



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTA' DI INGEGNERIA
Corso di Laurea Triennale in INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura (DICEA)

Tappeti drenanti con bitumi ad elevato contenuto di polimeri

**Porous asphalt courses with bitumen
characterized by a high polimeri content**

*Relatore:
di:*

Prof. Ing. Maurizio Bocci

Correlatore:

Ing. Carlo Carpani

Tesi di Laurea

Francesco Giulietti

Anno Accademico 2022-2023

Sommario

Capitolo 1 - Introduzione	1
Capitolo 2 - Stato dell'arte	2
2.1 La strada nel corso dei secoli	2
2.2 Componenti della strada	3
2.2.1 Stato d'usura	5
2.3 Riciclaggio del conglomerato	5
2.4 Conglomerato bituminoso drenante	8
Capitolo 3 - Programma di sperimentazione e tipo di prove	10
3.1 Obiettivo sperimentale	10
3.2 Metodo di prova	10
3.2.1 Preparazione provini	10
3.2.2 ITS(prove di rottura a trazione indiretta)	15
3.2.3 Cantabro	16
3.2.4 SCB	17
3.3 Nomenclatura provini	18
Capitolo 4 - Materiali	20
4.1 Sabbia 0/4	20
4.2 Basalto 4/8, 8/12, 8/16	20
4.3 Rap	21
4.4 Filler calcareo/recupero	21
4.5 Fibre	21
Capitolo 5 - Analisi dei risultati	22
5.1 Vuoti	22
5.2 ITS	23

5.3	Catabro.....	24
5.4	SCB.....	25
5.5	Confronti	26
5.5.1	Vuoti.....	26
5.5.2	ITS.....	27
5.5.3	CTI.....	28
5.5.4	CT-index.....	28
5.5.5	Cantabro.....	29
5.5.6	SCB.....	30
Capitolo 6	- Conclusioni	30
Ringraziamenti	i

Capitolo 1 - Introduzione

La strada è un'infrastruttura formata da diversi strati, con determinati spessori e materiali, che vengono scelti al fine di permettere la circolazione di veicoli. Tra di essi notevole importanza ha lo strato drenante, il quale molto spesso nelle autostrade italiane è realizzato drenante, e cioè con un elevato tenore di vuoti.

La strada deve essere progettata in modo tale da garantire certi livelli minimi di confort e sicurezza, che variano a seconda del tipo di strada.

A causa dell'impatto ambientale che si ha a seguito della costruzione di quest'opera si sta cercando di utilizzare una parte del materiale asportato dalla vecchia pavimentazione, detto RAP o FRESATO, nella nuova, inserendolo nella ricetta in sostituzione del materiale "vergine".

In tal senso ho svolto una sperimentazione atta determinare come variano le caratteristiche prestazionali di conglomerati drenanti formati da solo materiale vergine o da materiale vergine e RAP. In particolare si andrà a confrontare la percentuale di vuoti, valore ITS, CTI, CTindex, perdita di materiale, al variare del tipo di miscela.

Capitolo 2 - Stato dell'arte

2.1 La strada nel corso dei secoli

La strada è un'infrastruttura di trasporto destinata principalmente alla circolazione dei veicoli e marginalmente a pedoni ed animali.

Il concetto di strada risale all'epoca dei romani, i quali per potersi muovere più velocemente avevano capito che sarebbe stato necessario costruire una via di facile percorrenza, che riuscisse ad aggirare gli eventuali ostacoli presenti su terreno. Nel corso del tempo le strade sono diventate sempre più importanti grazie anche all'invenzione della ruota, che permise un maggior spostamento delle persone, fino ad arrivare a giorni nostri, nei quali svolge ancora una funzione di collegamento e trasporto non indifferente, pur essendo passati così tanti anni.

Nel corso del tempo le tecnologie di costruzione di una strada sono cambiate grazie soprattutto all'innovazione tecnologica, ma questi traguardi raggiunti non sarebbero stati possibili senza il contributo fondamentale dei romani, che in primis capirono che la strada doveva avere una funzione di collegamento per trasporto militare e commerciale ed è per questo che svilupparono strade con un buon livello di durabilità, percorrenza e affidabilità.

La configurazione tipo di una strada romana, detta "strata", prevedeva l'utilizzo di strati sovrapposti, costituiti da: pietre poste di taglio, ghiaia, ciottoli, pietrisco e lastricato, raggiungendo uno spessore di circa 0,9 metri.



Figura 1 - Configurazione tipica di una strada romana

Con il passare dei secoli questo sistema costruttivo si è evoluto, fino ad arrivare ai nostri giorni nei quali si utilizza il conglomerato bituminoso

L'utilizzo dei leganti comparve per la prima volta in piena rivoluzione industriale, in quanto si ebbe l'avvento dei primi veicoli a motore con ruote gommate. Infatti la presenza di fango e polvere sulla superficie stradale causava problemi sia igienici, con la formazione di alte nuvole di polvere e/o schizzi in seguito al passaggio di un veicolo, sia operativi, in quanto a seguito di eventi piovosi le strade risultavano impraticabili.

L'utilizzo dei leganti, pose nuove problematiche riguardanti la progettazione dei materiali stradali, a causa dell'aumento del carico di traffico che da lì a poco sarebbe iniziato.

2.2 Componenti della strada

Il corpo stradale è formato da diversi strati, principalmente sono presenti i seguenti:

- a) **Strato d'usura, o tappeto (3-6 cm):** strato più superficiale della pavimentazione, a diretto contatto con i veicoli e quindi la sua funzione principale è di rendere sicura e la marcia dei veicoli.
- b) **Strato di collegamento (Binder) (6-8 cm):** questo strato, come dice il nome, ha una funzione di collegamento fra la base e gli strati di usura. Inoltre trasferisce i carichi agli

strati più profondi e mitiga le azioni flessionali indotte dai carichi. Questo strato può essere realizzato in conglomerato bituminoso chiuso o semichiuso

- c) Strato di Base (8-30 cm):** questo strato ha una funzione che è principalmente strutturale, in quanto il suo compito è quello di assorbire le azioni flessionali indotte dai carichi. Inoltre il suo spessore varia a seconda del clima, delle caratteristiche del sottofondo e della quantità di traffico.
- d) Strato di Fondazione (15-35 cm):** strato a contatto diretto con il sottofondo, il cui compito è quello di trasmettere i carichi al terreno resistente(sottofondo). Viene realizzato in misto granulare o in conglomerato bituminoso riciclato, proveniente dalla demolizione di uno strato di fondazione, di una pavimentazione che aveva terminato il suo ciclo di vita.
- e) Sottofondo (50-100 cm):** costituisce il piano di posa della fondazione. Il suo ruolo principale è quello di assorbire i carichi, evitando che questi si concentrino in un unico punto portando così alla formazione di cedimenti strutturali. È importante capire l'importanza di questo strato per il fatto che, pur avendo dei buoni strati superficiali realizzati con le più innovative tecniche e quindi con ottime performance non garantisce un buon risultato, perché se lo strato di sottofondo non è stato realizzato a "regola d'arte" nel breve periodo si avranno problematiche che con molta probabilità porteranno alla demolizione del suddetto corpo stradale e al suo rifacimento ex-novo.

SEMIRIGIDA



Figura 2 - Stratigrafia di un pacchetto strutturale di una pavimentazione stradale semirigida

2.2.1 Strato d'usura

Come si è ben capito ogni strato della pavimentazione ha una sua funzione, che possiamo distinguere fra strutturale e non strutturale. Lo strato in questione rientra in quelli con funzione non strutturale, infatti deve garantire determinati livelli di Sicurezza, Confort di guida e Regolarità. Per garantire questi requisiti, si fanno delle prove (sul costruito) o si fa una progettazione dell'opera, in modo tale da andare a valutare rispettivamente l'aderenza, regolarità e scabrezza superficiale. Per una buona progettazione della miscela di questo strato si farà un mix-design del conglomerato bituminoso, in cui si andrà a variare il tipo di materiale scelto e la rispettiva granulometria e il tipo di bitume. Di solito per la miscela di conglomerato bituminoso viene impiegato del RAP opportunamente setacciato, questo sempre per diminuire l'impatto ambientale. Inoltre lo strato può avere diverse granulometrie a seconda del tipo di strato. Nella consueta progettazione si possono usare strati di usura:

1. con porosità aperta: solitamente presente in strada di maggiore importanza dove sono richieste elevate prestazioni a causa delle elevate velocità di transito e di un notevole carico di traffico, sia leggero che pesante. Per porosità aperta si intende la capacità dello strato superficiale di drenare l'acqua e evitare così fenomeni come aquaplaning. Per realizzare tali materiali è necessario diminuire il quantitativo di aggregato fino che conseguentemente aumenterà il numero di vuoti della miscela.
2. con porosità chiusa: di solito viene utilizzata di più, in quanto richiede meno costi soprattutto di manutenzione, inoltre può essere utilizzata in montagna a differenza di quella aperta che in presenza di infiltrazione di acqua e gelo di quest'ultima potrebbe generare tensioni interne portando ad una possibile rottura degli strati

2.3 Riciclaggio del conglomerato

Il riciclaggio del conglomerato bituminoso è una tecnica che permette di avere un minor impatto ambientale poiché vengono sostituite le materie prime, diminuiscono gli impianti di

smaltimento, c'è una limitazione dell'inquinamento del suolo e dell'atmosfera derivante dal trasporto dei rifiuti, infine si hanno dei vantaggi economici e tecnici.

Il riciclaggio può avvenire in diversi modi:

1. Riciclaggio a caldo fatto in sito
2. Riciclaggio a caldo fatto in impianto
3. Riciclaggio a freddo in sito
4. Riciclaggio a freddo in impianto

La differenza fra riciclaggio a caldo o a freddo sta nella temperatura alla quale viene miscelato il materiale fresato con il resto del conglomerato bituminoso.

Ad oggi in Italia la percentuale di rap utilizzato si aggira intorno al 15% ed è un valore molto basso se confrontato con gli altri paesi europei, questo dipende da una carenza di normative di riferimento, scarsa informazione da parte delle stazioni appaltanti sui benefici di tali operazioni e un comune convincimento che i materiali di riciclo siano più onerosi rispetto a quelli tradizionali.

Il riciclaggio a caldo si fa ad una temperatura maggiore o uguale a 150 gradi, si ottiene una miscela composta da aggregati lapidei vergini, fresato opportunamente setacciato, fibre, filler (calcareo e/o di recupero) e infine il bitume che può essere tradizionale o modificato, con all'interno degli attivanti chimici che servono per riattivare il bitume presente nel RAP (rigeneranti). Questo tipo di riciclaggio se fatto in impianto ha una maggiore flessibilità di utilizzo e una migliore qualità del prodotto finito, tuttavia si avrà un maggiore costo di trasporto e di stoccaggio dei materiali, inoltre ci sarà un impatto sul traffico veicolare in prossimità dell'impianto e pur essendo in impianto e quindi potendo controllare l'omogeneità della miscela non si potrà inserire più del 50/60% di RAP, anche se queste percentuali dipendono dal tipo di impianto e dalla configurazione utilizzata.

Entrambi i tipi di impianto hanno dei svantaggi e vantaggi dipende molto dal tipo di lavoro che gli viene richiesto. Un impianto di tipo continuo si utilizza quando si deve produrre un quantitativo di conglomerato molto elevato di conseguenza i costi sono ridotti ma il processo è meno controllato, anche perché non è presente la torre di miscelazione e il vaglio, quindi ne risente anche la qualità del prodotto. In questo impianto l'essiccazione e la miscelazione

avvengono insieme nel tamburo essiccatore, nel quale vengono inseriti gli inerti ad una temperatura di circa 77-82 gradi C, che porta alla perdita di umidità, infine viene introdotto il bitume a 93 gradi C che si espande e ricopre gli inerti, poi la temperatura continua ad aumentare fino a quella di progetto.

Con questa configurazione si recupera fino al 70% di RAP, che però non può andare a contatto con la fiamma del bruciatore per evitare il fenomeno di ossidazione del bitume, detto anche invecchiamento del bitume. Per questo motivo il fresato viene introdotto nel bruciatore a metà del cilindro e si riscalda per contatto con gli aggregati vergini.

Nell'impianto discontinuo gli aggregati precedentemente vagliati e posti in tramogge vengono dosati e posti su un nastro trasportatore che li porta in un forno che funge da essiccatore.

Il forno è diviso in 3 zone: nella prima gli inerti vengono scaldati ma non perdono umidità; nella seconda gli inerti perdono tutta l'umidità, essiccandosi, a temperatura costante; nella terza gli inerti essiccati aumentano temperatura (150-160°C) finché il materiale non esce dal cilindro. Una volta uscito viene trasportato alla torre di miscelazione, dove viene ulteriormente vagliato per avere una maggiore sicurezza e qualità del prodotto. Il bitume, precedentemente stoccato in serbatoi metallici, viene riscaldato a 130-150°C e inviato e dosato nel mescolatore. A questo punto il materiale viene unito al bitume e miscelato, infine viene caricato su dei camion e trasportato in cantiere.

In questo caso il fresato può essere inserito in 4 modi diversi:

- Introduzione del riciclato a temperatura ambiente al piede dell'elevatore caldo. Si usa per percentuali di riciclaggio fino al 15-20%
- Introduzione del riciclato a temperatura ambiente nel cilindro essiccatore attraverso un apposito anello di riciclaggio. Si usa per percentuali fino al 35%
- Introduzione del riciclato a temperatura ambiente nella vasca di miscelazione. Si usa per percentuali fino al 20%
- Essiccazione e riscaldamento del riciclato a 110-130°C in un essiccatore dedicato e aggiunto agli inerti nuovi nella vasca di miscelazione. Si ottengono percentuali di riciclaggio del 50%.

Il riciclaggio a caldo in sito una volta veniva fatto, ma ora non più perché dal punto di vista ambientale non era sostenibile. Per questo motivo questa tecnica è stata abbandonata.

Riciclaggio a freddo in sito come detto si basa sulla fresatura del materiale a temperatura ambiente che consente di non perdere la lavorabilità. Questo tipo di riciclaggio può essere fatto a diverse profondità, si parlerà di:

1. Depolverizzazione: si fa su strada non asfaltate, in cui si vuole costruire un manto superficiale. La ghiaia viene fissata aggiungendo emulsione bituminosa o bitume schiumato, inoltre questo manto viene utilizzato anche per impermeabilizzare
2. Riciclaggio superficiale: si fa su strade con fondazioni ancora integre, con quindi buoni livelli di portanza e serve per migliorare il piano viabile in termini di transitabilità.
3. Riciclaggio in profondità: questo trattamento viene fatto in profondità, circa a 15cm, in cui ci farà un intervento di demolizione e poi ricostruzione per migliorare le prestazioni

Nel riciclaggio a freddo in impianto, invece, il dosaggio dei componenti è fatto con maggiore accuratezza e quindi il prodotto in uscita sarà leggermente migliore, seppur i vantaggi ambientali, rispetto allo stesso realizzato in situ, saranno più bassi.

2.4 Conglomerato bituminoso drenante

Il conglomerato bituminoso drenante deve essere correttamente progettato per avere un contenuto di vuoti di circa il 20%, o leggermente inferiore. Questo perché l'acqua deve poter defluire al suo interno e quindi non rimanere nella piattaforma stradale, dove determinerebbe problemi di sicurezza per i veicoli. Tra le principali problematiche che questa tipologia di materiale permette di risolvere abbiamo:

- Fenomeno dell'Aquaplanng
- Rumore veicolare
- Effetto spray

Il primo fenomeno si crea quando l'acqua si va a posizionare davanti al pneumatico più velocemente di quanto il peso del veicolo sia in grado di disperderla. Questo determina una pressione dell'acqua sotto il pneumatico e la formazione di uno strato di acqua che impedisce il contatto pavimentazione-pneumatico. La pavimentazione con strato d'usura

drenante permette di mitigare/eliminare questo problema grazie al elevato contenuto di vuoti che drenano l'acqua superficiale.

Il rumore veicolare è presente in tutte le strade, si divide in rumore di funzionamento(motore, trasmissione, sistemi gas di scarico) e rumore a motore spento(resistenza aerodinamica, rumore di rotolamento).

Un elevato contenuto di vuoti (> 15%) garantisce un alto potere fonoassorbente oltre che la riduzione dei alcuni fenomeni di generazione e propagazione del rumore di rotolamento (air pumping ed effetto corno)

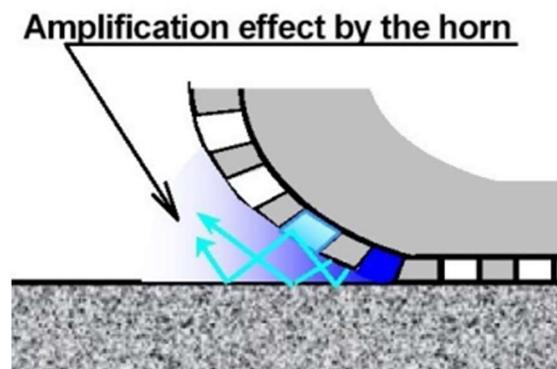


Figura 3 – Effetto Corno

Effetto spray si genera quando l'acqua non viene drenata, e il veicolo che viaggia con una velocità elevata, nebulizza l'acqua sulla pavimentazione e riduce così la visibilità. Questa problematica come quella dell'aquaplaning viene eliminata scegliendo di inserire nel pacchetto stradale uno strato di usura drenante.

Capitolo 3 - Programma di sperimentazione e tipo di prove

In questo capitolo viene riportato il programma sperimentale, con i relativi obiettivi, le apparecchiature adoperate e le metodologie di prova eseguite.

3.1 Obiettivo sperimentale

Questa sperimentazione è stata fatta al fine di determinare come variano le caratteristiche del conglomerato bituminoso drenante, al variare della granulometria, presenza o meno di RAP, sottoponendo i provini formati con tale conglomerato a prove quali: prova ITS, prova SCB e prova Cantabro

3.2 Metodo di prova

In questo capitolo sono presenti le modalità di preparazione dei provini e tutte le prove con i quali sono stati testati.

3.2.1 Preparazione provini

Per la preparazione dei provini è stata seguita la seguente procedura:

-prima di tutto, tutti i materiali sono stati opportunamente dosati e setacciati;



Figura 4. Setaccio a maglia quadrata



Figura 5 Pila di setacci posizionata nel vibro-vaglio



Figura 6 Basalto setacciato 8/12

- poi gli aggregati sono stati posti in forno per 3 ore alla temperatura di 165°C, al fine di eliminare completamente l'umidità presente e raggiungere la temperatura di miscelazione;
- riscaldamento in forno del bitume per 2 ore;



Figura 7 – Forno

- miscelazione degli aggregati e delle fibre per 30 secondi;



Figura 8 - Miscelatore meccanico

-inserimento del bitume e miscelazione per 120 secondi,



Figura 9 – Emulsione bituminosa nel miscelatore

-inserimento del filler e miscelazione per 180 secondi;

-sporzionamento del materiale in diverse vaschette, con peso ideo per la produzione delle varie tipologie di provini;

-il materiale riposto nelle vaschette, è stato poi tenuto in forno per 30 minuti al fine di simulare quanto accade nella realtà durante le fasi di trasporto del conglomerato bituminoso dall'impianto di produzione al sito;

-i materiali sono stati poi compattati una parte con la pressa giratoria ed un'altra parte con la pressa Marshall. In questa sperimentazione, per ogni miscela, sono stati prodotti 6 provini da 100mm e 2 provini da 150mm con la pressa giratoria e 8 provini con prova Marshall.



Figura 10 – Pressa giratoria



Figura 11- Fustella con diametro da 150mm



Figura 12- Schermata iniziale del software

La compattazione con pressa giratoria avviene in diverse fasi:

1. Inserisco la fustella (da 100mm o 150mm) in forno a 165 gradi C per almeno 10'
2. Si posiziona un dischetto di carta pari al diametro della fustella al suo interno
3. Viene inserito il materiale, che è stato per 30' antecedenti l'inizio della prova in forno a 165 gradi, e leggermente costipato una volta nella fustella.
4. Viene inserito un disco di carta come quello del punto 2, questi dischetti servono a non fare attaccare il materiale alla parte superiore e inferiore della fustella durante l'esecuzione della prova
5. Lubrificazione delle parti della pressa a contatto con la fustella
6. Posizionamento fustella nella macchina
7. Avvio del programma ed inserimento dati, quali il diametro il numero di rivoluzioni (300 giri) e nominativo prova
8. Dopo l'avvio viene chiesto di applicare un angolo giretorio, a questo punto si gira completamente la "rotella" e la pressa inizia a fare le rivoluzioni previste
9. Alla fine verrà chiesto per due volte se continuare o meno la prova, qui si dovrà, in entrambi i casi applicare 3 rivoluzioni, andando però a modificare l'angolo giretorio della metà dei giri fatti all'inizio, girando nel senso contrario rispetto a quello iniziale
10. Una volta terminata la prova si potrà estrarre il provino, rimettere la fustella in forno e ripetere nuovamente la prova.

Figura 13 - Schermata principale pressa a taglio giratoria

Figura 14- Schermata a prova avviata

3.2.2 ITS (prove di rottura a trazione indiretta)

Questa prova viene fatta su provini con diametro da 100mm sia in condizioni WET che DRY. In particolare la prova viene effettuata alla temperatura di 20°C. Nella condizioni wet, invece, i provini devono essere prima di tutto fatti stagionare in bagno termostatico alla temperatura di 40 °C per 3 giorni e poi trasferiti in bagno termostatico a 25°C, la quale rappresenta la temperatura di prova.

La prova valuta la resistenza ultima a trazione indiretta del provino e consiste in una fase di avvicinamento di un pistone al provino (con velocità costante data dalla normativa) fino a contrasto con lo stesso e quindi poi alla rottura. La prova restituisce un grafico forza-spostamento, e poi sulla base di esso e sulla base delle dimensioni del provino (altezza e diametro) è possibile calcolarsi la resistenza a trazione indiretta (ITS).

$$ITS = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot h \cdot D}$$

Figura 15- Formula calcolo ITS

Dove P è il carico massimo, h è l'altezza del provino, e D è il diametro del provino.



Figura 16- Prova ITS

3.2.3 Cantabro

In questa prova si va a valutare la resistenza allo sgranamento e alla disgregazione su conglomerati bituminosi aperti. In particolare si va a pesare il provino prima e dopo la prova così da determinare la perdita di peso. L'apparecchiatura utilizzata consiste in un cilindro d'acciaio ad asse orizzontale, di diametro pari a 71 cm ed altezza di 50.80 cm avente al suo interno un setto disposto lungo la generatrice in modo da formare un risalto.

Durante la prova il cilindro di acciaio gira facendo cadere il provino nella parte bassa per poi essere ripreso dal setto e riportato in alto, queste rotazioni si ripetono per 300 volte. Alla fine della prova il provino si presenterà con gli angoli smussati, anche se in alcuni casi a causa del tipo di miscela utilizzata questo potrebbe perdere delle parti durante le rivoluzioni, e quindi presentarsi in condizioni peggiori.

3.2.4 SCB

Questa è una prova a flessione eseguita su tre punti in provini semi cilindrici (mezzaluna), sia in condizioni dry che wet. Una volta eseguita questa prova si va a vedere la resistenza a fessura. In particolare si guarda se la fessura che si è generata ricade all'interno di un'area data dalle normative vigenti.

La durabilità della pavimentazione è fortemente influenzata dalla propagazione delle fessure. Il traffico genera dei fenomeni di trazione sulla pavimentazione che formano delle microfessure e queste con il tempo si possono espandere a tutti gli strati del corpo stradale, andando poi a generare fenomeni di degrado. Le dimensioni dei provini secondo le indicazioni della normativa prevedono un diametro di (150 ± 1) mm, uno spessore di (50 ± 3) mm ed un'altezza di (75 ± 1) mm (pari al raggio del provino compattato). Al centro della base del provino viene effettuato un intaglio per tutto lo spessore del provino, di dimensioni standardizzate, pari a (3.5 ± 0.10) mm di larghezza e (10 ± 1) mm di altezza.

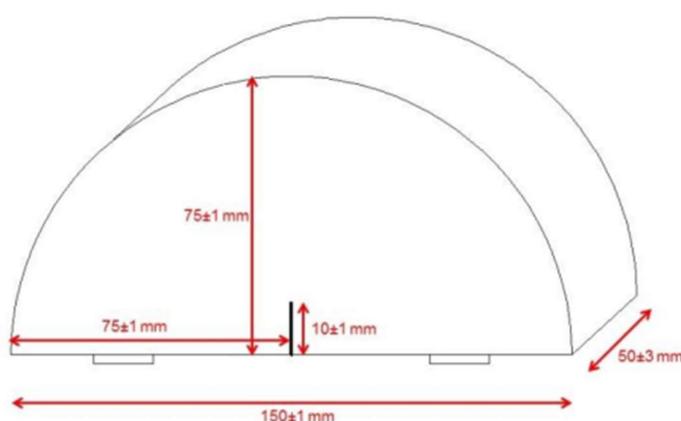


Figura 17- Dimensioni provino nella prova SBC



Figura 18- Prova SBC

3.3 Nomenclatura provini

Ogni impasto fatto è stato identificato attraverso un codice in cui si definisce il tipo di bitume, il diametro massimo degli aggregati e come ultima informazione ma non sempre presente la percentuale di RAP. Sono stati confezionati i seguenti provini:

- H16
- H16 BIS
- H16 TRIS
- RH12+30F
- RH12+50F

Ricetta	H16
	m [g]
Filler calcareo	469,3
Filler di recupero	469,3
Sabbia 0-4	3285,1
Basalto 4-8 orvieto	2000,4
Basalto 8-12	17247,0
Bitume	1313,3
Fibre	70,4

Figura 19- Ricetta miscela H16

Ricetta	H16 BIS
	m [g]
Filler calcareo	469,3
Filler di recupero	469,3
Sabbia 0-4	3519,6
Basalto 4-8 orvieto	2000,3
Basalto 8-12	17011,3
Bitume	1313,2
Fibre	70,4

Figura 20- Ricetta miscela H16 BIS

Ricetta	H16 TRIS
	m [g]
Filler calcareo	469,2
Filler di recupero	703,9
Sabbia 0-4	3519,3
Basalto 4-8 orvieto	2000,1
Basalto 8-12	16775,5
Bitume	1313,1
Fibre	70,4

Figura 21- Ricetta miscela H16 TRIS

Ricetta	RH12+30F
	m [g]
Filler calcareo	473,0
Filler di recupero	473,0
Sabbia 0-4	3471,1
Basalto 4-8 orvieto	0,0
Basalto 8-12	12137,5
RAP 4-12	7094,8
Bitume	1073,2
Fibre	70,9

Figura 22- Ricetta miscela RH12+30F

Ricetta	RH12+50F
	m [g]
Filler calcareo	476,2
Filler di recupero	476,2
Sabbia 0-4	3528,1
Basalto 4-8 orvieto	0,0
Basalto 8-12	7425,4
RAP 4-12	11906,1
Bitume	894,8
Fibre	71,4

Figura 23- Ricetta miscela RH12+50F

Capitolo 4 - Materiali

In questo capitolo si descriveranno i materiali utilizzati negli impasti realizzati durante la sperimentazione, che sono: Sabbia, Basalto, Filler calcareo, Filler di recupero, Fibre e Rap

4.1 Sabbia 0/4

Durante la sperimentazione si è utilizzata sabbia calcarea 0/4. Gli aggregati calcarei sono caratterizzati da un'elevata adesione bitume-aggregato a causa del loro comportamento basico che comporta una maggiore affinità al bitume. Nelle miscele si è andato a modificare il contenuto di sabbia, così da modificare la percentuale di vuoti.

4.2 Basalto 4/8, 8/12, 8/16

Il basalto è un materiale ottimo per lo strato drenante in quanto riesce ad assorbire le vibrazioni/ tensioni derivate dai mezzi stradali ma anche ferroviari, presente una forma a spigoli vivi



Figura 24-Basalto 8/12 setacciato

4.3 Rap

Le Norme Tecniche d'Appalto Prestazionali (Autostrade SPA, 2004) definiscono il RAP come il materiale risultante dalla dismissione con qualsiasi mezzo e successiva frantumazione degli strati bituminosi delle pavimentazioni degradate; mentre per Fresato si intende il materiale prodotto dalla demolizione con macchine fresatrici a tamburo, preferibilmente a freddo.

Il RAP comunemente definito anche Fresato, è composto per il 93-97% in peso da aggregati lapidei di varia granulometria e per il resto da bitume invecchiato, quest'ultimo viene riattivato con un particolare bitume detto, Rigenerval

4.4 Filler calcareo/recupero

Il filler ha una dimensione finissima, secondo la norma CNR 139 si parla di filler per dimensioni minori di 0,075 mm mentre per la normativa UNI EN 933-1 la dimensione massima è di 0,063 mm. Il filler calcareo deriva dalla frantumazione di roccia calcarea ed è solitamente rappresentato da carbonato di calcio, calce, cemento o ceneri vulcaniche.

Il filler di recupero viene accolto da un'apposita coclea sul fondo di un filtro collegato all'essiccatore dell'impianto di produzione di conglomerato, portandolo al silo di stoccaggio

4.5 Fibre

Le fibre impiegate nella sperimentazione sono di cellulosa e consentono di evitare il trasudamento del bitume a causa sia del suo eccessivo contenuto e sia a causa del ridotto contenuto di materiale fino nelle miscele drenanti.

Capitolo 5 - Analisi dei risultati

Come già detto in precedenza l'obiettivo di questa sperimentazione era quello di determinare le caratteristiche prestazionali dei provini oggetto di studio, quali:

- % vuoti
- Valori ITS-CTI-CT-INDEX
- Valori CANTABRO
- Valori SCB

La miscela H16bis non è stata testata poiché non era stato raggiunto il target di vuoti voluto.

5.1 Vuoti

codice provino	D	h1	h2	hm	m [g]	pmax	V [mm ³]	V [cm ³]	pgeom	V _{vuoti} [%]
H16_1	100	58,9	58,9	58,9	923,4	2,480	462599,5	462,6	1,996	19,5
H16_2	100	61	61,3	61,2	924,2		480271,0	480,3	1,924	22,4
H16_3	100	60	60,1	60,1	920		471631,6	471,6	1,951	21,3
H16_4	100	62	62,4	62,2	927,4		488517,7	488,5	1,898	23,5
H16_5	100	59,4	59,6	59,5	917,1		467311,9	467,3	1,963	20,9
H16_6	100	59,5	60	59,8	916,7		469275,4	469,3	1,953	21,2
										21,5

Figura 25- Ricetta miscela H16

codice provino	D	h1	h2	h3	hm	m [g]	pmax	V [mm ³]	V [cm ³]	pgeom	V _{vuoti} [%]
H16_1	100	60,4	60,4		60,4	922,8	2,480	474380,5	474,3805	1,9453	21,55
H16_2	100	60,6	60,8		60,7	922,1		476736,7	476,7367	1,9342	22,00
H16_3	100	60,7	61,5	61,6	61,3	925,7		481187,3	481,1873	1,9238	22,42
H16_4	100	60,5	60,4		60,5	916,2		474773,2	474,7732	1,9298	22,18
H16_5	100	59,3	59,4		59,4	915,4		466133,8	466,1338	1,9638	20,81
H16_6	100	58	58		58,0	912,4		455530,9	455,5309	2,0029	19,23
											21,37

Figura 26- Ricetta miscela H16 BIS

codice provino	D	h1	h2	h3	hm	m [g]	pmax	V [mm ³]	V [cm ³]	pgeom	V _{vuoti} [%]
H16tris_1	100	61,9	62,4		62,2	930,2	2,480	488125,0	488,125	1,9057	23,15
H16tris_2	100	60,5	60,8		60,7	927		476344,0	476,344	1,9461	21,52
H16tris_3	100	61,4	60,5		61,0	924,1		478700,2	478,7002	1,9304	22,15
H16tris_4	100	61,4	61,5		61,5	928		482627,2	482,6272	1,9228	22,46
H16tris_5	100	60,7	60,7		60,7	918,1		476736,7	476,7367	1,9258	22,34
H16tris_6	100	61,4	61,2		61,3	923,3		481449,1	481,4491	1,9178	22,66
											22,38

Figura 27- Ricetta miscela H16 TRIS

codice provino	D	h1	h2	h3	hm	m [g]	ρ_{max}	V [mm ³]	V [cm ³]	ρ_{geom}	V_{vuoti} [%]
RH12+30F_1	100	60,4	60,1		60,3	938	2,502	473202,4	473,2024	1,9822	20,78
RH12+30F_2	100	55,7	55,6		55,7	939,6		437074,1	437,0741	2,1498	14,08
RH12+30F_3	100	60,1	60,2		60,2	940,7		472417,0	472,417	1,9912	20,42
RH12+30F_4	100	60,4	60,4		60,4	939,7		474380,5	474,3805	1,9809	20,83
RH12+30F_5	100	59	59,4		59,2	934,9		464955,7	464,9557	2,0107	19,64
RH12+30F_6	100	60	60,5		60,3	949,4		473202,4	473,2024	2,0063	19,81
											19,26

Figura 28- Ricetta miscela RH12+30F

codice provino	D	h1	h2	h3	hm	m [g]	ρ_{max}	V [mm ³]	V [cm ³]	ρ_{geom}	V_{vuoti} [%]
RH12+50F_1	100	58,8	58,6		58,7	947,7	2,519	461028,7	461,0287	2,0556	18,40
RH12+50F_2	100	57	57,1		57,1	948,9		448069,7	448,0697	2,1178	15,94
RH12+50F_3	100	57,5	57,5		57,5	946,5		451603,9	451,6039	2,0959	16,81
RH12+50F_4	100	58	58,1		58,1	948,9		455923,6	455,9236	2,0813	17,39
RH12+50F_5	100	58,5	58,3		58,4	946,7		458672,5	458,6725	2,0640	18,07
RH12+50F_6	100	57,8	57,4		57,6	944,1		452389,3	452,3893	2,0869	17,16
											17,29

Figura 29- Ricetta miscela RH12+50F

5.2 ITS

codice provino	dry					wet				
	ϵ	P [kN]	ITS [MPa]	CTI [MPa]	CT-index	ϵ	P [kN]	ITS [MPa]	CTI [MPa]	CT-index
H16_1	0,0333	4,647	0,501	22,4	273,6	0,0423	3,732	0,39	18,7	476,7
H16_2										
H16_3	0,0328	4,389	0,467	21,7	108,4	0,0465	4,13	0,424	19,06	217,2
H16_4										
H16_5	0,031	4,316	0,416	22,3	265	0,0423	3,759	0,399	16,6	509,4
H16_6										
			0,461	22,3	265			0,404	18,7	476,7

Figura 30- Risultati prova a trazione indiretta miscela H16

codice provino	dry					wet				
	ϵ	P [kN]	ITS [MPa]	CTI [MPa]	CT-index	ϵ	P [kN]	ITS [MPa]	CTI [MPa]	CT-index
H16tris_1	0,0328	4,289	0,442	20,5	298,5	0,0317	5,097	0,526	29,4	258,4
H16tris_2										
H16tris_3	0,0317	4,979	0,519	23,6	299	0,0333	5,064	0,521	26,1	102,2
H16tris_4										
H16tris_5	0,0309	5,407	0,560	27,5	158,9	0,0283	5,337	0,549	28,4	69,9
H16tris_6										
			0,507	23,6	298,5			0,532	28,4	102,2

Figura 31- Risultati prova a trazione indiretta miscela H16TRIS

codice provino	dry					wet				
	ϵ	P [kN]	ITS [MPa]	CTI [MPa]	CT-index	ϵ	P [kN]	ITS [MPa]	CTI [MPa]	CT-index
RH12+30F_1	0,0303	4,355	0,458	20,6	179,1	0,0334	6,526	0,749	36,6	177,6
RH12+30F_2										
RH12+30F_3	0,0354	4,3769	0,464	21,7	652,8	0,0319	4,784	0,503	25,18	310,2
RH12+30F_4										
RH12+30F_5	0,0304	4,535	0,488	24,2	147,9	0,0477	5,07	0,536	25,3	153,4
RH12+30F_6										
			0,470	21,7	179,1			0,596	25,3	177,6

Figura 32- Risultati prova a trazione indiretta miscela RH12+30F

codice provino	dry					wet				
	ϵ	P [kN]	ITS [MPa]	CTI [MPa]	CT-index	ϵ	P [kN]	ITS [MPa]	CTI [MPa]	CT-index
RH12+50F_1	0,0315	7,465	0,818	34,6	216,1	0,0282	8,45	0,945	47,1	107,3
RH12+50F_2										
RH12+50F_3	0,0673	7,866	0,875	10,8	416,8	0,033	7,848	0,866	41,64	134,7
RH12+50F_4										
RH12+50F_5	0,0273	7,79	0,852	39,5	40,6	0,026	8,368	0,923	41,5	-6,3
RH12+50F_6										
			0,848	34,6	216,1			0,911	41,64	107,3

Figura 33- Risultati prova a trazione indiretta miscela RH12+50F

5.3 Catabro

codice provino	dry			wet		
	mi [g]	mf [g]	Particle Loss, PL [%]	mi [g]	mf [g]	Particle Loss, PL [%]
H16_I						
H16_II						
H16_III						
H16_IV				1012,2	591,2	41,6
H16_V	994,4	775	22,1			
H16_VI				1007,7	660	34,5
H16_VII						
H16_VIII	992,4	783,5	21,0			
			21,6			38,0

Figura 34- Risultati prova Cantabro miscela H16

I risultati dei provini I, II, III e VII sono stati rimossi dall'elaborazione a causa di problemi insorti in fase di compattazione.

codice provino	dry			wet		
	mi [g]	mf [g]	Particle Loss, PL [%]	mi [g]	mf [g]	Particle Loss, PL [%]
H16tris_I	1004,3	868,2	13,6			
H16tris_II				1023,7	531,1	48,1
H16tris_III	1006,8	795,3	21,0			
H16tris_IV				1021,8	629,7	38,4
H16tris_V	1004,2	773,4	23,0			
H16tris_VI				1024	551,7	46,1
H16tris_VII	1004	709,2	29,4			
H16tris_VIII				1025,4	447,4	56,4
			22,0			46,1

Figura 35- Risultati prova Cantabro miscela H16TRIS

codice provino	dry			wet		
	mi [g]	mf [g]	Particle Loss, PL [%]	mi [g]	mf [g]	Particle Loss, PL [%]
RH12+30F_I	1023,6	939,6	8,2			
RH12+30F_II				1036,4	861,7	16,9
RH12+30F_III	1021,3	897,9	12,1			
RH12+30F_IV				1037,7	857,2	17,4
RH12+30F_V	1014,5	874,9	13,8			
RH12+30F_VI				1035,5	867,1	16,3
RH12+30F_VII	1017,9	891	12,5			
RH12+30F_VIII				1038,8	874,3	15,8
			12,3			16,9

Figura 36- Risultati prova Cantabro miscela RH12+30F

codice provino	dry			wet		
	mi [g]	mf [g]	Particle Loss, PL [%]	mi [g]	mf [g]	Particle Loss, PL [%]
RH12+50F_I	1034,1	952,5	7,9			
RH12+50F_II				1050,2	941,9	10,3
RH12+50F_III	1036,7	978,1	5,7			
RH12+50F_IV				1049,8	925,1	11,9
RH12+50F_V	1034,9	951,5	8,1			
RH12+50F_VI				1047,0	961,4	8,2
RH12+50F_VII	1035	910,3	12,0			
RH12+50F_VIII				1048,8	961,8	8,3
			8,0			10,3

Figura 37- Risultati prova Cantabro miscela RH12+50F

5.4 SCB

codice provino		D [mm]	s [mm]	h [mm]	i [mm]	dry		wet	
						S _{max} [mm]	F _{max} [mm]	S _{max} [mm]	F _{max} [mm]
H16_α	H16_α_sup_1	150	75	60,5	10	2,546	2,869		
	H16_α_sup_2	150	75	50,5	10			1,928	3,045
	H16_α_inf_1	150	75	49,4	10	1,26	2,644		
	H16_α_inf_2	150	75	50,3	10			1,367	2,600
H16_β	H16_β_sup_1	150	75	51,4	10	0,762	3,1		
	H16_β_sup_2	150	75	49,3	10			2,18	3,14
	H16_β_inf_1	150	75	49,7	10	0,79	3,35		
	H16_β_inf_2	150	75	49,3	10			0,98	3,23

Figura 38- Risultati prova SCB miscela H16

codice provino		D [mm]	s [mm]	h [mm]	i [mm]	dry		wet	
						S _{max} [mm]	F _{max} [mm]	S _{max} [mm]	F _{max} [mm]
H16tris_alfa	H16tris_α_sup_1	150	75	55,3	10	1,02	3,125		
	H16tris_α_sup_2	150	75	50,6	10			1,13	3,39
	H16tris_α_inf_1	150	75	52,9	10	1,22	3,32		
	H16tris_α_inf_2	150	75	53,8	10			1,03	3,31
							3,2225		3,35

Figura 39- Risultati prova SCB miscela H16TRIS

codice provino		D [mm]	s [mm]	h [mm]	i [mm]	dry		wet	
						S _{max} [mm]	F _{max} [mm]	S _{max} [mm]	F _{max} [mm]
RH12+30F_alpha	RH12+30F_α_sup_1	150	75	55,1	10	0,843	3,64		
	RH12+30F_α_sup_2	150	75	51,9	10			0,92	3,88
	RH12+30F_α_inf_1	150	75	54,4	10	1,12	4,2		
	RH12+30F_α_inf_2	150	75	54	10			1,06	5,18
							3,92		4,53
RH12+30F_beta	RH12+30F_β_sup_1	150	75	53,8	10	0,91	4,72		
	RH12+30F_β_sup_2	150	75	50	10			1,18	4,97
	RH12+30F_β_inf_1	150	75	53	10	0,94	4,52		
	RH12+30F_β_inf_2	150	75	54	10			1,18	4,93
							4,62		4,95

Figura 40- Risultati prova SCB miscela RH12+30F

codice provino		D [mm]	s [mm]	h [mm]	i [mm]	dry		wet	
						S _{max} [mm]	F _{max} [mm]	S _{max} [mm]	F _{max} [mm]
RH12+50F_alpha	RH12+50F_α_sup_1	150	75	54,7	10	1,26	6,82		
	RH12+50F_α_sup_2	150	75	52,4	10			1,22	6,55
	RH12+50F_α_inf_1	150	75	52	10	1,05	7,06		
	RH12+50F_α_inf_2	150	75	55	10			1,02	5,86
							6,94		6,205
RH12+50F_beta	RH12+50F_β_sup_1	150	75	49,1	10	1,16	5,57		
	RH12+50F_β_sup_2	150	75	50,1	10			1,25	7,06
	RH12+50F_β_inf_1	150	75	48,5	10	1,14	5,85		
	RH12+50F_β_inf_2	150	75	49,6	10			1,35	5,91
							5,71		6,485

Figura 41- Risultati prova SCB miscela RH12+50F

5.5 Confronti

5.5.1 Vuoti

	Vgeom (%)
H16	21,47
H16bis	21,37
H16tris	22,38
RH12+30F	19,26
RH12+50F	17,29

Figura 42- % Vuoti geometrici

Vuoti provini pressa giratoria (bassi)

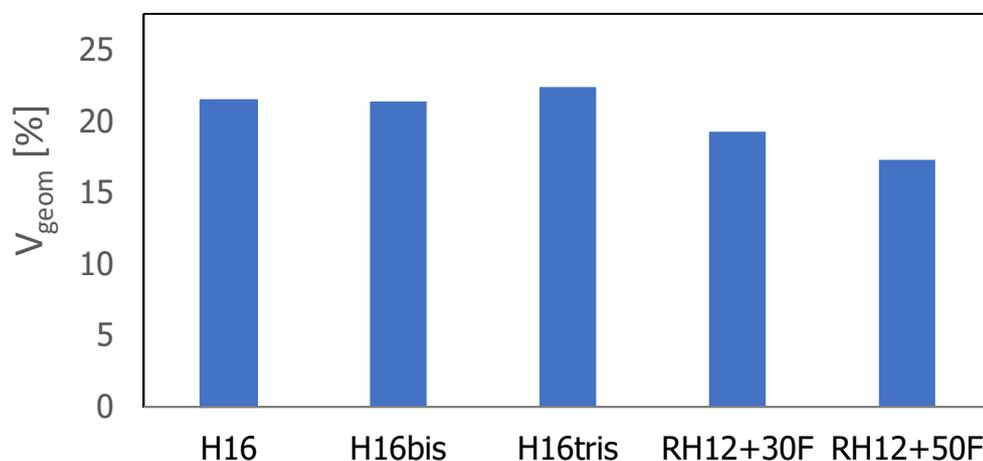


Figura 43

Dalla figura 43 si vede come non ci siano differenze tra le tre diverse miscele con diametro massimo 16 mm e con la miscela con il 30% di fresato (vuoti medi del 20%). La miscela con il 50% di fresato invece ha un contenuto dei vuoti inferiori di circa 2 punti percentuale rispetto al target prefissato del 20%, e quindi la miscela andrebbe ottimizzata, come verrà fatto in successive sperimentazioni non oggetto della presente tesi.

5.5.2 ITS

	ITS (MPa)		CTI		CT-index	
	dry	wet	dry	wet	dry	wet
H16	0,46	0,4	22,3	18,7	265	476,7
H16bis	-	-	-	-	-	-
H16tris	0,51	0,5	23,6	28,4	298,5	102,2
RH12+30F	0,47	0,6	21,7	25,3	179,1	177,6
RH12+50F	0,85	0,91	34,6	41,64	216,1	107,3

Figura 44

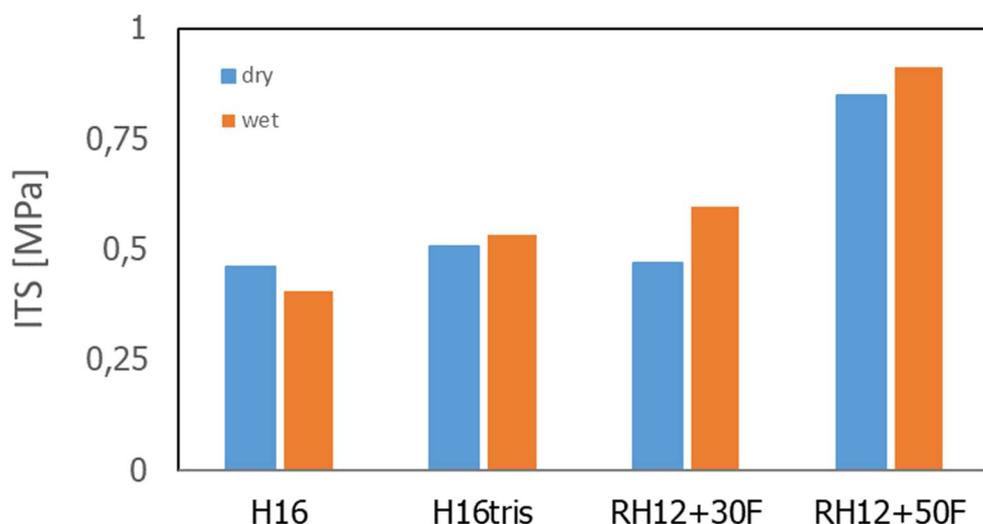


Figura 45

Dalla figura 45 si vede che l'ottimizzazione della miscela con diametro massimo 16 mm ha comportato un miglioramento, seppur piccolo, della resistenza a rottura (circa il 10%), sia in condizioni dry che wet. L'inserimento di un quantitativo di fresato pari al 30% non comporta importanti cambiamenti in termini di resistenza ultima poiché il bitume ha un quantitativo di rigenerante tarato per ottenere prestazioni simili a quando il fresato non è presente. Tuttavia quando il quantitativo di fresato è superiore tale rigenerante ha ridotta efficacia e la resistenza ITS si innalza in maniera importante (40%). Questo non rappresenta un fattore positivo poiché l'eccessiva resistenza potrebbe indurre anche ad un'eccessiva fragilità del materiale.

5.5.3 CTI

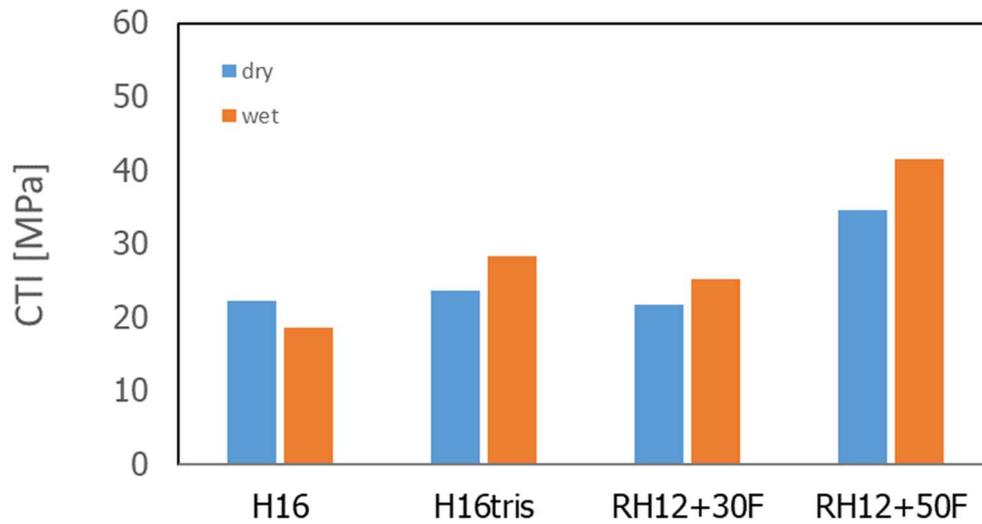


Figura 46

Dalla figura 46 si conferma quanto detto in precedenza, ma questa volta in termini di rigidezza CTI. In particolare non ci sono differenze tra le miscele senza fresato e con il 30% di fresato. Tuttavia, anche in questo caso, la rigidezza incrementa notevolmente con il 50% di fresato (circa il 30-40%).

5.5.4 CT-index

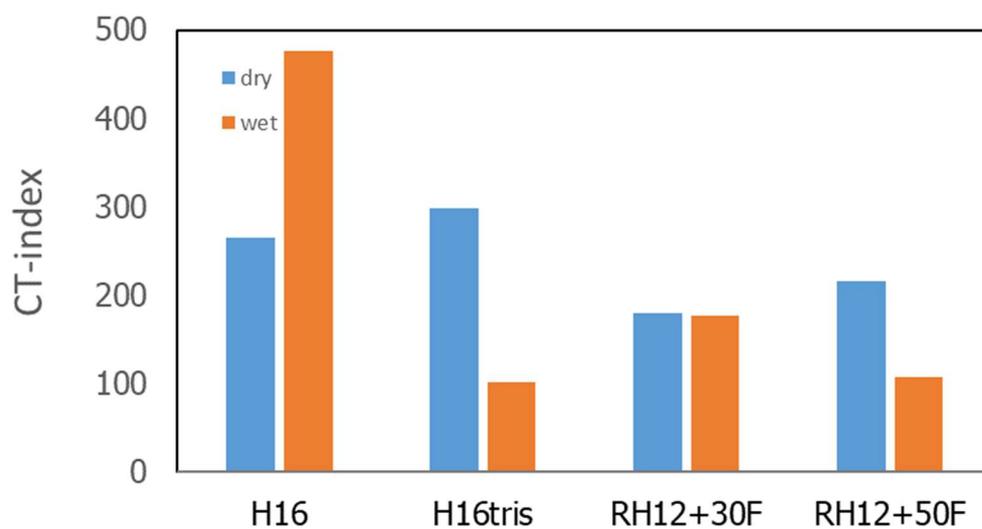


Figura 47

Dalla figura 47 è possibile prima osservare come l'energia di rottura (CT-index) diminuisce quando vengono inseriti elevati quantitativi di fresato, e questo è sempre dettato dagli stessi principi dettati prima, e di come il rigenerante inserito nel bitume sia tarato per quantitativi di fresato non superiori al 30%.

5.5.5 Cantabro

	Perdita di massa (%)	
	dry	wet
H16	21,56	38,0
H16bis	-	-
H16tris	22,00	46,1
RH12+30F	12,27	16,9
RH12+50F	7,97	10,31

Figura 48

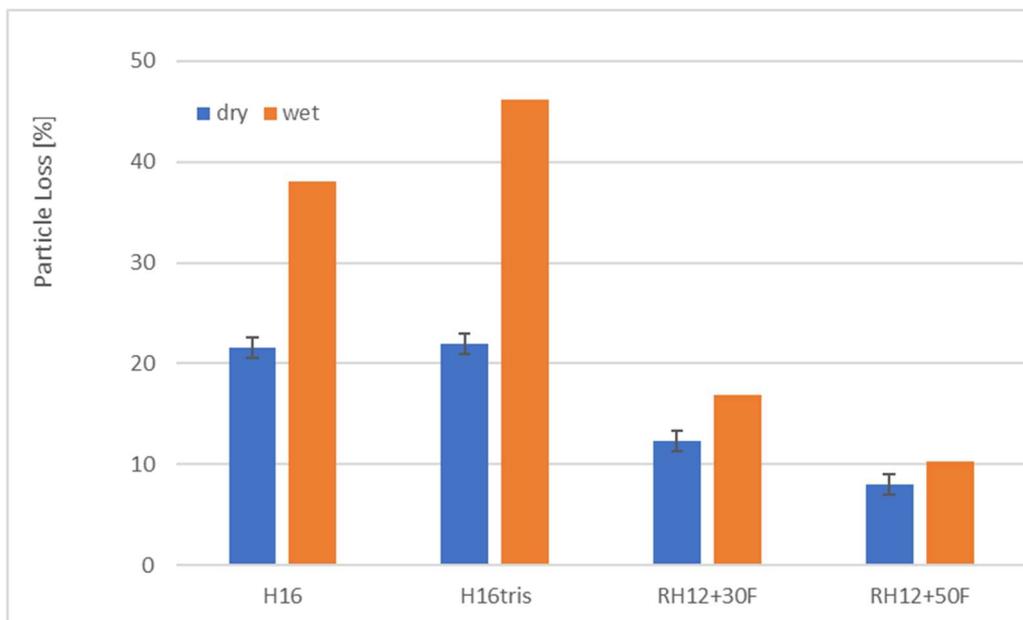


Figura 49

I risultati della prova Cantabro evidenziano come le miscele con fresato all'interno sia quelle che resistono meglio e quindi perdono meno massa durante la prova.

5.5.6 SCB

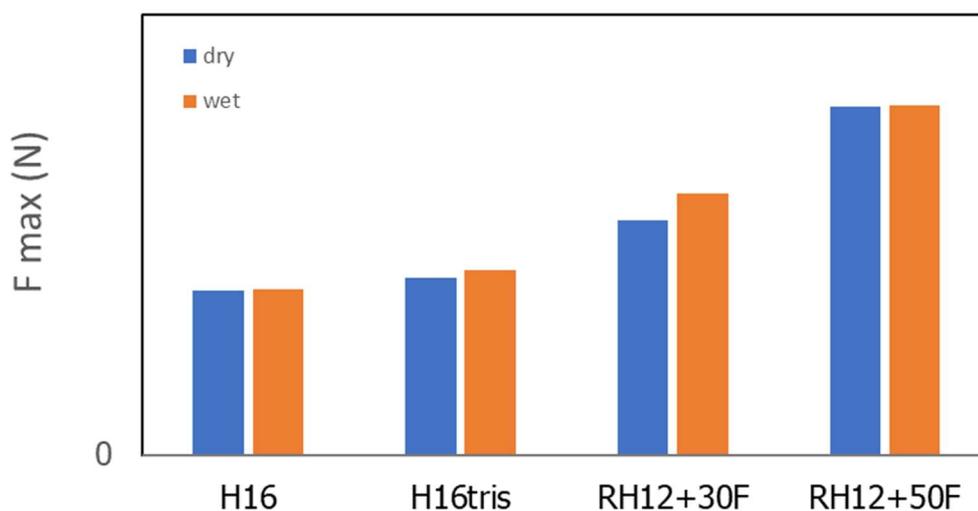


Figura 50

Dalla figura 50 è possibile osservare che i materiali con fresato sono quelli che hanno una resistenza massima superiore. Tra le due miscele con fresato, quella con il 50% di fresato, ha valori di circa il 30%.

Capitolo 6 - Conclusioni

La sperimentazione oggetto della tesi, condotta presso il Laboratorio del Dipartimento di “Ingegneria Civile, Edile ed Architettura – sezione Infrastrutture – area Strade” dell’Università Politecnica delle Marche, è stata svolta al fine di studiare le prestazioni meccaniche dei conglomerati bituminosi drenanti al variare del diametro massimo della miscela di aggregati (16 e 12 mm) e al variare del quantitativo di fresato (0, 30, 50%).

In particolare, sono state valutate 5 famiglie di miscele:

- Conglomerato bituminoso drenante con diametro massimo 16 e aggregati vergini; tale impasto è stato poi ottimizzato andando a realizzare 2 ulteriori impasti;
- Conglomerato bituminoso drenante con diametro massimo 12 mm e 30% di fresato;
- Conglomerato bituminoso drenante con diametro massimo 12 mm e 50% di fresato;

Per ogni famiglia sono stati realizzati:

- 6 provini piccoli e 2 provini grandi con la pressa giratoria
- 8 provini con la pressa Marshall

Sui provini è stata fatta la seguente caratterizzazione:

- Valutazione della percentuale dei vuoti;
- Resistenza ultima a trazione indiretta (ITS);
- Rigidezza, attraverso il coefficiente CTI derivante dalla prova ITS;
- Energia di rottura, attraverso il coefficiente CT-index derivante dalla prova ITS;
- Resistenza all'abrasione, attraverso la prova Cantabro;
- Fragilità attraverso la prova SCB.

Dall'analisi dei risultati è stato possibile trarre le seguenti considerazioni:

- Il valore della resistenza ultima incrementa notevolmente quando viene impiegato un quantitativo di fresato pari al 50%, mentre invece non cambia se il fresato impiegato è massimo pari al 30%;
- Stesso discorso anche confrontando le diverse miscele in termini di rigidezza CTI
- In termini di energia di rottura, l'incremento di fresato comporta un notevole abbassamento;
- I risultati delle prove Cantabro e SCB confermano quanto detto con la prova ITS

Tali risultati sembrerebbero dimostrare come l'impiego di un eccessivo quantitativo di fresato comporti un peggioramento del comportamento dei drenanti. Questo perché, nonostante si abbia un incremento di resistenza ultima ITS, il materiale diventa notevolmente più rigido e quindi anche più fragile (come si vede dall'energia di rottura CT-index). Questo è dovuto al fatto che il bitume con cui sono stati realizzati i provini con fresato era composto anche da una certa percentuale di agente rigenerante, che tuttavia era stato tarato dal produttore per

quantitativi di fresato non superiori al 30%. Ulteriori studi andranno in futuro svolti andando ad impiegare bitumi con un diverso quantitativo di agente rigenerante, in grado di ridurre l'eccessiva rigidità apportata da un elevato quantitativo di fresato.

Ringraziamenti

Alla fine di questo elaborato, mi sembra doveroso dedicare uno spazio per ringraziare tutte le persone che, con il loro supporto, in hanno aiutato in questo percorso universitario. In primis vorrei ringraziare la mia famiglia che mi è stata vicina, soprattutto nell'ultimo periodo in cui l'ansia e la stanchezza si facevano sentire. Grazie per i sacrifici che avete fatto sia per farmi portare a termine questo percorso, ma anche per il supporto, anche se a volte un po' eccessivo, che mi avete dato. In particolare vorrei ringraziare nonna Fiorella che fin da piccolo ha creduto in me, senza mai darsi per vinta anche quando ero io il primo a non credere in me stesso.

Questo percorso mi ha fatto capire e scoprire tante cose, molte non inerenti alle materie studiate, che mi hanno portato ad avere una maggiore consapevolezza di che tipo di persone ho vicino. È per questo che voglio ringraziare:

Sofia senza la quale penso che non sarei arrivato a questo punto. Lei mi ha sopportato e supportato così tante volte che non riesco nemmeno a ricordarle tutte. Lei è riuscita a farmi fare quello che pensavo irraggiungibile. Era presente ad ogni momento di crisi, ma soprattutto a tutti quelli di festa, e grazie a quella fermezza, capacità di ascolto e determinazione che solo lei ha, che poi mi ha trasmesso sono riuscito a tagliare questo traguardo.

Un grazie gigantesco va a tutti gli amici che mi sono stati accanto durante questi anni: Michele, Alessandro, Paoli, Maic, Bruno, Jamee, Nico, Rudi,... con i quali ho condiviso tante difficoltà la prima in assoluto Analisi fino ad arrivare alla stesura di questa tesi. In particolare ringrazio Michele e Pietro per la pazienza che avete avuto quando vi chiamavo sotto esame per l'ansia che mi divorava da dentro.

Un ulteriore ringraziamento va agli amici che ci sono da sempre: Fabi, Marco, Alanis, Alessia e Ariana che ci sono stati sempre anche se non abbiamo avuto la possibilità di vederci costantemente come una volta. In particolare ringrazio Ari per l'aiuto con l'ultimo esame,

ma anche per l'amicizia che in questi anni è stata messa a dura prova ma che è riuscita a resistere.

Desidero ringraziare anche Ing. Carlo Carpani, che mi ha aiutato nella parte finale di questo percorso cercando di trasmettermi nozioni e passione per il mondo delle infrastrutture stradali.

Un ultimo pensiero va alla mia sorellina, con la quale non è sempre facile viverci, soprattutto per la differenza di opinioni che abbiamo. Vorrei che sapessi che pur avendo avuto questi problemi sono fiero della persona che stai diventando, magari di tanto in tanto sbagli, però sei nella giusta strada per poter aspirare a qualsiasi cosa, quindi continua così.