il 19/10/2009 c/o Notaio Paolo Cerasi rep. n. 7953 racc. n. 4132, registrato in Roma il 27/10/2009.

Succ. Atto Aggiuntivo n. 1 stipulato in data 02.11.2011 rep. n. 9879 racc. n. 5275,

succ. Atto Aggiuntivo n. 2 stipulato in data 30.05.2013 rep. n. 20888 racc. n. 5938

e succ. Atto Aggiuntivo n. 3 stipulato in data 23.01.2014 rep. n. 21091 racc. n. 6057.

## MODIFICA TECNICA N.260A

WBS: Compensazioni ambientali e territoriali - Provinciali

OGGETTO: Proposta di un nuovo pacchetto di sovrastruttura stradale alternativo alla soluzione di progetto approvato.

DATA: 13-04-2021

Il Progettista Responsabile  
Dott. Ing. Fabio Picariello





# PAVENCO

PAVEMENT ENGINEERING CONSULTING

CLIENTE

**COSTITUENDA ATI**

**F.D. srl - EUROSTAB srl - I.S.A.P. srl**

TITOLO

**LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL TRATTO PALERMO LERCARA FRIDDI LOTTO  
FUNZIONALE DAL KM 14,4 COMPRESO IL TRATTO DI RACCORDO DELLA  
ROTATORIA BOLOGNETTA, AL KM 48,0 COMPRESI I RACCORDI CON LE ATTUALI  
SS N.189 E SS N.121  
CUP: F41B0300023001**

OGGETTO

**PROPOSTA DI VARIANTE MIGLIORATIVA DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE**

REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA
0	19/01/2021	Dott. Ing. Fabio Picariello	Dott. Ing. Fabio Picariello
1	19/02/2021	Dott. Ing. Giorgia Lanfranchi	Dott. Ing. Fabio Picariello
2	12/04/2021	Dott. Ing. Giorgia Lanfranchi	Dott. Ing. Fabio Picariello

COMMESSA	CODICE DOCUMENTO
0601-21	0601-Verifica pavimentazione-rev2

**PAVENCO PAVEMENT ENGINEERING CONSULTING SRL**

Sede legale e operativa: Via F.L. Ferrari, 31/D – 44122 Ferrara  
PI e CF 01918340389

Mail: [info@pavenco.com](mailto:info@pavenco.com) - PEC: [pavenco@legalmail.it](mailto:pavenco@legalmail.it)

[www.pavenco.com](http://www.pavenco.com)

## SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	3
2	PROPOSTA DI VARIANTE.....	3
2.1	SOPRALLUOGHI E ULTERIORI PROVE IN SITO DEL PROPONENTE .....	4
2.2	PACCHETTO DI VARIANTE .....	7
3	LA TECNOLOGIA DEL RIGENERATO A FREDDO .....	7
4	GEOGRIGLIA DI RINFORZO .....	8
5	PARAMETRI DI CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE.....	9
5.1	METODO DI CALCOLO RAZIONALE .....	9
5.2	CONFIGURAZIONE DI CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE.....	10
5.3	CARICHI ESTERNI DI PROGETTO.....	11
5.4	CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE SEZIONI DI CALCOLO.....	12
5.5	PUNTI DI CONTROLLO .....	13
6	RISULTATI DEL CALCOLO.....	13
7	CONFRONTO DELLA DURABILITÀ DEI PACCHETTI – VERIFICA DINAMICA .....	18
7.1	LEGGE DI FATICA PER I CONGLOMERATI BITUMINOSI.....	18
7.2	LEGGE DI FATICA PER IL RIGENERATO A FREDDO .....	20
7.3	CRITERIO DI ROTTURA PER MATERIALI NON LEGATI.....	22
7.4	ANALISI DEI RISULTATI.....	22
8	CONCLUSIONI .....	24
9	ALLEGATO N.1: CONTROLLI IN CORSO D'OPERA E CARATTERISTICHE DEL CONGLOMERATO DI BASE RIGENERATA A FREDDO LEGATA CON EMULSIONE BITUMINOSA MODIFICATA E CEMENTO.....	25
9.1	CARATTERISTICHE DELLO STRATO .....	27
9.2	CONFEZIONAMENTO E POSA DELLA MISCELA.....	27

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica è stata predisposta al fine di fornire una soluzione di variante alla realizzazione delle pavimentazioni dei lavori di ammodernamento del tratto Palermo – Lercara Friddi, dal km 14,4 compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121.

Il progetto originario prevede un totale di 9 interventi che contemplano la medesima sezione tipologica stradale siffatta:

Conglomerato per strato di usura tradizionale	4 cm
Conglomerato per strato di binder tradizionale	10 cm
Misto granulare stabilizzato naturale	30 cm

Il nuovo pacchetto stradale poggia su un sottofondo esistente le cui caratteristiche sono state assunte alla stregua di quelle di progetto esecutivo; eventuali anomalie afferenti alla stabilità dei sottofondi su cui poggia il corpo stradale non vengono quindi contemplate nella presente proposta di variante.

Lo scrivente è stato incaricato di esprimere valutazioni in merito ad un confronto prestazionale tra pacchetto di pavimentazione di progetto di tipo tradizionale, con una sovrastruttura ad alto contenuto tecnologico che prevede l'applicazione della tecnica della rigenerazione di materiali da riciclaggio con aggiunta di 2 tipologie di leganti, idraulico (cemento) e bituminoso (bitume da emulsione bituminosa modificata) e l'applicazione di una geogriglia di rinforzo all'intradosso degli strati legati a bitume.

Il confronto prestazionale è stato realizzato in termini di risposta meccanica, tensioni e deformazioni che si instaura all'interno del pacchetto stradale sottoposto alle sollecitazioni veicolari, e in termini di vita utile della pavimentazione.

## 2 PROPOSTA DI VARIANTE

Il pacchetto previsto in progetto prevede nella realizzazione della fondazione stradale l'impiego del materiale granulare che, seppur di comune impiego e di buone caratteristiche meccaniche, è suscettibile di un accumulo deformativo tale da indurre alla rottura gli strati superiori.

La proposta di variante dello scrivente ha quindi lo scopo di incrementare la vita utile della pavimentazione mediante l'impiego di tecnologie innovative atte a rinforzare le caratteristiche delle fondazioni e l'impiego di griglie di rinforzo geocomposite all'intradosso degli strati legati a bitume.

Dal 1° luglio 2013 è in vigore il Nuovo Regolamento EU 305/11 ove viene aggiunto il requisito di "uso sostenibile delle risorse naturali". Definizione del requisito: "Le opere da costruzione devono essere concepite, realizzate e demolite in modo che l'uso delle risorse naturali sia sostenibile e garantisca in particolare quanto segue: a) **il riutilizzo o la riciclabilità delle opere da costruzione, dei loro materiali e delle loro parti dopo la demolizione**; b) la durabilità delle opere da costruzione; c) l'uso, nelle opere da costruzione, di materie prime e secondarie ecologicamente compatibili".

La normativa nazionale vigente prevede, al co. 1 dell'art. 15 del Regolamento di esecuzione ed attuazione D.P.R. N° 207/2010 della Legge Quadro n. 163/2006 in materia di lavori pubblici, che "La progettazione è informata a principi di sostenibilità ambientale nel rispetto, fra l'altro, della **minimizzazione dell'impegno di risorse materiali non rinnovabili e di massimo riutilizzo delle risorse naturali** impegnate dall'intervento ...".

Alla luce dei riferimenti normativi sopra richiamati, risulta evidente la ratio del legislatore europeo e nazionale, cui si vuole dare concreta attuazione con la presente variante che vuole **riutilizzare la massima quantità di fresato**.

Al fine di validare la proposta di variante lo scrivente ha provveduto a effettuare un calcolo comparativo tra la soluzione ei progetto e la soluzione di variante secondo il metodo empirico meccanicistico. Nel seguito verranno descritte le tecnologie usate e verranno esplicitati i calcoli.

## 2.1 SOPRALLUOGHI E ULTERIORI PROVE IN SITO DEL PROPONENTE

In data a mezzo del proprio laboratorio di fiducia, il Proponente ha eseguito una serie di carotaggi e campionamenti di materiale dal sottofondo in modo da poter definire le caratteristiche della fondazione e della sottofondazione.

Di seguito i risultati:



Figura 1 – Foro carota 1



Figura 2 – Foro carota 2

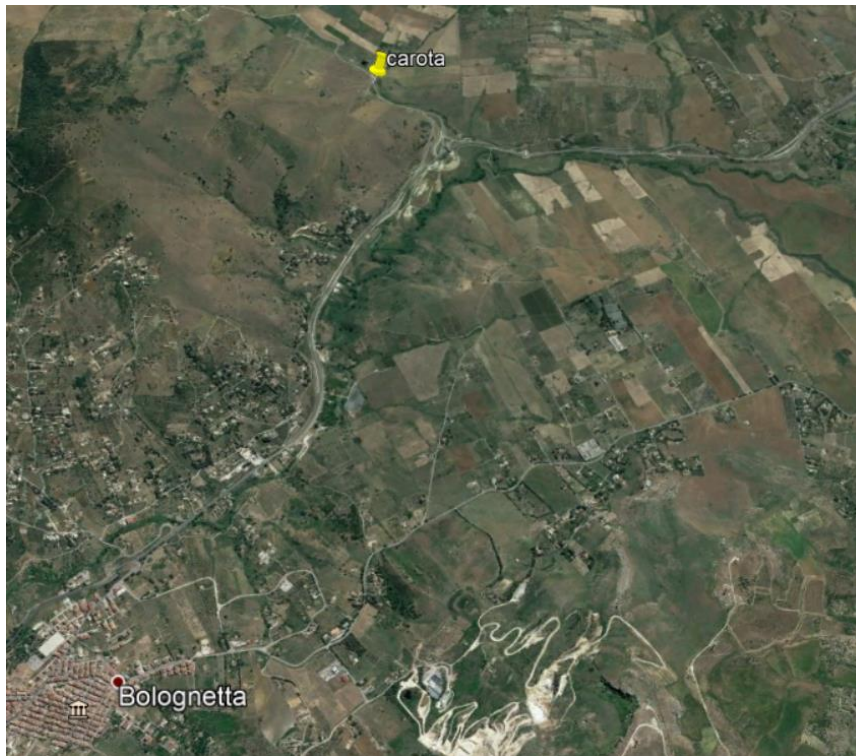


Figura 3 – Ubicazione carotaggi

SIGLA CAROTA	PROGRESSIVA PRELIEVO	LUNGHEZZA TOTALE CAROTE (mm)
C 1	Svincolo Tumminia	70
C 2	Svincolo Tumminia	65
C 3	Svincolo Ciminna	90
C 4	Svincolo Ciminna	115
C 5	Svincolo Ciminna	100
C 6	Svincolo Baucina	50
C 7	Svincolo Baucina	97
C 8	Svincolo Baucina	80
C 8 A	Svincolo Baucina	75
C 9	Svincolo Diana	130
C 10	Svincolo Diana	60
C 11	Svincolo Mezzojuso	110
C 12	Svincolo Mezzojuso	80
C 13	Svincolo Mezzojuso	108
C 14	Svincolo Campofelice	70
C 15	Svincolo Campofelice	92
C 16	Svincolo Campofelice	110
C 17	Svincolo Campofelice	70
C 18	Svincolo Campofelice	95
C 19	Svincolo Campofelice	65
C 20	Svincolo Campofelice	45
C 21	Svincolo Campofelice	55
C 22	Svincolo Campofelice	85
C 23	Svincolo Campofelice	80
C 24	Svincolo Campofelice	80
C 25	Svincolo Campofelice	90
C 26	Svincolo Campofelice	60
C 27	Svincolo Vicari Sud	130
C 28	Svincolo Vicari Sud	105
C 29	Svincolo Vicari Sud	130
C 30	Svincolo Vicari Sud	140

### Risultati prove

SIGLA CAROTA	Contenuto d'acqua medio (%)	Limite liquido (%)	Limite plastico (%)	Indice di plasticità (%)	Sottogruppo
C1 – fondazione asfalti	18,9	19,2	n.p.	0	A1 - a
C1 - sottofondazione asfalti	19,2	18,5	16	2,5	A1 - b
C2 - fondazione asfalti	17,34	17,6	n.p.	0	A1 - b



Per quanto ispezionato, si evince che la fondazione delle pavimentazioni esistenti è costituita da materiale inerte all'azione dell'acqua (Indice plastico= NP) che può essere oggetto di miglioramento con aggiunta di leganti; in tal modo inoltre si eviterebbero i costi di trasporto e conferimento a discarica a vantaggio di una miglior gestione del cantiere e una riduzione degli impatti sulla viabilità pubblica.

## 2.2 PACCHETTO DI VARIANTE

Nella seguente tabella si riporta il confronto tra i pacchetti stradali così come previsto in progetto e la soluzione di variante migliorativa proposta. Lo spessore totale del pacchetto della sovrastruttura stradale si riduce rispetto al progetto e, al contempo, prevede l'utilizzo di materiali di qualità superiori che garantiscono un incremento prestazionale dell'opera in termini sia di risposta meccanica che di durata.

Pacchetto di progetto	Sp.	Pacchetto di variante	Sp.
Strato di usura in conglomerato bituminoso con bitume tal quale	4 cm	Strato di usura in conglomerato bituminoso con bitume tal quale	3 cm
Strato di binder in conglomerato bituminoso con bitume tal quale	10 cm	Strato di binder in conglomerato bituminoso con bitume tal quale	4 cm
Fondazione in misto granulare	30 cm	Geogriglia	-
Sottofondo esistente	-	Strato di base rigenerata a freddo con emulsione modificata e cemento	20 cm
		Sottofondo esistente	-
<i>Spessore totale: 44 cm</i>		<i>Spessore totale: 27 cm</i>	

Al fine di dimostrare la validità della soluzione proposta, le pavimentazioni di progetto e di variante sono state verificate dal punto di vista della risposta meccanica dei pacchetti stradali.

## 3 LA TECNOLOGIA DEL RIGENERATO A FREDDO

La tecnica del rigenerato a freddo prevede che, nella realizzazione di strati di pavimentazione stradale, siano utilizzati materiali provenienti dalle fondazioni delle attuali pavimentazioni con aggiunta di emulsione bituminosa ad una temperatura di lavorazione e posa in opera prossima a quella ambientale. Tale tecnica nasce con il primario scopo di eliminare la movimentazione di materiale abbattendo considerevolmente il traffico di cantiere per i trasporti a discarica. I miglioramenti delle tecnologie hanno poi permesso di affinare le lavorazioni fino a giungere a un materiale con elevatissime prestazioni meccaniche, in taluni casi anche migliori di quelle di un conglomerato bituminoso a caldo con bitume tradizionale. Questo è possibile grazie alla combinazione degli effetti di emulsioni bituminose modificate (nel caso specifico si adotta una emulsione bituminosa modificata) e il legante cementizio che ha lo scopo di far attivare e potenziare i legami chimici offerti dal bitume residuo.



Figura 4 – Materiali da riciclaggio

## 4 GEOGRIGLIA DI RINFORZO

Uno dei più comuni ammaloramenti cui sono soggette le pavimentazioni stradali sono le fessurazioni da fatica le quali si innescano alla base dei conglomerati bituminosi per superamento della resistenza a trazione e si propagano fino in superficie. La geogriglia di rinforzo proposta verrà posizionata nel pacchetto di variante all'interfaccia tra binder e rigenerato a freddo, con lo scopo di evitare la propagazione delle fessurazioni dovute alla presenza del corpo rigido della trave in superficie.

La geogriglia è formata da strutture planari regolari, costituite per tessitura in trama ed ordito di filamenti di poliestere ad alta tenacità o da filamenti in fibra di vetro.

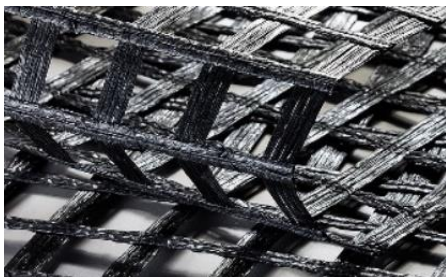


Figura 5 - Struttura della geogriglia

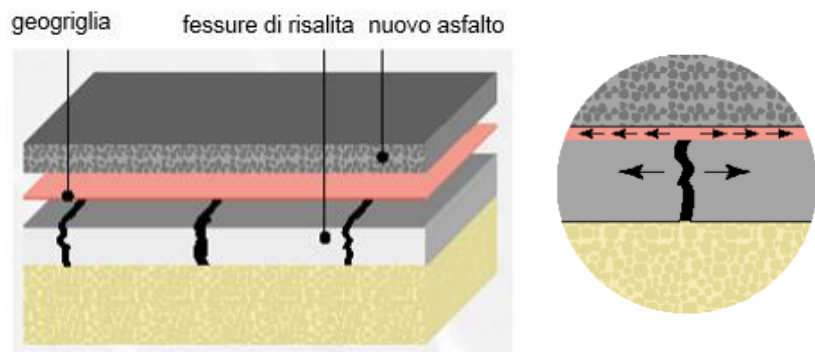


Figura 6 – Blocco delle fessure di risalita e incremento resistenza a trazione

Grazie alla struttura aperta, le geogriglie non creano una netta separazione tra gli strati: in questo modo gli strati tra cui è interposta agiscono in sinergia nei confronti della resistenza ai cicli di fatica indotti dal traffico. La sconnessione tra i due strati, invece, provocherebbe un repentino stato fessurativo.

La geogriglia quindi assorbe le sollecitazioni di trazione indotte dai carichi del traffico, con minimi allungamenti viscosi di creep così da potersi opporsi nel tempo alle deformazioni plastiche della sovrastruttura, incrementando la resistenza nei confronti delle fessurazioni per fatica dei conglomerati bituminosi soprastanti, caratterizzati per loro natura da una ridotta resistenza a trazione.

La sua azione si traduce in un incremento di resistenza a trazione ed un effetto cerchiante che, tramite il confinamento dell'aggregato, limita le deformazioni plastiche della pavimentazione.

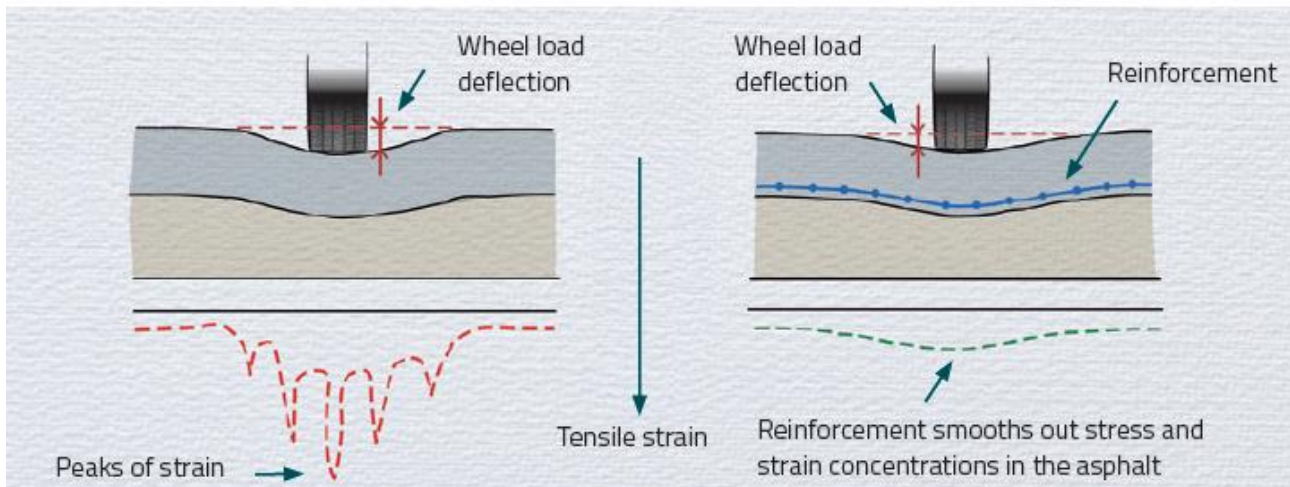


Figura 7 – Effetto della geogriglia

## 5 PARAMETRI DI CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE

### 5.1 METODO DI CALCOLO RAZIONALE

Il metodo di calcolo razionale delle pavimentazioni permette di verificare le ipotesi di calcolo, basate sulla scelta del pacchetto stradale di progetto, validando la qualità della scelta progettuale dal punto di vista della risposta meccanica, in termini di tensioni e deformazioni che si sviluppano nel pacchetto stradale analizzato.

Le prestazioni della pavimentazione scelta sono valutate calcolando lo stato tensionale e le deformazioni indotte nella pavimentazione dai carichi di progetto. L'analisi delle tensioni e delle deformazioni indotte nella pavimentazione dal passaggio dei veicoli è basata sulle seguenti ipotesi:

1. Materiale omogeneo e isotropo con legge costitutiva elastica lineare;
2. Carico applicato staticamente sulla superficie stradale e area d'impronta circolare con pressione uniformemente distribuita.

Lo scopo dell'analisi è la valutazione delle deformazioni, e dunque delle tensioni, in un punto del pacchetto stradale in conseguenza dell'applicazione di un carico statico.

Poiché l'entità del carico applicato è inferiore rispetto al carico di rottura dei materiali, la singola deformazione risulta essere, con ragionevole approssimazione, reversibile, dunque tale deformazione può essere considerata elastica. La scelta di un modello costitutivo elastico trova quindi giustificazione nell'entità delle deformazioni.

Il software di calcolo Alize, sviluppato dal LCPC (istituto pubblico francese di ricerca in materia di infrastrutture), utilizzato per l'analisi in oggetto, si basa sulla teoria del multistrato elastico. Nell'Alize si considera una sovrastruttura composta da più strati semi-illimitati di materiale, omogeneo, isotropo e con legge costitutiva elastica lineare.

I parametri meccanici affidati agli strati della sovrastruttura per la definizione del modello matematico di calcolo sono quelli standard proposti dal software di calcolo, basati sul manuale di progettazione delle pavimentazioni del SETRA, servizi tecnici nazionali francesi di ricerca sulle infrastrutture e i trasporti sotto il controllo dalla Direzione generale delle infrastrutture, dei trasporti e del mare. Tali parametri sono quindi verificati presso i laboratori dello scrivente e confrontati nell'ampia bibliografia di settore.

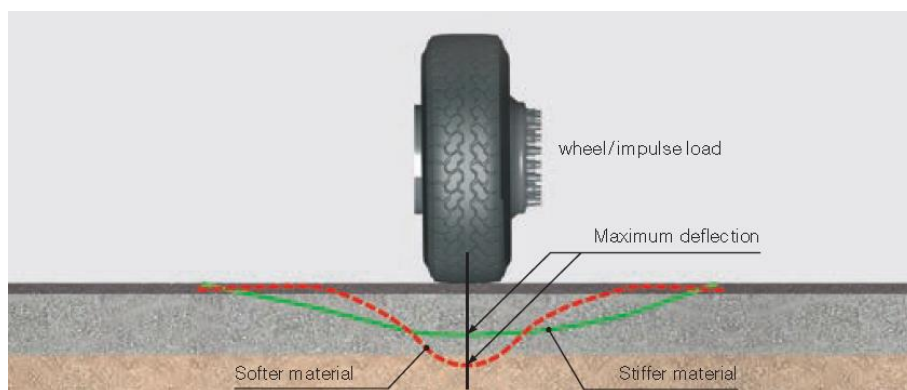


Figura 8 – Deflessioni sotto ruota

Nel paragrafo 5.4 verrà effettuato il confronto tra la sovrastruttura di progetto e la sovrastruttura di variante in termini di cicli di carico di asse standard da 80 kN su ruote gemellate che portano al collasso della sovrastruttura. Poiché il dimensionamento di progetto è diverso (metodo empirico AASHO Guide e metodo razionale con codici di calcolo KENPAVE) da quello qui utilizzato (Alize), al fine di poter confrontare i risultati ottenuti con la medesima procedura, è stato eseguito anche il calcolo della pavimentazione di progetto.

## 5.2 CONFIGURAZIONE DI CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE

Nel calcolo, la pavimentazione è schematizzata come un sistema multi-strato elastico lineare, omogeneo e isotropo, in cui vengono definiti gli spessori, corrispondenti ai valori stratigrafici o di progetto, i moduli elastici e i coefficienti di Poisson, parametri meccanici indicativi della risposta del pacchetto stradale ai carichi esterni.

I dati di input per il calcolo di tensioni e deformazioni sono i seguenti:

- Carico di progetto: intensità (kN o pressione), posizione, tipologia;
- Caratteristiche meccaniche e geometriche della pavimentazione (modulo elastico, coefficiente di Poisson, spessore degli strati);
- Tipo di connessione alle interfacce degli strati: totale interconnessione tra i conglomerati bituminosi per la presenza di emulsione d'attacco; semi-collegamento all'interfaccia tra l'intradosso dei conglomerati bituminosi e l'estradosso dello strato di rigenerato a freddo; assenza di collegamento tra il rigenerato a freddo e il sottofondo.

### 5.3 CARICHI ESTERNI DI PROGETTO

Una sovrastruttura stradale è percorsa da carichi di diverse tipologie e entità che applicano tensioni dipendenti dalla forma e quantità di pneumatici di cui il veicolo è composto. Per uniformare le molteplicità di casi di carico si adotta il concetto di Asse Equivalente (Standard Equivalent Axle) ovvero una semplificazione fatta attraverso i fattori di equivalenza che correlano gli assi effettivamente transitanti su una sezione stradale e un asse di riferimento che usualmente è l'asse singolo da 80 kN (circa 8 tonnellate). Gli ESA sono assi di riferimento con carichi standard che vengono convenzionalmente utilizzati nelle valutazioni della vita utile di una pavimentazione e servono a ricondurre le diverse configurazioni di assi di carico dei veicoli commerciali costituenti lo spettro di traffico in un unico asse di riferimento, tramite opportuni coefficienti correttivi.

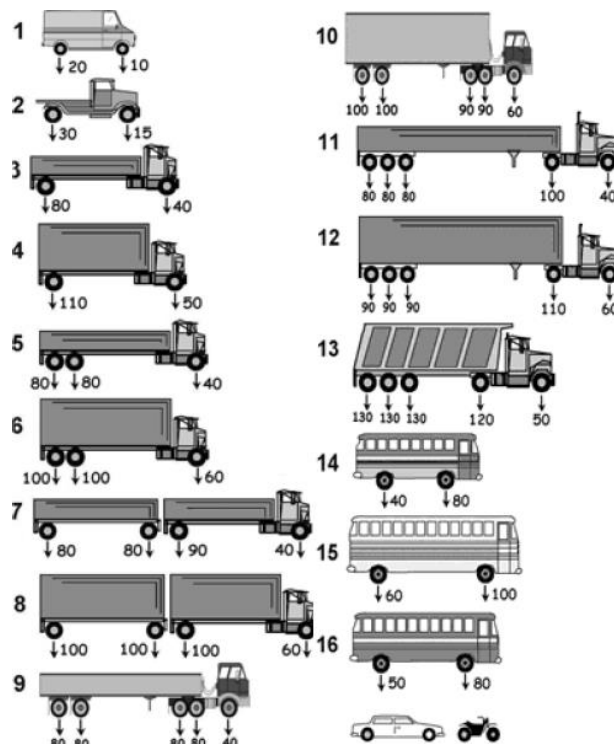


Figura 9 – Carichi di progetto

Come carico di progetto è stato quindi assunto l'asse da 80 kN con ruote gemelle. Le ruote costituenti l'asse del carico di progetto scaricano sulla superficie della pavimentazione una pressione pari a 650 kPa, distribuita su ciascuna ruota secondo un'area di impronta circolare di raggio 10 cm.

CARICHI DI PROGETTO	
Asse di progetto	Asse singolo con ruote gemellate
Carico sull'asse	80 kN
Carico su singola area di carico	20 kN
Pressione di contatto pneumatico-piano viabile	650 kPa
Raggio area impronta pneumatici (area circolare)	10,0 cm

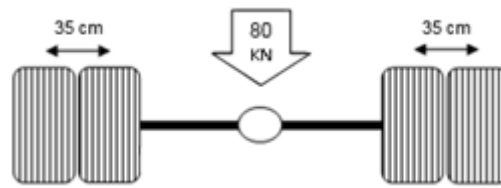


Figura 10 – Asse da 80 kN

#### 5.4 CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE SEZIONI DI CALCOLO

Nel calcolo, la pavimentazione è schematizzata come un sistema multi-strato elastico lineare, omogeneo e isotropo, in cui vengono definiti gli spessori, corrispondenti ai valori stratigrafici o di progetto, i moduli elastici e i coefficienti di Poisson, parametri meccanici indicativi della risposta del pacchetto stradale ai carichi esterni. Si precisa che i moduli elastici dei conglomerati bituminosi sono definiti alla temperatura di riferimento di 20°C, che risulta essere la media delle temperature annuali nelle zone di intervento, e sono ricavati da esperienze di laboratorio e consolidata bibliografia internazionale.

Il parametro di modulo elastico del sottofondo esistente è assunto cautelativamente un Modulo Elastico pari a 50 MPa per ciascuna configurazione di calcolo, uniformando il valore a quello previsto dal progetto esecutivo. Per la base rigenerata a freddo si considera il valore di 2500 MPa corrispondente al modulo di rigidità in avanzato stato di maturazione del materiale che normalmente si esplica dopo 6 mesi di esercizio. Per la fondazione in misto granulare del pacchetto di progetto si considera un valore pari a 300 MPa attribuibile ad uno stato di addensamento ideale al 95% di costipamento e riferibile ad un valore di almeno 80 MPa alla prova di carico su piastra da 300 mm (CNR 146).

Le caratteristiche meccaniche delle sezioni di calcolo sono riportate schematicamente nelle seguenti tabelle.

PACCHETTO DI PROGETTO			
Strato	Spessore (cm)	Modulo elastico (MPa)	Coefficiente di Poisson (-)
Usura in conglomerato bituminoso con bitume tal quale	4	3000	0,30
Binder in conglomerato bituminoso con bitume tal quale	10	3000	0,30
Fondazione in misto granulare	30	300	0,35
Sottofondo esistente	-	50	0,40

PACCHETTO DI VARIANTE			
Strato	Spessore (cm)	Modulo elastico (MPa)	Coefficiente di Poisson (-)
Usura in conglomerato bituminoso con bitume tal quale	3	3000	0,30
Binder in conglomerato bituminoso con bitume tal quale	4	3000	0,30
Geogriglia in geocomposito	-	-	-

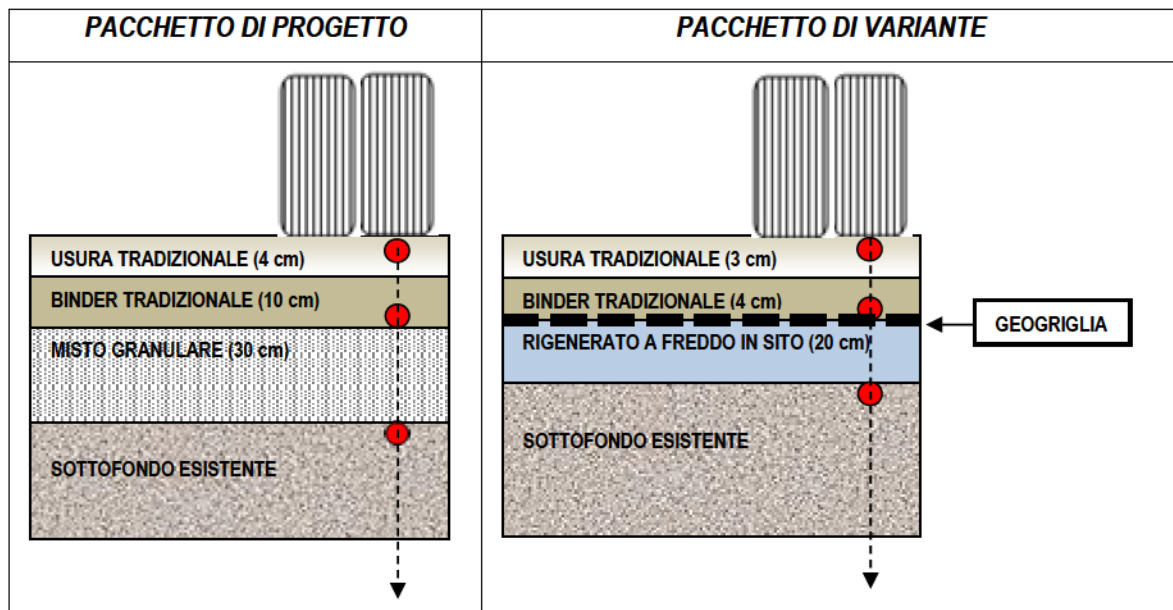
Base rigenerata a freddo in sito	20	2500	0,30
Sottofondo esistente	-	50	0,40

Nota: il sottofondo esistente si è assunto con Modulo elastico e resiliente di valore equivalente per le due soluzioni progettuali e non tiene conto di eventuali cali di portanza dovuti a fattori estranei al presente calcolo.

## 5.5 PUNTI DI CONTROLLO

Nel calcolo di progetto per il raffronto tra la sovrastruttura di progetto e la variante proposta vengono calcolate tensioni e deformazioni in corrispondenza di punti di controllo rappresentanti punti significativi della sovrastruttura. Nello specifico si calcolano:

- Deflessione della superficie stradale al di sotto dell'area di carico;
- Deformazioni di trazione alla base degli strati in conglomerato bituminoso;
- Deformazioni e tensioni in sommità dello strato di sottofondo.



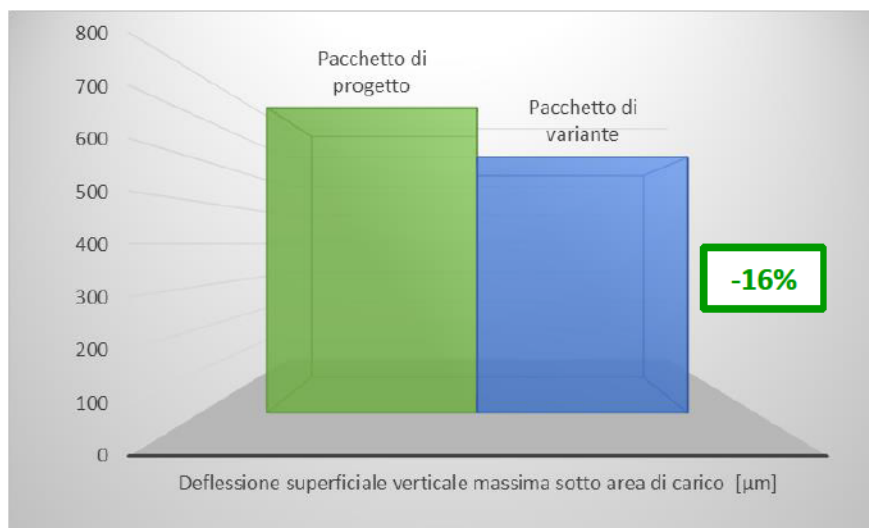
## 6 RISULTATI DEL CALCOLO

Di seguito, si riportano i risultati del calcolo statico della pavimentazione per i seguenti parametri principali:

- Spostamento verticale della superficie stradale al di sotto dell'area di carico,  $U_z$  (in  $\mu\text{m}$ );
- Deformazione di trazione all'intradosso degli strati in conglomerato bituminoso (binder),  $\varepsilon_{t-cb}$  (in  $\mu\text{strain}$ );
- Deformazione di trazione all'intradosso degli strati in rigenerato a freddo per la soluzione di variante,  $\varepsilon_{t-rig}$  (in  $\mu\text{strain}$ );
- Deformazione verticale in sommità dello strato di sottofondo,  $\varepsilon_{v-sottof}$  (in  $\mu\text{strain}$ ).

RISULTATI DEL CALCOLO	PROGETTO	VARIANTE	% RIDUZIONE
Deflessione superficiale verticale massima sotto area di carico $U_z$	722 $\mu m$	605 $\mu m$	-16%
Deformazione di trazione intradosso binder in conglomerato bituminoso, $\epsilon_{t-cb}$	346,6 $\mu strain$	115,9 $\mu strain$	-67%
Deformazione di trazione intradosso rigenerato a freddo, $\epsilon_{t-rig}$	-	288,5 $\mu strain$	-
Deformazione verticale in sommità dello strato di sottofondo, $\epsilon_{v-sottof}$	315,0 $\mu strain$	283,8 $\mu strain$	-10%

Si riportano in via grafica i confronti tra le due soluzioni e gli andamenti delle deflessioni e delle deformazioni nella soluzione di variante:





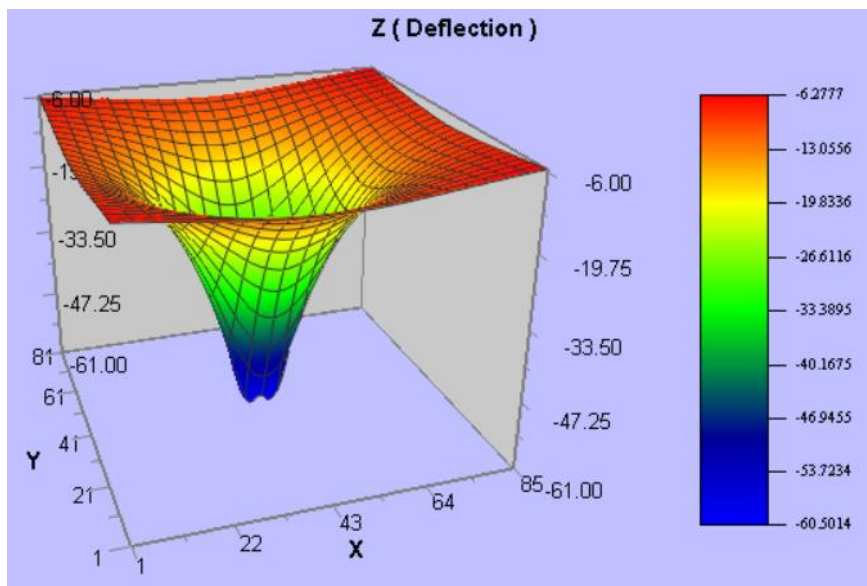


Figura 11 - Deflessione superficiale verticale massima sotto area di carico Uz

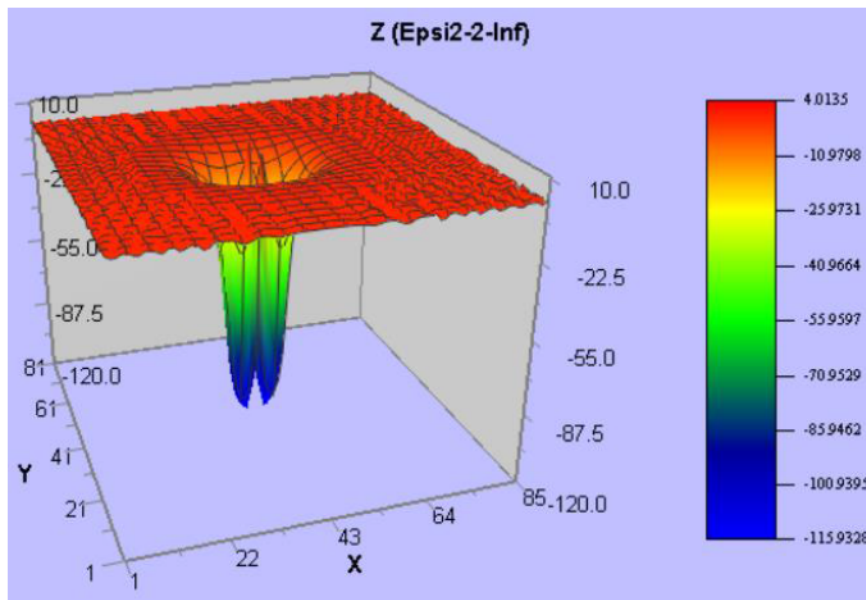
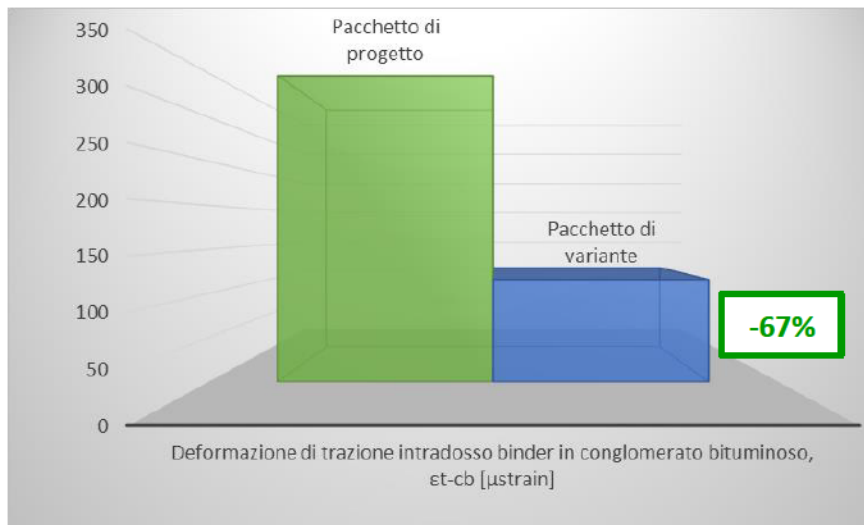


Figura 12 – Deformazione di trazione intradosso binder in conglomerato bituminoso  $\epsilon_{t-cb}$

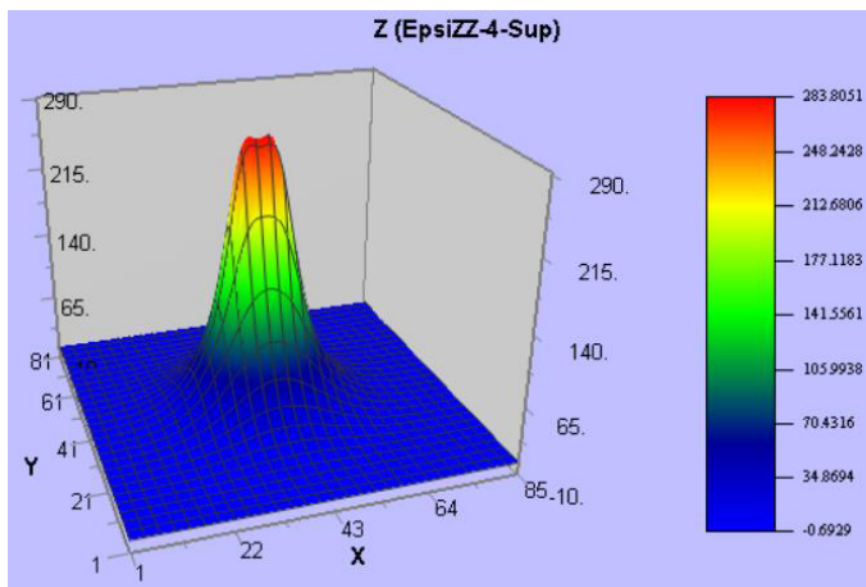
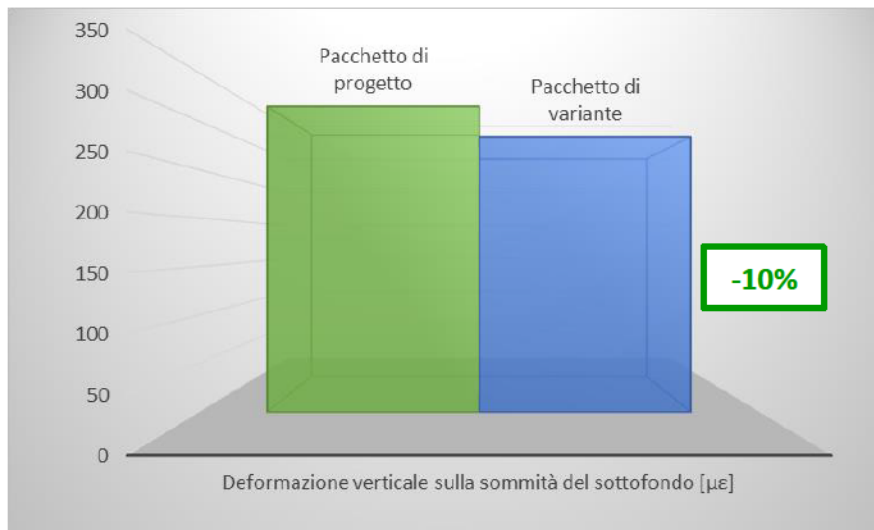


Figura 13 - Deformazione verticale in sommità dello strato di sottofondo,  $\epsilon_v$ -sottof

Dal risultato del calcolo razionale si evince che la sovrastruttura stradale di variante, in seguito all'applicazione statica del carico, è caratterizzata da una riduzione della deflessione superficiale nel punto di contatto con il carico, sintomatica della generale riduzione delle tensioni e deformazioni all'interno del pacchetto. La variante ottiene una riduzione dello stato deformativo di trazione negli strati bituminosi passando da 346,6  $\mu strain$  a 115,9  $\mu strain$  così come anche quello di compressione sul sottofondo (responsabile dei fenomeni di ormaiamento), con una riduzione da 315  $\mu strain$  a 283,8  $\mu strain$ .

Le risultanze del calcolo razionale statico sono propedeutiche alla successiva valutazione finale di durabilità delle soluzioni proposte.

## 7 CONFRONTO DELLA DURABILITÀ DEI PACCHETTI – VERIFICA DINAMICA

Per un esauriente studio del comportamento della pavimentazione, e allo stesso tempo per dimostrare la validità delle varianti introdotte, è necessario valutare il comportamento delle pavimentazioni quando sottoposte alle sollecitazioni dinamiche che caratterizzano il passaggio ciclico del traffico veicolare.

Per valutare la durabilità è stata condotta una verifica a fatica della pavimentazione stradale di variante che comporta la determinazione dei numeri di cicli che portano a rottura la pavimentazione a causa di fenomeni di fatica che hanno origine all'intradosso degli strati bituminosi.

### 7.1 LEGGE DI FATICA PER I CONGLOMERATI BITUMINOSI

Le fessurazioni per fatica sono una delle principali cause di ammaloramento delle pavimentazioni flessibili. Il fenomeno si manifesta in un primo momento nella degradazione degli strati legati a bitume e successivamente nel danneggiamento dell'intera sovrastruttura. Queste fratture si formano sul fondo degli strati bituminosi e si propagano verso la superficie, sotto l'azione dei carichi ripetuti, portando quindi ad infiltrazioni d'acqua negli strati granulari.

In letteratura esistono svariate leggi di fatica per rappresentare il numero di cicli a rottura in funzione della massima deformazione orizzontale di trazione alla base degli strati legati. Nel presente studio è stato adottato un criterio di verifica avanzato che abbina la legge di fatica proposta da Asphalt Institute al modello di propagazione delle fessure introdotto da Marchionna et al. Tale metodo, oltre a risultare particolarmente affidabile e largamente diffuso, ben si adatta al caso delle pavimentazioni rinforzate con geocompositi i quali, come dimostrato sperimentalmente, esplicano la loro principale funzione non tanto nell'inibire l'inesco della fessurazione alla base degli strati legati, quanto nel ritardarne la risalita in sommità.

Secondo tale criterio è, infatti, possibile distinguere due contributi distinti che insieme concorrono a determinare la vita utile complessiva della sovrastruttura: un contributo legato all'inesco della fessurazione e un contributo rappresentativo della fase di propagazione, determinabili ciascuno secondo una precisa legge.

Per ciò che concerne l'inesco della fessurazione, la legge di Asphalt Institute adottata è espressa come segue:

$$N_0 = 0.0796 \varepsilon^{-3.291} E^{-0.854}$$

Dove  $\varepsilon$  è la massima deformazione orizzontale di trazione alla base degli strati legati della pavimentazione calcolata dal modello,  $E$  è il modulo elastico dello strato di binder,  $N_0$  è il numero di cicli di carico riferito all'asse standard considerato che causa l'inizio della fessurazione;

Relativamente al calcolo del numero di cicli associati alla propagazione delle fessure è possibile far riferimento alla relazione proposta da Marchionna et al. nel caso in cui il grado di fessurazione superficiale sia pari o inferiore al 10%:

$$\Delta N_0 = \left( E^{\alpha'} \cdot \sigma^{\beta'} \cdot 10^{\gamma'} \right) \cdot \left( 1.373 \cdot e^{-1.089 \cdot n} \cdot h^{(-0.152 + 0.476 \cdot n)} \right)$$

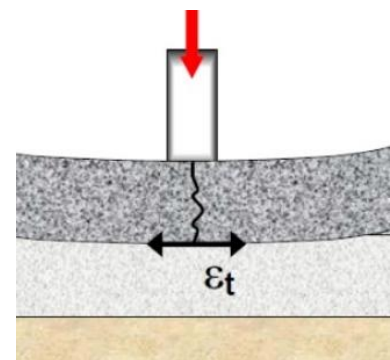


Figura 14 – Deformazione di trazione alla base degli strati legati

in cui:

$\Delta N_0$  è il numero di cicli di carico riferiti all'asse standard di riferimento che a partire dall'innesco della fessurazione alla base degli strati legati determina la risalita in superficie di fessure interessando il 10% della pavimentazione;

$h$  è lo spessore complessivo degli strati legati;

$E$  è il modulo di rigidezza pesato rispetto allo spessore degli strati in conglomerato bituminoso in  $\text{kg/cm}^2$ ;

$\sigma$  è la massima tensione di trazione alla base degli strati legati espressa in  $\text{kg/cm}^2$ ;

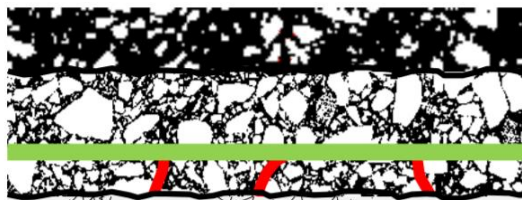
$n$  è il parametro dipendente dalla composizione del materiale (i.e. funzione della tipologia di legante) ricavabile sperimentalmente da prove di creep statico eseguite in laboratorio o sulla base di modelli teorici che considerano le caratteristiche del bitume impiegato per produrre la miscela. Nel presente calcolo si fa riferimento a un valore di  $n$  pari a 5, tipico per i conglomerati non modificati;

$\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  sono valori calcolati in funzione di  $n$ .

Una volta determinati i singoli contributi relativi all'innesco della fessurazione e alla fase di propagazione della stessa (considerando lo sviluppo superficiale di una fessurazione estesa al 10% della superficie stradale), il numero complessivo di passaggi  $N_t$  è pari a:

$$N_t = N_0 + \Delta N_0$$

Alla luce delle considerazioni precedentemente espresse circa il meccanismo di funzionamento dei sistemi di rinforzo, tale formulazione ben si presta all'applicazione nel caso di pavimentazioni flessibili rinforzate in quanto si può ragionevolmente assumere in maniera semplificata che i sistemi di rinforzo forniscano il loro contributo in termini di vita utile soltanto durante la fase di propagazione delle fessure. Adottando la precedente formulazione è pertanto possibile isolare il contributo relativo a tale fase da quello di innesco e applicare i benefici del rinforzo solo a tale termine. Pertanto, la verifica a fatica di pavimentazioni flessibili rinforzate con geocompositi come quella di variante considera, a favore di sicurezza, che lo stato tenso-deformativo generato all'interno della sovrastruttura sia lo stesso che si riscontra in assenza di rinforzo e tiene conto della presenza del geocomposito semplicemente introducendo un coefficiente di prestazione del rinforzo  $k$  che, traducendo la risalita ritardata delle fessure dovuta alla presenza del geocomposito, va ad amplificare il numero di passaggi relativi alla propagazione della fessurazione.



3 cm usura c.b.  
4 cm binder in c.b.  
geocomposito

Figura 15 – Risalita ritardata delle fessure per effetto del geocomposito nel pacchetto di variante

In prima approssimazione, tale coefficiente può essere desunto sulla base di sperimentazioni di laboratorio che coinvolgono i materiali in esame. In definitiva, il numero di cicli a rottura per fatica di un sistema bituminoso rinforzato risulterà pari a:

$$N_t = N_0 + k\Delta N_0$$

dove  $N_0$  e  $\Delta N_0$  sono calcolati attraverso la risoluzione del multistrato elastico senza tener conto della presenza del rinforzo. In particolare, i valori del coefficiente di prestazione  $k$  ricavati interpretando i risultati sperimentali con approcci tipici della meccanica della frattura, variano al variare della tipologia di conglomerato coinvolta nell'interazione con il geocomposito. In base ai risultati sperimentali acquisiti in laboratorio, si può ragionevolmente ritenere che i valori di  $k$  siano compresi tra circa 6 e 7 nel caso di conglomerato modificato e tra 4 e 5 per conglomerato tradizionale. Nella presente analisi, a titolo cautelativo, si sono assunti valori di  $k$  nel caso di conglomerato modificato e tradizionale rispettivamente pari a 5.5 e 3.5.

## 7.2 LEGGE DI FATICA PER IL RIGENERATO A FREDDO

A causa della fragilità derivante dalla presenza di cemento nella miscela, gli strati in conglomerato riciclato a freddo sono caratterizzati da un comportamento meccanico evolutivo che porta a variarne la risposta nel tempo, come accade anche negli strati in misto cementato.

Il comportamento meccanico dei materiali riciclati tratti con emulsione e cemento può essere pertanto suddiviso in due fasi, una pre-fessurazione e una post-fessurazione. Nella fase di pre-cracking, ossia nei primi anni di servizio, ha una rigidità simile a quella di un conglomerato bituminoso, essendo ancora integro e coeso e caratterizzato soltanto da uno strato di lieve microfessurazione a seguito della compattazione associabile alle prime fasi di traffico. Nella fase di post-fessurazione è caratterizzato da una rigidità comparabile a quella di un materiale trattato a cemento, in cui si assiste ad una perdita di rigidità a causa dell'elevato grado di fessurazione diffusa provocato dal passaggio ciclico dei carichi veicolari. Durante la prima fase, la rottura è determinata dal fenomeno della fatica, mentre nella seconda fase il materiale ha un comportamento simile a quello di un misto granulare caratterizzato da una ridotta resistenza alle deformazioni permanenti. Per la determinazione del numero di cicli ammissibili in questa seconda fase si utilizza un modello analitico che considera la massima tensione di compressione subita dallo strato e il relativo valore ammissibile.

Per schematizzare la struttura e poter operare con il calcolo e la verifica, si prendono in considerazione i seguenti aspetti per ogni fase:

- **Prima fase:** considerando il materiale rigido e coeso, viene definita la vita a fatica confrontando la massima deformazione di trazione generata alla base dello strato con la massima deformazione di trazione ammissibile funzione del tipo di miscela in esame. In tal senso, come nel caso dei conglomerati a caldo, i parametri fondamentali necessari per definire il comportamento del materiale sono il modulo elastico iniziale e il coefficiente di Poisson.
- **Seconda fase:** il materiale viene considerato fessurato in tutto lo spessore. Pertanto, si procede nuovamente con il calcolo dell'intera sovrastruttura assegnando allo strato un valore ridotto di rigidità e applicando un criterio di rottura che considera la massima tensione di compressione subita dallo strato e il corrispondente valore ammissibile per scongiurare cedimenti verticali eccessivi. Conseguentemente i principali parametri meccanici che entrano in gioco in questa seconda fase di calcolo e verifica sono il modulo di rigidità e il coefficiente di Poisson ridotti.

In letteratura sono disponibili diversi riferimenti per la modellazione e l'analisi di materiali legati a cemento (misti cementati) mentre, dato il recente sviluppo dei conglomerati riciclati a freddo, gli studi relativi alla modellazione di questi ultimi sono ancora limitati. Ciò nonostante esistono dei modelli dimostratisi affidabili per la verifica specifica dei riciclati a freddo, descritti nel seguito.

Per ciò che riguarda la verifica a fatica da eseguire in fase 1 (determinazione del numero di ripetizioni di carico che determina la riduzione del modulo fino a raggiungere un valore critico funzione del tipo di miscela), si fa riferimento al seguente criterio:

$$N_f = 10^{7,92 - 1,28 \cdot \frac{\epsilon_t}{\epsilon_b}}$$

$\epsilon_t$  massima deformazione di trazione alla base dello strato riciclato a freddo;

$\epsilon_b$  massima deformazione di trazione ammissibile in funzione del tipo di materiale e % cemento (230  $\mu$ strain per granulometria standard e 1,8% cemento);

$N_f$  numero di cicli di carico durante il periodo di vita a fatica effettivo.

Dopo aver calcolato il numero di cicli di carico che determinano la fine della prima fase (comportamento a fatica con materiale non fessurato), si procede con l'analisi della seconda fase (materiale completamente fessurato) adottando il seguente criterio di rottura:

$$\log_{10} N_c = \left( \frac{54.005}{t} + 4.5 \right) \cdot (SR + 0.0664)^{-0.2313}$$

$t$  spessore dello strato riciclato a freddo (mm);

$SR$  critical stress ratio: rapporto tra tensione applicata e massima resistenza a taglio:

$$SR = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_3 \left[ \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) - 1 \right] + 2c \cdot \tan \left[ 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right]}$$

$\sigma_1$  tensione maggiore principale (verticale) generata in sommità dello strato riciclato a freddo;

$\sigma_3$  tensione minore principale (orizzontale) generata in sommità dello strato riciclato a freddo  $\phi$  angolo di attrito ( $50^\circ$ )

$c$  coesione (250kPa);

$N_c$  numero di cicli di carico ammissibile prima che si raggiunga un'eccessiva deformazione plastica.

Il valore totale dei cicli di carico sopportati dallo strato in riciclato a freddo risulta essere la somma dei cicli accumulati durante le due fasi:

$$N_{tot} = N_f + N_c$$

### 7.3 CRITERIO DI ROTTURA PER MATERIALI NON LEGATI

Analogamente al comportamento esibito dai conglomerati riciclati a freddo in fase 2, anche gli strati costituiti da materiale non legato (fondazione e sottofondo) sono soggetti a tensioni verticali che possono creare avvallamenti sul piano viabile per effetto dell'accumulo di deformazioni plastiche indotte dal passaggio ciclico dei carichi veicolari. Tale accumulo sarà tanto più evidente quanto maggiore risulta il livello tenso-deformativo trasferito dalla sovrastruttura.

Per ciò che concerne lo strato di sottofondo si è invece adottato il criterio considerato maggiormente conservativo (i.e. 95% di affidabilità) proposto dalla Shell International Petroleum nell'ambito dello Shell Pavement Design Method:

$$N_z = 1.0498 \cdot 10^{-7} \cdot \varepsilon_t^{-4}$$

Dove  $N_z$  è il numero di cicli di carico riferiti all'asse standard che causa l'accumulo critico di deformazione permanenti;  $\varepsilon_t$  è la deformazione verticale in sommità dello strato di sottofondo.

### 7.4 ANALISI DEI RISULTATI

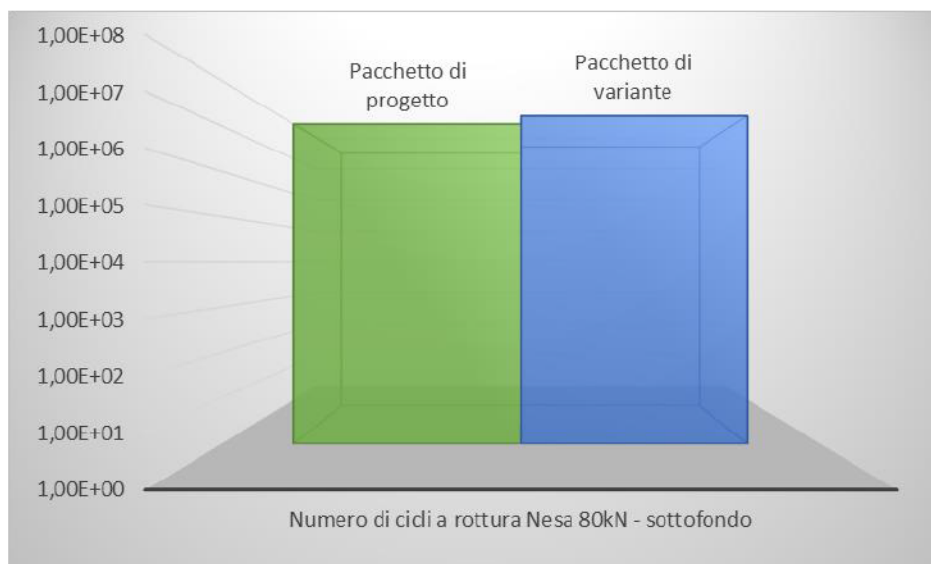
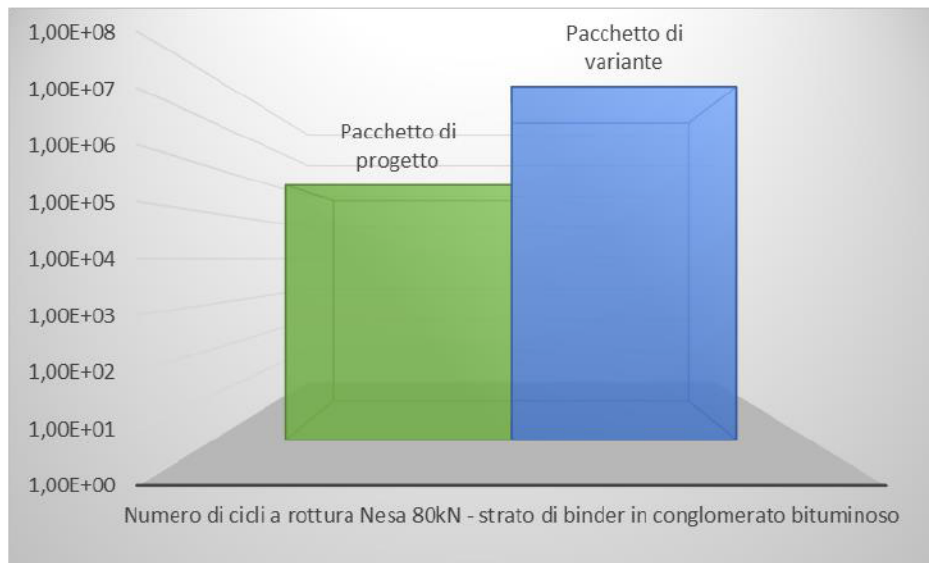
Coerentemente con i criteri di calcolo e i parametri assunti per le pavimentazioni sono state eseguite le opportune verifiche a fatica degli strati legati a bitume e a cemento. Nella seguente tabella sono riportati i risultati.

<i>PACCHETTO DI PROGETTO</i>		
<i>Materiale</i>	<i>Espressione utilizzata</i>	<i>Cicli a rottura della sovrastruttura <math>N_{esa80-PROG}</math></i>
Strato di binder in conglomerato bituminoso	$N_{esa80} = N_0 + \Delta N_0$	$2,54 \times 10^5 + 1,52 \times 10^5 = 4,06 \times 10^5$
Sottofondo	$N_z$ (Shell)	$1,07 \times 10^7$

<i>PACCHETTO DI VARIANTE</i>		
<i>Materiale</i>	<i>Espressione utilizzata</i>	<i>Cicli a rottura della sovrastruttura <math>N_{esa80-VAR}</math></i>
Strato di binder in conglomerato bituminoso rinforzato con geogriglia	$N_{esa80} = N_0 + k \Delta N_0$	$1,03 \times 10^7 + 1,44 \times 10^7 = 6,08 \times 10^7 > N_{esa80-PROG}$
Strato in rigenerato a freddo	$N_{esa80} = N_f + N_c$	$2,06 \times 10^6 + 5,41 \times 10^8 = 5,43 \times 10^8$
Sottofondo	$N_z$ (Shell)	$1,61 \times 10^7 > N_{esa80-PROG}$

Si riportano i risultati del confronto anche in via grafica.





Il confronto dei risultati delle verifiche mostra **un netto incremento dei cicli a rottura per fatica degli strati in conglomerato bituminoso della sovrastruttura nella soluzione di variante garantendo di sopportare un aumento di cicli considerevole rispetto al progetto.**

Per quanto riguarda lo strato sottostante rigenerato a freddo, il numero di cicli a rottura per fatica supera quello degli strati in conglomerato, portando a concludere che la rottura per fatica del rigenerato avverrà in un tempo molto superiore a quanto previsto per gli strati soprastanti.

Anche il sottofondo mostra un lieve aumento di cicli a rottura: ciò significa che il pacchetto di variante è migliorativo per tutti gli strati della pavimentazione e anche per il sottofondo naturale.

*La presente verifica ha valore puramente comparativo e i risultati contenuti in termini di durabilità non devono essere intesi in senso assoluto ma esclusivamente nell'ambito di tale confronto.*

## 8 CONCLUSIONI

Nel presente studio sono state analizzate e messe a confronto, da un punto di vista meccanico e di durabilità, le pavimentazioni stradali di progetto e di variante migliorativa proposta per i lavori di pavimentazioni della viabilità per i lavori di ammodernamento del tratto Palermo – Lercara Friddi.

La valutazione della risposta meccanica dei materiali utilizzati è stata svolta attraverso l'analisi dello stato tensionale e deformativo indotto negli strati del pacchetto stradale dal carico di progetto. A questa è seguita la valutazione della durabilità delle pavimentazioni nei confronti del più gravoso ammaloramento che agisce sulle pavimentazioni stradali fortemente trafficate ossia i fenomeni di fatica per ripetizione ciclica dei carichi.

La soluzione di variante proposta prevede una rigenerazione in sito a freddo con emulsione bituminosa e cemento per uno spessore di 20 cm, la posa di una geogriglia e le successive stese di binder in conglomerato bituminoso per 4 cm e usura in conglomerato bituminoso per 3 cm. A differenza del pacchetto di progetto, la variante riduce lo spessore di intervento nella pavimentazione e introduce due aspetti tecnologici: la **rigenerazione a freddo** con la tecnica dell'emulsione bituminosa modificata e la posa di una **geogriglia** con funzione di rinforzo.

Dall'analisi a fatica condotta si evince che la pavimentazione di variante proposta presenta una resistenza a fatica consistente in un numero di cicli di assi standard **superiori** al numero di passaggi di assi standard che offre la pavimentazione di progetto.

Questo è fondamentalmente dovuto al comportamento fessurativo progressivo che si manifesta alla base degli strati in conglomerato bituminoso: la presenza della geogriglia aumenta la capacità portante e impedendo la risalita delle fessure negli strati sovrastanti, andando conseguentemente ad aumentare la vita utile dell'intera sovrastruttura.

Inoltre, l'utilizzo di bitumi modificati nell'emulsione del rigenerato garantisce un alto livello prestazionale ed una migliore dissipazione dell'energia prodotta dalle sollecitazioni cui è sottoposta la pavimentazione con conseguente decremento degli sforzi e delle deformazioni sugli strati inferiori, determinando un incremento della vita utile nei confronti delle fessurazioni generate da fenomeni di fatica.

Infine, il pacchetto di variante proposto offre un miglioramento in termini di deformazioni verticali sulla sommità del sottofondo, garantendo pertanto un aumento della durabilità dello strato stesso.

Si conclude che la pavimentazione di variante proposta e descritta nella presente relazione, a parità di condizioni al contorno (tra cui stabilità dei sottofondi o criticità strutturali di ordine puntuale), determina un miglioramento prestazionale importante rispetto a quella di progetto, sia in termini di risposta meccanica che di vita utile della sovrastruttura.

Il Progettista

Ing. Fabio Picariello



## 9 ALLEGATO N.1: CONTROLLI IN CORSO D'OPERA E CARATTERISTICHE DEL CONGLOMERATO DI BASE RIGENERATA A FREDDO LEGATA CON EMULSIONE BITUMINOSA MODIFICATA E CEMENTO

Il materiale in opera, dopo l'eventuale correzione e miscelazione, risponderà alle caratteristiche seguenti:

- granulometria compresa nel seguente fuso (post estrazione se compresa di conglomerato bituminoso) e avente andamento continuo ed uniforme praticamente concorde a quello delle curve limite:

setacci	UNI (mm)	Fuso (passante %)
setaccio	63	100-100
setaccio	40	86-100
setaccio	20	70-95
setaccio	14	62-90
setaccio	8	48-75
setaccio	4	30-60
setaccio	2	20-50
setaccio	0.25	8-20
setaccio	0.063	5-10

- i bitumi da impiegare dovranno essere saranno quelli descritti all'art. 6.2.2. e andranno impiegati orientativamente al 3% in peso sulla miscela, salvo diverse indicazioni derivanti dallo studio approvato dalla dl da indicazioni della DL;
- verrà impiegato cemento normale (Portland, pozzolanico o d'altoforno) di classe 325 in percentuale connessa al contenuto d'acqua del materiale da riciclare (ricavato dal saggio effettuato) e alle resistenze da ottenere.

Per legante bituminoso si dovrà impiegare emulsione bituminosa acida modificata (con SBS e/o lattice) che dovrà avere caratteristiche di stabilità/velocità di rottura seguenti:

EMULSIONI BITUMINOSE MODIFICATE		
caratteristiche	unità di misura	valori
contenuto d'acqua	% in peso	≤40

contenuto di bitume	% in peso	≥ 60
grado di acidità (pH)		2-4
polarità delle particelle		positiva (cationiche) o negativa (anioniche)
sedimentazione a 7 gg	%	< 10
caratteristiche del bitume estratto		
penetrazione a 25° C	dmm	50-70
punto di rammollimento	° C	55-75
punto di rottura Fraass	° C	≤ -10
Ritorno elastico a 25° C	%	≥ 55

Vista la natura della lavorazione e la possibile eterogeneità dei materiali presenti in sito, eventuali discostamenti dal fuso sono ammessi purché il materiale risponda delle caratteristiche meccaniche richieste e di seguito riportate.

#### CARATTERISTICHE DELLA MISCELA

REQUISITO	METODO DI PROVA	SIMBOLO	UM	VALORE LIMITE
Resistenza a trazione indiretta a 72h	UNI EN 12697-23	ITS	MPa	> 0,28
Resistenza a trazione indiretta a 24h	UNI EN 12697-23	ITS	MPa	> 0,20
Resistenza a compressione a 72h	UNI EN 13286-41	Rc	MPa	>1,20

I provini dovranno essere sottoposti a maturazione per 24 ore e 72 ore a 40 °C e provati a 20 °C (dopo termostatazione di 4 ore a 20 °C).

Per tale lavorazione si rende necessaria la presenza di continui controlli durante le fasi di lavorazione tra cui:

- quantità di cemento (ogni qual volta si inizi la campagna di riciclaggio)
- umidità
- granulometria della miscela
- compattazione con pressa giratoria secondo le modalità dello studio di progetto
- caratterizzazione delle resistenze a trazione indiretta dopo 24 h di maturazione a 40 °C in forno
- caratterizzazione delle resistenze a trazione indiretta dopo 72 h di maturazione a 40 °C in forno

## 9.1 CARATTERISTICHE DELLO STRATO

Per le caratteristiche della miscela i valori misurati in opera non dovranno essere inferiori al 90% rispetto a quelli ottimali determinati mediante studio preliminare approvato dalla Direzione Lavori.

Le caratteristiche di addensamento della miscela in opera saranno determinate secondo il metodo del grado di compattazione in conformità con i requisiti riportati nelle seguenti tabelle:

ADDENSAMENTO DELLO STRATO			
(Grado di compattazione per confronto delle densità)			
REQUISITO	METODO DI PROVA	UM	VALORE LIMITE
Grado di compattazione (per ogni campione)	UNI EN 12697-6	%	≥ 90

Il grado di compattazione è il rapporto tra la densità della miscela compattata in opera e la densità della miscela compattata in laboratorio riferita allo stesso lotto/giorno di produzione (massimo addensamento teorico).

La determinazione del grado di addensamento potrà essere effettuata mediante carote prelevate dallo strato con diametro di mm 150 prelevate almeno dopo 90 giorni di maturazione del materiale.

Lo strato della fondazione in conglomerato rigenerato a freddo dovrà essere realizzato nel rispetto degli spessori e delle sagome di progetto. Le caratteristiche che lo strato dovrà avere sono relative al requisito di addensamento della miscela ed alle dimensioni (spessore) dello strato.

## 9.2 CONFEZIONAMENTO E POSA DELLA MISCELA

Per la produzione delle miscele dovranno essere impiegati idonei macchinari per il riciclaggio in situ (treno di riciclaggio). L'Impresa deve comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare le miscele conformi alle caratteristiche determinate nello studio preliminare predisposto a cura dell'Impresa.

La miscela stesa deve essere immediatamente compattata mediante l'impiego di un con cilindri metallici con peso superiore a t 18 o un rullo gommato con carico statico superiore a t 24; la fase di compattazione dovrà essere condotta fino a completa rottura dell'emulsione. La rigenerazione del materiale deve essere sospeso qualora la temperatura dell'aria sia inferiore a 3 °C e comunque quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro. Il tempo massimo di miscelazione del materiale ed il costipamento deve stare all'interno delle 3 ore dopo lo spargimento del cemento.

Prima di iniziare i lavori di riciclaggio, la superficie della pavimentazione esistente deve essere:

- accuratamente ripulita da vegetazione o qualsiasi corpo estraneo;
- ripulita di acqua di ristagno;
- prefresata qualora si debbano rimuovere protuberanze;
- soggetta a linee di taglio longitudinali e trasversali che delimitano i tratti da riciclare.

**SOMMARIO ECONOMICO - SOLUZIONE DI PROGETTO ESECUTIVO APPROVATO**

ARTICOLO	RIFERIMENTO E.P.	DESCRIZIONE	U.M.	P.U.	QUANTITA'	IMPORTO	NOTE
NP.CMC.11	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Fresatura pavimentazione stradale fino a 3 cm	mq	€ 0,30	115.353,00	€ 34.605,90	Fresatura 3 cm di spessore
NP.CMC.12	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Fresatura pavimentazione stradale oltre i 3 cm	mq x cm	€ 0,10	814.265,00	€ 81.426,50	Fresatura 7 cm di spessore
NP.CMCA.3.04.b	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Demolizione sovrastuttura stradale	mc	€ 5,83	39.220,02	€ 228.652,72	Demolizione 34 cm di spessore
A.1.10	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Trasporto a discarica	mc x Km	€ 0,20	312.949,00	€ 62.589,80	-
D.01	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Misto granulare stabilizzato	mc	€ 21,55	34.605,90	€ 745.757,15	M.G.S. 30 cm di spessore
D.04.a	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Conglomerato bituminoso per binder	mc	€ 116,97	11.535,30	€ 1.349.284,04	Binder 10 cm di spessore
D.05.a	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Conglomerato bituminoso per tappeto d'usura	mc	€ 128,66	4.614,12	€ 593.652,68	Usura 4 cm di spessore
PA.07	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Smontaggio barriere metalliche	ml	€ 6,71	7.359,00	€ 49.378,89	-
NP.CMC.G.01.1.c	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Fornitura e posa in opera barriera metallica H1 su rilevato	ml	€ 53,41	7.359,00	€ 393.044,19	-
PA.05	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Tracciamento ed esecuzione di segnaletica orizzontale larghezza 15 cm	ml	€ 2,01	60.040,63	€ 120.681,67	-
<b>TOTALE =</b>						<b>€ 3.659.073,53</b>	
<b>TOTALE AL NETTO BARRIERE =</b>						<b>€ 3.266.029,34</b>	

**SOMMARIO ECONOMICO - PROPOSTA DI MODIFICA TECNICA N. 264**

ARTICOLO	RIFERIMENTO E.P.	DESCRIZIONE	U.M.	P.U.	QUANTITA'	IMPORTO	NOTE
NP.CMC.11	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Fresatura pavimentazione stradale fino a 3 cm	mq	€ 0,30	115.353,00	€ 34.605,90	Fresatura 3 cm di spessore
NP.CMC.12	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Fresatura pavimentazione stradale oltre i 3 cm	mq x cm	€ 0,10	461.412,00	€ 46.141,20	Fresatura 4 cm di spessore
PA.PED.123	ANAS 2020 (D.01.010 a)	Base rigenerata a freddo in sito	mc	€ 63,15	23.070,60	€ 1.456.900,00	Base 20 cm di spessore
PA.PED.124	ANAS 2020 (E.01.040 b)	Geogriglia di rinforzo con resistenza a trazione fino a 30 KN/m	mq	€ 4,97	115.353,00	€ 572.939,19	
D.04.a	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Conglomerato bituminoso per binder	mc	€ 116,97	4.614,12	€ 539.713,62	Binder 4 cm di spessore
D.05.a	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Conglomerato bituminoso per tappeto d'usura	mc	€ 128,66	3.460,59	€ 445.239,51	Usura 3 cm di spessore
PA.07	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Smontaggio barriere metalliche	ml	€ 6,71	7.359,00	€ 49.378,89	
NP.CMC.G.01.1.c	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Fornitura e posa in opera barriera metallica H1 su rilevato	ml	€ 53,41	7.359,00	€ 393.044,19	
PA.05	BOLOGNETTA S.c.p.a.	Tracciamento ed esecuzione di segnaletica orizzontale larghezza 15 cm	ml	€ 2,01	60.040,63	€ 120.681,67	
<b>TOTALE =</b>						<b>€ 3.658.644,16</b>	
<b>TOTALE AL NETTO BARRIERE =</b>						<b>€ 3.265.599,97</b>	

**N.B.:** I prezzi desunti dall'elenco prezzi "ANAS 2020" sono stati ricondotti alla data di presentazione dell'offerta (10/2008) e ribassati del ribasso medio d'asta del 21,7622%