

STUDIO FAGGIOLI ARCHITETTI ASSOCIATI
ARCH.GIOVANNI FAGGIOLI -ARCH.LUCIANA SICCO -ARCH.LUCIA FAGGIOLI
MILANO - VIA MARIO PAGANO N.36 - TEL. +39 02 4694462 FAX +39 02 48194083
FERRARA - VIA DON E. TAZZOLI N.1- TEL. +39 0532 209527 FAX +39 0532 247328
MAIL: faggioli@studiofaggioliarchitetti.it

STUDIO GIATTI progettazione immobili residenziale e commerciali
OCCHIOBELLO (RO) - VIA ERIDIANA N.92 - TEL. 0425.763035 FAX 0425.769812 -

GEOM.GIOVANNI MACCANTI
FERRARA - VIA C.MAZZA N.10 TEL. 0532209527 FAX 0532247328 -

GEOM.CLAUDIO SERAFINI
FERRARA - VIA DEI CALZOLAI N.385 TEL. 0532.720135 FAX 0532.728175 -

COMUNE DI FERRARA

P.U.A.

AMBITO 10 ANS-02

FRANCOLINO - VIA CALZOLAI, VIA PAGLIARINI, VIA ZERBINATA

PROPRIETA' E COMMITTENTE

SANT'ANNA COSTRUZIONI SRL

DOMUSTERRAFERRARA SRL

N.PROTOCOLLO UFF.TECNICO

I PROGETTISTI

ARCH. FAGGIOLI GIOVANNI
ORDINE ARCHITETTI DI MILANO N.1153

GEOM.LUCIANO GIATTI
COLLEGIO GEOMETRI DI ROVIGO N.1215

GEOM.GIOVANNI MACCANTI
COLLEGIO GEOMETRI DI FERRARA N.2000

GEOM.CLAUDIO SERAFINI
COLLEGIO GEOMETRI DI FERRARA N.1663

RELAZIONE TECNICA
PROGETTO E VERIFICA PAVIMENTAZIONI STRADALI

ELABORATO N. **5D**

DATA 28.04.2015

SCALA

SOMMARIO

SOMMARIO	2
1 INTRODUZIONE	3
1.1 Premessa.....	3
1.2 Pacchetto stradale di progetto	3
1.3 Benefici derivanti dall'impiego di materiali riciclati	3
2 CALCOLO E VERIFICA DEL PACCHETTO STRADALE	4
2.1 Metodo di calcolo razionale	4
2.2 Carichi esterni di progetto	5
2.3 Punti di controllo	6
2.4 Caratteristiche meccaniche delle sezioni di calcolo	7
3 RISULTATI E CONCLUSIONI.....	7
3.1 Spostamento del piano sotto area di carico	7
3.2 Deformazioni di trazione	8
3.3 Deformazioni verticali zz	8
3.4 Risultati calcolo razionale	9
3.5 Conclusioni	10
4 ALLEGATO – VOCI DI CAPITOLATO	11

1 INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA

La presente relazione specialistica ha come oggetto il progetto e la verifica del pacchetto stradale da realizzarsi su nuova lottizzazione in località Francolino.

In Allegato sono riportate le voci di capitolato relative ai materiali da impiegarsi per la costruzione della pavimentazione stradale.

1.2 PACCHETTO STRADALE DI PROGETTO

La pavimentazione stradale oggetto di indagine consiste in una sovrastruttura flessibile, composta da:

- Strato di usura in conglomerato bituminoso 0/10 mm con bitume 50/70, spessore 3 cm
- Strato di collegamento "binder" in conglomerato bituminoso 0/16 mm con bitume 50/70, spessore 5 cm
- Strato di fondazione non legato in misto granulare riciclato C&D 0/32 mm (modulo di deformazione alla piastra $M_d > 60$ MPa), spessore 35 cm
- Sottofondazione in terreno riciclato (classe A2-4 o A3 con modulo di deformazione alla piastra $M_d > 40$ MPa), spessore minimo 40 cm
- Sottofondo naturale.

La pavimentazione in corrispondenza della pista ciclabile e dei marciapiedi è composta da:

- Betonelle in calcestruzzo, spessore 8 cm
- Strato di sabbia di allettamento, spessore 8 cm
- Strato di geotessile
- Strato di misto granulare riciclato C&D 0/32 mm: spessore 30 cm.

1.3 BENEFICI DERIVANTI DALL'IMPIEGO DI MATERIALI RICICLATI

Si considerano prodotti riciclati i materiali provenienti da attività di recupero e lavorazione di rifiuti speciali non pericolosi inerti derivanti dalle operazioni di costruzione e demolizione (C&D) o costituiti da materiali di scarto derivanti da processi artigianali/industriali e trasformati in materia prima secondaria mediante idonea operazione di recupero eseguita presso impianti allo scopo autorizzati ai sensi del Capo IV del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (Norme in materia ambientale).

I materiali provenienti da attività di costruzione o demolizione sono prevalentemente costituiti da laterizi, murature, frammenti di conglomerati cementizi anche armati, rivestimenti e prodotti ceramici, scarti dell'industria di prefabbricazione di manufatti in calcestruzzo anche armato, frammenti di sovrastrutture stradali o ferroviarie, conglomerati bituminosi fresati a freddo, intonaci, allettamenti.

I materiali di scarto provenienti da processi artigianali/industriali sono prevalentemente costituiti da scorie di acciaieria, loppe d'altoforno, scarti del vetro e del cristallo, sabbie di fonderia, fanghi e polveri.

Nella produzione dei materiali riciclati possono essere utilizzati anche materiali naturali provenienti dalle attività di scavo in terra ed in roccia.

Gli aggregati riciclati prodotti potranno divenire, a loro volta, materiali costituenti per la realizzazione di altri prodotti commerciali aventi caratteristiche idonee alle richieste dalla committenza.

L'utilizzo di aggregati riciclati in fondazione stradale, così come l'uso di aggregati artificiali di derivazione siderurgica (granelle di acciaieria), soddisfa a quanto contemplato nei decreti ministeriali in materia di recupero ambientale (D.M. 8 maggio 2003, n. 203 "Norme affinché gli uffici pubblici e le società a prevalente capitale pubblico coprano il fabbisogno annuale di manufatti e beni con una quota di prodotti ottenuti da materiale riciclato nella misura non inferiore del 30% del fabbisogno medesimo").

I benefici ambientali ottenuti in ricaduta possono essere così sintetizzati:

- Razionalizzazione dell'uso delle risorse del territorio
- Riduzione dei volumi di materiale estrattivo necessario
- Riduzione della movimentazione di materiali (n° di autoarticolati di materiale necessari)
- Riduzione delle emissioni di combustione dei motori diesel
- Riduzione della congestione della viabilità ordinaria esistente durante la realizzazione dell'opera
- Riduzione del degrado della viabilità ordinaria
- Minore impatto sulle condizioni di vivibilità generali in tutto il territorio interessato dai lavori, particolarmente per quanto riguarda l'impatto acustico.

2 CALCOLO E VERIFICA DEL PACCHETTO STRADALE

2.1 METODO DI CALCOLO RAZIONALE

Il metodo di calcolo razionale delle pavimentazioni permette 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 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 Alize, sviluppato dalla LCPC, 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 elastico, omogeneo, isotropo e con legge costitutiva elastica lineare.

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

- a. Carichi di progetto: intensità (kN o pressione), posizione, tipologia
- b. Caratteristiche meccaniche e geometriche della pavimentazione.

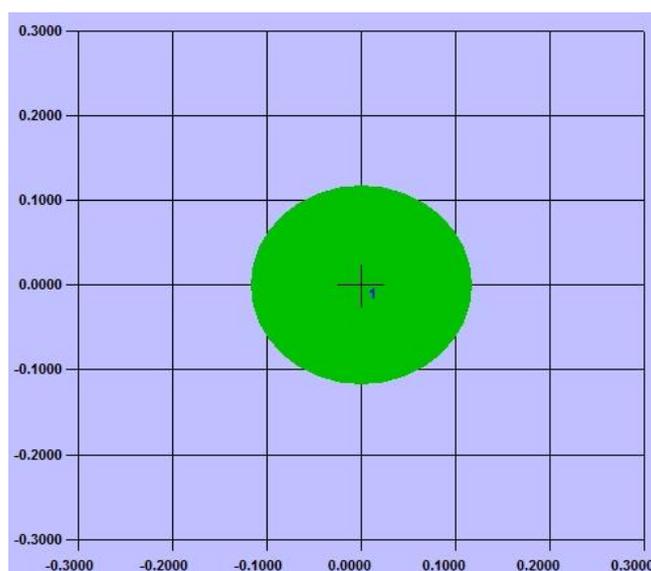
Si precisa che lo scenario di calcolo fa riferimento ad una singola temperatura di progetto di 20°C.

2.2 CARICHI ESTERNI DI PROGETTO

Come carico di progetto è stato assunto l'asse singolo da 6 t, o 60 kN, con ruote singole. La pressione pari a 700 kPa è distribuita su ciascuna ruota secondo area di impronta circolare di raggio 11,7 cm.

CARICHI DI PROGETTO	
Asse di progetto	Asse singolo a ruota singola
Carico sull'asse	60 kN (6 ton)
Carico su ruota singola	30 kN (3 ton)
Pressione di contatto pneumatico-piano viabile	700 kPa
Raggio area impronta pneumatici (area circolare)	11,7 cm

Figura 1: schema dell'area di carico circolare



Configurazione di calcolo della pavimentazione

La configurazione di calcolo è la seguente:

- a. Temperatura di progetto 20°C
- b. Strati di conglomerate bituminoso: totalmente interconnessi per la presenza di emulsione d'attacco
- c. Strati stabilizzati non legati: non collegati

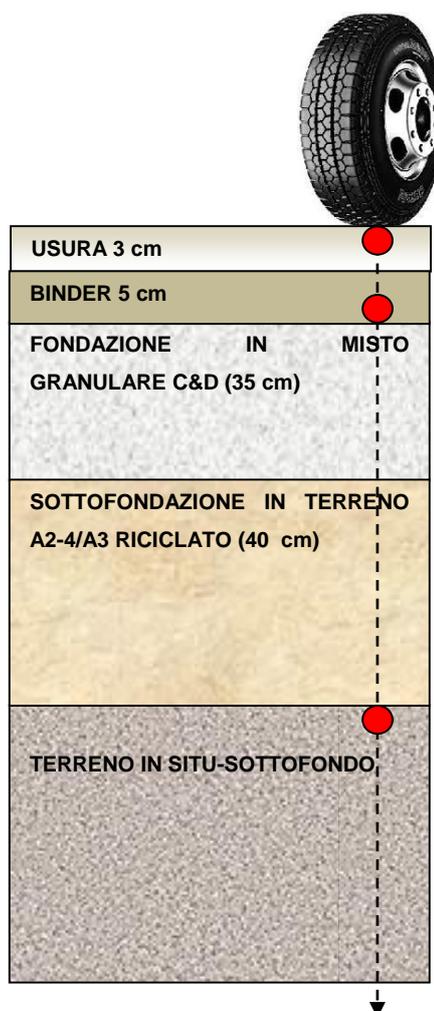
2.3 PUNTI DI CONTROLLO

I punti di controllo rappresentano punti significativi della sovrastruttura in corrispondenza dei quali sono calcolate tensioni e deformazioni, nello specifico:

- d. Deformazioni longitudinali e trasversali alla base degli strati in conglomerato bituminoso, ϵ_{xx} e ϵ_{yy} ;
- e. Deformazioni verticali sulla sommità del sottofondo, ϵ_{zz} ;

Nel caso in esame, tensioni e deformazioni sono calcolate all'interno di una griglia entro cui sono contenute le due aree di carico circolari di progetto. I risultati del calcolo sono riportati per via grafica.

Figura 2: posizione punti di controllo per il pacchetto di progetto



2.4 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, e sono ricavati da consolidata bibliografia internazionale e esperienze di laboratorio.

Le caratteristiche meccaniche delle sezioni di calcolo sono riportate nella seguente tabella.

PAVIMENTAZIONE STRADALE DI PROGETTO			
Strato	Spessore (cm)	Modulo elastico (MPa)	Coefficiente di Poisson (-)
Conglomerato bituminoso - strato di usura	3	4000	0.35
Conglomerato bituminoso - strato di binder	5	3500	0.35
Fondazione in misto granulare non legato realizzata con aggregati riciclati C&D	35	300	0.4
Sottofondazione in terreno riciclato A2-4/A3	40	50	0.4
Sottofondo naturale in sito	Semi-illimitato	40	0.4

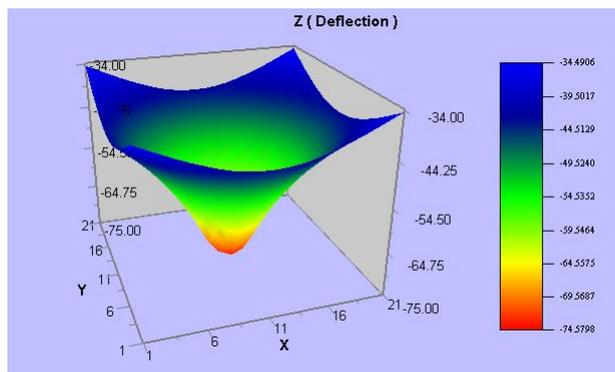
La struttura della pavimentazione soprariportata costituisce il pacchetto di progetto minimo, in corrispondenza del punto del piano di campagna attuale con quota topografica massima. Lo spessore di 40 cm dello strato di sottofondazione in terreno riciclato dovrà essere aumentato di una quantità variabile ai fini del raccordo delle quote di progetto della pavimentazione finita, fino ad un valore massimo che si avrà in corrispondenza del punto con quota del piano campagna minore.

3 RISULTATI E CONCLUSIONI

Si riportano, di seguito, i risultati del calcolo statico della pavimentazione in termini di deformazioni, spostamenti verticali. Ai fini della verifica non sono stati considerati effetti derivanti dall'utilizzo di eventuali geosintetici interposti tra gli strati di fondazione, in quanto non apprezzabili per la metodologia di calcolo usata.

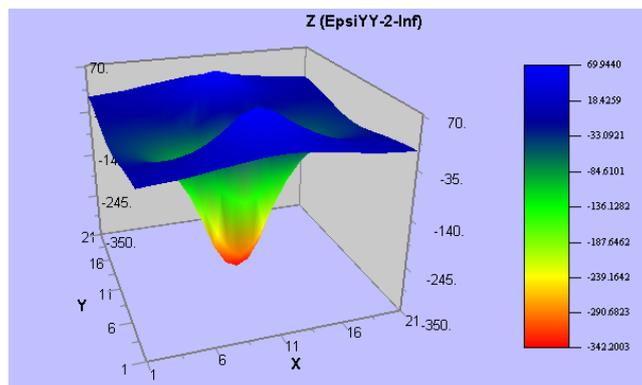
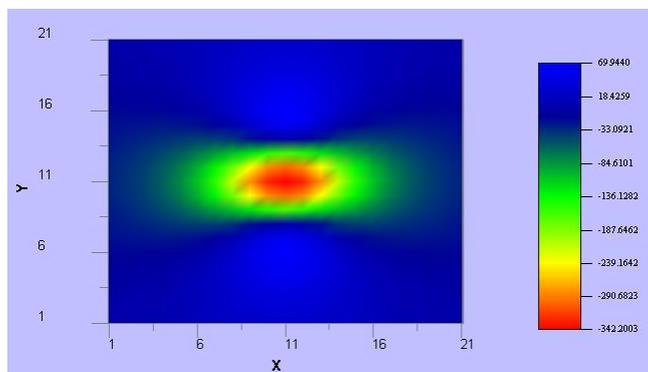
3.1 SPOSTAMENTO DEL PIANO SOTTO AREA DI CARICO

La deflessione della pavimentazione viene calcolata sulla superficie stradale al centro dell'area d'impronta circolare di carico.



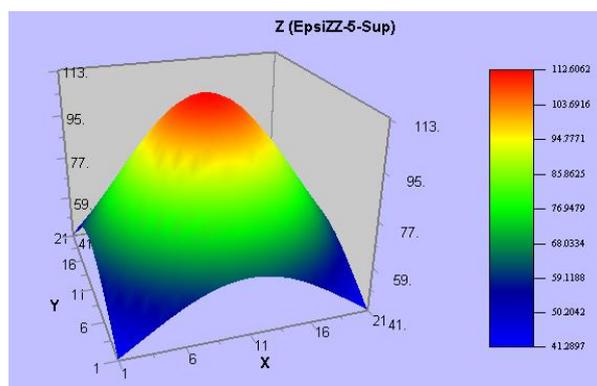
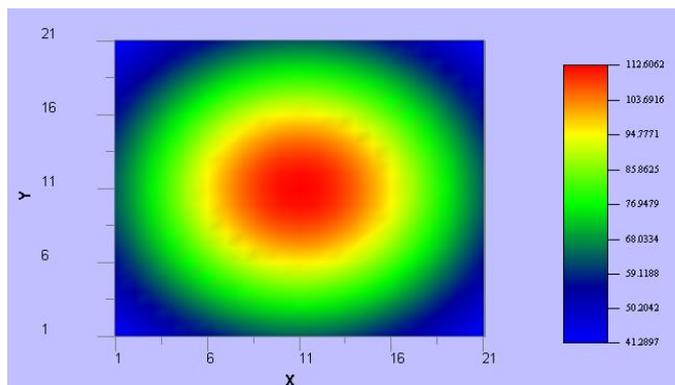
3.2 DEFORMAZIONI DI TRAZIONE

Le deformazioni ϵ_x sono calcolate alla base degli strati in conglomerato bituminoso, dunque alla profondità di 8 cm. I valori negativi si intendono di trazione.



3.3 DEFORMAZIONI VERTICALI ZZ

Le deformazioni verticali ϵ_{zz} sono calcolate in corrispondenza della sommità del sottofondo; i valori positivi si intendono di compressione.



3.4 RISULTATI CALCOLO RAZIONALE

Nella seguente tabella, si riportano i risultati lungo la direzione verticale, al centro dell'area di carico circolare. L'inflessione calcolata in superficie sotto della ruota è pari a 0.746 mm.

RISULTATI CALCOLO RAZIONALE				
<i>Deformazione di trazione intradosso conglomerato bituminoso</i> ϵ_T (μ strain)	<i>Tensione di trazione intradosso conglomerato bituminoso</i> σ_T (MPa)	<i>Deformazione verticale sommità sottofondo</i> ϵ_z (μ strain)	<i>Tensione verticale sommità sottofondo</i> σ_z (MPa)	<i>Deflessione verticale massima</i> U_z (μ m)
-342.2	-1.679	112.6	0.016	746

I valori di deformazione e di tensione risultanti all'interno degli strati della pavimentazione stradale sono ritenuti accettabili per la tipologia di strada e di traffico ammesso nel caso in esame.

3.5 CONCLUSIONI

Nel presente studio è stata analizzata, da un punto di vista meccanico, la sovrastruttura stradale progettata per una nuova lottizzazione in località Francolino.

La valutazione è stata svolta attraverso l'analisi dello stato tensionale e deformativo indotto negli strati del pacchetto stradale dal carico esterno di progetto.

Di seguito vengono riassunti i valori determinati tramite lo studio dello stato tenso-deformativo del pacchetto:

- Deflessione del piano viabile direttamente a contatto con i pneumatici: 0.746 mm sotto ruota
- Deformazioni verticali sul sottofondo: 112.6 $\mu\epsilon$
- Deformazioni di trazione all'intradosso degli strati legati a bitume: -342.2 $\mu\epsilon$.

La soluzione progettata risulta idonea in termini di risposta meccanica e deformativa.

Il pacchetto stradale proposto è quindi adatto a sopportare i carichi di progetto considerati in riferimento alla tipologia di strada e al traffico a cui sarà sottoposta la sovrastruttura.

4 ALLEGATO – VOCI DI CAPITOLATO