



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**  
**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

**Corso di Laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale**  
*Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura (DICEA)*

**CONFRONTO PRESTAZIONALE A TAGLIO DI PAVIMENTAZIONI  
RINFORZATE CON GEOCOMPOSITI**

**SHEAR PERFORMANCE COMPARISON OF ASPHALT PAVEMENTS  
REINFORCED WITH GEOCOMPOSITES**

Relatore:

Prof. Ing. Canestrari Francesco

Tesi di Laurea di:

Sbriccoli Lisa

Correlatore:

Ing. Ingrassia Lorenzo Paolo

Anno Accademico 2019 /2020



# INDICE

CAPITOLO 1. INTRODUZIONE .....	3
CAPITOLO 2. LA PAVIMENTAZIONE STRADALE .....	5
2.1. Generalità .....	5
2.2. Problematiche .....	6
2.2.1. Distacco tra gli strati .....	6
2.2.2. Degradazione .....	10
2.3. Manutenzione stradale .....	14
2.4. I rinforzi nelle pavimentazioni stradali .....	15
2.4.1. Tipologie di rinforzi .....	16
2.4.2. Vantaggi e svantaggi dei geosintetici .....	20
2.4.3. Posa in opera .....	21
CAPITOLO 3. PROGRAMMA SPRIMENTALE .....	25
3.1. Introduzione .....	25
3.2. Materiali .....	25
3.2.1. Conglomerato bituminoso .....	25
3.2.2. Geocomposito .....	29
3.3. Confezionamento dei provini in Laboratorio .....	30
3.4. Campo prove .....	34
3.5. Apparecchiature e protocolli di prova .....	41
3.5.1. Prova Leutner .....	41
3.5.2. Prova ASTRA .....	48
CAPITOLO 4. ANALISI DEI RISULTATI .....	57

4.1. Introduzione .....	57
4.2. Prova Leutner .....	59
4.3. Prova ASTRA .....	69
4.4. Confronto prestazionale.....	77
CAPITOLO 5. CONCLUSIONI .....	80
BIBLIOGRAFIA.....	82
RINGRAZIAMENTI .....	83

# CAPITOLO 1

## INTRODUZIONE

La rete stradale in Italia, negli ultimi anni, ha raggiunto un notevole sviluppo per cui si è rivolta sempre più attenzione agli interventi di manutenzione per conservare l'efficienza delle pavimentazioni esistenti.

I lavori di manutenzione presentano spesso difficoltà, in quanto devono essere eseguiti senza interferire eccessivamente con il traffico veicolare. Le aree ripristinate devono, inoltre, garantire una continuità con la pavimentazione esistente.

I gruppi di ricerca hanno indirizzato il loro interesse verso lo sviluppo e l'applicazione di nuovi materiali con l'obiettivo di incrementare l'efficacia degli interventi di ripristino. Tra i metodi di manutenzione innovativi, l'uso di sistemi di rinforzo all'interfaccia tra gli strati di conglomerato bituminoso ha da tempo mostrato ottime prospettive.

In particolare, quando non è possibile eseguire un intervento di ricostruzione rimuovendo e/o sostituendo l'intero pacchetto legato fessurato, un valido intervento alternativo di manutenzione è rappresentato dalla fresatura parziale dello strato di conglomerato bituminoso, l'interposizione di un sistema di rinforzo e la stesa del nuovo conglomerato bituminoso.

In questo caso, il sistema di rinforzo svolge le principali funzioni di assorbire le tensioni di trazione indotte dal carico di traffico e ostacolare la propagazione delle fessure provenienti dallo strato residuo in conglomerato bituminoso.

I più comuni sistemi di rinforzo impiegati in campo stradale sono rappresentati dai geosintetici che possono essere distinti in geotessuti, geogriglie e geocompositi.

Oltre a scegliere la tipologia di materiale, che costituisce il sistema di rinforzo, più adatto, è bene prestare particolare attenzione anche alla corretta messa in opera di essi, poiché in caso di errato o non appropriato utilizzo, non si otterrebbero le prestazioni attese, con conseguente inefficacia dell'opera.

L'indagine sperimentale oggetto di questa tesi si è concentrata sullo studio di geocompositi per il rinforzo di pavimentazioni stradali. Questi sono ottenuti dall'accoppiamento di un geotessuto e una geogriglia annegati in una matrice bituminosa modificata e offrono i benefici di entrambi questi prodotti.

Infatti, il tessuto assorbe e trattiene il bitume che permette una adeguata impermeabilizzazione

e adesione del geocomposito alla superficie stradale, mentre la geogriglia conferisce alta resistenza e rigidità ritardando e impedendo il progredire dello stato fessurativo. La combinazione delle funzioni svolte da questi materiali rende il prodotto finito efficace e capace di soddisfare molteplici esigenze.

L'obiettivo del seguente lavoro di tesi è quello di valutare, attraverso prove di laboratorio, le performance in termini di resistenza a taglio di provini prelevati da un tratto autostradale sperimentale in vera grandezza. Il tronco pilota è ubicato lungo la A14 in direzione Nord, all'altezza di Cesena (km 105+450 – 102+180). Lungo il tronco pilota sono stati alternati 4 diversi tipi di geocompositi a sezione non rinforzate, in diverse configurazioni di impiego (su superficie fresata o liscia). Oltre alle carote provenienti dal sito, sono stati riprodotti in laboratorio ulteriori provini con i medesimi materiali impiegati in situ. Tutti i provini così ottenuti sono stati sottoposti a due diverse prove di taglio, la prova ASTRA e la prova Leutner, descritte più in dettaglio nei capitoli a seguire.

La tesi risulta articolata in cinque capitoli:

**CAPITOLO 2 – LA PAVIMENTAZIONE STRADALE:** si descrive in modo generale la pavimentazione stradale, le sue funzioni, le problematiche ad essa connesse e l'impiego di rinforzi, in particolare dei geocompositi, in campo stradale;

**CAPITOLO 3 – PROGRAMMA SPERIMENTALE:** si descrivono i materiali utilizzati nel corso della sperimentazione, le procedure di laboratorio per la realizzazione dei provini e le prove meccaniche applicate per ricavare i parametri prestazionali;

**CAPITOLO 4 – ANALISI DEI RISULTATI:** una volta raccolti tutti i dati ed averli elaborati tramite apposite elaborazioni, vengono riassunti e commentati i risultati;

**CAPITOLO 5 – CONCLUSIONI:** rappresenta una sintesi complessiva dei risultati acquisiti in relazione agli obiettivi prefissati all'inizio della sperimentazione.

## CAPITOLO 2

### LA PAVIMENTAZIONE STRADALE

#### 2.1. GENERALITA'

Per pavimentazione stradale, detta anche sovrastruttura, si intende la parte superiore del corpo stradale direttamente interessata dal moto dei veicoli. Essa è una struttura piana costituita da un insieme di strati sovrapposti, di materiali e spessori diversi. La qualità dei materiali diminuisce allontanandosi dal piano viabile mentre la dimensione degli aggregati lapidei decresce andando dal basso verso l'alto.

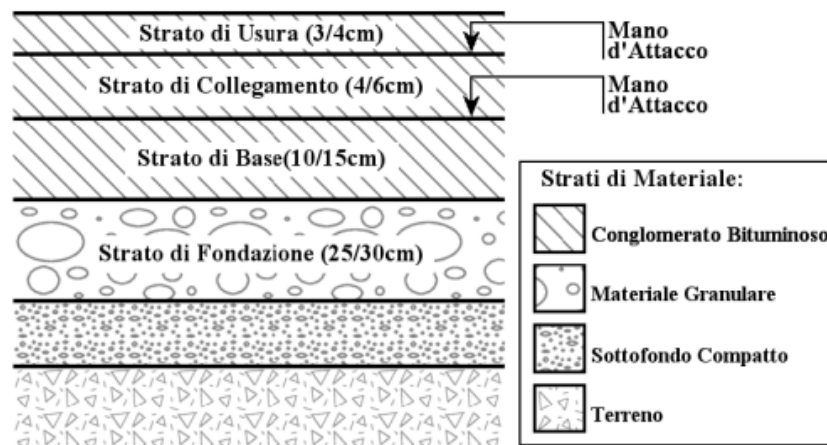
La pavimentazione stradale ha la funzione di:

- trasmettere e distribuire, in modo attenuato, le azioni indotte dal traffico al sottofondo;
- resistere ai fenomeni di degrado strutturale causato dai carichi ciclici combinati alle sollecitazioni di natura termica;
- garantire regolarità e aderenza del piano viabile (condizioni di sicurezza e comfort di marcia);
- proteggere il sottofondo dalle azioni dell'acqua e del gelo;
- recepire le istanze di carattere ambientale orientate verso la realizzazione di opere eco-sostenibili.

Al variare dei materiali impiegati e dell'ordine in cui sono disposti nella struttura, si possono distinguere tre tipologie di pavimentazioni:

- *flessibili*, costituite da uno strato di usura, uno strato di binder e uno strato di base, tutti in conglomerato bituminoso. A questi si aggiunge lo strato di fondazione in misto granulare;
- *semi-rigide*, costituite da una successione di strati simile a quella delle pavimentazioni flessibili, ad eccezione del fatto che è presente anche uno strato di base in misto cementato posto tra il pacchetto legato e lo strato in misto granulare;
- *rigide*, costituite da una lastra in calcestruzzo posata su uno o più strati di fondazione in misti granulare e/o misto cementizio o direttamente poggiate sul terreno di sottofondo, se questo garantisce un'adeguata capacità portante.

Lo studio in esame si riferisce a una pavimentazione stradale flessibile di tipo autostradale. Generalmente lo schema stratigrafico di una pavimentazione flessibile è quello riportato in *Figura 2.1-1*.



*Figura 2.1-1 Sezione tipo di una pavimentazione flessibile*

## 2.2. PROBLEMATICHE

### 2.2.1 Distacco tra gli strati

Il distacco tra gli strati di conglomerato bituminoso che compongono il pacchetto stradale, preso poco in considerazione in passato, è un problema sempre più studiato, in quanto il traffico veicolare è aumentato e la pavimentazione è sottoposta a carichi sempre maggiori.

Il traffico sottopone la sovrastruttura ad azioni normali e tangenziali che si riflettono all'interno del pacchetto sollecitandolo ripetutamente. Le prime azioni sono dovute ai veicoli stessi, mentre le seconde sono date dal passaggio dei veicoli.

Qualora l'adesione tra gli strati non fosse sufficiente, si possono sviluppare scorrimenti in corrispondenza delle interfacce. In questo caso i carichi non possono essere trasferiti in maniera omogenea all'intera struttura, e ciò può provocare un'alta concentrazione delle sollecitazioni sullo strato più superficiale (e più sottile) ed un conseguente degrado dello stesso.

Il distacco tra gli strati non è direttamente visibile se non quando si verifica tra i due strati più superficiali con il loro reciproco slittamento e/o asportazione di conglomerato bituminoso causando la formazione di buche e avvallamenti. In termini di sicurezza e regolarità del moto, la mancanza di collegamento tra gli strati superficiali può essere nocivo in quanto la formazione di una zona di distacco può generare irregolarità del piano viabile.

Il distacco tra lo strato superficiale e quello sottostante si manifesta, nella maggior parte dei casi,



con la separazione di porzioni più o meno estese di conglomerato bituminoso, mentre gli effetti sono diversi quando il distacco interessa interfacce più profonde. In tali casi, pur non essendovi un riscontro superficiale diretto con l'asportazione di conglomerato bituminoso, il fenomeno è comunque degradante per la sovrastruttura e lo è in misura più consistente rispetto alle separazioni superficiali se osservato con riferimento alla vita utile. Uno studio francese, ha evidenziato come il problema del collegamento tra gli strati in conglomerato bituminoso della pavimentazione stradale ne riduca di 3,8 volte la vita utile. In pratica, ciò è dovuto alla non collaborazione tra gli strati bituminosi nel sopportare i carichi esterni. Infatti il pacchetto si trova ad operare come l'insieme di più elementi resistenti disgiunti di spessore diverso e questo comporta che le risorse di resistenza dei materiali dei singoli strati vengano chiamate in causa separatamente con una conseguente maggior facilità di esaurirle.

In superficie non si ha evidenza diretta del fenomeno profondo, se non con la comparsa di altri fenomeni ad esso legati e da esso accentuati.

Nella realizzazione di una pavimentazione flessibile essendo importante la perfetta adesione tra gli strati in conglomerato bituminoso, che consente agli strati di non lavorare disgiunti gli uni dagli altri ma di godere della loro compartecipazione come un unico pacchetto, reagendo così in maniera solidale ai carichi agenti, viene usata la mano d'attacco. Essa oltre ad assicurare la piena collaborazione in corrispondenza delle zone d'interfaccia consente anche l'impermeabilizzazione dello strato sottostante.

Le cause di distacco tra gli strati della pavimentazione stradale sono molteplici, ma i principali fattori che governano il problema sono:

- proprietà dei materiali (tipo di aggregati, legante, additivi, etc, tipo di miscela, proporzioni di miscela);
- proprietà dell'interfaccia (reciproco ingranamento tra gli strati e rugosità del piano di posa, contaminazione della superficie di posa, applicazione della mano d'attacco, trattamenti speciali della superficie di posa);
- variabili costruttive (spessore degli strati, modalità e velocità di stesa, energia di compattazione, condizioni climatiche di posa);
- caratteristiche della pavimentazione (età, tipologia, geometria, portanza degli strati, posizione dell'interfaccia);
- condizioni di strada (traffico, condizioni climatiche di esercizio, età e tempo di esercizio).

Sulla base di quanto esposto sopra, si ha la necessità di valutare la condizione all'interfaccia tra gli strati in conglomerato bituminoso. I metodi più comunemente utilizzati sono le prove di taglio. Esse si classificano in:

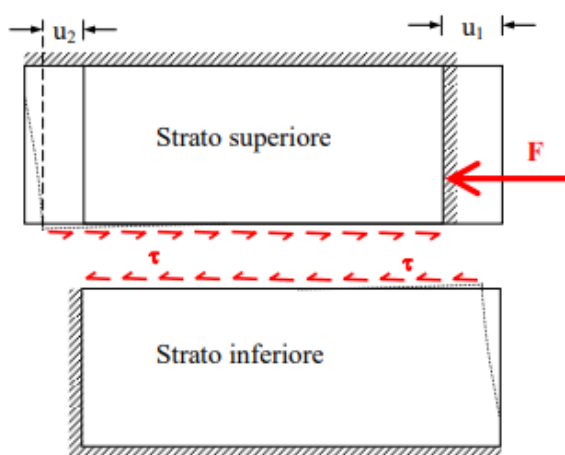
- prove di taglio diretto, con sforzo normale applicato;
- prove di taglio diretto puro, senza l'applicazione di sforzo normale.

#### PROVE DI TAGLIO DIRETTO

La prima apparecchiatura fu progettata da Uzan ed è la scatola di taglio diretto in grado di valutare la rigidità di taglio  $K$  per diverse condizioni di prova. Essa consente l'applicazione, unitamente alla forza di taglio di un carico perpendicolare all'interfaccia di campioni prismatici a doppio strato, preparati in laboratorio.

La prova viene eseguita con una velocità di spostamento costante di 2,5 mm/min.

Come mostra lo schema del processo di taglio in *Figura 2.2.1-1*, l'applicazione della forza di taglio produce una distorsione nelle due parti del campione e il sollevamento della parte superiore:



*Figura 2.2.1-1 Schema delle deformazioni del provino di Uzan*

L'apparecchiatura ASTRA (Ancona Shear Testing Research and Analysis), progettata presso l'Università Politecnica delle Marche, è una scatola di taglio diretta, contenuta all'interno di una camera climatica, che consente di valutare le prestazioni dei sistemi bituminosi multistrato in laboratorio. Il campione viene installato in due semiscatole distanziate in modo da lasciare l'interfaccia non confinata. La semiscatola inferiore viene fatta avanzare a velocità costante, facendo agire, volendo, un carico verticale ortogonale all'interfaccia. La *Figura 2.2.1-2* mostra lo schema tecnico della prova.

Maggiori dettagli della prova sono riportati nel capitolo 3, sezione 3.3, in quanto questo dispositivo è stato usato nello studio proposto da questa tesi.

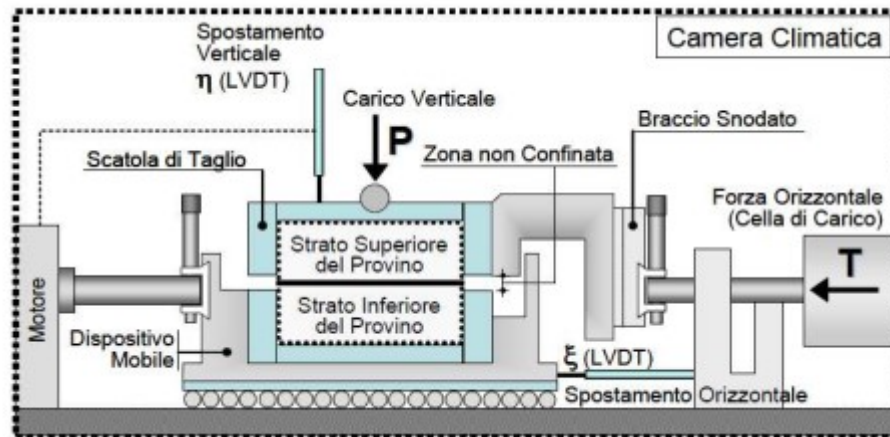


Figura 2.2.1-2 Schema tecnico della prova ASTRA

### PROVE DI TAGLIO DIRETTO PURO

L'attrezzatura più comune è la Leutner Shear Test (Figura 2.2.1-3) ideata nel 1979 dal Professor Rolf Leutner della Technische Universität Braunschweig. La prova consiste nell'applicazione di uno spostamento, a velocità costante, attraverso un piano predefinito di taglio, monitorando la forza di taglio risultante e lo spostamento applicato.

Il telaio di carico è in grado di raggiungere una velocità di spostamento verticale costante di  $50,0 \pm 2$  mm al minuto fino a uno spostamento massimo di 7 mm e un carico massimo di 35 kN.

Maggiori dettagli della prova sono riportati nel capitolo 3, sezione 3.4.1, in quanto questo dispositivo è stato usato nello studio proposto da questa tesi.

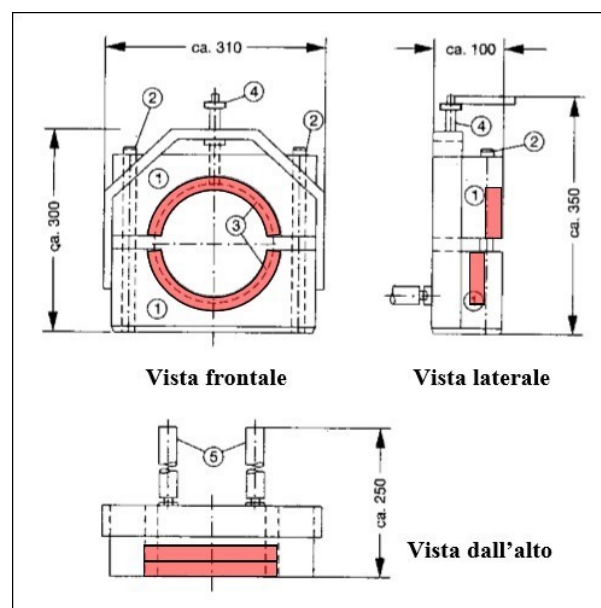
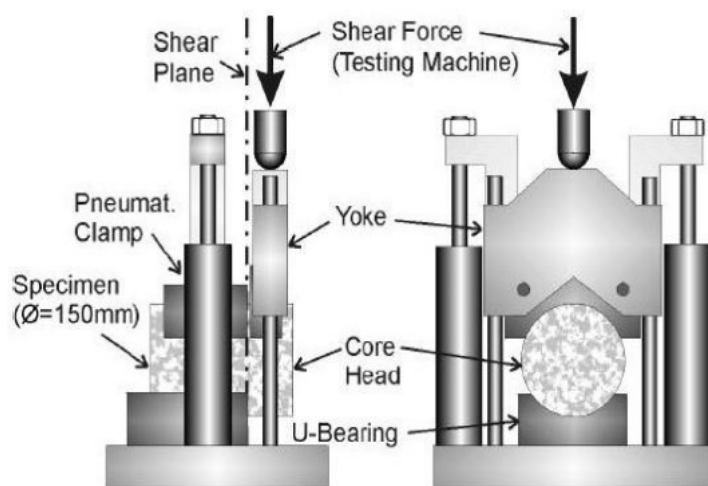


Figura 2.2.1-3 Schema tecnico del dispositivo Leutner

Una versione modificata dell'attrezzatura di prova Leutner è il dispositivo di prova LPDS (Layer-Parallel Direct Shear), messo appunto presso i Laboratories for Materials Testing and Research dell'EMPA, ente federale svizzero. Lo schema di lavoro (*Figura 2.2.1-4*) è molto simile al test di Leutner con alcune modifiche, infatti anziché impiegare un semianello di serraggio bloccato tramite una vite, è stato introdotto un semicilindro metallico sottoposto all'azione vincolante di una pompa pneumatica.



*Figura 2.2.1-4 Schema tecnico del dispositivo LPDS*

## 2.2.2. Degradazione

Le pavimentazioni flessibili sono dotate di una propria vita utile durante la quale sono soggette a un deterioramento che comporta un decremento delle prestazioni.

La vita utile può diminuire a causa di diversi fattori:

- traffico giornaliero medio sottostimato in fase progettuale;
- condizioni ambientali avverse;
- caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali impiegati.

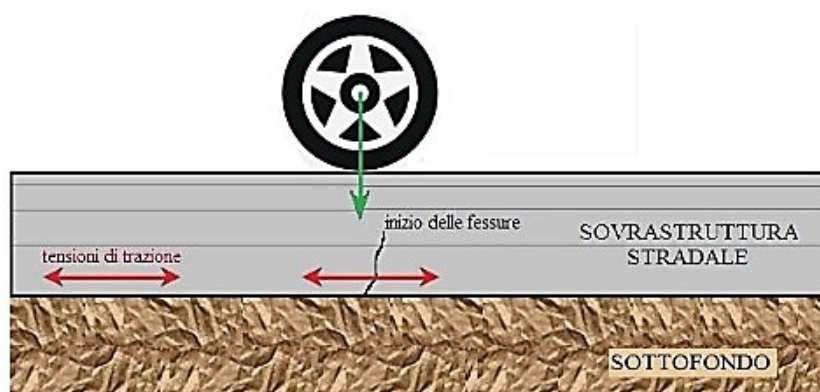
L'obiettivo è la conservazione in esercizio della funzionalità ottimale, ma è necessario prevedere già in fase di progettazione gli interventi di manutenzione ordinaria, per agire fin da subito sui dissesti che si verranno a creare. Ma per attuare un corretto intervento, è necessario conoscere prima la causa del degrado.

Quindi ora si analizzano i principali meccanismi di degrado delle pavimentazioni flessibili.

## FESSURAZIONE DA FATICA

Le fessurazioni da fatica, dette anche fessurazioni ramificate o a pelle di cocodrillo, si presentano come una serie di fessurazioni interconnesse e disposte in modo diffuso lungo le direttrici di impronta degli pneumatici. Esse condizionano la regolarità di marcia dei veicoli, ma incidono pesantemente anche sulla portanza della sovrastruttura stradale.

Lo stato fessurativo fessurativo è generato dalla rottura per fatica degli strati in conglomerato bituminoso dovuta alle sollecitazioni cicliche trasmesse dai veicoli. Le fessurazioni (bottom-up) iniziano sul fondo degli strati non legati dove lo sforzo di trazione è più elevato e raggiungono gli strati più superficiali della pavimentazione a causa della ciclica sollecitazione proveniente dai carichi veicolari, maggiore sarà la sollecitazione, maggiore sarà la velocità con cui la pavimentazione perderà le sue caratteristiche funzionali (*Figura 2.2.2-1*). L'inserimento di rinforzi permette di bloccare le fessurazioni ed evitare la sua propagazione in superficie.



*Figura 2.2.2-1 Meccanismo fessurativo*

Inizialmente si formeranno una serie di fessure longitudinali parallele senza interconnessione. Dopo il ripetuto carico del traffico, le crepe si collegano formando una rete, fino a raggiungere il massimo della gravità, quando la rete di fessure presenta blocchi ben definiti e a spigoli vivi (*Figura 2.2.2-2*).



*Figura 2.2.2-2 Diverse severità di fessurazioni da fatica*

### FESSURAZIONE A BLOCCHI

Le fessurazioni a blocchi sono lesioni che dividono la pavimentazione in conglomerato bituminoso in ampi blocchi rettangolari interconnessi tra loro che possono interessare tutta la piattaforma stradale e non solo il punto di passaggio delle ruote dei veicoli (*Figura 2.2.2-3*).



*Figura 2.2.2-3 Fessurazione a blocchi*

La fessurazione dello strato superficiale della pavimentazione stradale ha origini di natura termica. Infatti frequenti e ampi cicli giornalieri di variazione della temperatura possono indurre elevati stati tensionali nel conglomerato bituminoso dello strato d'usura quando, raffreddato, tende a contrarsi. Tale contrazione è ostacolata dall'aderenza con lo strato sottostante, spesso favorita dalla stesa di una mano d'attacco. Le tensioni di trazione sviluppatesi nel manto di usura, hanno spesso valori di trazione superiori alla resistenza a trazione del conglomerato bituminoso e sono tali da innescare lo sviluppo di micro-fessure ai bordi e sul piano di rotolamento della pavimentazione. Inoltre un bitume poco idoneo, in relazione al clima dove è ubicata la strada, accentua i fenomeni di ritiro della miscela (shrinkage) che nel tempo si indurisce in maniera significativa.

In sostanza i carichi veicolari, unitamente alla loro frequenza ed intensità, in questo dissesto esercitano scarsa influenza se paragonati agli effetti del ritiro termico.

### ORMAIAMENTO

Si manifestano attraverso la formazione di depressioni (dette appunto ormaie) sulla superficie stradale che si sviluppano in direzione longitudinale in corrispondenza delle direttrici di impronta degli pneumatici. L'ormaia è generata da progressivo accumulo di deformazioni permanenti (di natura viscosa e plastica) a seguito del ripetuto passaggio dei veicoli.

Si creano come dei binari, cioè una depressione con rifluimento laterale di materiale, senza però causare variazioni di volume (*Figura 2.2.2-4*). In questo modo si possono creare dei ristagni

d'acqua che favoriscono il fenomeno dell'acquaplaning che compromette la sicurezza e la regolarità.

Le cause possono essere il cedimento degli strati inferiori e soprattutto l'uso di una miscela bituminosa deformabile.



*Figura 2.2.2-4 Ormaiamento*

### CICLI DI GELO-DISGELO

Oltre a queste cause più classiche, sono riscontrabili altri fenomeni che contribuiscono alla formazione di depressioni che portano alla fessurazione della superficie stradale, come per esempio i cicli di gelo-disgelo che nei paesi settentrionali, in cui per diversi mesi la temperatura sia della parte superficiale della strada, sia degli strati più profondi, si tiene al di sotto degli 0°C. Il problema nasce quando si verificano delle infiltrazione d'acqua fino al sottofondo, e si possono verificare azioni diverse a seconda della granulometria degli strati non legati: nel caso in cui tali strati siano costituiti di pezzatura grossolana, il rischio è scongiurato. L'acqua infatti, si trova a circolare libera tra gli interstizi formati nella miscela di ghiaia e sabbia, e quando la temperatura scende, l'acqua solidifica aumentando di volume di circa il 9%, ma ha abbastanza spazio disponibile da non provocare rigonfiamenti nel terreno, poiché esso non è saturo. Se il terreno ha una granulometria fine, tuttavia, il rischio di formazione delle lenti di ghiaccio è parecchio elevato. Questo perché oltre ad essere presente acqua libera, l'acqua di falda tende a risalire essendo soggetta a fenomeni di capillarità. L'acqua

in tensione, per natura, solidificherebbe a temperature ancora inferiori, ma è proprio lo stato di tensione che fa sì che i cristalli di ghiaccio formati a partire da acqua libera richiamino l'acqua di risalita capillare, e in questo modo accresceranno sempre di più alimentati da acqua in tensione, fino a formare lenti di ghiaccio dello spessore di diversi cm. Esse causano il rigonfiamento del sottofondo, e quindi il sollevamento e la fessurazione della pavimentazione. L'inconveniente più grave si produce però al momento del disgelo, quando le lenti si trasformano in vere e proprie sacche d'acqua, causando un collasso della portanza del sottofondo.

### **2.3. MANUTENZIONE STRADALE**

Per risolvere le problematiche che possono insorgere durante la vita utile della pavimentazione flessibile, deve essere previsto un piano di manutenzione.

La manutenzione consiste in quel complesso di operazioni che mirano a conservare nel tempo le caratteristiche funzionali (portanza, aderenza, regolarità, rumorosità) di una strada.

La manutenzione programmata consente, non solo di organizzare al meglio gli interventi da effettuare sulla pavimentazione stradale, ma anche di collocarli in un punto ben preciso della propria vita utile, al fine di ottimizzare le risorse possedute. Spesso infatti, anche per carenze di risorse economiche, l'ente gestore ricorre a interventi provvisori anziché durevoli, o addirittura li posticipa nel tempo. Quindi è fondamentale la tempistica di intervento per un reale risparmio economico.

Infatti man mano che il tempo passa gli interventi da effettuare saranno diversi: si adotteranno tecniche di manutenzione preventiva (es. chiusura delle fessure) per pavimentazioni che ancora non presentano grandi problemi, per poi passare alla realizzazione di strati di ricoprimento o trattamenti superficiali di irruvidimento per migliorare aderenza e portanza, per risolvere problemi strutturali potrebbe essere richiesta la rimozione di uno strato legato, fino ad arrivare alla ricostruzione della pavimentazione a causa di sottofondo e fondazione non adeguati.

In genere gli interventi di manutenzione possono essere attuati in tre modi:

- *manutenzione ordinaria*: comprende quegli interventi finalizzati a conservare o ripristinare, eliminando i dissesti superficiali presenti, le condizioni iniziali della pavimentazione. È la manutenzione che viene vista più comunemente, è poco complessa, interessa solo gli strati legati e non provoca grandi disturbi alla circolazione;
- *manutenzione straordinaria*: sono gli interventi volti al ripristino dell'intero pacchetto



stradale e non solo degli strati legati. Essi annullano le degradazioni strutturali e superficiali. Questi tipi di interventi sono più onerosi e complessi rispetto a quelli ordinari, inoltre creano disagi alla circolazione in quanto molto spesso richiedono la chiusura del traffico;

- *ampliamento, potenziamento e/o ricostruzione*: sono interventi che prevedono un vero e proprio progetto che possa comportare un allungamento della vita utile prevista in fase di progetto. Questi interventi comportano un miglioramento qualitativo e/o quantitativo dei livelli prestazionali iniziali.

L'obiettivo attuale della ricerca in campo stradale è volto alla scoperta di nuove tecnologie e materiali per eseguire gli interventi di manutenzione con lo scopo di ottenere un guadagno in termini di rapporto costi/benefici.

## **2.4. I RINFORZI NELLE PAVIMENTAZIONI STRADALI**

Nel corso degli anni gli interventi di manutenzione che si sono succeduti hanno subito un'evoluzione in base anche agli studi sperimentali fatti.

In passato, la soluzione più usata per una pavimentazione ammalorata era quella di fresare la vecchia pavimentazione per uno spessore variabile che va da qualche centimetro a tutto lo strato, stendere un film sottile di bitume sulla vecchia pavimentazione e procedere successivamente alla stesa del nuovo conglomerato. Questa procedura però oltre ad essere onerosa, porta a una rapida propagazione del quadro fessurativo dallo strato esistente a quello nuovo.

Quindi nasce l'esigenza di trovare delle valide alternative alla ricostruzione completa degli strati più profondi, una di queste è stata l'applicazione di sistemi di rinforzo posizionati all'interno del pacchetto in conglomerato bituminoso.

Le principali funzioni svolte dai rinforzi sono:

- Prevenire o ridurre la risalita di fessure (fessurazione da riflessione) dagli strati sottostanti;
- Proteggere gli strati bituminosi dai fenomeni fessurativi indotti dal traffico;
- Evitare o ridurre la formazione di ormaie.

Quindi i sistemi di rinforzo consentono di ritardare i principali processi di dissesto del manto stradale e alcuni di loro essendo anche impermeabili, impediscono la penetrazione dell'acqua all'interno degli strati non legati. In questi casi il termine "rinforzo" è inteso come elemento in grado di aumentare la vita utile della pavimentazione limitandone o ritardandone il degrado.

Inoltre la rigidità di una pavimentazione stradale, essendo soggetta a traffico veicolare, può variare in base alla presenza o meno di rinforzi. Infatti come affermato da *R. A. Austin & A. J. T Gilchrist (1996)* [1] dai test di fatica è emerso che, poiché la geogriglia ha un modulo simile a quello dell'asfalto, test comparativi di pavimentazioni sia rinforzate che non, subito dopo la costruzione, ha mostrato poca o nessuna differenza nella rigidità. Tuttavia, dopo un lungo periodo di traffico, è emerso che la rigidità della pavimentazione non rinforzata è diminuita rapidamente, mentre la pavimentazione rinforzata ha mantenuto le sue prestazioni anche dopo un lungo periodo. L'indagine ha mostrato che la geogriglia assume il carico di trazione, una volta che il conglomerato bituminoso si è deteriorato. Ciò ha confermato la teoria originale che l'elemento di rinforzo dovrebbe avere una rigidità compatibile con il conglomerato bituminoso stesso e non eccessivamente forte per interferire con l'elasticità della pavimentazione.

Un altro risultato che conferma l'esito dei test sopra esposti, per quanto riguarda la rigidità, è quello ottenuto da *Hoe I. Ling e Zheng Liu (2001)* [2] tramite prove di carico statico e dinamico. Infatti il rinforzo geosintetico ha contribuito a migliorare la rigidità e la forza della pavimentazione, con un miglioramento più significativo per il caricamento dinamico rispetto a quello statico.

#### **2.4.1. Tipologie di rinforzi**

Esistono sul mercato diversi tipi di rinforzi, aventi ognuno caratteristiche meccaniche e funzionali diverse.

Essi si possono suddividere in due principali classi:

- I geosintetici:
  - Geotessili (tessuti, non tessuti);
  - Geogriglie (estruse, tessute, a nastri);
  - Geomembrane;
  - Geocompositi.
- Le reti metalliche.

##### I GEOTESSILI

Sono strutture piane, costituite da materiali polimerici prodotti da petrolio grezzo (polipropilene e polietere) o lana di vetro. Essi sono dei materiali permeabili che hanno la capacità di separare, filtrare, rinforzare, proteggere e drenare.

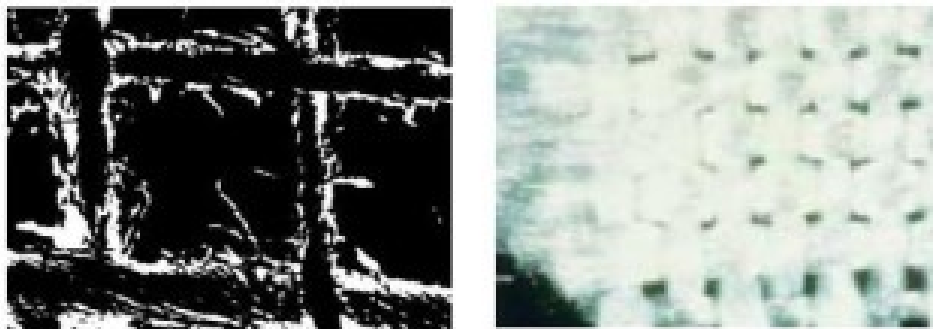
Essi si dividono in:

- Geotessili non tessuti: composti da fibre sintetiche disposte casualmente (*Figura 2.4.1-1*);
- Geotessili tessuti: formati dall'intreccio di due o più serie di fili e di trama, che consentono di ottenere aperture regolari e di piccole dimensioni (*Figura 2.4.1-2*).

I geotessili hanno molte applicazioni nell'ambito delle costruzioni e attualmente vengono utilizzati per esempio per la costruzione di strade, aeroporti, ferrovie e gallerie.



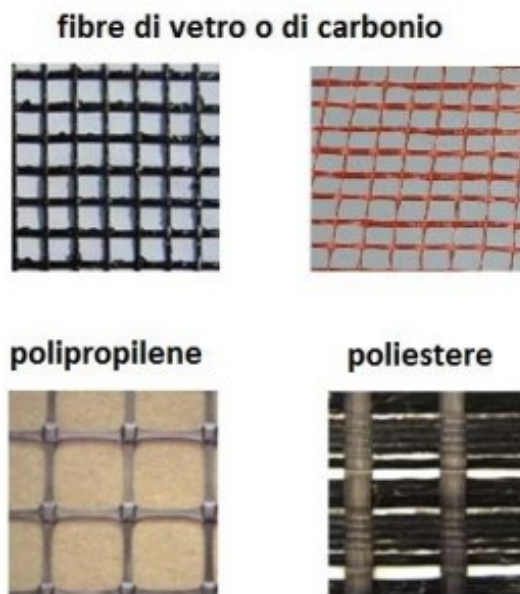
*Figura 2.4.1-1 Geotessili non tessuti*



*Figura 2.4.1-2 Geotessili tessuti*

### LE GEOGRIGLIE

Sono materiali aventi una struttura planare reticolare a maglie aperte, costituiti da fibre sintetiche (poliestere, polietilene, polipropilene) o di vetro, carbonio o basalto connesse tra loro (*Figura 2.4.1-3*). Grazie alla loro struttura le particelle di terreno o conglomerato bituminoso si incastrano nelle aperture della griglie, che svolge un'azione cerchiante, limitando i movimenti e migliorando la resistenza a taglio. Data l'elevata resistenza che sono in grado di fornire, sono utilizzate per svolgere la funzione di rinforzo laddove non è richiesta particolare funzione impermeabilizzante.



*Figura 2.4.1-3 Esempi di geogriglie*

### LE GEOMEMBRANE

Sono membrane bituminose che non sono dei veri rinforzi ma hanno una funzione impermeabilizzante (*Figura 2.4.1-4*). Nel caso dell'applicazione a pavimentazioni stradali sono in genere costituite da un sistema tristrato, di cui quello inferiore è formato da compound bituminoso con superficie inferiore autoadesiva, quello centrale da una griglia in fibra di vetro e quello superiore da un compound bituminoso con superficie superiore termoadesiva (l'adesività si manifesta a contatto con il conglomerato bituminoso per temperature superiori a 120°). Le geomembrane vengono utilizzate dove è richiesta una particolare capacità impermeabilizzante su pavimentazioni con fessurazioni di severità anche elevata. Questa tipologia di rinforzo è solitamente fornita in rotoli da un metro di larghezza (in casi particolari anche da 50 cm) e da alcuni metri di lunghezza (in genere 15 m).



*Figura 2.4.1-4 Geomembrana*

## I GEOCOMPOSITI

I geocompositi (*Figura 2.4.1-5*) sono materiali derivanti dalla combinazione di due o più geosintetici (tessuti, griglie o membrane) accoppiando la funzione di rinforzo e impermeabilizzazione.

Quando vengono impiegati con conglomerati bituminosi sono spesso realizzati dall'accoppiamento di una rete in fibra di vetro cucita ad un non tessuto in genere di polipropilene.



*Figura 2.4.1-5 Geocompositi*

S. Youwai et al. (2012) [3] conferma come la presenza di un rinforzo possa essere significativa per aumentare la durata della pavimentazione, in quanto consente di ridurre la deformazione permanente, distribuendola uniformemente. Il caso di studio era l'applicazione di un geotessile, come rinforzo di una pavimentazione flessibile autostradale in Thailandia, che ci dimostra come l'impiego di geosintetici sia diffuso anche a livello internazionale. È stata spruzzata una mano d'attacco sulla pavimentazione esistente, dopodichè è stato applicato il geotessuto ed infine è stato steso il nuovo strato di conglomerato bituminoso (*Figura 2.4.1-6*).



*Figura 2.4.1-6 Fasi di applicazione del geotessuto*

Tuttavia, considerando la classificazione dei geosintetici, i geocompositi sono i più adatti alle

applicazioni con conglomerato bituminoso, perché esercitano funzione di rinforzo combinata all'effetto impermeabilizzante dei geotessuti (assenti nelle geogriglie).

Nella tesi oggetto di studio vengono utilizzati e studiati i geocompositi come metodo di rinforzo.

#### **2.4.2 Vantaggi e svantaggi dei geosintetici**

Il geocomposito apporta un contributo nullo alle pavimentazioni integre, ma funziona benissimo quando esse iniziano a deteriorarsi.

Per quanto riguarda l'applicazione dei geocompositi, essi non hanno bisogno di una mano d'attacco, in quanto sono dotati di uno strato adesivo sottostante, protetto da una pellicola, che può essere applicato anche su pavimentazioni che risultano molto danneggiate. Però bisogna prestare attenzione a non rimuovere completamente la pavimentazione lasciando scoperta la fondazione, perché il contributo del rinforzo potrebbe essere penalizzato.

I vantaggi che i geocompositi apportano sono:

- Risparmio economico dovuto ad una minore quantità di materiali impiegati per il rifacimento, in quanto non è necessario rimuovere completamente la pavimentazione;
- Quota finale invariata, importate in contesti urbani dove le quote sono fissate e non possono essere aumentate per resistere all'incremento continuo del traffico pesante. Cioè installando i geocompositi si possono ottenere le stesse resistenze, se non maggiori, dell'aumento dello spessore degli strati;
- Minor tempo per realizzare l'intervento, in quanto occorre meno tempo per fresare spessori minori;
- Semplicità di applicazione;
- Non necessitano di una superficie perfettamente integra e planare per essere applicati, a differenza di reti metalliche o geogriglie. Infatti il geocomposito si adatta perfettamente a qualsiasi superficie e non occorre riprofilare lo strato con pochi centimetri di conglomerato nuovo una volta fresata la vecchia pavimentazione;
- Eliminazione dell'effetto pumping, cioè la risalita di materiale causata dall'infiltrazione dell'acqua nelle fessure sotto l'effetto del traffico, grazie all'impermeabilità dei geocompositi;
- Facilità di rimozione, infatti i geocompositi non hanno bisogno di particolari accorgimenti, a differenza ad esempio delle reti metalliche, in quanto possono essere semplicemente fresati e riciclati.

L'uso dei geosintetici nell'interfaccia dello strato di asfalto è uno dei metodi più usati per ritardare e ridurre le fessurazioni di riflessione, ma può avere qualche svantaggio. In alcuni casi infatti, lo strato di geosintetico può influire negativamente sulla resistenza a taglio e sull'aderenza tra la vecchia pavimentazione e lo strato di ricoprimento, come verificato anche da Pasquini et al. (2014) [4].

Ad esempio Alireza et al. (2017) [5] hanno eseguito dei test per valutare i parametri che influenzano maggiormente la resistenza a taglio della zona di interfaccia rinforzata con geocomposito di una pavimentazione. Lo studio ha rivelato che questi parametri sono:

- Tasso di applicazione tack-coat;
- Temperatura;
- Tipo di geosintetico (dimensioni griglia);
- Tipo di tack-coat;
- Condizioni superficiali.

### 2.4.3. Posa in opera

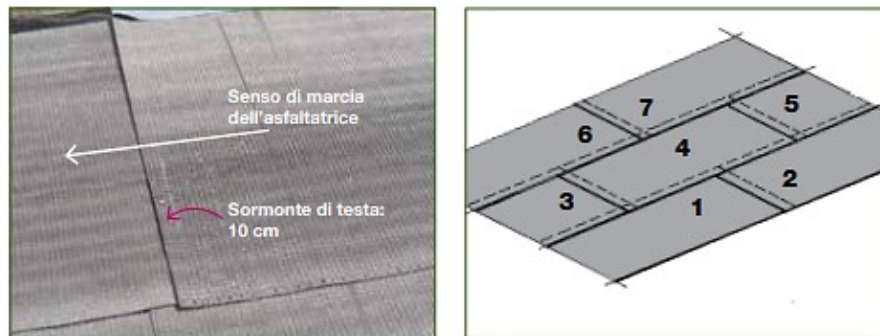
Si è visto che i geosintetici hanno bisogno di una superficie di posa in opera accuratamente pulita, asciutta e priva di materiale sciolto. Infatti l'umidità unita alla polvere, a detriti, a eventuali presenze di acqua, neve o ghiaccio, ostacolano la corretta adesione del rinforzo allo strato su cui viene applicato. Solitamente i geosintetici sono forniti sotto forma di rotoli di lunghezza e larghezza variabile, bisogna evitare lo stoccaggio prolungato al sole e durante la movimentazione il materiale va maneggiato con cura per evitare lo schiacciamento dei rotoli e il contatto con superfici taglienti o appuntite.

I geosintetici possono essere stesi a mano (Figura 2.4.3-1), almeno da due operatori, in modo da farli adattare perfettamente alla superficie ed eliminare ogni possibile piega che potrebbe compromettere le prestazioni in esercizio e il comfort di marcia dei veicoli.



Figura 2.4.3-1 Stesa geosintetico

Al fine di garantire un adeguato trasferimento delle tensioni e delle deformazioni in tutte le direzioni, senza lasciare zone scoperte, è raccomandata una zona di sormonto longitudinale fra fogli adiacenti di almeno 7 cm e per evitare scorrimenti una sovrapposizione di testa fra fogli consecutivi di almeno 10 cm effettuata in modo che il lembo superiore sia disposto lungo il senso di marcia della finitrice (*Figura 2.4.3-2*). La presenza di una fascia adesiva, detta cimosa, garantisce appunto la sovrapposizione dei rotoli e li rende solidali tra loro.



*Figura 2.4.3-2 Sovrapposizione rotoli*

Una volta eseguita la stesa si procede all'eventuale taglio del geocomposito in corrispondenza di accessi a sottoservizi (*Figura 2.4.3-3*)



*Figura 2.4.3-3 Taglio del geocomposito*

Dopodiché si procede all'asportazione del film siliconato che protegge la faccia inferiore del geocomposito (*Figura 2.4.3-4*). Si consiglia di munirsi di sacchi di plastica dove raccogliere i fogli di polietilene siliconato sia per evitare che volino via col vento invadendo le carreggiate vicine e creare un pericolo per gli autoveicoli in transito, sia per una corretta raccolta differenziata.





*Figura 2.4.3-4 Rimozione del film siliconato*

Poi si effettua la rullatura dell'intera superficie (*Figura 2.4.3-5*). Essa viene fatta preferibilmente con rullo gommato o, in alternativa, con mezzo di cantiere gommato, soprattutto nel caso di applicazione su piani di posa che non siano costituiti da conglomerato bituminoso di nuova realizzazione. I mezzi di cantiere devono prestare attenzione ad accelerazioni, frenate e a non effettuare bruschi cambi di direzione.



*Figura 2.4.3-5 Rullatura*

Infine si può procedere con la realizzazione del sovrastante strato di conglomerato bituminoso (*Figura 2.4.3-6*).



*Figura 2.4.3-6 Realizzazione strato in conglomerato bituminoso*

La scelta del materiale è influenzata dalla temperatura di fusione, che dovrà essere minore di quella di stesa. Le azioni termiche devono essere sufficienti a fondere lo strato finale di

ricoprimento di conglomerato bituminoso, per permettere al geocomposito di aderire perfettamente alla nuova pavimentazione e nel contempo la temperatura del conglomerato bituminoso steso, deve garantire una temperatura adatta a far fondere anche lo strato sottostante, creando in questo modo un unico elemento, senza scollegamento degli strati.

Inoltre occorre tener presente che nel caso di tratti di strada in curva si dovrà prevedere l'eventualità di tagliare i teli in pezzi più corti in modo tale da poter assicurare, nel miglior modo possibile, il raggio di curvatura in oggetto, evitando la formazione di pieghe e garantendo al contempo le zone di sormonto minime previste (Figura 2.4.3-7).

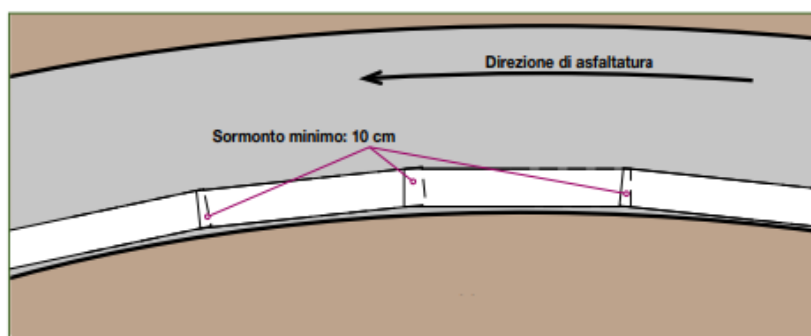


Figura 2.4.3-7 Geosintetici in curva

Un'altra cosa importante che riguarda i geocompositi è la profondità a cui essi vengono posizionati, come mostrano i risultati degli studi di *E. Pasquini et al. (2015)* [6]. Nel caso in cui i geocompositi sono applicati all'interno di interfacce situate vicino alla superficie stradale, in cui le sollecitazioni dei veicoli rimangono ancora alte, si ha una resistenza a taglio troppo bassa all'interfaccia, che potrebbe comportare il rischio di de-bonding causando danni sia strutturali che funzionali alla pavimentazione. Al contrario, nel caso di applicazioni più profonde, il de-bonding controllato fornito dai geocompositi può essere considerato favorevole perché agisce come strato flessibile in grado di deformarsi orizzontalmente senza rompersi, ma se situati a profondità troppo elevate potrebbe essere compromessa la loro efficacia.

## CAPITOLO 3

### PROGRAMMA SPERIMENTALE

#### 3.1. INTRODUZIONE

Nel presente studio si vogliono valutare e confrontare le prestazioni a taglio offerte da pavimentazioni rinforzate con diversi tipi di geocompositi. A questo scopo è stato messo a punto un programma sperimentale che prevede le seguenti prove:

- prova di taglio Leutner, che consiste nell'applicazione di uno spostamento in corrispondenza del piano di taglio, con lo scopo di riprodurre il carico indotto dal passaggio dei veicoli sulla pavimentazione;
- prova di taglio ASTRA, che prevede oltre ad uno spostamento tangenziale in corrispondenza dell'interfaccia, l'applicazione di uno sforzo normale.

I test sono stati condotti su provini derivanti dall'allestimento di un campo prova lungo un tratto autostradale ubicato lungo la A14 in direzione Nord, all'altezza di Cesena (km 105+450 – 102+180), in cui sono stati impiegati quattro tipi di geocompositi, ciascuno con caratteristiche diverse, come descritto dettagliatamente nei paragrafi successivi.

Parallelamente, gli stessi materiali utilizzati in situ (conglomerato bituminoso, geocompositi, emulsione...) sono stati impiegati presso il Laboratorio di Strade e Trasporti dell'Università Politecnica delle Marche per il confezionamento di lastre bistrato da cui sono stati ricavati una serie di provini.

#### 3.2. MATERIALI

##### 3.2.1. Conglomerato bituminoso

Il conglomerato bituminoso è costituito da una miscela proporzionata data da:

- legante bituminoso;
- mix di aggregati (materiali lapidei di varia natura e pezzatura) e filler minerali.

Queste frazioni sono presenti in percentuali variabili in funzione della tipologia di strato da realizzare e della tipologia di miscela. Nella sperimentazione in questione, è stata realizzata una miscela di "base-binder" direttamente a contatto con il sistema di rinforzo, e l'intervento è stato

completato con uno strato di usura drenante, dal momento che si tratta di un tratto autostradale. Tutte le miscele fanno riferimento alle specifiche dettate dal Capitolato Speciale d'Appalto di Autostrade.

### AGGREGATI

Gli aggregati derivano dalla frantumazione delle rocce e successiva vagliatura; essi rappresentano circa il 60-80 % delle miscele stradali.

Gli aggregati vengono generalmente suddivisi in:

- aggregati grossi, aventi dimensioni  $> 4$  mm costituiscono la fase solida portante del conglomerato bituminoso;
- aggregati fini, aventi dimensioni comprese tra 0,063 mm e 4 mm, la cui funzione è quella di andare a riempire i vuoti presenti tra i granuli di aggregato grosso;
- filler, con dimensioni  $< 0,063$  mm, è una frazione molto importante del conglomerato bituminoso in quanto, insieme al bitume, andrà a creare il mastice. Quest'ultimo ha la funzione di legare gli aggregati, evitare il trasudamento di legante, prevenire lo spogliamento degli aggregati e aumentare la stabilità delle miscele garantendo maggior grado di coesione. Per tutti questi motivi è molto importante controllarne il dosaggio e la composizione.

Inoltre tutti gli aggregati devono essere descritti mediante la designazione d/D, che ci dice il diametro minimo (d) e massimo (D) tra cui è compresa la frazione granulometrica.

Dalla dimensione massima dipendono alcune proprietà delle miscele: se D è troppo piccolo le miscele rischiano di essere poco durevoli, mentre se D è troppo grande esse tendono a essere poco lavorabili (difficili da compattare). Per questo normalmente si richiede  $D < s/3$ , dove s rappresenta lo spessore dello strato.

Nel presente caso di studio avendo utilizzato uno strato di base-binder è stata impiegata una pezzatura compresa tra 0/30. Di seguito viene riportata la tabella (*Tabella 3.2.1-1*) e la curva granulometrica (*Figura 3.2.1-2*) della miscela utilizzata.

<b>Analisi granulometrica EN12697-2</b>						
EN 933-1	ISO	Trattenuto		Passante	Fuso	
	mm	g.	%	%		
setaccio				100,0		
"	31,5	49,0	2,9	97,1	100	100
"	20	298,0	17,4	79,8	73	94
"	14	280,0	16,3	63,5	51	76
"	10	202,0	11,8	51,7	40	64
"	6,3	198,0	11,5	40,2	31	55
"	2	225,0	13,1	27,0	19	38
"	0,5	202,0	11,8	15,3	8	21
"	0,25	86,0	5,0	10,3	5	16
"	0,063	93,0	5,4	4,8	4	8
	fondo	83,2	4,8			
	Peso totale g.	1716,2				

Tabella 3.2.1-1 Analisi granulometrica dello strato di base

La curva granulometrica definisce la percentuale di materiale passante corrispondente alle dimensioni di ciascun setaccio. La curva granulometrica riportata ricade all'interno dei fusi che definiscono la regione all'interno della quale la curva deve essere contenuta affinché il materiale risulti idoneo. A seconda dello strato previsto si avranno diversi fusi poiché ogni strato è costituito da inerti aventi caratteristiche e pezzature differenti. Dunque la curva granulometrica non dovrà trovarsi al di sopra del fuso, altrimenti la quantità di aggregati fini sarà eccessiva, ma non dovrà neanche trovarsi al di sotto di esso poiché sarebbe troppo alta la percentuale di aggregati grossi.

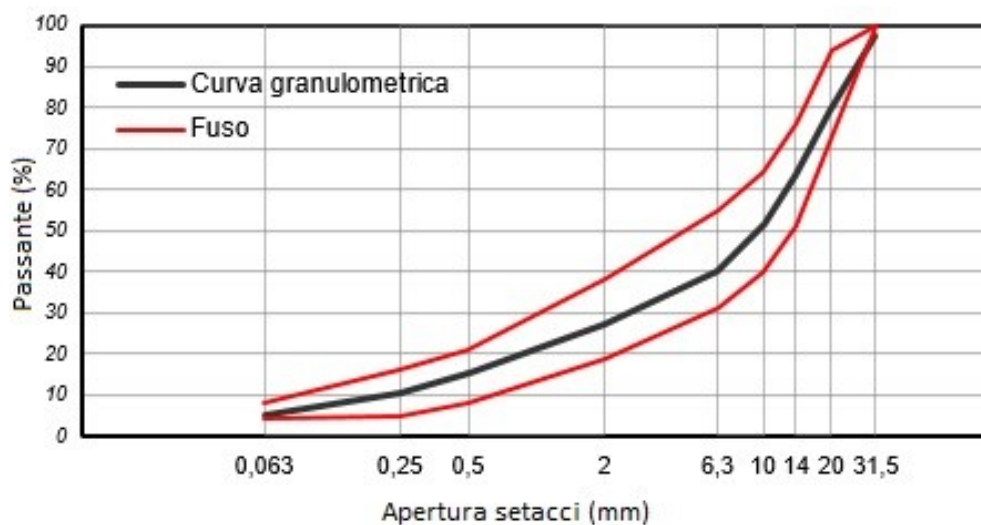


Figura 3.2.1-2 Curva granulometrica

## LEGANTE BITUMINOSO

Il legante bituminoso è un composto organico eterogeneo derivato dal processo di distillazione del greggio di petrolio. Esso ha la funzione di conferire alla miscela granulare la necessaria coesione per poter resistere alle sollecitazioni di taglio e di flessione dovute ai carichi superficiali indotti dal rotolamento degli pneumatici (carico veicolare).

I leganti bituminosi vengono classificati principalmente in:

- *Bitume tradizionale*, dato dalla sommatoria di tre elementi: asfalteni, oli e resine. Gli asfalteni sono delle polveri che danno corpo e colore al bitume; gli oli (saturi e aromatici) fungono da agenti flocculanti nei confronti degli asfalteni; e le resine fungono da agenti peptizzanti per gli asfalteni, che diversamente tenderebbero ad aggregarsi e a flocculare;
- *Emulsione bituminosa* composta da legante, acqua e agente emulsionante. L'acqua rappresenta la fase disperdente, il legante la fase dispersa sotto forma di goccioline e l'agente emulsionante conferisce polarità superficiale alle goccioline di legante;
- *Bitume modificato*; il bitume può essere modificato in due modi: aggiungendo agenti modificanti (additivi o composti chimici) al bitume tradizionale oppure unirli direttamente all'atto di produzione del conglomerato bituminoso.

Nella tesi oggetto di studio è stato realizzato uno strato di base-binder con bitume modificato Rh30 (Tabella 3.2.1-1). Il bitume modificato è in grado di fornire prestazioni migliori, andando a influenzare le caratteristiche fisiche e/o meccaniche del materiale sia alle alte che alle basse temperature.

A seconda del quantitativo di additivo utilizzato, viene suddiviso in tre classi: il tipo "hard" contiene al suo interno un quantitativo tra il 3 e il 5% rispetto al peso del solo bitume, maggiore rispetto alle modifiche "medium" (2-3%) e "soft" (1-2%).

Il legante impiegato per il confezionamento della miscela utilizzata per la sperimentazione è un bitume modificato di tipo "hard".

<b>a</b>	<b>Peso del cestello</b>	<b>g.</b>		<b>3316,7</b>
<b>b</b>	<b>Peso del cestello+ conglomerato</b>	<b>g.</b>		<b>5102,5</b>
<b>c</b>	<b>Peso netto conglomerato ante combustione</b>	<b>g.</b>	B-A	<b>1785,8</b>
<b>d</b>	<b>Peso lordo inerti post combustione</b>	<b>g.</b>		<b>5032,9</b>
<b>e</b>	<b>Peso degli inerti</b>	<b>g.</b>	D-A	<b>1716,2</b>
<b>f</b>	<b>Bitume</b>	<b>g.</b>	C-E	<b>69,60</b>
<b>g</b>	<b>% bitume riferita agli inerti</b>	<b>%</b>	FE*100	<b>4,06</b>
<b>h</b>	<b>% bitume riferita al conglomerato</b>	<b>%</b>	FC*100	<b>3,90</b>
<b>i</b>	<b>Percentuale inerti</b>	<b>%</b>	100-H	<b>96,10</b>
<b>l</b>	<b>Massa volumica apparente inerti</b>	<b>g/cmc</b>		<b>2,658</b>
<b>m</b>	<b>Max densità teorica del conglomerato bituminoso</b>	<b>g/cmc</b>	100/(I/L+H/1,02)	<b>2,501</b>
<b>n</b>	<b>Massa vol.app.media del provino di conglom.bit.</b>	<b>g/cmc</b>		<b>2,455</b>
<b>o</b>	<b>% vuoti Max.</b>	<b>%</b>	M-N/M*100	<b>1,86</b>

Tabella 3.2.1-1 Caratteristiche miscela utilizzata

### 3.2.2. Geocompositi

Nello studio in questione sono stati usati quattro tipi di geocompositi diversi denominati:

- A;
- B;
- C;
- D.

#### GEOCOMPOSITO A

È una membrana autotermodadesiva costituita da una rete di vetro accoppiato a TNT di poliestere come armatura e da una miscela bitume modificato con gomma termoplastica (SBS). La finitura superficiale della faccia superiore è in cimosa antiaderente-inerti, TNT polimerici antiaderenti, mentre sulla faccia inferiore ha un film siliconato da asportare durante a posa. È caratterizzato da uno spessore di 2,5 (±5%) mm e può avere dimensioni 0,50x10 m o 1,00x10 m.

Questo geocomposito viene applicato con metodo termoadesivo/autoadesivo tramite fiamma leggera di gas propano.

#### GEOCOMPOSITO B

Geocomposito avente spessore di 2,5 (±5%) mm e dimensioni 1,00x15 m. Questo, contrariamente a tutti gli altri geocompositi impiegati, è privo di una rete di rinforzo.

### GEOCOMPOSITO C

Si tratta di un geocomposito autoadesivo con rete di vetro avente spessore di 1,8/2,5 mm. I rotoli hanno una dimensione di 1,00x15 m.

### GEOCOMPOSITO D

È caratterizzato da un'armatura di tessuto di vetro e tessuto non tessuto di poliestere. Ha uno spessore di 2,5 mm e le dimensioni dei rotoli possono essere 0,50x15 m o 1,00x15 m.

### **3.3. Confezionamento dei provini in Laboratorio**

Il conglomerato bituminoso modificato è stato confezionato in impianto e recapitato presso il Laboratorio di Strade e Trasporti dell'Università Politecnica delle Marche.

I provini confezionati in laboratorio sono stati ricavati dalla realizzazione di lastre bistrato compattate tramite l'utilizzo del *Roller Compactor* (UNI EN 12697-33) [7], mostrato in *Figura 3.3-1*, che simula la compattazione che avviene in situ mediante il passaggio ciclico di un rullo compattatore in un'unica direzione ed è capace di imprimere diversi livelli di pressione e di impostare il numero dei passaggi per ciascuno di essi.



*Figura 3.3-1 Roller Compactor*



Il processo di produzione delle slabs è stato oggetto di un'altra tesi di laurea volta a valutare le performance dei medesimi materiali sotto altri punti di vista. Il tutto è stato standardizzato in modo da minimizzare quanto più possibile i fattori che potrebbero influenzare le prestazioni finali dei provini. Per questo motivo sono state scelte la temperatura di riscaldamento del conglomerato bituminoso, il quantitativo di materiale da impiegare per ogni strato, la pressione ed il numero di cicli necessari alla compattazione e le tempistiche di ciascuna delle operazioni menzionate.

I casseri impiegati hanno una base di sezione quadrata e dimensioni 305 x 305 mm, ed un'altezza di 100 mm che può essere incrementata con l'ausilio di un collare in acciaio, che consente di ottenere un'ulteriore estensione di 20 mm nel caso in cui il conglomerato, non ancora compattato, raggiunga un'altezza tale da poter fuoriuscire (*Figura 3.3-2*).



*Figura 3.3-2 Cassero con collare in sommità*

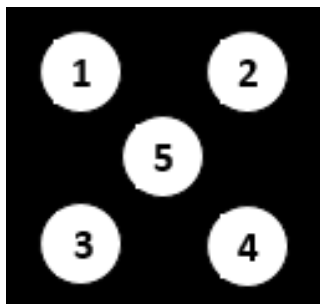
In successione, si realizza il primo strato di conglomerato bituminoso, si interpone il sistema di rinforzo (o l'emulsione cationica) ed infine si sovrappone il secondo strato di conglomerato bituminoso.

In totale sono state realizzate 5 lastre bistrato, una per ogni tipo di configurazione di interesse (4 diversi tipi di geocompositi e una configurazione non rinforzata di riferimento).

Da ciascuna lastra sono stati poi ricavati tramite carotaggio 5 provini di forma cilindrica e diametro circa pari a 95 mm (diametro del carotiere disponibile in laboratorio).

I provini così ottenuti sono stati numerati da 1 a 5 secondo lo schema esposto in *Figura 3.3-3*, in modo da destinare a ciascun tipo di prova i provini provenienti dalla stessa zona della lastra per garantire quanta più uniformità possibile. Per questo motivo i provini numero 1 e 2 sono stati sempre sottoposti alla prova ASTRA, in quanto sono risultati avere una geometria più regolare, i 3 e 4 alla prova Leutner, ed infine il numero 5, proveniente dalla zona centrale della lastra, che

solitamente risulta più compattata, è stato conservato come riserva nel caso in cui i dati ottenuti con una delle due prove non fossero risultati soddisfacenti.



*Figura 3.3-3 Numerazione provini ricavati dalla lastra*

Si sono così ottenuti:

- n°5 provini con geocomposito A;
- n°5 provini con geocomposito B;
- n°5 provini con geocomposito C;
- n°5 provini con geocomposito D;
- n°5 provini senza geocomposito N.

Su ciascun provino è stata disegnata una freccia mediante bomboletta spray, indicante la direzione di compattazione, che sarà importante per le prove successive.

Ciascun provino è stato quindi codificato secondo una dicitura del tipo:

**LX\_YZ**

Dove:

**L** indica il fatto che i provini siano stati prodotti in Laboratorio;

**X** indica a quale tipo di test è stato sottoposto il provino (L= Leutner, A= ASTRA);

**Y** indica il tipo di geocomposito impiegato (tipo “A”, “B”, “C”, “D”) o la configurazione “N” (non rinforzata);

**Z** indica la posizione di provenienza rispetto alla lastra di origine.

Per esempio la sigla visibile in *Figura 3.3-4* indica che il provino è stato confezionato in Laboratorio, testato con la prova Leutner, contiene al suo interno il geocomposito di tipo “D” e proviene dall’angolo in basso a destra della lastra.



Figura 3.3-4 Esempio codice provino Leutner

Dei provini sono state misurate le dimensioni per mezzo di un calibro e il peso mediante una bilancia digitale. Per fare ciò, sono state tracciate due diagonali immaginarie su una delle due basi, in modo da poter prendere le misure dell'altezza su ciascun dei quattro punti individuati ed ottenere un'altezza media rappresentativa di ciascun provino. Allo stesso modo sono stati misurati i diametri.

Le informazioni riguardanti i provini vengono riportate nella *Tabella 3.3-1* e *Tabella 3.3-2* che seguono.

CODICE PROVINO	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	H MEDIA (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D MEDIO (mm)	PESO (g)
LA_N1	84,4	84,6	84,7	84,4	84,525	94,1	94,0	94,05	1377,1
LA_N2	82,0	82,0	82,1	81,7	81,95	94,0	94,1	94,05	1299,8
LA_A1	90,1	88,3	88,1	88,3	88,7	93,0	93,9	93,95	1425,6
LA_A2	81,4	81,6	81,5	82,5	81,75	94,2	94,4	94,30	1277,6
LA_B1*	83,6	83,9	83,4	87,7	84,65	94,1	94,2	94,15	1254,0
LA_B2	85,0	84,3	83,9	84,4	84,4	93,2	93,8	93,50	1336,2
LA_C1	85,0	84,3	84,9	84,0	84,55	94,7	93,8	94,25	1343,7
LA_C2	86,1	87,2	87,9	86,8	87,00	93,9	93,8	93,85	1376,3
LA_D1	86,6	86,0	87,3	87,0	86,725	94,3	94,0	94,15	1367,0
LA_D2	83,5	84,4	84,1	84,1	84,025	94,2	94,1	94,15	1353,5

Tabella 3.3-1 Caratteristiche provini laboratorio per prova ASTRA

\*LA\_B1: provino ricostruito in parte nella parte inferiore con resina bicomponente.

CODICE PROVINO	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	H MEDIA (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D MEDIO (mm)	PESO (g)
LL_N3	85	82	84	83	83,5	93	93	93	1375,7
LL_N4	83	86	85	86	85	94	94	94	1311,0
LL_N5	83	82	82	83	82,5	93	93	93	1355,9
LL_A3	81	83	81	81	81,5	93	91	92	1267,7
LL_A4	83	87	87	89	86,5	94	93	93,5	1428,5
LL_A5	83	84	86	83	84	93	94	93,5	1340,7
LL_B3	88	87	87	88	87,5	93	93	93	1382,9
LL_B4	87	85	85	87	86	93	93	93	1377,3
LL_B5	85	85	85	84	84,75	93	93	93	1355,6
LL_C3	83	84	83	84	83,5	93	94	93,5	1325,1
LL_C4	86	84	84	85	84,75	93	93	93	1355,9
LL_C5	84	85	84	84	84,25	93	93	93	1347,0
LL_D3	83	84	83	83	83,25	93	93	93	1353,0
LL_D4	85	85	86	86	85,5	93	93	93	1363,7
LL_D5	84	84	84	84	84	94	93	93,5	1344,8

Tabella 3.3-2 Caratteristiche provini laboratorio per prova Leutner

### 3.4. Campo prove

Gli stessi materiali sono stati impiegati per realizzare dei tronchi pilota sperimentali in vera grandezza su un tratto dell'autostrada A14 compreso tra Bologna e Taranto (carreggiata nord-corsia di marcia lenta) Km 105+450 – 102+180 (Figura 3.4-1).

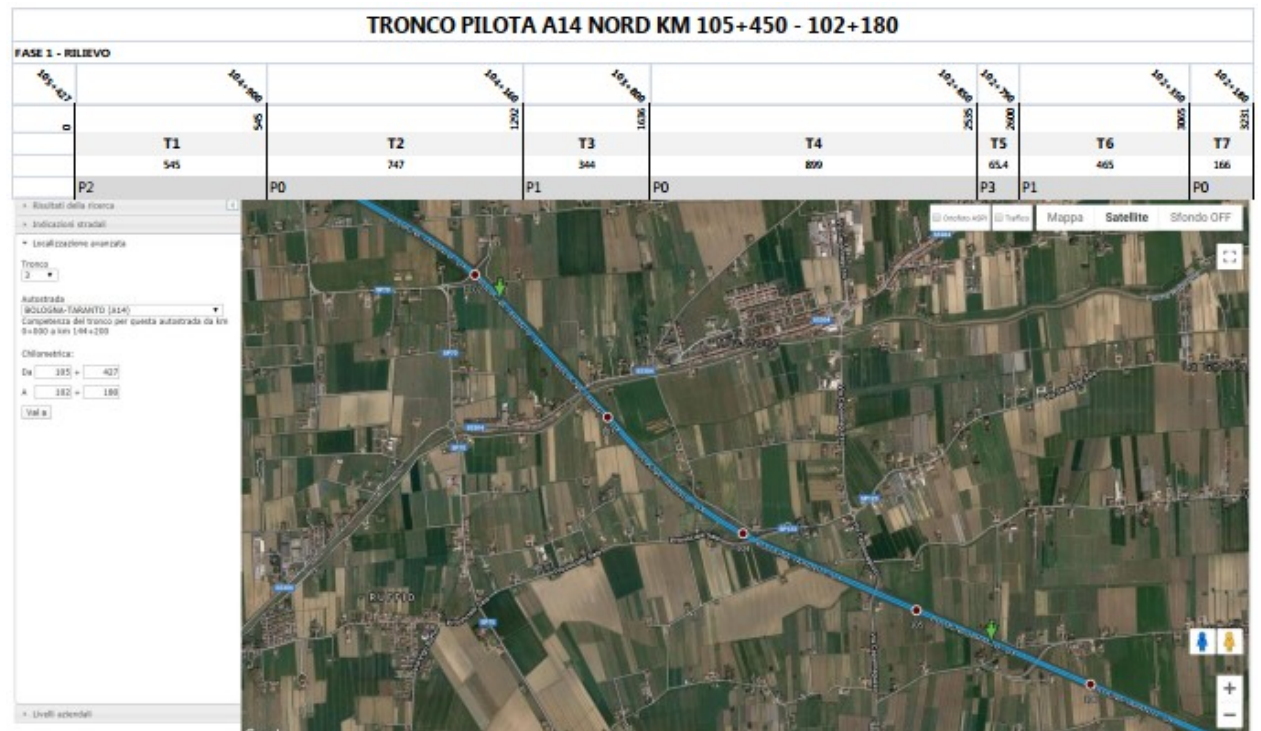


Figura 3.4-1 Localizzazione dell'intervento

I tronchi omogenei (Figura 3.4-2) sono stati individuati a seguito di alcune indagini tramite Georadar, su cui è stata poi eseguita la stesa in oggetto.

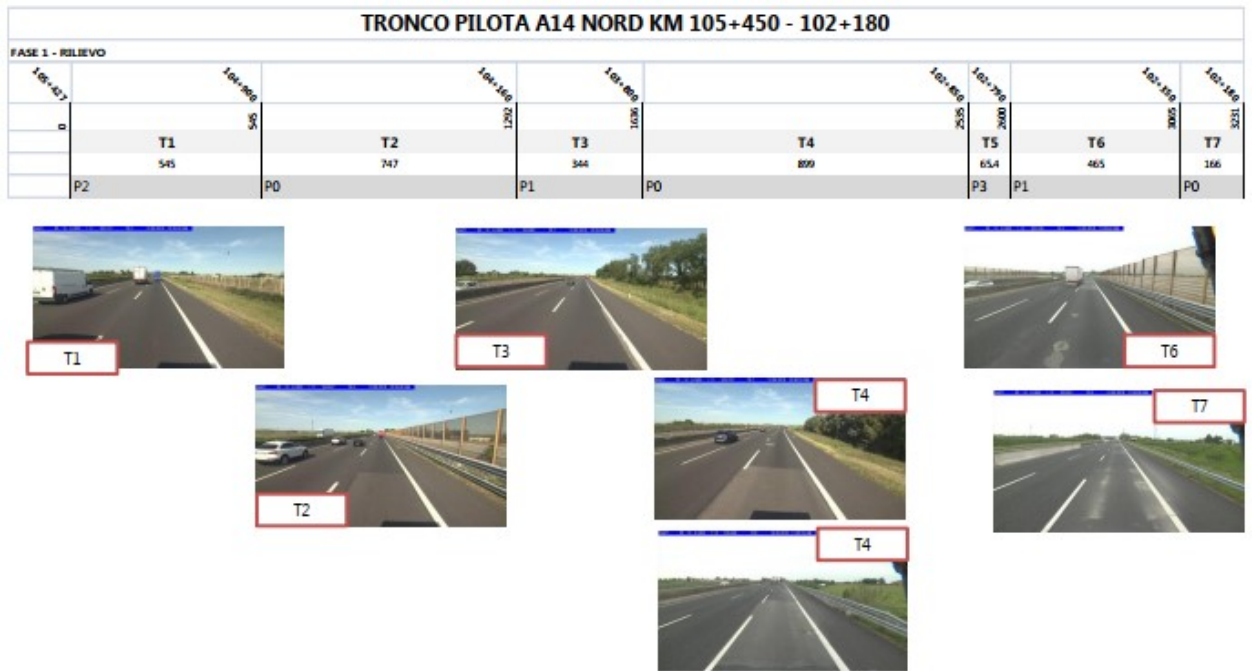


Figura 3.4-2 Individuazione tronchi omogenei

Di seguito si è proseguito con la definizione dei tronchi pilota (Figura 3.4-3), la suddivisione in sottotronchi e la progettazione degli interventi (Figura 3.4-4).

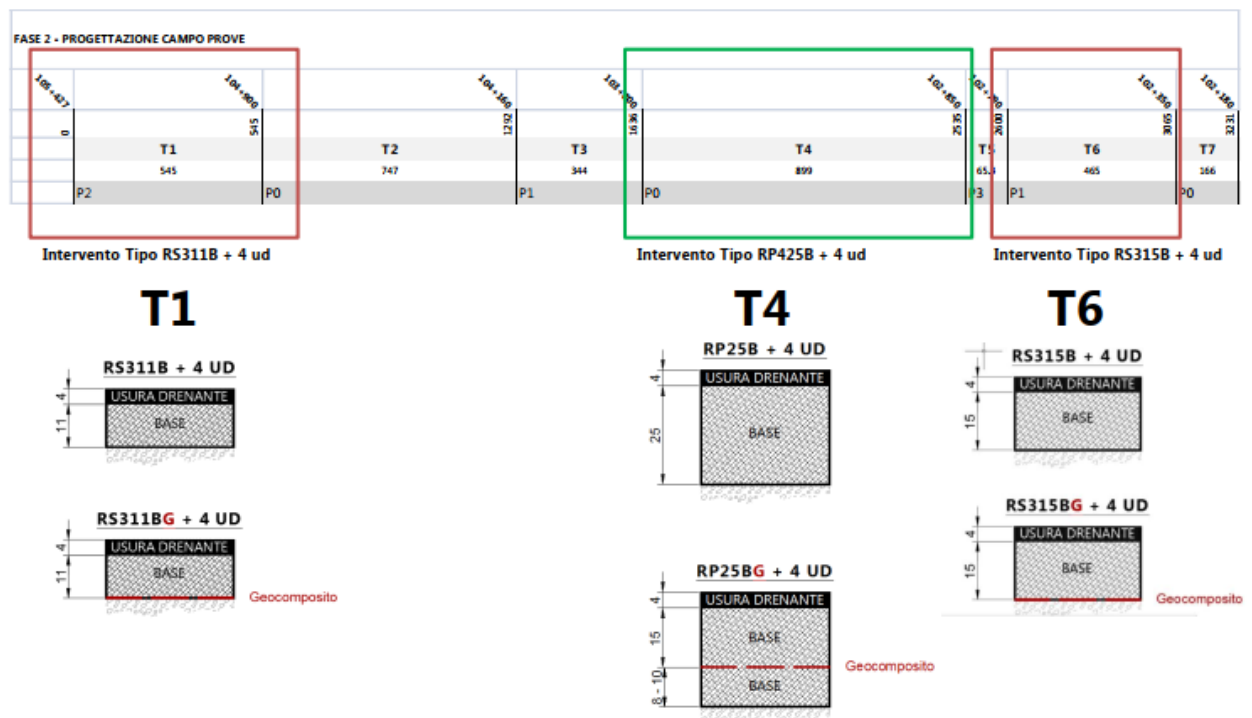
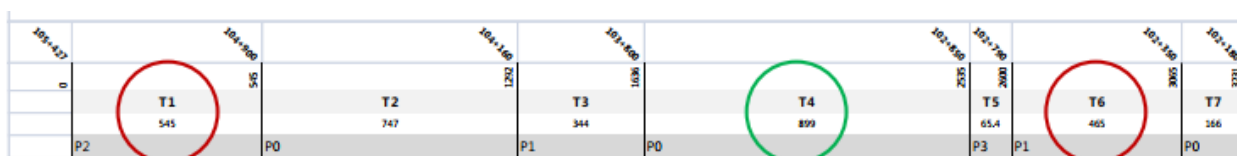


Figura 3.4-3 Definizione dei tronchi pilota



Tronco	Sottotronco	Inizio	Fine	Intervento	NOTE
1	N	0	145	RS311B+4UD	Intervento senza geocomposito
	A	145	245	RS311BG+4UD	Intervento con geocomposito <b>A</b>
	B	245	345	RS311BG+4UD	Intervento con geocomposito <b>B</b>
	C	345	445	RS311BG+4UD	Intervento con geocomposito <b>C</b>
	D	445	545	RS311BG+4UD	Intervento con geocomposito <b>D</b>
2	N	545	1292	RP25B+4UD	Intervento senza geocomposito
3	N	1292	1535	RP25B+4UD	Intervento senza geocomposito
4	N	1535	1735	RP25B+4UD	Intervento senza geocomposito
	A	1735	1935	RP25BG+4UD	Intervento con geocomposito <b>A</b>
	B	1935	2135	RP25BG+4UD	Intervento con geocomposito <b>B</b>
	C	2135	2335	RP25BG+4UD	Intervento con geocomposito <b>C</b>
	D	2335	2535	RP25BG+4UD	Intervento con geocomposito <b>D</b>
5	N	2535	2600	4UD	Ponte
6	N	2600	2700	RS315B+4UD	Intervento senza geocomposito
	A	2700	2800	RS315BG+4UD	Intervento con geocomposito <b>A</b>
	B	2800	2900	RS315BG+4UD	Intervento con geocomposito <b>B</b>
	C	2900	3000	RS315BG+4UD	Intervento con geocomposito <b>C</b>
	D	3000	3100	RS315BG+4UD	Intervento con geocomposito <b>D</b>
7	N	3100	3231	RP25B+4UD	Intervento senza geocomposito

Figura 3.4-4 Sottotronchi e progettazione interventi

I tronchi pilota oggetto di studio sono tre:

- **TRONCO 1 (T1)**: configurazione nuovo su fresato. Realizzato mediante fresatura di uno strato di 15 cm totali, applicazione geocomposito e successiva stesa di uno strato di base-binder di 11 cm e 4 cm di usura drenate. A causa della fresatura si avranno interfacce ondulate e non regolari dei provini;
- **TRONCO 6 (T6)**: configurazione nuovo su fresato. Inizialmente era prevista la fresatura di uno strato di 19 cm totali, applicazione geocomposito e successiva stesa di uno strato di

base-binder di 15 cm e 4 cm di usura drenate; successivamente, a causa di alcune problematiche insorte durante le azioni di carotaggio lungo il tronco T1, in cui i provini sono stati soggetti a fenomeni di disturbo non trascurabili, si è scelto di riprodurre anche nel tratto T6 la medesima configurazione del T1;

- TRONCO 4 (T4): configurazione nuovo su nuovo (che rende i provini paragonabili a quelli in laboratorio). Realizzato mediante fresatura totale del pacchetto di 25 cm, stesa e compattazione di uno strato di base-binder di 8 cm, applicazione geocomposito, successiva stesa di uno strato di base-binder di 13 cm e 4 cm di usura drenante.

Lo spessore totale iniziale di 25 cm rimane lo stesso anche dopo l'intervento.

Ciascun tronco è stato poi suddiviso in 5 sotto-tronchi, in ognuno dei quali è stata applicata una diversa configurazione di rinforzo (tipo "N", "A", "B", "C", "D").

In seguito sono stati eseguiti sei carotaggi in ogni sotto-tronco individuato per un totale di 30 carote di diametro  $95\pm 1$  mm per ciascun Tronco.

Una volta pervenute in laboratorio, sono stati ricavati provini di circa 90 mm di altezza, ottenuti tagliando le carote parallelamente all'interfaccia, facendo sì che quest'ultima risultasse centrata in altezza. Infine sono state scelte le coppie di provini da sottoporre a prova ASTRA o Leutner.

Anche in questo caso i provini sono stati codificati secondo una dicitura del tipo:

**TX\_YZ**

Dove:

**T** indica il fatto che i provini siano ricavati dai tronchi omogenei;

**X** indica il numero di tronco su cui è stato prelevato il provino;

**Y** indica il tipo di geocomposito impiegato (tipo "A", "B", "C", "D") o la configurazione "N" (non rinforzata);

**Z** indica la posizione di provenienza rispetto al tronco.

Per esempio la sigla visibile in *Figura 3.4-5* indica che il provino è stato prelevato dal Tronco 1, contiene al suo interno il geocomposito di tipo "B" e proviene dalla nona carota prelevata.



Figura 3.4-5 Esempio codice provino

Le caratteristiche dei provini dei diversi tronchi vengono riportati nelle tabelle che seguono:

TRONCO 1 (Provini per prova Leutner)

CODICE PROVINO	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	H MEDIA (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D MEDIO (mm)	PESO (g)
T1_N	81,0	80,0	80,5	81,0	80,625	94,2	94,5	94,35	1277,2
T1_A1	81,0	81,0	81,0	81,0	81,00	94,8	94,4	94,60	1293,8
T1_A2	76,2	77,0	76,8	76,5	76,50	95,0	94,0	94,50	1179,3
T1_B7	76,2	76,0	76,5	77,0	76,425	94,8	95,0	94,90	1174,8
T1_B8	81,0	81,8	80,5	81,0	81,075	94,5	95,0	94,75	1298,5
T1_C13	76,5	76,2	77,0	77,0	76,675	94,2	95,0	94,60	1208,2
T1_C14	81,0	80,5	80,0	80,2	80,425	95,0	95,0	95,00	1189,2
T1_C17	76,5	76,0	76,0	77,0	76,375	94,5	94,2	94,35	1157,1
T1_D21	81,0	81,0	81,0	81,0	81,00	95,0	94,8	94,90	1290,2
T1_D20	80,5	80,5	81,0	81,0	80,75	96,0	94,5	95,25	1293,3
T1_D22	80,2	81,0	80,5	81,0	80,675	94,7	94,5	94,60	1281,5

TRONCO 1 (Provini per prova ASTRA)

CODICE PROVINO	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	H MEDIA (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D MEDIO (mm)	PESO (g)
T1_NB	80,2	80,3	81,2	80,0	80,425	94,0	94,0	94,0	1254,7
T1_A3	81,3	80,0	80,0	79,5	80,2	93,5	94,0	93,75	1285,1
T1_A4	75,0	76,0	76,8	75,1	75,725	94,0	94,0	94,0	1209,9
T1_B9	76,0	76,0	76,0	76,2	76,05	94,0	94,0	94,0	1171,0
T1_B12	80,0	81,0	80,3	80,0	80,325	94,0	94,0	94,0	1270,7
T1_C15	76,0	76,0	76,0	76,2	76,05	93,5	94,0	93,75	1202,2
T1_C16	77,0	80,0	76,5	75,5	77,25	94,0	94,0	94,0	1206,8
T1_C18	80,0	80,5	81,0	81,0	80,625	94,0	94,5	94,25	1205,0
T1_D23	80,0	80,0	80,0	79,8	79,95	94,0	94,0	94,0	1260,6
T1_D24	76,0	76,0	76,0	76,0	76,25	94,0	94,0	94,0	1191,5

Nota: le carote provenienti dal Tronco 1 sono risultate in molti casi fortemente disturbate a causa dell'adesione riscontrata tra il carotiere e la carota in corrispondenza dell'interfaccia rinforzata,



particolarmente appiccicosa. Gli operatori hanno tirato le carote dalla parte inferiore al geocomposito, disturbandone l'interfaccia, e talvolta causandone addirittura la completa separazione. Pertanto l'analisi di questo tronco è volta a sottolineare l'importanza delle azioni di prelievo in sito, che devono essere eseguite con la massima attenzione e con strumenti idonei.

#### TRONCO 6 (Provini per prova ASTRA)

CODICE PROVINO	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	H MEDIA (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D MEDIO (mm)	PESO (g)
T6_N1	78,8	77,9	79,1	79,3	78,775	93,4	93,9	93,65	1255,3
T6_N2	79,1	78,7	78,6	77,4	78,45	93,3	93,5	93,4	1230,3
T6_N3	79,3	79,0	78,9	78,9	79,025	93,7	94,3	94,0	1208,8
T6_A1	78,7	78,8	78,0	78,4	78,475	94,0	94,2	94,1	1211,6
T6_A2	78,2	78,2	78,8	78,5	78,425	94,0	94,1	94,05	1257,9
T6_A3	78,6	79,2	79,2	79,1	79,025	94,0	94,0	94,0	1253,8
T6_B1	78,8	79,3	79,8	78,5	79,1	92,1	92,9	92,5	1229,7
T6_B2	78,8	78,6	78,7	80,1	79,05	93,6	94,0	93,8	1245,6
T6_B3	78,0	79,2	78,3	77,9	78,35	93,1	93,4	93,25	1230,1
T6_C1	78,1	78,3	79,1	78,1	78,4	93,0	93,3	93,15	1234,5
T6_C2	78,7	78,5	79,2	78,3	78,675	92,5	93,3	92,9	1249,7
T6_C3	78,7	78,6	78,4	78,4	78,525	93,1	94,1	93,6	1232,1
T6_D1	79,1	78,5	78,6	78,7	78,725	93,5	94,0	93,75	1212,4
T6_D2	79,7	78,5	80,0	78,9	79,275	92,8	93,8	93,3	1227,5
T6_D3	79,0	78,2	79,2	78,6	78,75	94,0	94,0	94,0	1240,8

#### TRONCO 6 (Provini per prova Leutner)

CODICE PROVINO	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	H MEDIA (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D MEDIO (mm)	PESO (g)
T6_N4	79,5	79,5	78,7	79,3	79,25	93,4	93,6	93,5	1208,3
T6_N5	78,4	79,5	79,5	78,8	79,05	93,4	93,3	93,35	1181,9
T6_N6	79,0	79,0	79,7	79,8	79,375	93,5	93,6	93,55	1171,8
T6_A4	79,5	78,8	79,0	79,1	79,1	93,6	93,6	93,6	1247,3
T6_A5	78,7	79,0	78,3	78,0	78,5	94,2	94,1	94,15	1264,3
T6_A6	78,8	78,9	78,2	79,0	78,725	93,5	94,2	93,85	1256,1
T6_B4	79,4	78,7	78,9	79,1	79,025	93,0	93,3	93,15	1245,0
T6_B5	78,4	79,3	78,5	78,2	78,6	93,5	93,0	93,25	1225,2
T6_B6	77,7	78,2	78,3	78,2	78,1	94,4	94,1	94,25	1231,4
T6_C4	78,2	79,2	79,0	78,2	78,65	93,0	93,2	93,1	1236,4
T6_C5	78,5	79,2	79,0	77,8	78,625	92,6	93,2	92,9	1228,0
T6_C6	78,1	78,5	78,6	78,3	78,375	93,8	93,4	93,6	1250,8
T6_D4	78,1	79,0	78,6	78,5	78,55	93,0	93,1	93,05	1259,5
T6_D5	80,3	78,3	78,4	78,5	78,875	92,6	93,2	92,9	1207,4
T6_D6	79,2	79,5	78,1	78,6	78,85	93,4	93,8	93,6	1214,8

#### TRONCO 4 (Provini per prova ASTRA)

CODICE PROVINO	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	H MEDIA (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D MEDIO (mm)	PESO (g)
T4_N1	79,0	79,3	79,2	78,8	79,075	94,0	94,0	94,0	1275,0
T4_N2	80,0	79,9	79,8	79,8	79,875	94,0	94,0	94,0	1320,6
T4_N3	80,0	79,5	79,2	80,0	79,675	94,0	94,5	94,25	1295,2
T4_A1	81,0	80,0	80,5	80,6	80,525	94,8	94,8	94,8	1212,1
T4_A2	81,0	80,5	80,8	81,5	80,95	96,0	95,5	95,75	1282,2
T4_A3	80,0	80,0	79,8	79,5	79,825	94,5	94,3	94,4	1272,9
T4_B1	80,0	80,0	80,5	81,0	80,375	94,5	94,0	94,25	1278,8
T4_B2	80,0	79,9	81,0	80,5	80,35	95,0	95,5	95,25	1289,6
T4_B3	79,8	80,0	80,5	80,0	80,075	94,8	94,3	94,55	1258,0
T4_C1	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	94,5	94,5	94,5	1266,0
T4_C2	80,8	81,0	80,2	80,0	80,5	94,5	94,5	94,5	1280,0
T4_C3	79,5	79,8	80,5	80,0	79,95	94,2	95,0	94,6	1285,8
T4_D1	80,0	79,8	80,5	80,0	80,075	94,5	94,2	94,35	1268,7
T4_D2	79,8	79,6	79,5	79,6	79,625	94,5	94,5	94,5	1277,0
T4_D3	79,0	79,2	80,0	80,1	79,575	94,6	95,0	94,8	1268,2

#### TRONCO 4 (Provini per prova Leutner)

CODICE PROVINO	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	H MEDIA (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D MEDIO (mm)	PESO (g)
T4_N4	80,0	79,8	79,8	80,0	79,9	94,0	94,0	94,0	1317,0
T4_N5	80,2	80,0	79,8	79,8	79,95	94,5	94,3	94,4	1269,9
T4_N6	79,8	79,0	79,3	79,5	79,4	94,5	94,3	94,4	1227,0
T4_A4	79,9	80,0	80,0	80,2	80,025	94,2	94,2	94,2	1267,3
T4_A5	80,0	80,0	79,8	80,0	79,95	94,8	94,5	94,65	1254,8
T4_A6	79,5	80,0	80,2	80,5	80,05	95,0	94,5	94,75	1238,7
T4_B4	81,0	81,0	80,0	80,0	80,5	94,5	95,5	95,0	1260,8
T4_B5	80,0	80,0	81,0	81,0	80,5	95,5	94,5	95,0	1265,8
T4_B6	79,2	80,0	80,0	80,5	79,925	94,2	94,0	94,1	1288,7
T4_C4	80,0	80,0	79,5	79,5	79,75	95,0	94,5	94,75	1266,6
T4_C5	80,0	80,0	80,0	79,9	79,975	94,8	94,9	94,85	1271,1
T4_C6	80,7	80,5	81,0	80,0	80,55	94,9	94,0	94,45	1267,8
T4_D4	80,0	80,0	80,5	80,8	80,325	95,0	95,0	95,0	1282,9
T4_D5	80,0	80,0	80,0	79,9	79,975	95,0	94,3	94,65	1171,0
T4_D6*									

\*T4\_D6: carota rotta all'interfaccia, inutilizzabile (Figura 3.4-6)



*Figura 3.4-6 Carota rotta all'interfaccia*

### **3.5. APPARECCHIATURE E PROTOCOLLI DI PROVA**

Di seguito vengono descritte le prove di taglio (BS EN 12697-48) [8] eseguite in questa sperimentazione.

#### **3.5.1. Prova Leutner**

La prova Leutner è una prova di taglio diretto, che viene usata per determinare le proprietà dell'interfaccia nei sistemi bituminosi multistrato.

Dalla *Figura 3.5.1-1* è possibile vedere i diversi elementi di cui quest'apparecchiatura è composta:

- A. corpo base
- B. supporto campione
- C. anello di taglio inferiore
- D. anello di taglio superiore
- E. corpo superiore
- F. barra di guida

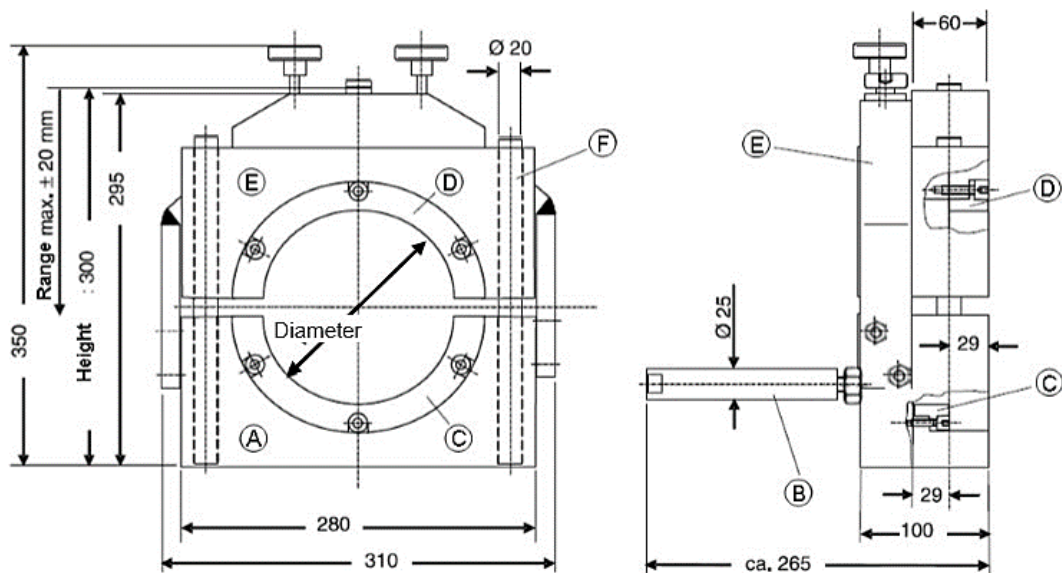


Figura 3.5.1-1 Schema dell'apparecchiatura Leutner

La parte inferiore è collegata alla piastra di caricamento della pressa che si sposta verso l'alto, mentre la parte superiore è posizionata in contrasto con il telaio di caricamento. L'ampiezza tra gli anelli di taglio A e D deve essere  $\leq 5$  mm.

Il diametro dei campioni deve essere di  $150 \pm 2$  mm o  $100 \pm 2$  mm. Lo spessore minimo degli strati sopra l'interfaccia da testare deve essere rispettivamente di 20 mm e sotto l'interfaccia di 50 mm. In questa sperimentazione vengono testati dei provini aventi diametro di  $100 \pm 2$  mm.

L'esecuzione della prova consiste nell'applicazione di uno spostamento verticale a velocità costante che riproduce il carico indotto dal passaggio dei carichi veicolari sulla pavimentazione, da cui si misurano la forza di taglio e la deformazione ad essa associata.

Il telaio di carico è in grado di raggiungere una velocità di spostamento verticale costante di  $50,0 \pm 2$  mm al minuto fino a uno spostamento di 7 mm e un carico massimo di 35 kN.

La prova può essere, in modo schematico, divisa in due fasi:

- prima fase: avvicinamento della cella di taglio al pistone superiore. In questa fase il carico risulterà pari a zero kN mentre corsa e deformazione saranno  $> 0$ ;
- seconda fase: inizio della prova vera e propria. In questa fase vengono misurati i valori del carico applicato, dello spostamento del macchinario (corsa) e della deformazione risentita dal provino.

Il protocollo di prova può essere riassunto nei seguenti stadi:

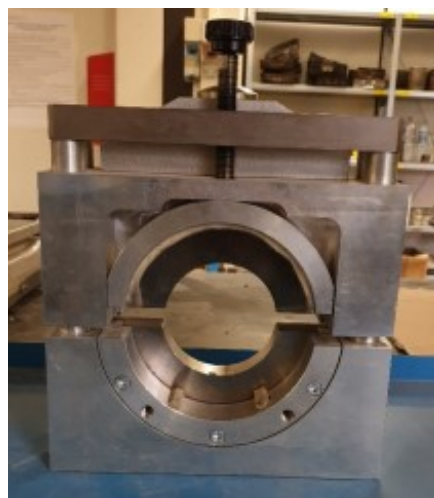
- Per prima cosa si collocano i campioni in una camera climatica a temperatura di condizionamento controllata di  $20 \pm 1^\circ \text{C}$  per un tempo minimo di 4 ore (*Figura 3.5.1-2*).



*Figura 3.5.1-2 Provini sistemati in camera climatica*

Trascorso il periodo di stazionamento nella camera climatica si può procedere con la prova.

- Si selezionano gli anelli di taglio (*Figura 3.5.1-3*) appropriati e fissarli al telaio di prova. Gli anelli di taglio devono avere lo stesso raggio o leggermente maggiore ( $\leq +2 \text{ mm}$ ) del campione sottoposto alla prova.

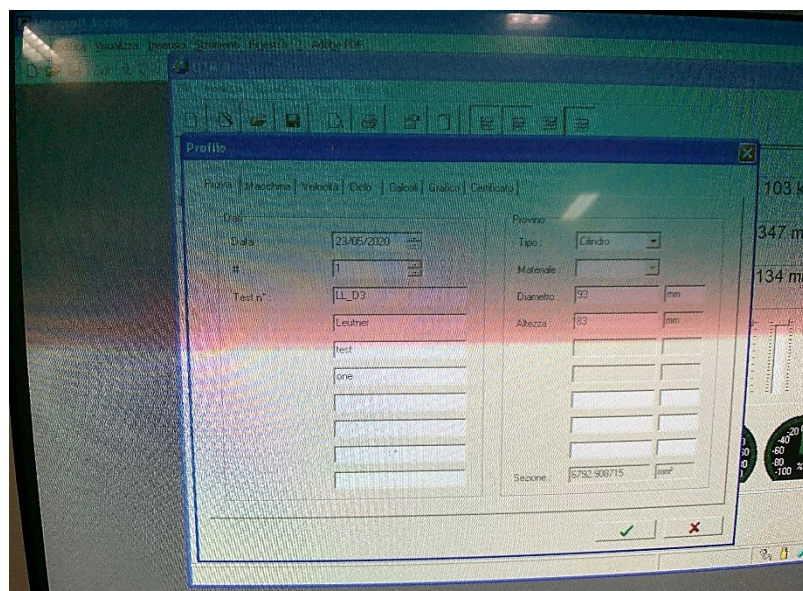


*Figura 3.5.1-3 Anelli di taglio superiore e inferiore*

- Si avvia software di acquisizione dati (carico e deformazione) UTM II, da cui si ricaveranno i

risultati della prova.

- Una volta aperto il software, comparirà una finestra (*Figura 3.5.1-4*) in cui si inseriscono le dimensioni del provino da testare, il tipo di provino, e il numero del test.



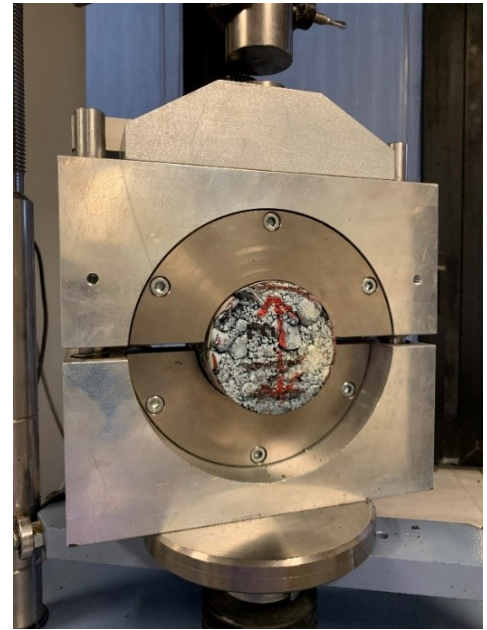
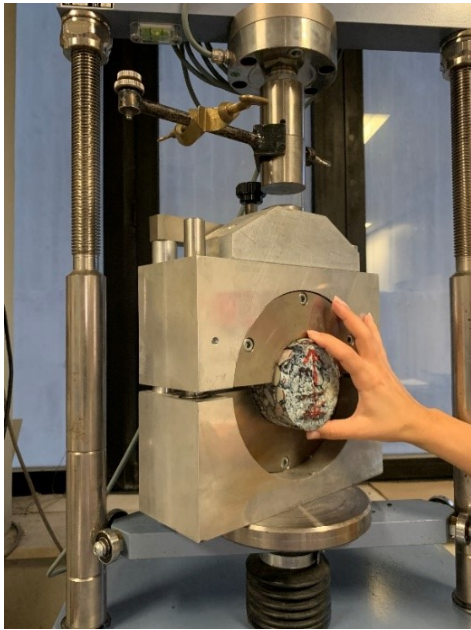
*Figura 3.5.1-4 Finestra "Profilo" del software*

- Si applica del nastro adesivo su tutta la circonferenza in corrispondenza dell'interfaccia (*Figura 3.5.1-5*), per facilitare l'individuazione del piano di taglio e di conseguenza agevolare il posizionamento dei provini nell'elemento di serraggio della macchina di prova.



*Figura 3.5.1-5 Applicazione del nastro adesivo in corrispondenza dell'interfaccia*

- Si posiziona il campione nell'apparecchiatura di prova, in modo che l'interfaccia sia allineata tra l'anello di sicurezza superiore e quello inferiore e con la freccia, indicante il verso di compattazione, verticale (*Figura 3.5.1-6*).



*Figura 3.5.1-6 Posizionamento del provino*

- Si posiziona l'adattatore tra il campione e l'anello di taglio superiore (Figura 3.5.1-7 e Figura 3.5.1-8).



*Figura 3.5.1-7 Posizionamento dell'adattatore*

*Figura 3.5.1-8 Adattatore*

- Si stringe la vite del supporto del campione fino al serraggio dello stesso.
- Si tara in modo da azzerare i valori della deformazione e della corsa (Figura 3.5.1-9), per facilitare con il montaggio del trasduttore.

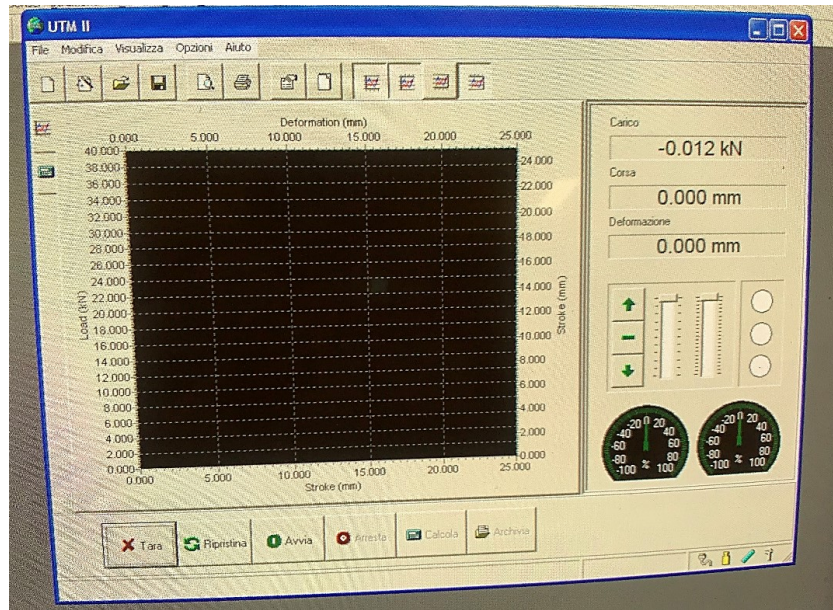


Figura 3.5.1-9 Finestra Principale UTM II

- Si monta il trasduttore nell'apposito porta-trasduttore (Figura 3.5. 1-10), il quale ha il compito di misurare le deformazioni da scorrimento subite dal provino. Il trasduttore deve essere posizionato verticalmente con la punta verso il basso, centrato rispetto alla base e leggermente compresso (sulla deformazione devono comparire valori positivi e non troppo alti, prossimi allo zero e mai > 0,5 mm).



Figura 3.5. 1-10 Posizionamento del trasduttore

- Si tara nuovamente prima di iniziare la prova.
- Si avvia la prova con velocità di carico di  $50 \pm 2$  mm al minuto. La velocità del piatto inferiore verso l'alto viene impostata tramite il software.
- Si arresta manualmente la prova dopo il raggiungimento del picco di carico, e comunque prima che il trasduttore raggiunga il limite della sua corsa (Figura 3.5.1-11).



Il tempo trascorso, tra la rimozione del campione dall'ambiente di condizionamento a temperatura controllata e il completamento della prova, non deve superare i 15 minuti.

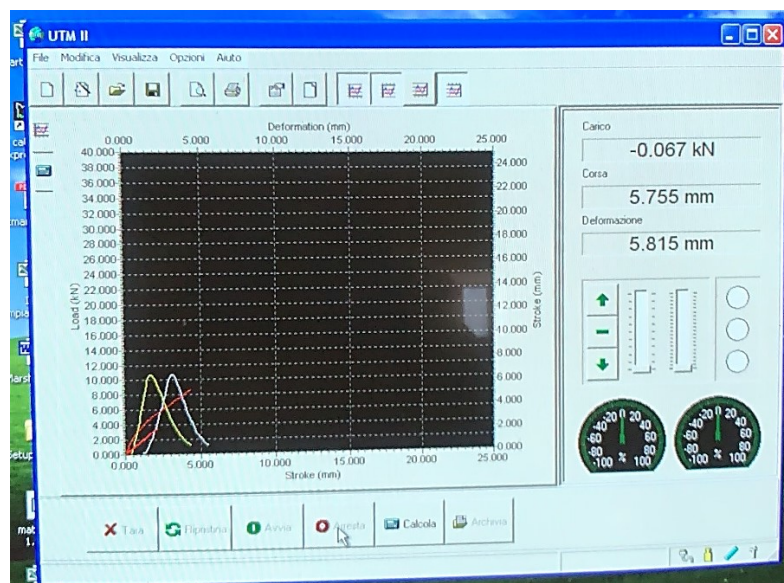


Figura 3.5.1-11 Esempio di curve ottenute a fine prova



Figura 3.5.1-12 Particolare del provino LL\_N3 portato a rottura al termine della prova

- Durante la prova si registrano il carico massimo  $F$  (kN) e la deformazione  $\delta$  (mm) ad esso associata.
- Una volta smontato il provino, si osserva lo stato dell'interfaccia nel caso di completa separazione degli strati (Figura 3.4.1-13), per l'individuazione di eventuali crepe o aspetto insolito (es. aggregati schiacciati sui bordi), che potrebbero indicare un disallineamento del campione nel piano di taglio (e di conseguenza i valori di picco registrati potrebbero non essere effettivamente rappresentativi della resistenza a taglio dell'interfaccia, ma potrebbero essere dovuti alla resistenza offerta dal sistema di conglomerato bituminoso).



Figura 3.5.1-13 Particolare dell'interfaccia del provino

- Si registrano, se occorre, eventuali commenti.

Questo procedimento viene seguito per ogni provino da testare e per ciascuno di essi l'apparecchiatura restituisce, come precedentemente detto, un file dati in cui vengono riportati, per ogni intervallo di misurazione effettuato, la forza di taglio e la deformazione. I risultati ottenuti vengono poi elaborati e si ricavano una serie di informazioni riportate nel capitolo 4.

### 3.5.2. Prova ASTRA

La prova ASTRA (Ancona Shear Testing Research and Analysis), progettata presso l'Università Politecnica delle Marche è una prova di taglio diretto che consente di valutare le prestazioni delle interfacce in sistemi bituminosi multistrato in laboratorio.

Grazie alla presenza della camera climatica all'interno della quale è contenuta la strumentazione è possibile variare la temperatura e l'umidità, inoltre è possibile variare anche il carico normale applicato, per mezzo di un sistema di leve e pesi. Il principio di funzionamento è sintetizzato in *Figura 3.5.2-1*, che mostra dettagliatamente tutti gli apparati di cui il macchinario è provvisto.

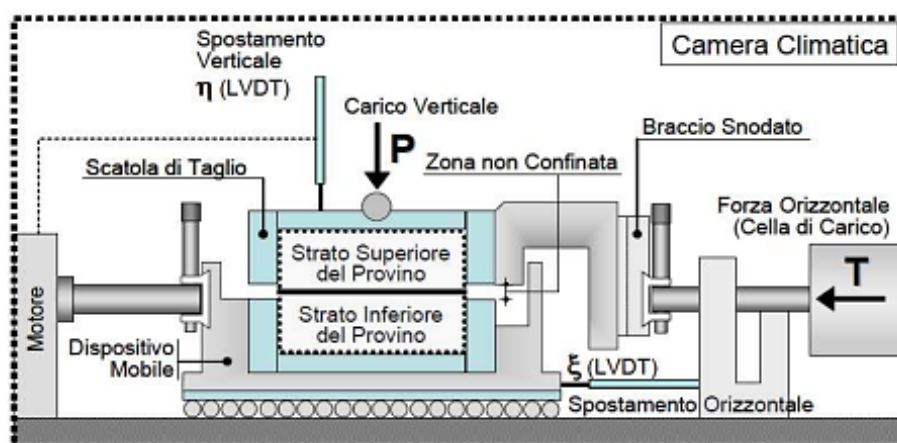
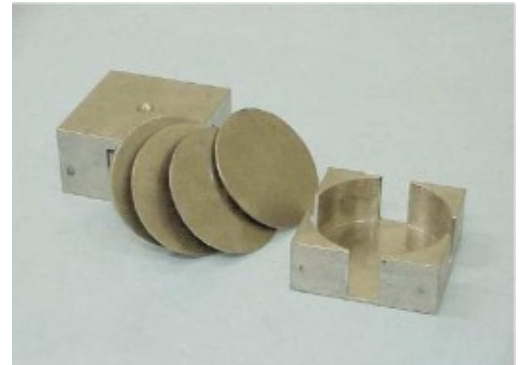


Figura 3.5.2-1 Schema prova ASTRA

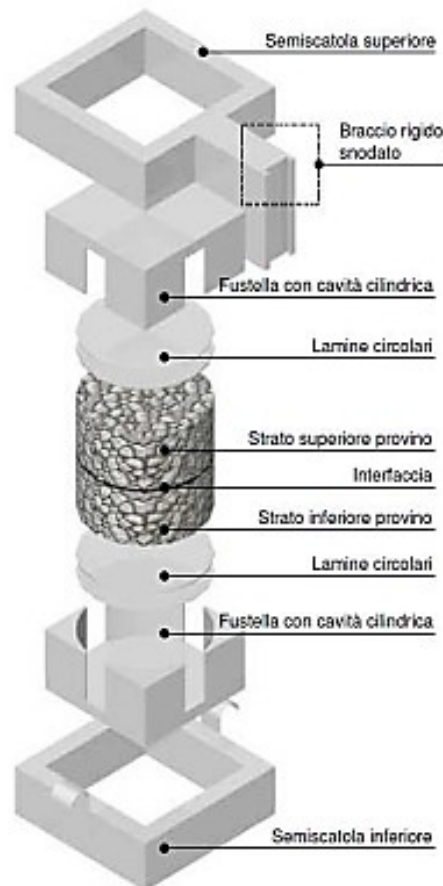
Il provino, ottenuto a partire da una lastra bistrato con interposizione di un layer di rinforzo è contenuto in due semiscatole, superiore e inferiore (*Figura 3.5.2-2*), distanziate tra loro in modo da lasciare una zona centrale non confinata, in corrispondenza dell'interfaccia. Per fare in modo che il provino sia posizionato correttamente si possono usare degli spessori costituiti da lamiere di altezza variabile aventi la stessa superficie del provino e delle semiscatole che lo contengono (*Figura 3.5.2-3*).



*Figura 3.5.2-2 Semiscatole superiore e inferiore*

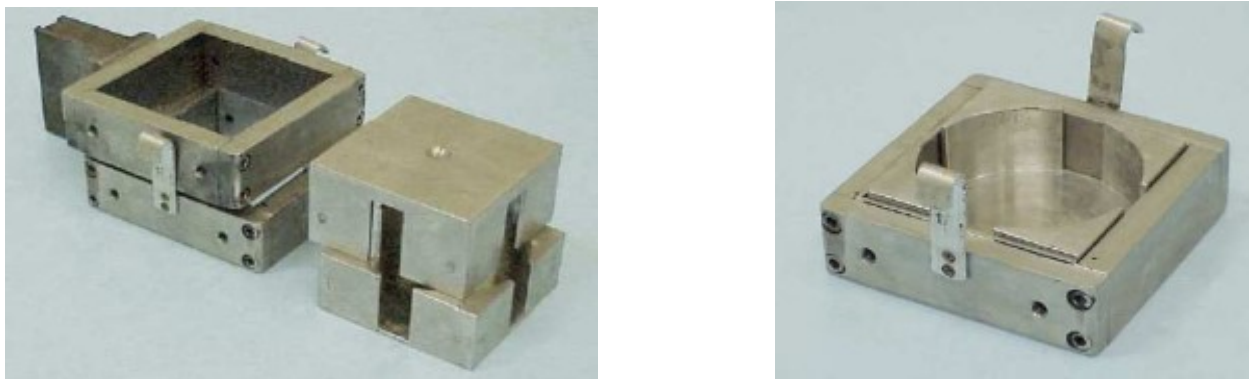


*Figura 3.5.2-3 Spessori di altezza variabile*



*Figura 3.5.2-4 Schema posizionamento provino*

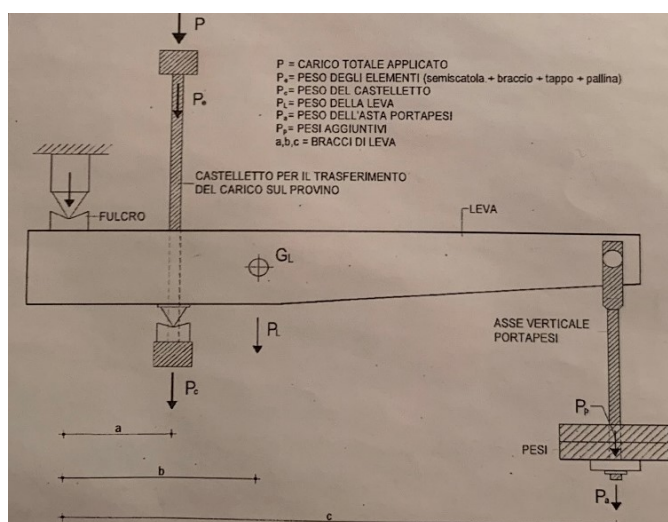
L'apparecchiatura è nata per testare sia provini prismatici, che cilindrici aventi diametro compreso tra i 95 e i 100 mm. Nell'ultimo caso sono stati ideati due elementi in acciaio, uno per ogni semiscatola, aventi sezione esterna quadrata come la scatola di taglio, e quella interna cilindrica per far alloggiare i provini in seguito al carotaggio (*Figura 3.5.2-5*).



*Figura 3.5.2-5 Semiscatole con adattatori per provini cilindrici*

L'obiettivo della prova è quello di portare a rottura l'interfaccia del provino imponendo uno scorrimento della semiscatola inferiore tramite una velocità di scorrimento costante pari a 2.5 mm/min, e mettendo a contrasto con una cella di carico quella superiore tramite la quale è possibile misurare in maniera continua la forza di taglio impressa. Le due semiscatole devono essere sufficientemente lontane e non a contatto tra loro in modo da lasciare il provino libero di rompersi senza imporre alcun piano preferenziale.

Sulla sommità dell'apparecchiatura inoltre è possibile applicare un carico ortogonale all'interfaccia facendo uso di un sistema di leve e pesi. Lo schema è riportato in *Figura 3.5.2-6*, mentre in *Figura 3.5.2-7* vengono mostrati i vari tipi di pesi a disposizione.



*Figura 3.5.2-6 Schema del dispositivo per applicazione normale di carichi*



*Figura 3.5.2-7 Pesì di varia entità*

E' possibile eseguire la prova imponendo tre diversi livelli di sforzo normale, generalmente pari a  $\sigma=0 - 0.2 - 0.4$  MPa, nello studio presente è stata usata una  $\sigma$  pari a 0.2 MPa.

Durante la prova, due trasduttori (LVTD), verticale e orizzontale, consentono di leggere istante per istante i relativi spostamenti verticali e orizzontali. Infine l'apparecchiatura è connessa a un sistema di acquisizione che consente di registrare i dati durante la prova.

L'esecuzione della prova è articolata in vari step:

- Adattamento del provino nelle semiscatole.

I provini vengono posizionati nelle semiscatole e con l'aiuto degli spessori cilindrici, come in *Figura 3.5.2-8*, si fa in modo che essi raggiungano il livello desiderato con il corretto posizionamento dell'interfaccia nella zona non confinata.



*Figura 3.5.2-8 Semiscatole con adattatori di raggiungimento livello*

- Successivamente il provino inserito nelle semiscatole viene reso solidale ad esse tramite un sistema di viti a scomparsa e poi posizionato nelle guide del dispositivo (*Figura 3.5.2-9*). E' importante considerare la direzione di compattazione del campione, in quanto deve essere parallela alla direzione di avanzamento del motore.



Figura 3.5.2-9 Semiscatole nel dispositivo mobile

- Si avvia il software Spider8-Control (Figura 3.5.2-10), un software appositamente creato per l'acquisizione dei dati rilevati dall'apparecchiatura durante lo svolgimento della prova.



Figura 3.5.2-10 Finestra principale del software Spider-8 Control

- Si applica lo sforzo normale desiderato posizionando per prima cosa una piccola sfera in sommità alla scatola di taglio nel punto centrale, in cui è presente una piccola depressione per favorire la collocazione. Al di sopra di essa viene appoggiato il castelletto, necessario per il trasferimento del carico sul provino, e nella parte inferiore di esso viene agganciata la leva al fulcro. All'estremità opposta, sulla leva, viene posizionato un asse verticale porta pesi, sul quale vengono inseriti tanti pesi di entità diversa fino a raggiungere lo sforzo normale desiderato (Figura 3.5.2-14). A questo proposito inoltre, per sapere quanto peso sia necessario per

equiparare gli sforzi desiderati, la *Tabella 3.5.2-1* offre un parallelismo tra massa applicata (Kg) e sforzo normale corrispondente ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ). Nelle prove effettuate su provini  $\phi 96$  si voleva trasmettere un carico verticale pari a  $2 \text{ Kg}/\text{cm}^2$  a cui corrispondono 11,7 Kg di massa totale da caricare.

		Aree ( $\text{cm}^2$ )					
		$\phi 100$	$\phi 99$	$\phi 98$	$\phi 97$	$\phi 96$	$\phi 95$
		78,54	76,98	75,43	73,9	72,38	70,88
$\sigma$ ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )	Peso necessario (Kg)						
	0	-	-	-	-	-	-
	2	13,1	12,8	12,4	12,1	11,7	11,4
	4	30,6	29,9	29,2	28,5	27,8	27,1
	6	48,0	47,0	45,9	44,9	43,9	42,9

*Tabella 3.5.2-1 Relazione tra massa applicata e sforzo normale generato*

- Viene aperta la finestra Setup Device (*Figura 3.5.2-11*), si seleziona File -> Load Setup e tramite il tasto "Tare" si azzerano tutte le letture degli strumenti di rilevamento. Infine dalla voce File -> Quit si ritorna alla schermata principale.



*Figura 3.5.2-11 Schermata Setup-Device*

- Si seleziona "Single Value Measurement" (*Figura 3.5.2-12*), e a questo punto si mette in moto il motore responsabile dello spostamento della scatola di taglio, che avanza verso la cella di carico. Quando nel riquadro "Channel 1" si legge un valore pari a 5-6 Kg, aziono il comando di stop. Il motore si ferma, e il pre-carico è stato messo.



Figura 3.5.2-12 Schermata Single value measurement

- Si seleziona “Exit”, e si ripete nuovamente la fase “Setup device” -> “File” -> “Load Setup” -> “Tare”.
- A questo punto si posiziona il trasduttore verticale partendo dal posizionamento della sferetta, castelletto, leva, pesi come precedentemente descritto, e dopo aver azzerato col comando “Tare”, si seleziona “Data Logger”, e successivamente “XY-Realtime Chart”, come si vede in Figura 3.5.2-13.

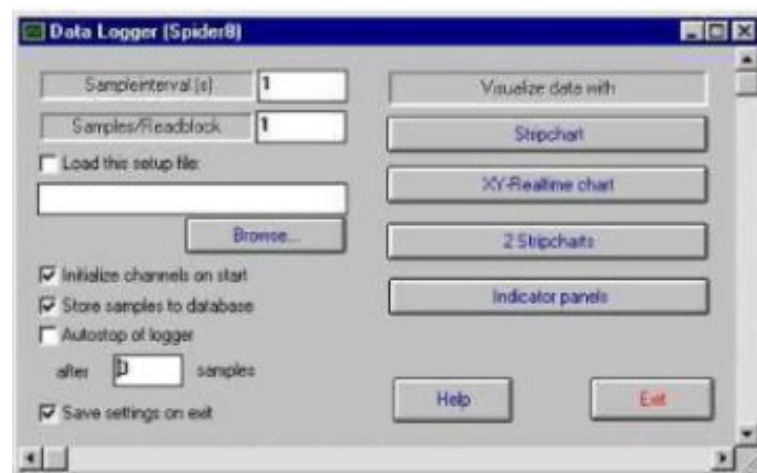


Figura 3.5.2-13 Schermata Data Logger

Durante lo svolgimento della prova, all'interno della camera climatica la situazione si presenta come in Figura 3.5.2-14:





*Figura 3.5.2-14 Apparecchiatura di prova in azione con carico verticale applicato*

- In questo momento si aziona il motore per l'avanzamento della scatola di taglio premendo il tasto "Start/Stop", e sullo schermo compare secondo per secondo un grafico sui piani X-Y che mostra la variazione della forza di taglio  $T(N)$  in relazione allo spostamento orizzontale  $\epsilon(mm)$ . L'acquisizione dati viene effettuata secondo per secondo, e si interrompe quando sono stati acquisiti un numero di dati sufficienti. Solitamente questa fase dura cinque minuti, pari a 300 dati acquisiti. Una volta terminato questo stadio si preme "Stop", ed il motore si ferma (*Figura 3.5.2-15*).

È importante controllare il valore che compare durante il moto sulla scatola grigia del motore. Infatti dovrò avere un valore pari a  $v \cdot 262$ , per esempio ad una velocità di 2.5 mm/min corrisponderà un valore circa pari a 655.



*Figura 3.5.2-15 Scatola di comando del motore*

- L'ultimo step è quello di esportare i dati in un file excell, grazie al comando "Data Export" presente sulla schermata principale, e una volta fatto ciò si può smontare il tutto procedendo a ritroso e ricominciare a testare un nuovo provino. I dati esportati su Excel forniscono quattro colonne di parametri: la forza di taglio, lo spostamento orizzontale, quello verticale e il tempo. Essi vengono successivamente elaborati tramite un apposito foglio di calcolo.

## CAPITOLO 4

### ANALISI DEI RISULTATI

#### 4.1 INTRODUZIONE

Nel capitolo seguente vengono riportati i risultati delle prove eseguite in questa sperimentazione. L'obiettivo che si pone questa analisi è di valutare e confrontare le prestazioni a taglio offerte da pavimentazioni rinforzate con diversi tipi di geocompositi considerando la loro applicazione in diverse configurazioni: su superficie fresata, su superficie liscia, e su provini confezionati ad hoc in laboratorio.

Per ottenere questi risultati i campioni sono stati sottoposti alle seguenti prove:

- prova di taglio Leutner, che consiste nell'applicazione di uno spostamento in corrispondenza del piano di taglio, con lo scopo di riprodurre il carico indotto dal passaggio dei veicoli sulla pavimentazione;
- prova di taglio ASTRA, che prevede oltre ad uno spostamento tangenziale in corrispondenza dell'interfaccia, l'applicazione di uno sforzo normale.

I test sono stati condotti su provini derivanti dall'allestimento di un campo prova lungo un tratto autostradale, in cui sono stati impiegati quattro tipi di geocompositi diversi.

Parallelamente, gli stessi materiali utilizzati in situ (conglomerato bituminoso, geocompositi, emulsione...) sono stati impiegati per il confezionamento di lastre bistrato da cui sono stati ricavati una serie di provini (*Tabella 4.1-1*).

LABORATORIO		T1		T6		T4	
LA_N1	ASTRA	T1_NA	Leutner	T6_N1	ASTRA	T4_N1	ASTRA
LA_N2	ASTRA	T1_NB	ASTRA	T6_N2	ASTRA	T4_N2	ASTRA
LL_N3	Leutner	T1_A1	Leutner	T6_N3	ASTRA	T4_N3	ASTRA
LL_N4	Leutner	T1_A2	Leutner	T6_N4	Leutner	T4_N4	Leutner
LL_N5	Leutner	T1_A3	ASTRA	T6_N5	Leutner	T4_N5	Leutner
LA_A1	ASTRA	T1_A4	ASTRA	T6_N6	Leutner	T4_N6	Leutner
LA_A2	ASTRA	T1_B7	Leutner	T6_A1	ASTRA	T4_A1	ASTRA
LL_A3	Leutner	T1_B8	Leutner	T6_A2	ASTRA	T4_A2	ASTRA
LL_A4	Leutner	T1_B9	ASTRA	T6_A3	ASTRA	T4_A3	ASTRA
LA_A6	ASTRA	T1_B12	ASTRA	T6_A4	Leutner	T4_A4	Leutner
LA_B1	ASTRA	T1_C13	Leutner	T6_A5	Leutner	T4_A5	Leutner
LA_B2	ASTRA	T1_C14	Leutner	T6_A6	Leutner	T4_A6	Leutner
LL_B3	Leutner	T1_C15	ASTRA	T6_B1	ASTRA	T4_B1	ASTRA
LL_B4	Leutner	T1_C16	ASTRA	T6_B2	ASTRA	T4_B2	ASTRA

LL_B5	Leutner	T1_C17	Leutner	T6_B3	ASTRA	T4_B3	ASTRA
LA_C1	ASTRA	T1_C18	ASTRA	T6_B4	Leutner	T4_B4	Leutner
LA_C2	ASTRA	T1_D20	Leutner	T6_B5	Leutner	T4_B5	Leutner
LL_C3	Leutner	T1_D21	Leutner	T6_B6	Leutner	T4_B6	Leutner
LL_C4	Leutner	T1_D22	Leutner	T6_C1	ASTRA	T4_C1	ASTRA
LL_C5	Leutner	T1_D23	ASTRA	T6_C2	ASTRA	T4_C2	ASTRA
LA_D1	ASTRA	T1_D24	ASTRA	T6_C3	ASTRA	T4_C3	ASTRA
LA_D2	ASTRA			T6_C4	Leutner	T4_C4	Leutner
LL_D3	Leutner			T6_C5	Leutner	T4_C5	Leutner
LL_D4	Leutner			T6_C6	Leutner	T4_C6	Leutner
LL_D5	Leutner			T6_D1	ASTRA	T4_D1	ASTRA
				T6_D2	ASTRA	T4_D2	ASTRA
				T6_D3	ASTRA	T4_D3	Leutner
				T6_D4	Leutner	T4_D4	Leutner
				T6_D5	Leutner	T4_D5	Leutner
				T6_D6	Leutner		

Tabella 4.1-1 Tabella riassuntiva

La prova Leutner è stata eseguita su 14 provini confezionati in laboratorio e su 41 provini provenienti dal sito autostradale (11 dal tronco T1, 15 dal tronco T6 e 15 dal tronco T4). Mentre la prova ASTRA è stata effettuata su 10 provini confezionati in laboratorio e su 39 provenienti dal sito autostradale (9 dal tronco T1, 15 dal tronco T6 e 15 dal tronco T4).

La configurazione finale assunta dai provini a seguito dei test condotti è differente a seconda che essi siano rinforzati con geocompositi o no. Sia per quelli sottoposti alla prova Leutner sia quelli studiati con la prova ASTRA, infatti, mostrano che i campioni non rinforzati subiscono una rottura netta in corrispondenza dell'interfaccia (totale separazione dei due layer) (Figura 4.1-1), mentre in quelli rinforzati, indipendentemente dal tipo di geocomposito presente e dal tipo di prova condotta (Leutner o ASTRA), le due interfacce non si separano completamente, ma avviene solo una traslazione in corrispondenza dell'interfaccia (Figura 4.1-2).

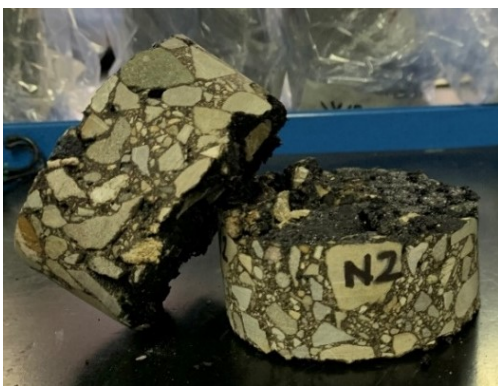


Figura 4.1-1 Completa separazione dei due strati



Figura 4.1-2 Slittamento

L'unica eccezione si è avuta per il campione T1\_D20, sottoposto a prova Leutner, che presenta una completa separazione degli strati in corrispondenza dell'interfaccia (*Figura 4.1-3*) dovuta probabilmente alla scarsa aderenza del geocomposito alla base inferiore, che potrebbe evidenziare un difetto localizzato durante la posa in opera.



*Figura 4.1-3 Particolare del provino T1\_D20*

## **4.2 PROVA LEUTNER**

Per ciascun provino l'apparecchiatura restituisce un file dati che riporta, per ogni intervallo di misurazione effettuato:

- la forza di taglio misurata dalla cella di carico;
- lo spostamento relativo tra la parte inferiore e la parte superiore, misurato da un trasduttore esterno. Questo spostamento è stato utilizzato per calcolare il tasso di deformazione di taglio all'interfaccia;
- lo spostamento della piastra di carico a velocità imposta costante (corsa).

Questi dati sono riportanti come funzioni del tempo in *Figura 4.2-1*.

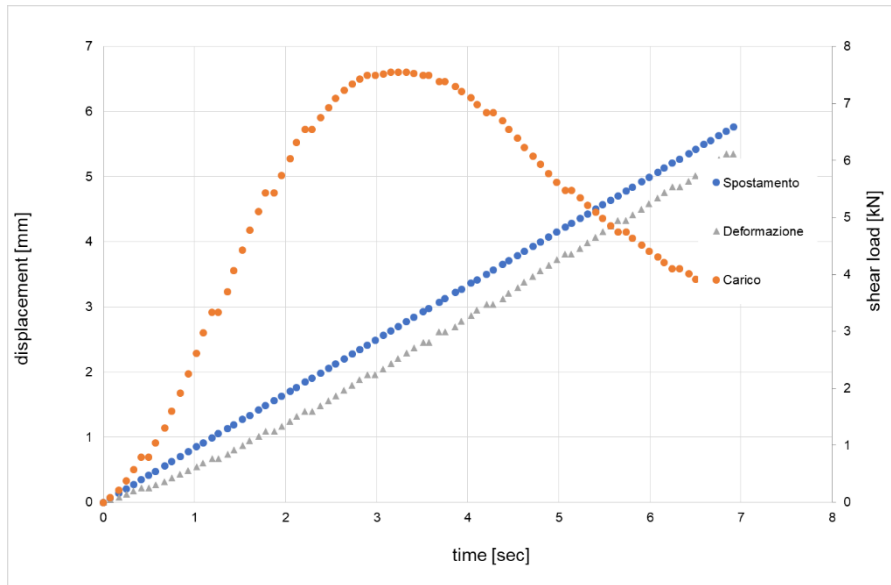


Figura 4.2-1 Andamento dello sforzo di taglio in funzione dello spostamento e del tempo provino LL\_B4

Come si può osservare, nella prima fase della prova carico e deformazione mostrano una fase costante iniziale dovuta all'assestamento del provino all'interno dell'apparecchiatura Leutner. A seguire, nella seconda fase sia il carico che la deformazione iniziano ad aumentare contemporaneamente, indicando che il carico misurato è dovuto allo spostamento relativo imposto al provino sui lati opposti dell'interfaccia (strato superiore e inferiore).

Si può inoltre vedere (Figura 4.2-2) che lo spostamento (applicato dalla pressa) e la deformazione (letta dal trasduttore) non coincidono, ma sono un po' distanziate tra loro; ciò è dovuto alla compliance della macchina.

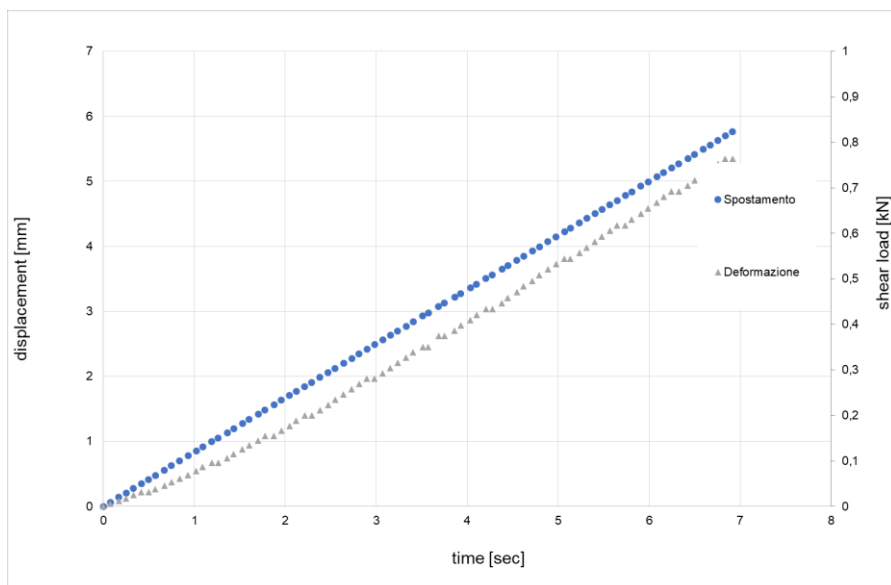


Figura 4.2-2 Particolare provino LL\_B4

In seguito verrà presa in considerazione solo la deformazione, in quanto è una misura diretta dello scorrimento in corrispondenza del piano di taglio che sta subendo il provino. La differenza tra il valore della deformazione e il valore dello spostamento è data dal fatto che con quest'ultimo si misurano anche attriti e resistenze meccaniche dovute alla macchina di prova.

Dall'elaborazione dei risultati ottenuti è possibile ricavare, per ogni provino, una serie di informazioni in termini di:

- sforzo di taglio [MPa] ovvero la sollecitazione massima a taglio dell'interfaccia

$$\tau = \frac{F}{\pi \times r^2}$$

dove:

F = forza di taglio verticale (N)

r = raggio iniziale del campione (mm)

Il grafico riportato prima è stato poi ripulito e usato per trovare la tangente (Figura 4.2-3) attraverso una regressione lineare.

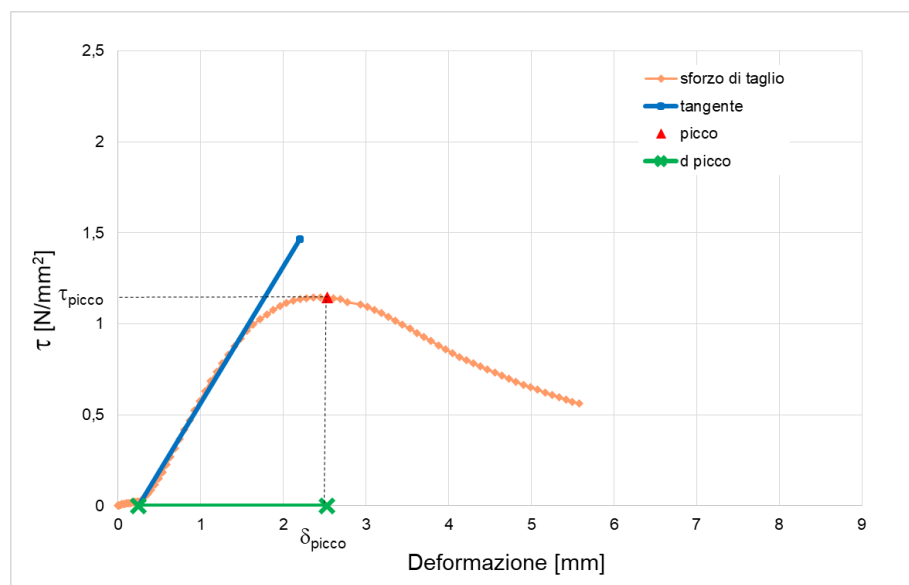


Figura 4.2-3 Andamento dello sforzo di taglio in funzione della deformazione relativo al provino LL\_B4

Dal grafico è possibile determinare i seguenti parametri:

- 1)  $\tau_{max}$  = sforzo di taglio di picco (MPa), cioè la massima sollecitazione a cui è sottoposta l'interfaccia;

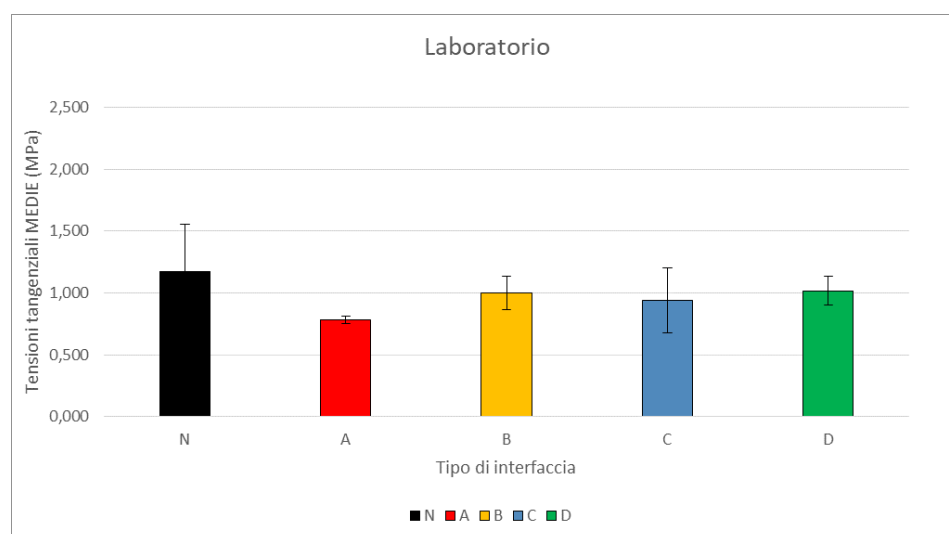
- 2)  $\delta_{max}$  = deformazione corrispondente alla massima sollecitazione di taglio (mm);
- 3)  $\delta_{picco}$  = deformazione di picco, è la differenza tra la deformazione corrispondente alla massima sollecitazione di taglio e l'intersezione della retta tangente con l'asse delle ascisse;

Nella *Tabella 4.2-1* viene riportata l'equazione della retta tangente dei diversi campioni analizzati con la prova Leutner.

LABORATORIO		T1		T6		T4	
Codice	Eq. Retta tangente	Codice	Eq. Retta tangente	Codice	Eq. Retta tangente	Codice	Eq. Retta tangente
LL_N3	Y=1,518X-0,658	T1_NA	Y=0,782X+0,107	T6_N4	Y=0,678X+0,588	T4_N4	Y=1,388X-0,089
LL_N4	Y=0,928X-0,520	T1_A1	Y=0,716X+0,182	T6_N5	Y=0,536X+0,669	T4_N5	Y=0,997X-0,023
LL_N5	Y=1,518X-0,658	T1_A2	Y=0,448X-0,146	T6_N6	Y=0,890X+1,114	T4_N6	Y=1,686X-0,102
LL_A3	Y=0,415X-0,086	T1_B7	Y=0,335X+0,109	T6_A4	Y=0,370X+0,275	T4_A4	Y=0,442X+0,001
LL_A4	Y=0,524X-0,079	T1_B8	Y=0,248X+0,090	T6_A5	Y=0,443X+0,571	T4_A5	Y=0,275X-0,019
LL_B3	Y=0,526X-0,084	T1_C13	Y=0,405X+0,092	T6_A6	Y=0,468X+0,477	T4_A6	Y=0,410X-0,006
LL_B4	Y=0,750X-0,183	T1_C14	Y=0,147X+0,029	T6_B4	Y=0,192X+0,034	T4_B4	Y=0,265X-0,142
LL_B5	Y=0,803X-0,176	T1_C17	Y=0,185X+0,001	T6_B5	Y=0,254X-0,008	T4_B5	Y=0,303X-0,026
LL_C3	Y=0,382X-0,046	T1_D20	Y=0,309X+0,001	T6_B6	Y=0,667X+0,308	T4_B6	Y=0,597X-0,009
LL_C4	Y=1,091X-0,134	T1_D21	Y=0,533X-0,031	T6_C4	Y=0,481X+0,253	T4_C4	Y=0,720X-0,042
LL_C5	Y=0,637X-0,030	T1_D22	Y=0,116X+0,104	T6_C5	Y=0,691X+0,585	T4_C5	Y=0,358X-0,063
LL_D3	Y=0,556X-0,204			T6_C6	Y=0,401X+0,303	T4_C6	Y=0,553X-0,037
LL_D4	Y=1,060X-0,131			T6_D4	Y=0,260X+0,213	T4_D3	Y=0,387X+0,001
LL_D5	Y=0,597X-0,092			T6_D5	Y=0,479X+0,343	T4_D4	Y=1,246X-0,044
				T6_D6	Y=0,265X+0,254	T4_D5	Y=0,305X-0,075

*Tabella 4.2-1 Equazione retta tangente*

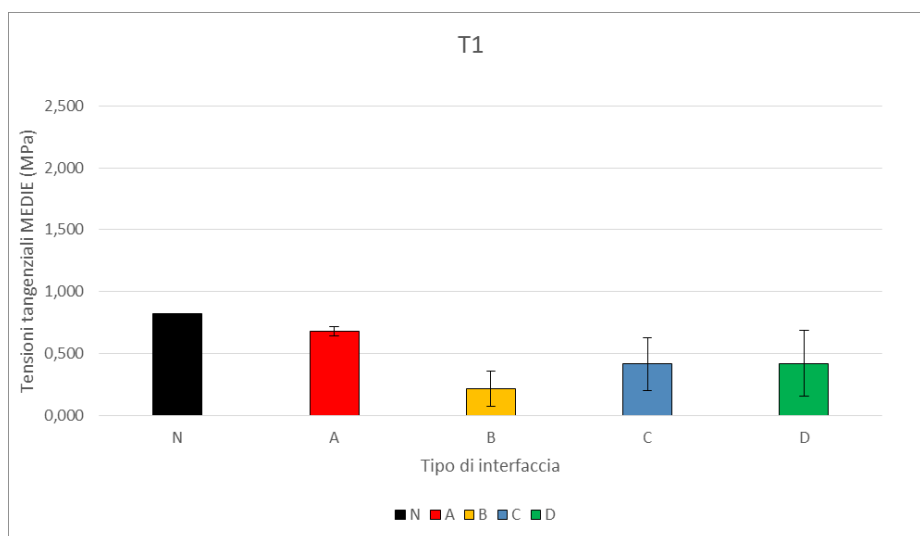
Nei grafici sottostanti si pongono a confronto i valori medi di  $\tau$  e  $\delta$  corretta di ciascuna tipologia di rinforzo per i provini confezionati in laboratorio e quelli in sito, al fine di confrontare in maniera più diretta i valori medi ottenuti dall'analisi dei dati della prova Leutner. Sui grafici vengono riportate anche le barre di errore espresse in termini di deviazione standard.



*Figura 4.2-4 Confronto valori medi dello sforzo di taglio – Laboratorio*



Il grafico in *Figura 4.2-4* rivela che, come ci si poteva aspettare, i valori dello sforzo di taglio di N ha picchi più elevati rispetto agli altri geocompositi, e ciò è dovuto ad un maggiore ingranamento tra i due strati dal momento che non vi è l'interpolazione di alcun geocomposito, che con il suo spessore rappresenta un elemento di separazione. B e D godono praticamente delle stesse performance, che sono confrontabili con quelle offerte dal geocomposito C, mentre A mostra valori più bassi. Tuttavia N ha una maggiore dispersione dei valori dello sforzo di taglio, mentre le prove effettuate su provini rinforzati con geocompositi appaiono più ripetibili.



*Figura 4.2-5 Confronto valori medi dello sforzo di taglio – Tronco T1*

Il tronco T1 (*Figura 4.2-5*), caratterizzato dall'applicazione dei geocompositi su una superficie fresata, evidenzia che N ha valori di sforzo di taglio più elevati, seguito da A. C e D hanno valori confrontabili tra loro ma minori di N ed A e con maggiore dispersione. B invece offre le prestazioni peggiori lungo il Tronco T1. Tuttavia proprio il geocomposito B è apparso essere quello più appiccicoso; durante le operazioni di prelievo sono state riscontrate delle difficoltà nella fuoriuscita delle carote poiché esse rimanevano incollate al carotiere, e gli operatori hanno fatto forza tirandole dalla porzione inferiore, disturbando fortemente l'interfaccia. Pertanto i risultati ottenuti dai campioni prelevati lungo T1 non possono essere considerati affidabili, e vengono illustrati solo a scopo comparativo con il Tronco T6, per mettere in luce l'importanza e l'attenzione necessaria durante le azioni in fase di prelievo. Il T6 infatti è del tutto identico al T1, con l'unica differenza che questa volta le carote non sono state disturbate in fase di prelievo.

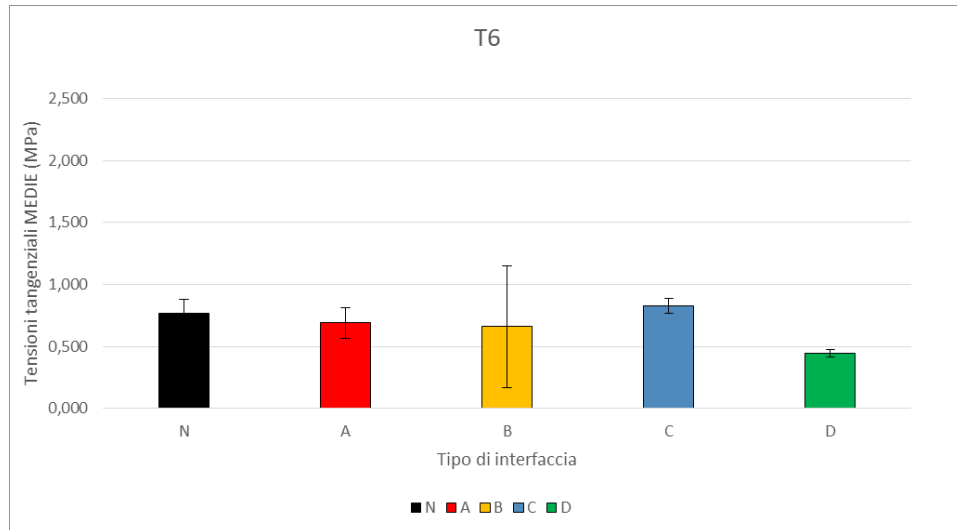


Figura 4.2-6 Confronto valori medi dello sforzo di taglio – Tronco T6

Nel grafico inerente al tronco T6 (Figura 4.2-6) si osservano valori più alti per la configurazione C, poco superiori a N, seguiti da A, B e D. Si può notare come il geocomposito B sia affetto da una maggior dispersione dei risultati, continuando ad essere in contrasto con i risultati ottenuti sui provini di laboratorio. Ciò potrebbe dipendere dal fatto che il geocomposito B è l'unico a non possedere una rete di rinforzo al suo interno, ma il telo che lo compone è di tipo continuo e risulta piuttosto rigido, pertanto nonostante l'applicazione e compattazione di uno strato in conglomerato bituminoso al di sopra, esso non aderisce perfettamente alla rugosità superficiale dello strato fresato, causando inevitabilmente un effetto di separazione maggiore e di conseguenza dei valori di picco minori.

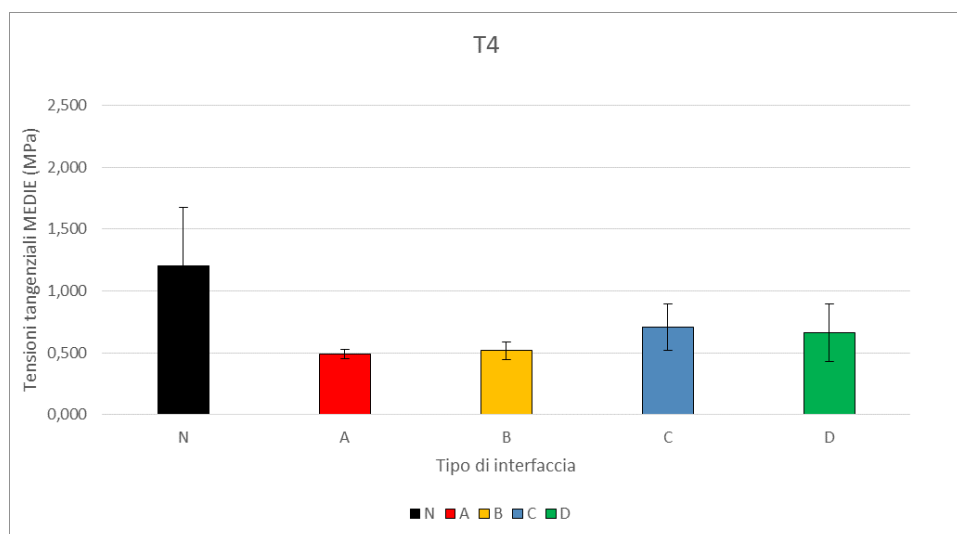
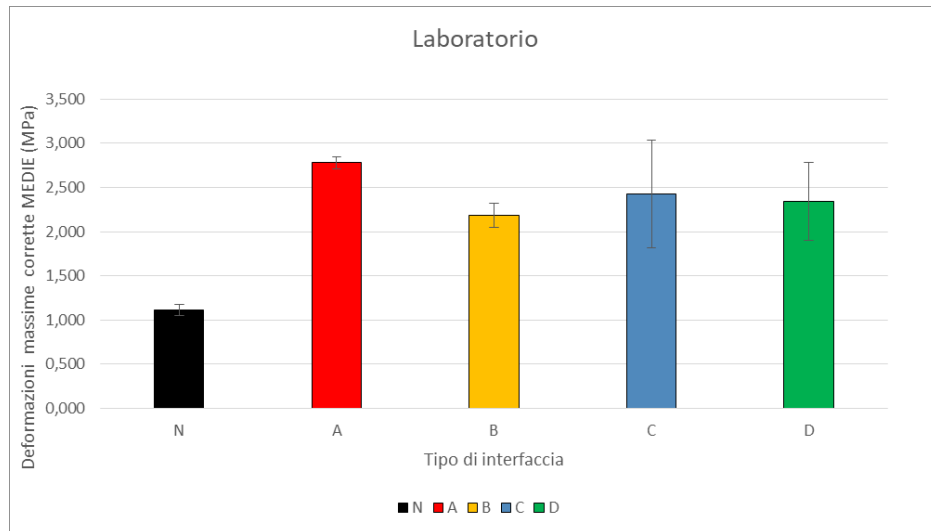


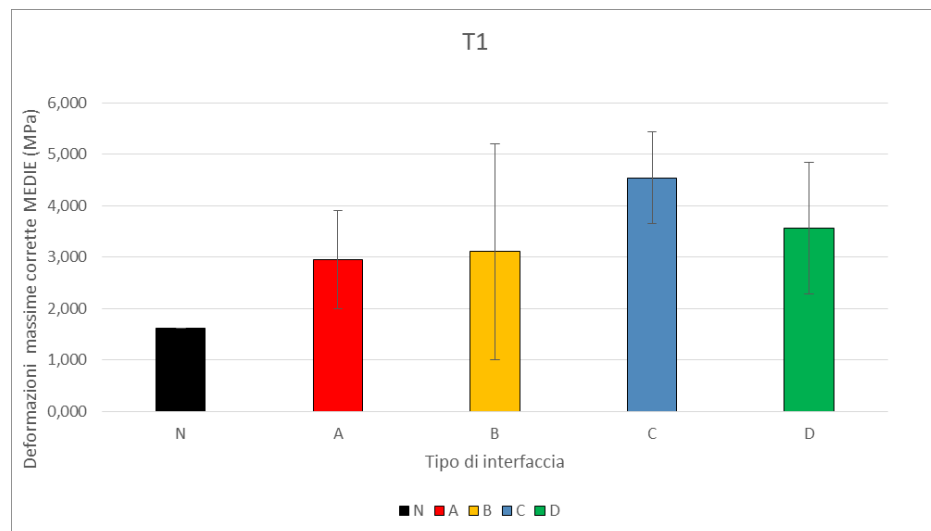
Figura 4.2-7 Confronto valori medi dello sforzo di taglio – Tronco T4

Il Tronco T4, caratterizzato dall'applicazione dei sistemi di rinforzo su una superficie liscia (new on new) consente di creare un parallelismo con i provini realizzati in laboratorio. Dalla *Figura 4.2-7* si evince che la configurazione non rinforzata (N) presenta i massimi valori, seguiti da C, D, B ed in ultimo A.



*Figura 4.2-8 Confronto valori medi dello deformazione al picco corretta – Laboratorio*

Si può notare in *Figura 4.2-8* che A ha valori più elevati degli altri. C e D sono confrontabili tra loro ma con dispersione maggiore mentre N è quello che ha valori di deformazione minori.



*Figura 4.2-9 Confronto valori medi dello deformazione al picco corretta – Tronco T1*

In *Figura 4.2-9* si osservano valori di deformazione maggiori in C, mentre N risulta avere valori minori rispetto agli altri. A, B e D hanno valori più o meno paragonabili. Inoltre si nota una dispersione elevata, in particolare per il B.

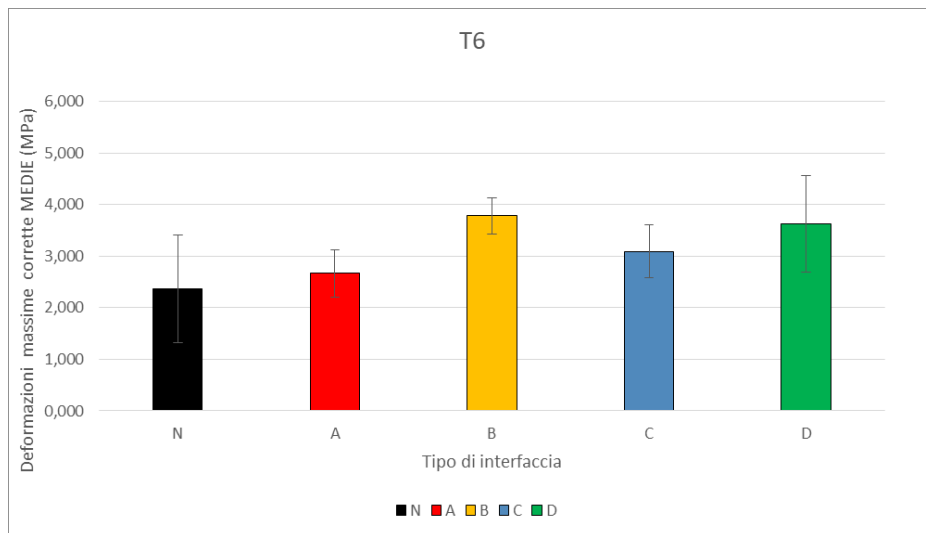


Figura 4.2-10 Confronto valori medi dello deformazione al picco corretta – Tronco T6

Per quanto riguarda i valori medi della deformazione (*Figura 4.2-10*) si nota che B e D hanno i valori maggiori, seguiti da C, mentre N ed A hanno valori paragonabili tra loro ma minori rispetto agli altri. N e D risultano essere quelli con dispersione maggiore.

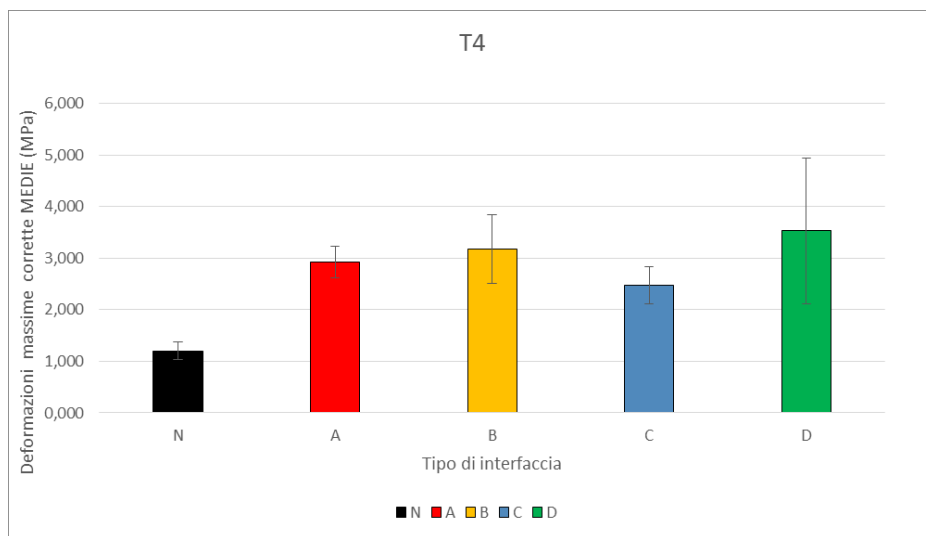


Figura 4.2-11 Confronto valori medi dello deformazione al picco corretta – Tronco T4

Per quanto riguarda i valori medi della deformazione (*Figura 4.2-11*) risultano essere maggiori e paragonabili in D, B ed A. C e N hanno anch'essi valori minori rispetto agli altri. Inoltre si osserva una dispersione maggiore in B e D.

Di seguito vengono riportati i grafici, divisi per tipologia di rinforzo, relativi al confronto dei provini confezionati in laboratorio e prelevati nei diversi tronchi.

Nei seguenti grafici il tronco T1 non viene menzionato, in quanto, a causa del disturbo in fase di

prelievo, non è considerabile come rappresentativo.

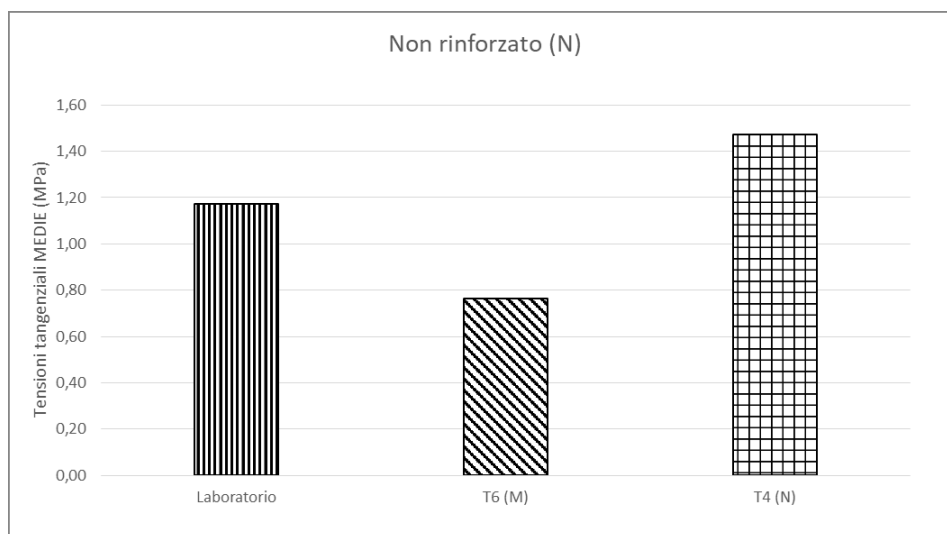


Figura 4.2-12 Confronto valori medi dello sforzo di taglio – Non rinforzato

Dal seguente grafico (Figura 4.2-12) è possibile confrontare i valori dei provini in laboratorio con quelli del tronco T4 (configurazione nuovo su nuovo). T4 risulta avere valori più elevati di laboratorio. T6 (in configurazione fresato su nuovo) risulta avere valori inferiori rispetto alla configurazione nuovo su nuovo.

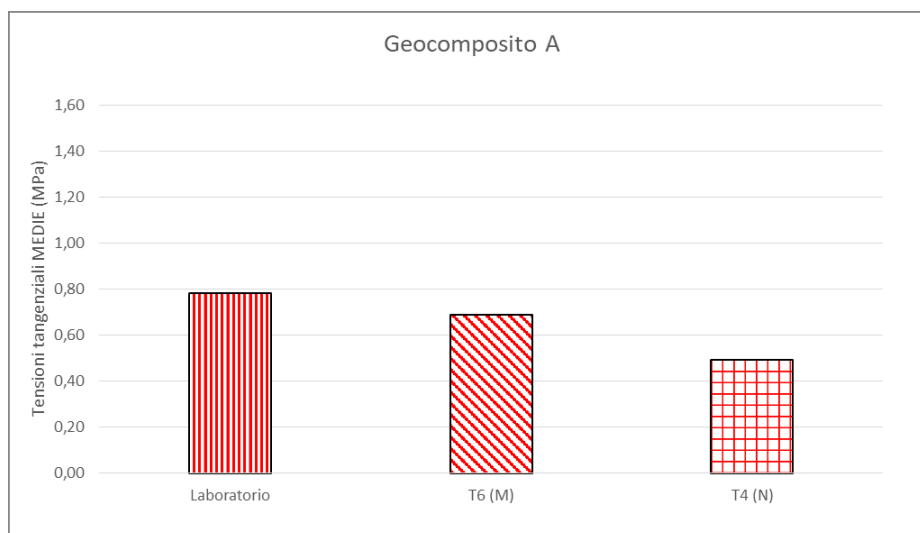


Figura 4.2-13 Confronto valori medi dello sforzo di taglio – Geocomposito A

Nel grafico in Figura 4.2-13 si osserva come laboratorio sia maggiore di T4, nonostante in entrambe le configurazioni l'applicazione del geocomposito abbia riguardato una superficie liscia data dalla compattazione del conglomerato bituminoso, mentre T6 evidenzia prestazioni migliori rispetto alla configurazione nuovo su nuovo in sito.

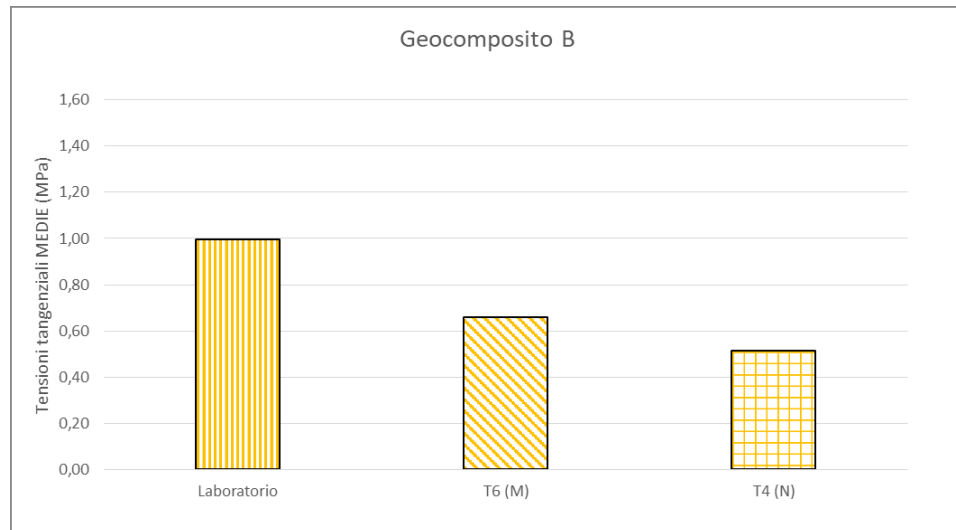


Figura 4.2-14 Confronto valori medi dello sforzo di taglio – Geocomposito B

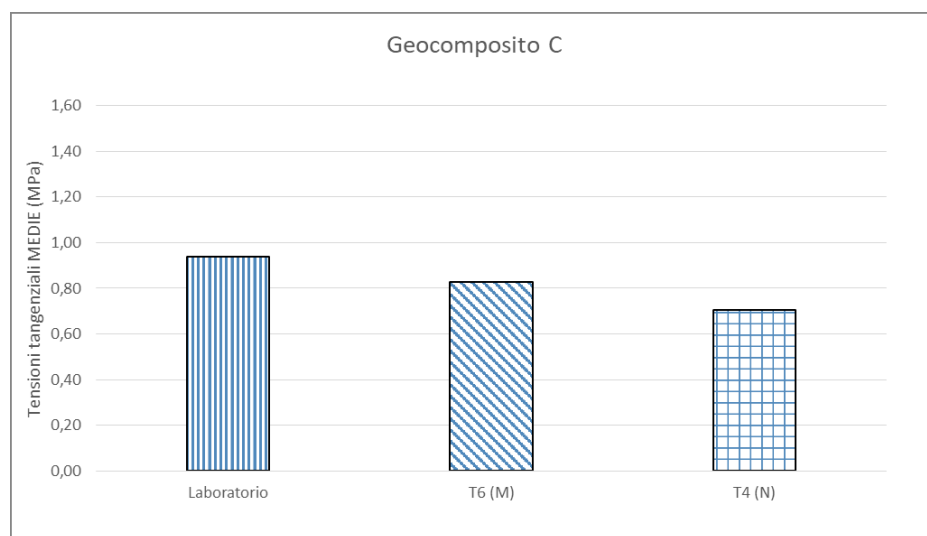
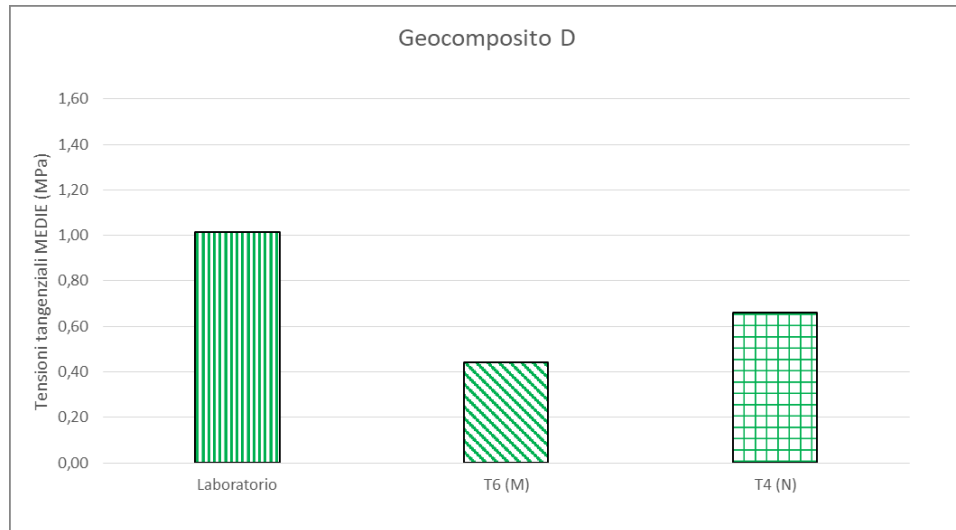


Figura 4.2-15 Confronto valori medi dello sforzo di taglio – Geocomposito C

Sia in *Figura 4.2-14* che *4.2-15* si nota una penalizzazione delle performance nel T4 se comparato con i risultati derivanti dai campioni di laboratorio, mentre il tronco T6 evidenzia migliori prestazioni del geocomposito su superficie fresata rispetto al T4.



*Figura 4.2-16 Confronto valori medi dello sforzo di taglio – Geocomposito D*

Dal grafico in *Figura 4.2-16* è possibile notare come la configurazione di laboratorio e quella T4 siano le più resistenti nonostante un sensibile decremento delle prestazioni rispetto ai provini confezionati in laboratorio, mentre T6 ha una resistenza confrontabile ma minore di T4.

### **4.3 PROVA ASTRA**

Per ciascun provino sottoposto alla prova di taglio, l'apparecchiatura restituisce un file-dati in cui sono riportate in funzione del tempo le tre grandezze principali:

- forza di taglio;
- spostamento orizzontale;
- spostamento verticale.

Da questi dati è possibile ottenere altri parametri tramite una semplice elaborazione, ed ottenere una rappresentazione grafica delle varie grandezze.

#### Taglio Vs. Spostamento orizzontale

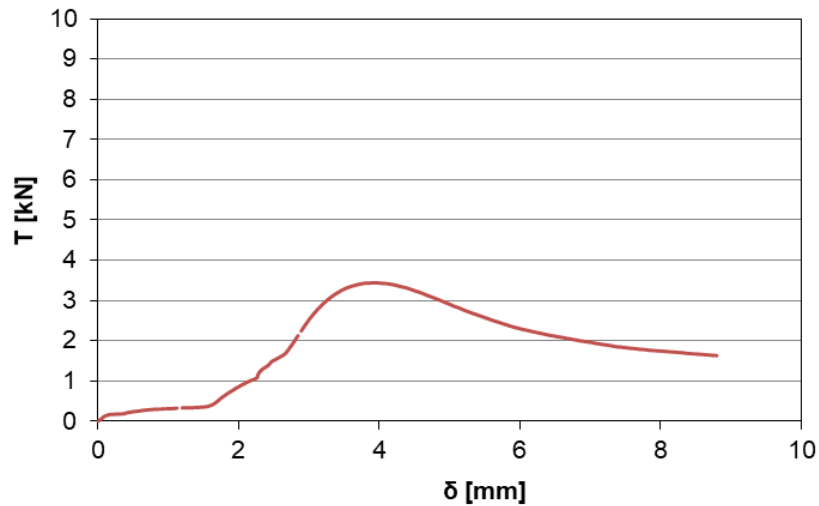


Figura 4.3-1 Grafico forza di taglio-spostamento provino LA\_B2

Il seguente grafico (Figura 4.3-1) consente di valutare la resistenza a taglio all'aumentare dello spostamento. La curva è suddivisibile in una fase di crescita, fino ad arrivare ad un picco massimo, ed una fase di discesa fino a descrivere un asintoto orizzontale. È importante fare attenzione all'andamento della curva in quanto, se essa una volta superato il picco scende in modo brusco, significa che una volta arrivata la rottura, le capacità di resistenza si annullano totalmente. Invece, se la pendenza della campana nel tratto in discesa si addolcisce, e la curva non torna a zero, ma mantiene un valore residuo della forza di taglio, vuol dire che il materiale continua a garantire buone prestazioni anche dopo la rottura.

#### Sforzo normale Vs. Sforzo tangenziale

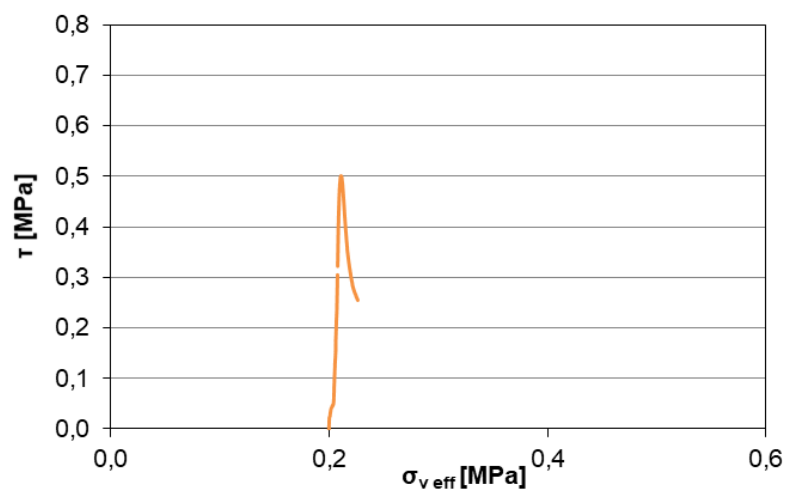


Figura 4.3-2 Grafico sforzo normale-sforzo tangenziale provino LA\_B2



Lo sforzo normale è il rapporto tra la forza normale applicata e l'area effettiva di contatto, mentre lo sforzo tangenziale è dato dal rapporto tra la forza tangenziale misurata e l'area effettiva di contatto. L'area effettiva di contatto è l'area compresa tra le due sezioni trasversali che formano l'interfaccia del provino. All'inizio della prova è pari all'area del provino cilindrico, poi diminuisce man mano che aumenta lo scorrimento tra le due facce (Figura 4.3-3).

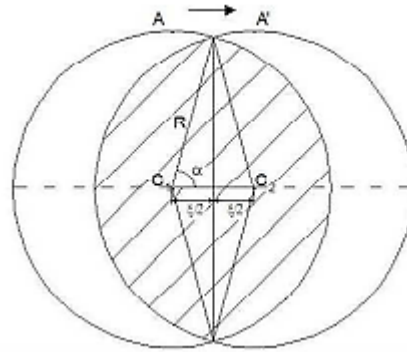


Figura 4.3-3 Schema area effettiva di contatto

L'area effettiva è calcolata in funzione dello spostamento del provino (eccentricità tra i due cerchi) e del semiangolo al centro.

$$A_{eff} = 2 \cdot \left( \alpha \cdot R^2 - \frac{\xi}{2} \cdot \sqrt{R^2 - \left(\frac{\xi}{2}\right)^2} \right)$$

dove:

$A_{eff}$  = area effettiva (mm<sup>2</sup>);

$\alpha$  = semiangolo al centro (rad);

$R$  = raggio del provino (mm);

$\xi$  = spostamento orizzontale del provino (mm).

### Dilatanza Vs. Spostamento orizzontale

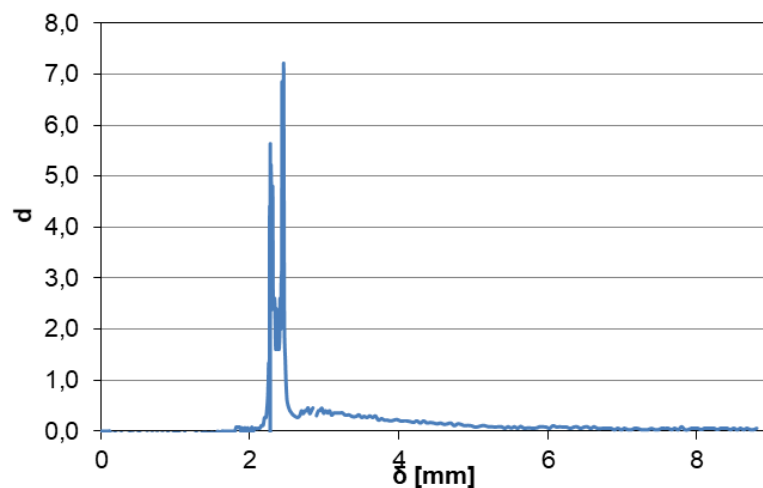
Con il termine dilatanza, si intende quel fenomeno puramente geometrico che dà un contributo alla resistenza a taglio. Più un materiale è dilatante e più è resistente a taglio. La dilatanza viene calcolata come il rapporto tra lo spostamento verticale relativo e lo

spostamento orizzontale relativo, intendendo per “relativo” lo spostamento compiuto nell’intervallo di tempo di 5 secondi (differenza tra lo spostamento attuale e quello all’istante precedente).

In termini matematici si può scrivere:

$$d = \frac{\Delta\eta}{\Delta\xi}$$

La dilatanza è generata dalla compenetrazione dei granuli all’interfaccia tra i due strati e può essere rappresentata in funzione dello spostamento orizzontale come mostrato in *Figura 4.3-4*.



*Figura 4.3-4 Grafico dilatanza-spostamento orizzontale provino LA\_B2*

Il picco rappresenta la soglia di passaggio tra le condizioni elastiche ed anelastiche, ed è proprio in questo punto che viene rilasciata tutta l’energia precedentemente accumulata sotto forma di energia elastica.

Nella sperimentazione in esame ci siamo soffermati sullo sforzo di taglio  $\tau$ .

Nei grafici sottostanti si pongono a confronto i valori mediati di  $\tau$  di picco e  $\tau$  residua di ciascuna tipologia di rinforzo per i provini confezionati in laboratorio e quelli in sito, al fine di confrontare in maniera più diretta i valori medi ottenuti dall’analisi dei dati della prova Leutner. Sui grafici vengono riportate anche le barre di errore espresse in termini di deviazione standard.

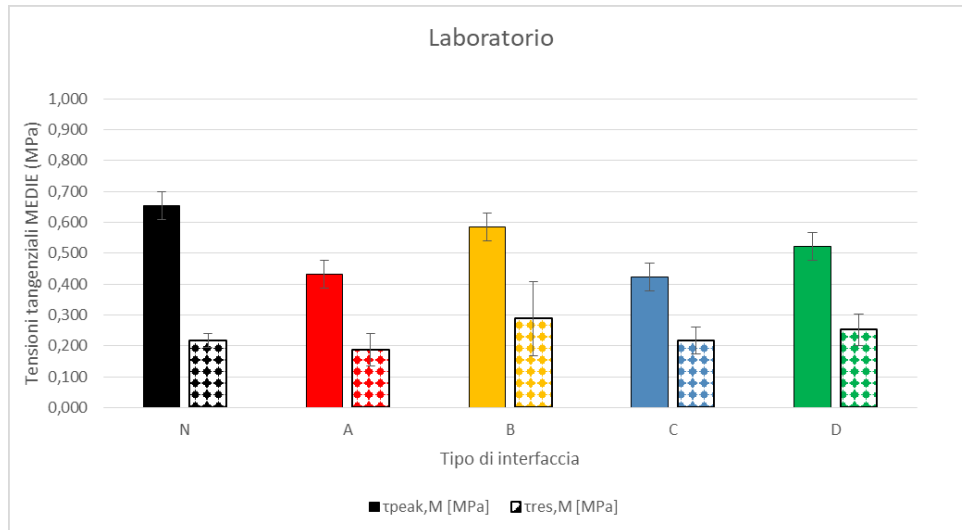


Figura 4.3-5 Confronto valori medi delle tensioni tangenziali – Laboratorio

Per quanto riguarda le tensioni di picco (Figura 4.3-5), N risulta avere i valori più alti. B e D sembrano avere valori più o meno confrontabili minori di N ma maggiori di A e C. A e C hanno valori confrontabili ma minori rispetto agli altri. Tutte e cinque le configurazioni hanno una dispersione contenuta.

I valori delle tensioni residue sono maggiori in B, ma è presente anche una dispersione maggiore rispetto agli altri.

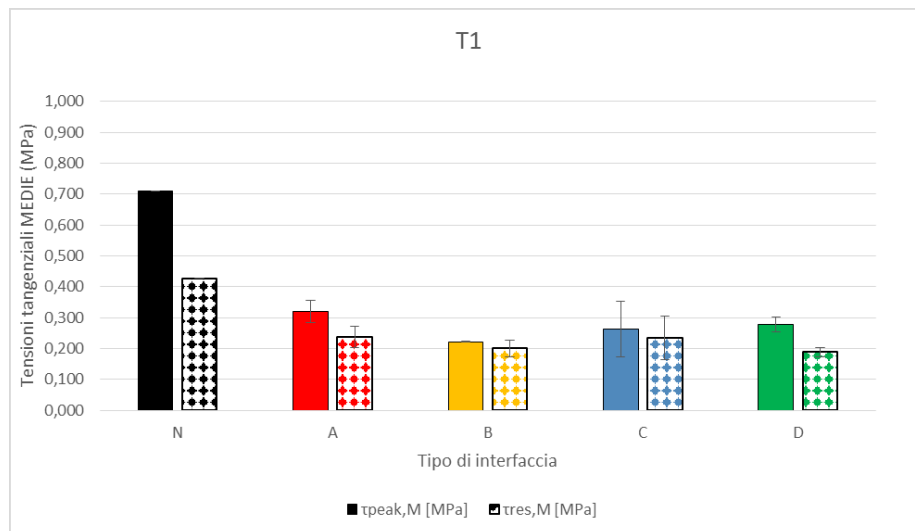


Figura 4.3-6 Confronto valori medi delle tensioni tangenziali – Tronco T1

Nel tronco T1 (Figura 4.3-6) si osserva come N ha valori di tensioni di picco più elevati rispetto agli altri. A ha valori minori di N ma sempre maggiori degli altri tre. C e D hanno valori confrontabili tra di loro ma minori a N ed A. B ha valori minori di tutti gli altri. La dispersione risulta essere maggiore in C. per quanto riguarda le tensioni residue vale lo stesso discorso. Ma, come precisato precedentemente, i valori del tronco T1, a causa del disturbo in fase di prelievo, non sono

considerati attendibili.

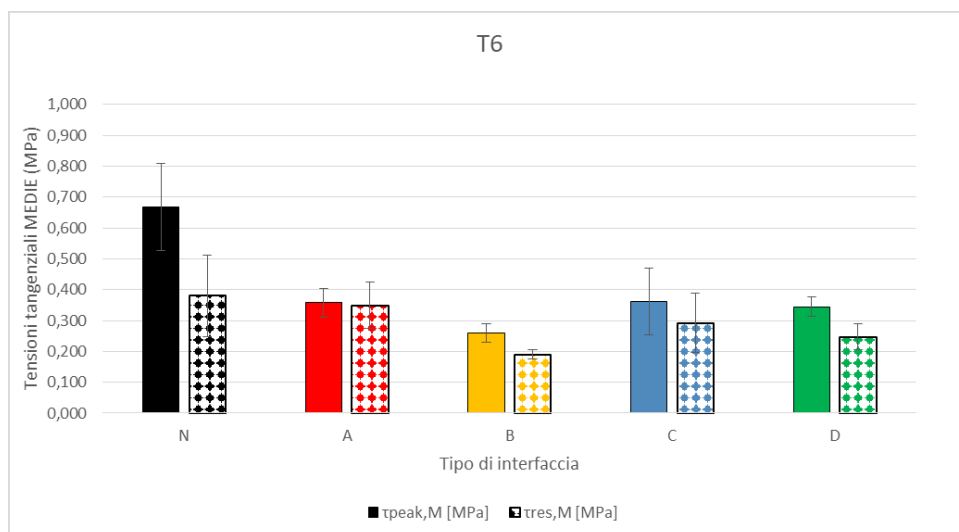


Figura 4.3-7 Confronto valori medi delle tensioni tangenziali – Tronco T6

Nel grafico inerente al tronco T6 (Figura 4.3-7) si notano valori di tensioni di picco maggiori in N. A, C e D hanno valori confrontabili tra di loro ma minori di N e maggiori B. B risulta avere valori di tensioni di picco minori rispetto agli altri. Come esposto durante la trattazione dei risultati delle prove Leutner, questo comportamento può essere ancora una volta spiegato dalla composizione del geocomposito B, che in caso di superficie fresata non riesce ad esprimere le sue migliori performance, contrariamente a quanto avviene su superficie liscia. La dispersione risulta più elevata in N e C.

Riguardo le tensioni residue valgono le stesse ipotesi delle tensioni di picco, con la differenza che i valori di N sono confrontabili con quelli di A.

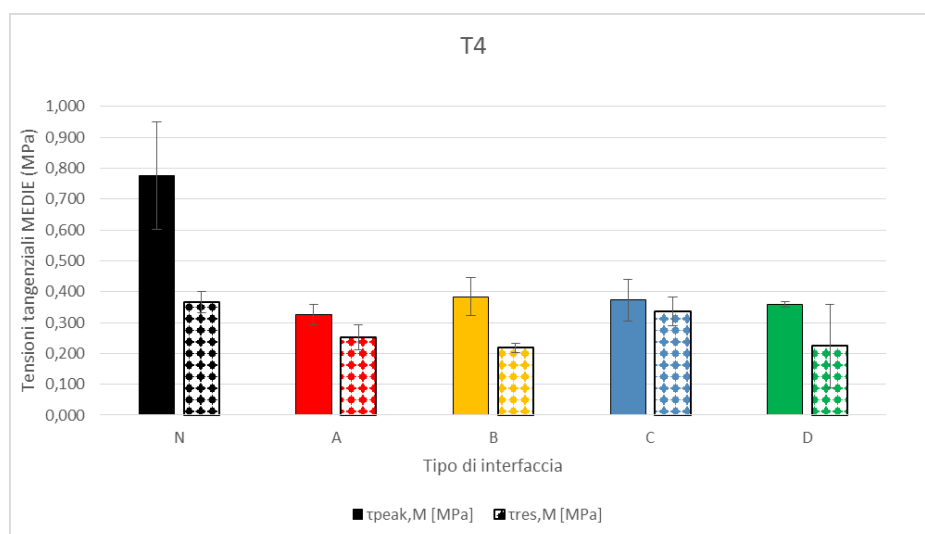


Figura 4.3-8 Confronto valori medi delle tensioni tangenziali – Tronco T4

Nel grafico relativo al tronco T4 (Figura 4.3-8), N ha sempre i valori di tensione di picco maggiore,

ma anche con dispersione più elevata, seguiti da B, C e D che hanno valori paragonabili tra di loro. Il geocomposito A ha valori di picco minori rispetto agli altri. Riguardo le tensioni residue N e C hanno valori confrontabili tra di loro e più elevati degli altri. A, B e D hanno valori minori.

Di seguito vengono riportati i grafici, divisi per tipologia di rinforzo, relativi al confronto dei provini confezionati in laboratorio e prelevati nei diversi tronchi.

Nei seguenti grafici, come per quelli della Leutner, il tronco T1 non viene menzionato, in quanto, a causa del disturbo in fase di prelievo, non è considerabile come rappresentativo.

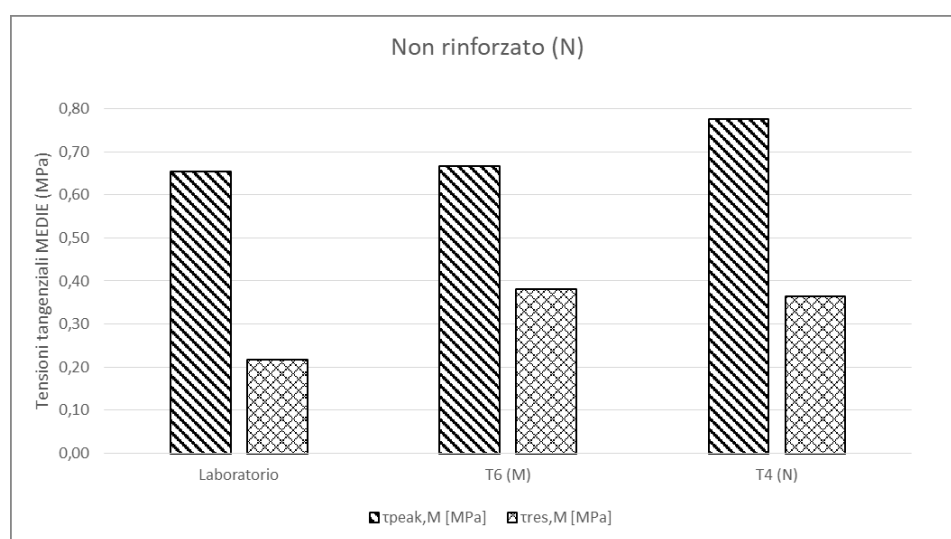


Figura 4.3-9 Confronto valori medi dello sforzo di taglio – Non rinforzato

Dal grafico (Figura 4.3-9) si può notare come, pure avendo la stessa configurazione (new on new), T4 sia più resistente dei provini confezionati in laboratorio, mentre T6 hanno valori di picco paragonabili a quelli ottenuti su provini di laboratorio.

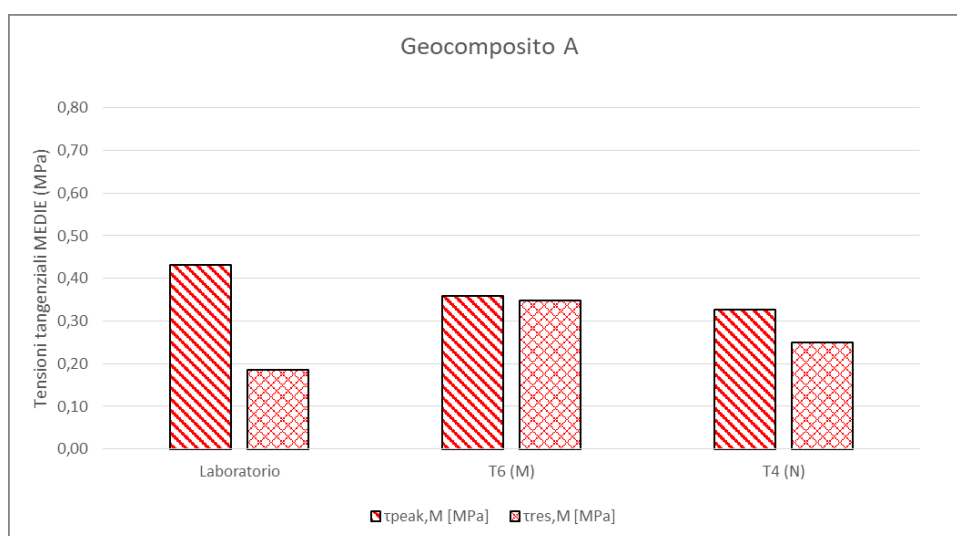
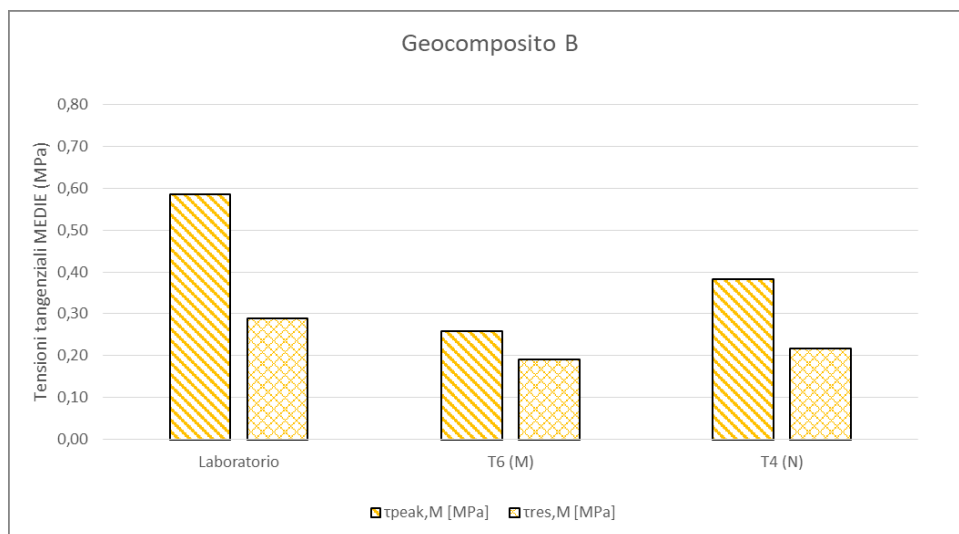


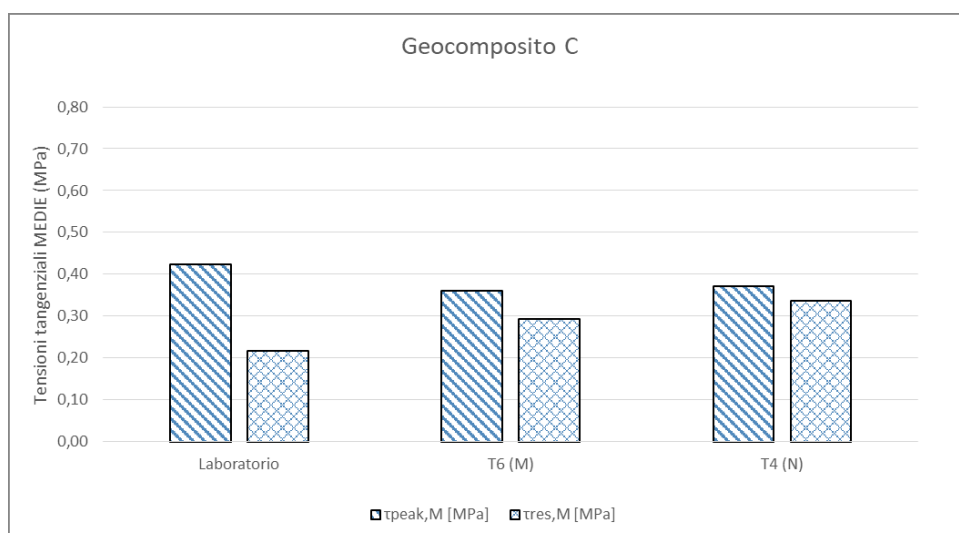
Figura 4.3-10 Confronto valori medi dello sforzo di taglio – Geocomposito A

Dal grafico (*Figura 4.3-10*) si desume che laboratorio ha valori più alti di T4, mentre T6 ha valori paragonabili a quelli di T4.



*Figura 4.3-11 Confronto valori medi dello sforzo di taglio – Geocomposito B*

In *Figura 4.3-11* si osserva come tra T4 e i provini confezionati in laboratorio siano più resistenti questi ultimi. T6 risulta avere valori minori rispetto agli altri. Si evince dunque come la configurazione nuovo su nuovo sia migliore di quella fresato su nuovo.



*Figura 4.3-12 Confronto valori medi dello sforzo di taglio – Geocomposito C*

Dal grafico (*Figura 4.3-12*) si osserva che i provini confezionati in laboratorio hanno valori più elevati rispetto a T4 e T6. Inoltre T6 e T4, pur avendo una configurazione diversa, hanno valori paragonabili.

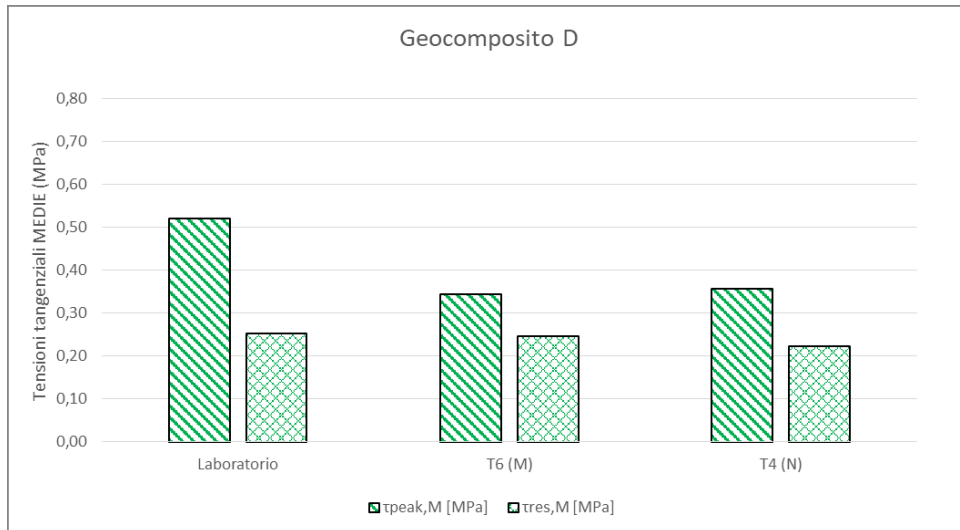


Figura 4.3-13 Confronto valori medi dello sforzo di taglio – Geocomposito D

Dal grafico (Figura 4.3-13) si nota che i provini confezionati in laboratorio hanno valori più elevati di T4, nonostante hanno la stessa configurazione nuovo su nuovo. T6 ha valori confrontabili con T4 pur avendo configurazione fresato su nuovo.

#### 4.4 CONFRONTO PRESTAZIONALE

Viene eseguito il confronto tra i risultati ricavati dalla prova ASTRA e quelli dalla prova Leutner, diviso in base al confezionamento in laboratorio e i provini prelevati nei diversi tronchi autostradali. Tale confronto è da farsi in termini di prestazioni assolute di ciascun materiale e condizione, in quanto le due prove, anche se volte a determinare le stesse grandezze fisiche, non sono direttamente correlabili tra loro a causa di diversi fattori, prima tra tutte la velocità di esecuzione della prova (2.5 mm/min per la prova ASTRA vs. 50.0 mm/min per la Leutner). In secondo luogo la prova ASTRA prevede l'applicazione di uno sforzo normale che offre un contributo di resistenza maggiore, in quanto affinché possa verificarsi lo slittamento in corrispondenza dell'interfaccia, il provino deve dilatare per vincere l'effetto dell'ingranamento.

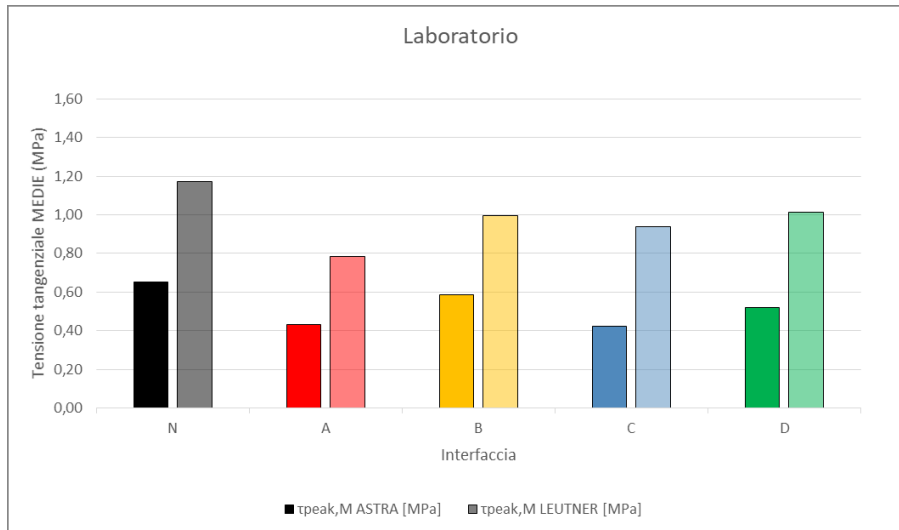


Figura 4.4-1 Confronto valori medi dello sforzo di taglio tra Leutner e ASTRA – Laboratorio

Dal grafico (Figura 4.4-1) si deduce che i geocompositi B e D sono migliori di A e C, ciò sarà dato dal fatto che B e D risultano più appiccicosi e quindi creano un'adesione maggiore tra i due strati.

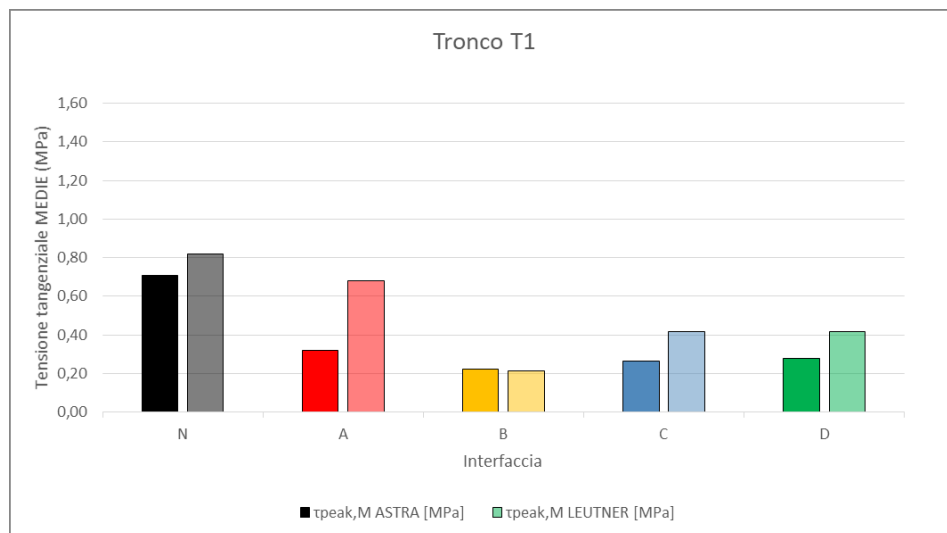


Figura 4.4-2 Confronto valori medi dello sforzo di taglio tra Leutner e ASTRA – Tronco T1

Dal grafico in Figura 4.4-2 si evince che i risultati della prova ASTRA e Leutner sembrano avere corrispondenza tra di loro. Infatti, come è possibile osservare dal grafico i geocompositi A e D sembrano essere migliori degli altri. Bisogna tener però conto che nel tronco T1 il geocomposito B ha subito disturbi durante il prelievo in sito.



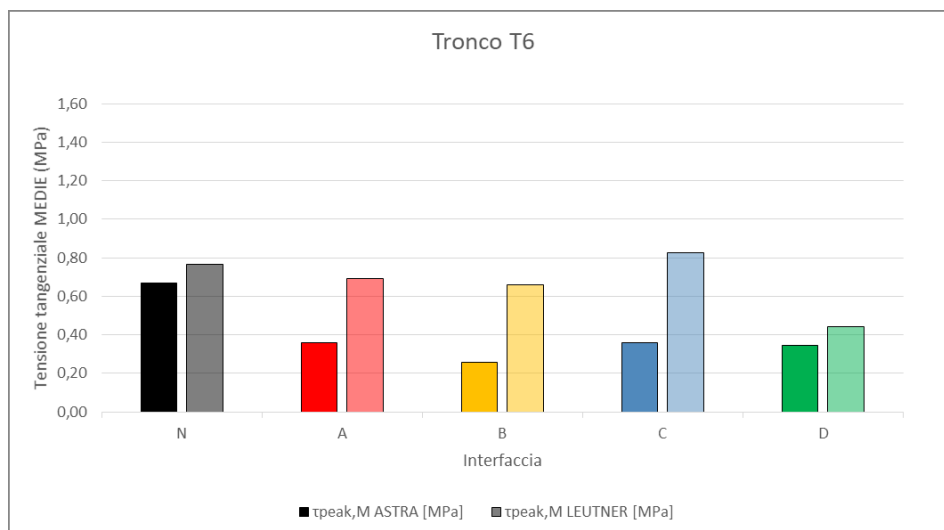


Figura 4.4-3 Confronto valori medi dello sforzo di taglio tra Leutner e ASTRA – Tronco T6

I risultati ottenuti dalla prova ASTRA, in *Figura 4.4-3*, non sembrano rispecchiare quelli della prova Leutner. Infatti dai valori ottenuti dall'ASTRA si evince che i geocompositi A, C e D sono più o meno sullo stesso livello mentre il B è il più scadente. Mentre dai risultati della Leutner si ha che C è il geocomposito migliore, seguito da A e B, e D è quello meno resistente.

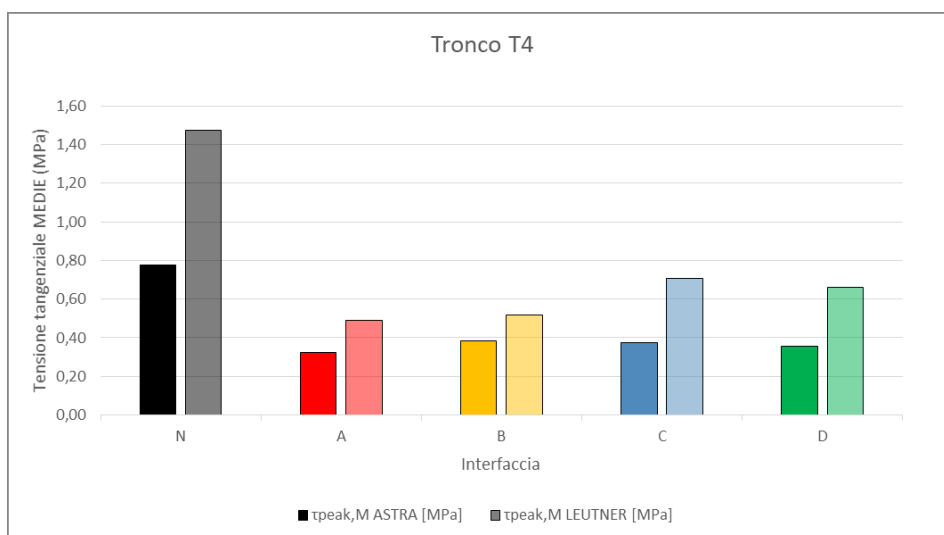


Figura 4.4-4 Confronto valori medi dello sforzo di taglio tra Leutner e ASTRA – Tronco T4

Dai valori della prova ASTRA (*Figura 4.4-4*) risultano essere migliori i geocompositi B e C, seguiti da D e infine A. Mentre dai dati ricavati dalla Leutner risultano migliori i geocompositi C e D, seguiti da B e infine A.

## CAPITOLO 5

### CONCLUSIONI

Nella presente sperimentazione si è voluto valutare e confrontare le prestazioni offerte da pavimentazioni rinforzate con diversi tipi di geocompositi, attraverso prove di taglio in laboratorio (Leutner e ASTRA).

I test sono stati condotti su provini derivanti dall'allestimento di un campo prova lungo un tratto autostradale ubicato lungo la A14 in direzione Nord, all'altezza di Cesena (km 105+450 – 102+180), in cui sono stati impiegati quattro tipi di geocompositi. Il tratto autostradale è stato diviso in tre tronchi aventi due configurazioni diverse; infatti nei tronchi T1 e T6 sono stati applicati i sistemi di rinforzo su una superficie fresata, mentre il T4 è caratterizzato da una configurazione nuovo su nuovo.

Parallelamente, gli stessi materiali utilizzati in situ (conglomerato bituminoso, geocompositi, emulsione...) sono stati impiegati presso il Laboratorio di Strade e Trasporti dell'Università Politecnica delle Marche per il confezionamento di lastre bistrato da cui sono stati ricavati una serie di provini.

A seguito delle osservazioni e considerazioni riportate nei capitoli precedenti, si possono formulare le seguenti conclusioni:

- I risultati del tronco T1, essendo stato disturbato in sito, non possono essere considerati rappresentativi; con ciò si vuole sottolineare l'importanza e l'attenzione da riporre nella fase di prelievo in sito, pena la veridicità dei risultati;
- I risultati ottenuti nella prova Leutner mostrano che le prestazioni offerte dai provini confezionati in laboratorio sono sempre superiori di quelle ottenute in sito, qualunque sia la configurazione (nuovo su nuovo o nuovo su fresato) ad eccezione dei non rinforzati. Per i geocompositi inoltre si evidenzia che, nel caso di applicazione in sito, le performance risultano praticamente invariate sia che essi vengano stesi su superficie fresata che nuova, eccezion fatta per B che mostra una resistenza più spiccata nel caso di superficie nuova;
- La prova Leutner conferma che i provini realizzati in laboratorio manifestano resistenze a taglio nettamente superiori a quelli carotati in sito; tuttavia contrariamente a quanto

emerso dalla prova ASTRA, i geocompositi risentono della configurazione della superficie di posa, e tendenzialmente è da preferirsi la superficie fresata alla nuova, con l'unica eccezione del geocomposito D, che ne risulta fortemente penalizzato;

- In generale, la resistenza a taglio è maggiore nei provini non rinforzati (N), e ciò è dovuto ad un maggior ingranamento tra i due strati dal momento che vi è l'interpolazione di alcuno geocomposito, che con il suo spessore rappresenta comunque un elemento di separazione;
- Dal confronto tra i risultati della prova ASTRA e quelli della prova Leutner, emerge che i valori di picco derivanti dalla prova Leutner sono sempre maggiori rispetto a quelli della prova ASTRA, e ciò è dovuto alle diverse velocità di esecuzione delle prove, e all'applicazione di uno sforzo normale solo nel caso ASTRA.

## BIBLIOGRAFIA

[1] Austin R.A. & Gilchrist A. J. T. (1996): “Enhanced Reiformance of Asphalt Pavements using geocomposites”;

[2] Hoe I. Ling and Zheng Lio (2001): “Performance of geosynthetic-reinforced asphalt pavements”;

[3] Youwai S., Warat K., Konnamas P., Preedithep A., Pornkasem J. (2012): “Geosynthetic-reinforced flexible pavement in Thailand”;

[4] Pasquini E., Bocci M., Canestrari F. (2014): “Laboratory characterisation of optimised geocomposites for asphalt pavement reinforcement”;

[5] Alireza N., Fereidoon M. N., Ali K. (2017): “Evaluetion of the effective parameters on shear resistance of interface in a geocompote-reinforced pavement”, International Journal of Pavement Engineering;

[6] Pasquini E., Pasetto M., Canestrari F. (2015): “Geocomposites against reflective cracking in asphalt pavements: laboratory simulation of a field application”;

[7] UNI EN 12697-33 (2019): “Miscele bituminose - Metodo di prova - Parte 33: Provino preparato con compattatore a rullo”;

[8] BS EN 12697-48 (2011): “Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo – Parte 48: Aderenza all’interfaccia”;

## RINGRAZIAMENTI

---

*Non ti viene mai dato un sogno  
senza che ti venga dato il potere  
di farlo avverare.  
Può darsi tuttavia che tu debba  
faticare per questo.*

Richard Bach

---

Finalmente, dopo terremoti e pandemie, sono arrivata alla fine di questo percorso!

Avrei voluto scrivere questa tesi in un periodo migliore, ma purtroppo il fato o non so chi ci ha messo di mezzo anche questo ostacolo. Tuttavia, nonostante ciò, non ho mai smesso di crederci ed eccomi qui!

In primo luogo ringrazio il Prof. Ing. Canestrari Francesco, nonché relatore della tesi, che è riuscito a farmi avvicinare alla materia grazie alla semplicità e passione che mette nell'insegnarla. È in parte anche merito suo se sono riuscita ad eseguire la stesura della tesi e se sono qui a festeggiare oggi.

Ringrazio il correlatore Ing. Ingrassia Lorenzo Paolo per avermi messo a disposizione il materiale per la stesura della tesi.

Inoltre ringrazio Elena Gaudenzi, che con la sua gentilezza, competenza e pazienza mi ha affiancato in laboratorio durante questo periodo e aiutato nella stesura della tesi. Grazie perchè nonostante i tuoi mille impegni ci sei stata sempre nel momento del bisogno.

Ringrazio la mia famiglia per avermi sostenuto e per avermi dato l'opportunità di intraprendere questa esperienza formativa. Questa laurea è anche vostra, che avete combattuto e stretto i denti al mio fianco, e che spero oggi possiate essere felici e orgogliosi di me.

Continuo ringraziando il mio Fidanzato Alessandro, la persona che più di ogni altra sa cosa rappresenta per me questo giorno. Colui che ha amorevolmente sopportato ansie pre-esame, tergiversazioni e rimandi. Grazie per aver ridimensionato le mie preoccupazioni, per avermi

supportato per tutto il percorso e spinto a non arrendermi mai.

Grazie ad Alessandro ho avuto il coraggio di mettermi in gioco e di capire, che in fondo, gli ostacoli esistono per essere superati.

Ringrazio i miei compagni di corso e le mie coinquiline per aver condiviso con me gioie e dolori e per aver reso questi anni indimenticabili. Mi auguro che le nostre vite si intreccino di nuovo.

Poi vorrei ringraziare i miei amici e tutti coloro che, anche non sapendolo, mi hanno aiutata ad arrivare fino alla fine.

Infine vorrei ringraziare me stessa, per non aver mai mollato nonostante tutto e per essermi rialzata più forte di prima ad ogni ostacolo. Senza la mia testardaggine non sarei mai arrivata a questo punto. In fondo se non siamo noi stessi i primi a crederci, nessuno lo farà per noi.

Spero di non aver dimenticato nulla e nessuno.

Grazie, vi voglio bene!

Lisa Sbriccoli